

www.e-rara.ch

**Der Bau des Hauensteintunnels auf der Schweizerischen
Centralbahn**

**Pressel, Wilhelm
Basel und Biel, 1860**

ETH-Bibliothek Zürich

Shelf Mark: Rar 1732

Persistent Link: <http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-14836>

www.e-rara.ch

Die Plattform e-rara.ch macht die in Schweizer Bibliotheken vorhandenen Drucke online verfügbar. Das Spektrum reicht von Büchern über Karten bis zu illustrierten Materialien – von den Anfängen des Buchdrucks bis ins 20. Jahrhundert.

e-rara.ch provides online access to rare books available in Swiss libraries. The holdings extend from books and maps to illustrated material – from the beginnings of printing to the 20th century.

e-rara.ch met en ligne des reproductions numériques d'imprimés conservés dans les bibliothèques de Suisse. L'éventail va des livres aux documents iconographiques en passant par les cartes – des débuts de l'imprimerie jusqu'au 20e siècle.

e-rara.ch mette a disposizione in rete le edizioni antiche conservate nelle biblioteche svizzere. La collezione comprende libri, carte geografiche e materiale illustrato che risalgono agli inizi della tipografia fino ad arrivare al XX secolo.

Nutzungsbedingungen Dieses Digitalisat kann kostenfrei heruntergeladen werden. Die Lizenzierungsart und die Nutzungsbedingungen sind individuell zu jedem Dokument in den Titelinformationen angegeben. Für weitere Informationen siehe auch [Link]

Terms of Use This digital copy can be downloaded free of charge. The type of licensing and the terms of use are indicated in the title information for each document individually. For further information please refer to the terms of use on [Link]

Conditions d'utilisation Ce document numérique peut être téléchargé gratuitement. Son statut juridique et ses conditions d'utilisation sont précisés dans sa notice détaillée. Pour de plus amples informations, voir [Link]

Condizioni di utilizzo Questo documento può essere scaricato gratuitamente. Il tipo di licenza e le condizioni di utilizzo sono indicate nella notizia bibliografica del singolo documento. Per ulteriori informazioni vedi anche [Link]

DER BAU
des
HAUENSTEINTUNNELS
auf der
Schweizerischen Centralbahn

von
W. PRESSEL und J. KAUFFMANN,
Ingenieurs.

Mit 17 lithogr. Tafeln.

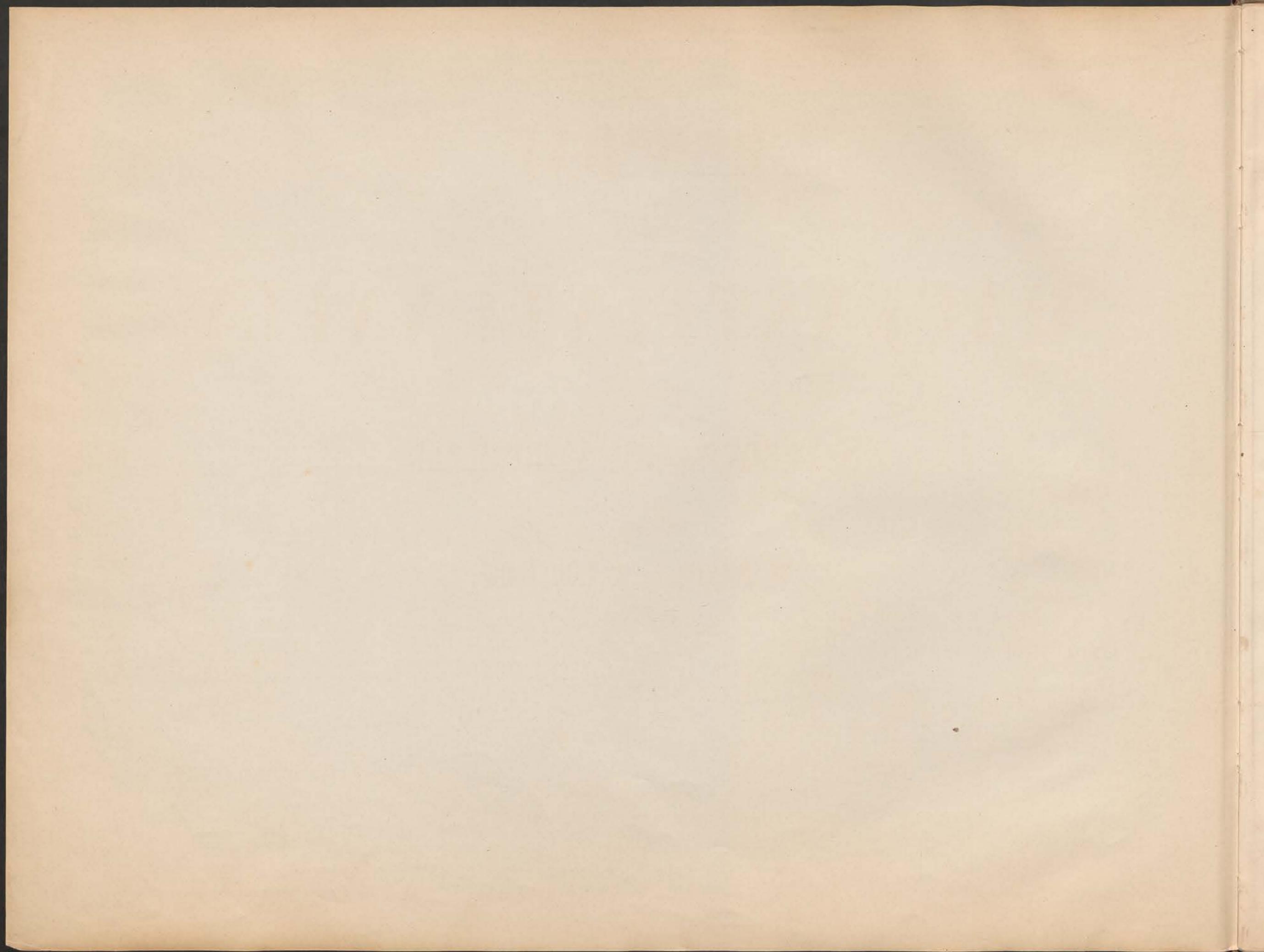
Basel und Biel,
Bahmaier's Buchhandlung (C. Detloff).
1860.

2nd 1730

St. Buxtorf
1911

18. 6. 58

H. Fischer (Botaniker) ^{seiner}
wollte sich nach Provothmann zu über
"Artesische Brunnen" gearbeitet hat &
auch an Hannstein beteiligt gewesen sein.



DER BAU
des
HAUENSTEINTUNNELS

auf der
Schweizerischen Centralbahn

von
W. PRESSEL und J. KAUFFMANN,
Ingenieurs.

Mit 17 lithogr. Tafeln.

Basel und Biel,
Bahnmaier's Buchhandlung (C. Detloff).
1860.

Vorwort.

Seitdem die Gebirgsgegenden in den Rayon der Eisenbahnnetze gezogen worden sind, findet der Bau der Tunnel eine immer grössere Anwendung und es ist deshalb für den Ingenieur von grosser Wichtigkeit, sich mit der Ausführung dieser Specialität von Bauten vertraut zu machen. Das geeignetste Mittel hierzu ist — neben der Besichtigung und gründlichen Prüfung der in der Ausführung begriffenen Tunnel — das Studium von Baubeschreibungen solcher Werke, welche hinsichtlich des angewendeten Constructions-Systems und der localen Verhältnisse Motive für Belehrung bieten.

Wir glauben nun, dass die mit der Ausführung besonders interessanter Arbeiten betrauten Ingenieure die Verpflichtung haben, die gesammelten Erfahrungen zur Kenntniss ihrer Fachgenossen zu bringen und auf diese Weise die Ausbildung derselben für ihren wichtigen Beruf zu befördern.

Der durch seine geologischen Verhältnisse sich besonders auszeichnende Hauenstein-Tunnel, dessen Leitung uns übertragen war, gehört zu der erwähnten Kategorie von Bauten,

und wir übergeben hiemit unsern Collegen eine Beschreibung des für denselben adoptirten Arbeitsbetriebs, welche zugleich eine Analyse der bis jetzt üblichen Baumethoden enthält.

Wir hielten nämlich eine vergleichende Zusammenstellung des hier angewendeten sogenannten englischen Bausystems mit den andern Systemen nöthig, und ein näheres Eingehen in diesen Punkt schien uns um so mehr geboten, als man gegenwärtig noch sehr von Vorurtheilen über die Zweckmässigkeit der einen oder andern Baumethode befangen ist, anderseits aber die Wahl derselben von der grössten Bedeutung für die Solidität der Construction, die Dauer des Baues und die Anlagekosten ist.

Im Anhange haben wir noch ein Verfahren angegeben, wie auf zweckmässige Art beschädigte Tunnelgewölbe ohne Unterbrechung des Bahnbetriebs ausgewechselt werden und wie sich am besten hierzu die englische Methode eignet.

Wir geben uns der Hoffnung hin, dass vorliegende Arbeit eine nützliche sein möge und dass unser hierauf gerichtetes Bestreben eine wohlwollende Anerkennung finden werde.

Die Verfasser.

Der Bau des Hauensteintunnels.

I. Anlage des Tunnels.

Der Hauensteintunnel bildet das wichtigste Bauobjekt der Schweizerischen Centralbahn, welche über Basel den Schienenweg von Deutschland und Frankreich aus durch den Jura in das Innere der Schweiz eröffnet.

Nachdem nämlich die Bahnlinie von Basel aus auf dem linken Rheinufer für 3 Stunden Länge sich in den Kiesanschwemmungen des ehemaligen Rheinbettes dahinzieht, mündet sie in das Thalgebiet des aus einem Seitenthal des Jura kommenden Baches der Ergolz ein, und verlässt dasselbe bei Sissach, indem sie sich an den Berggehängen des Homburger Thales, welches von den Ausläufern des Jura gebildet wird, bis zum Fusse des Hauensteins hinaufwindet. An dem jähem nördlichen Abhang des Hauensteins angekommen, durchbricht die Bahn den Jura und zieht sich alsdann an den südlichen Abhängen desselben in das Aarethal herab, geht hier auf das rechte Aareufer über und verzweigt sich von dem Centralpunkte Olten aus in die Richtungen nach Aarau zum Anschlusse an die Nordostbahn, nach Luzern an den Vierwaldstätter-See, nach Bern zum Anschluss an die Oronbahn über Freiburg nach Genf, und nach Biel zum Anschluss an die Juralinien, von welchen die Westbahn ebenfalls in Genf einmündet.

Da nun der Personen- und Güterverkehr in das Innere der Schweiz hauptsächlich von Basel aus vermittelt wird, so bildet die Strecke Basel-Olten die bedeutendste Linie der Centralbahn und der Hauensteintunnel hinwiederum das folgewichtigste Bauobjekt, nach dessen Eröffnung am 1. Mai 1858 der Güterverkehr in solch gesteigerter Weise zunahm, wie es für die erste Zeit kaum erwartet werden konnte, so dass nach einigen Monaten auf der ganzen Strecke Basel-Olten ein doppel-spuriger Betrieb eingeleitet werden musste.

Wegen der bedeutenden Ansteigung des Homburgerthales einerseits, andererseits um das im Verlauf der Zeiten von den Berggehängen abgelöste und sich am Fusse desselben angelagerte Geröll, sowie das Moorland der Thalsohle im Dorfe Länfelfingen nicht anzuschneiden, sondern um die Bahn in den soliden Oolithfelsen zu betten; ferner um den Hauensteintunnel abzukürzen, erhielt die dadurch gebildete Bergbahn von Sissach bis an die nördliche Tunnelmündung die bedeutende Steigung von 20,8 per mille. Da ferner der südliche Fuss des Hauensteins beträchtlich höher liegt, als das Aarethal bei Olten, so musste die Bahn dem südlichen Abhang des Jura entlang, trotz des grösst möglichen Umweges, ein noch stärkeres Gegenfälle von 25 per mille bekommen, während der Tunnel selbst in südlicher Richtung mit 26 per mille fällt. — Der Betrieb der 4½ Stunden langen Bergbahn von Olten nach Sissach ist daher sehr kostspielig und es hätte die Steigung von Sissach nach Länfelfingen durch Tieferlegung der Bahn etwas vermindert werden können. Diess würde aber eine bedeutende Verlängerung des Tunnels zur Folge gehabt haben, und die Bahn hätte sich grösstentheils in dem Geröll der durch Ablösung von den Felsgehängen vorgeschobenen Hügeln der Thalsohle fortbewegt. Die Erfahrung lehrt aber, welche enorme Kosten die Befestigung der Bahn in solchem Terrain bereitet und selbst bei der jetzigen Anlage sind an einigen nicht zu vermeidenden Stellen Rutschungen vorgekommen, welche als warnende Beispiele gelten können. Bei der Strecke Olten-Länfelfingen wäre dagegen eine geringere Steigung unmöglich gewesen, und man musste sich jedenfalls für Bergbetrieb einrichten, welcher Umstand, verbunden mit den oben angeführten Gründen, für die ausgeführte Anlage entscheidend war.

Die Eisenbahn von Basel nach Olten befolgt demnach ganz die Richtung der bestehenden Staatsstrasse und statt der erst seit 1830 gut angelegten Steige über den Hauensteinpass, tritt der den Jura in gerader Linie durchbrechende Hauensteintunnel auf.

2. Geognostische Verhältnisse des Hauensteintunnels.

Der schweizerische Jura zeigt in seiner äussern Erscheinung mitunter sehr groteske Formen und es haben bei seiner Bildung sehr verschiedenartig wirkende, mechanische Kräfte sich geäussert. Die Unregelmässigkeit der Lagerungsverhältnisse ist besonders in der Umgebung des Hauensteins deutlich zu sehen, indem dort öfters der Muschelkalk mit dem Oolith — nur durch eine Thalschlucht getrennt — in gleicher Höhe vorkommt.

Die bei der ursprünglichen Lagerung die Oberfläche bildende Oolith-Formation wurde durch innere Erhebungen durchbrochen und die tiefer liegenden Formationen des Lias, Keupers und selbst des Muschelkalks sind an die Oberfläche erhoben worden, wesshalb man auch in der Umgebung des Hauensteins bis in die höchsten Punkte hinauf sehr fruchtbare Felder sieht.

In Fig. 1. ist der geologische Durchschnitt des Hauensteins mittelst des Erfundes im Innern und den Anhaltspunkten an der Oberfläche dargestellt, und in Fig. 2. das Streichen der Schichten auf der Tunnelsohle angegeben. Das Fallen beträgt durchschnittlich 30 Grad in südlicher Richtung, so weit das Gebirge regelmässig gelagert ist. — Es ist daraus ersichtlich, dass der Tunnel die Muschelkalk-, Keuper-, Lias- und einen Theil der Oolithformation durchbricht, mit einer Gesamtmächtigkeit von circa 1560 Fussen. Bei dem bedeutenden Fallwinkel müsste diese Zahl viel grösser sein, wenn für die nörd-

liche Hälfte des Gebirges die Regelmässigkeit der Lagerung durch Erhebungen und Ueberstürzungen nicht unterbrochen wäre, so dass die nördliche Tunnelhälfte die sich mehreremal wiederholende Muschelkalkformation nicht verlässt. Aus dem zweimaligen Auftreten des Salzthones sind zwei Erhebungen deutlich zu erkennen; der Kern der ersten Erhebung trifft in der Tunnelhöhe auf die Entfernung 5300, der der zweiten auf 7150.

Aus dem verschiedenen Streichen der Schichten von der Süd- und Nordseite her geht hervor, dass die zweite Erhebung das ganze nördliche Gebirge gedreht hat. Diese beiden Erhebungen, deren Wirkungen an der Oberfläche durch theilweise Zerrüttung des Gebirges sichtbar sind, waren für den Tunnelbau in ihren Wirkungen von der grössten Wichtigkeit, indem sie zur Bildung von grossartigen Wasserreservoirs Veranlassung gaben.

Verfolgt man den Tunnel von der Süd- zur Nordseite, so begegnet man zuerst einer Mulde in den Mergelsandsteinen und schwarzen Sandmergeln f und g des Unter-Rogensteins. Vom untern Eisenrogenstein h an, der die Schichten des Lias von denen des Rogensteins scheidet, bis zum untern Muschelkalkdolomit o, verlaufen die Schichten in regelmässiger Lagerung; von hier bis zur nördlichen Mündung verbleibt der Tunnel stets in der fünfmal sich wiederholenden Muschelkalkformation, von welcher als unterstes Glied der untere Salzthon r noch erreicht wird.

So weit das Gebirge regelmässig gelagert ist, stimmt der Erfund mit dem zuvor entworfenen Profil des Herrn Geologen Gressli überein, in der überworfenen Muschelkalkpartie weicht aber der Entwurf von dem Erfund ab, indem es bei den ausserordentlich unregelmässigen Lagerungsverhältnissen der einzelnen Glieder unmöglich ist, von der Oberfläche aus auf das Erdinnere zu schliessen. Die Anfertigung des geologischen Profils eines Gebirges geschieht nämlich auf die Weise, dass man die entweder durch einen Strassen- oder Bahneinschnitt oder durch eigens zu diesem Zweck angelegte Schürflgruben aufgedeckten Formationsglieder der Reihe nach verfolgt, ihre Mächtigkeit, ihr Fallen und Streichen erhebt und von dem Terrain, welches zur Beobachtung dient, Profile anfertigt, in welche die vorerwähnten geognostischen Aufnahmen eingetragen werden. Die Kenntniss der geologischen Lagerungsverhältnisse eines Gebirges vorausgesetzt, ist daher der Entwurf eines geologischen Profils eine geometrische Aufgabe, und in zerrüttetem Gebirge, das dem Einflusse verschiedenartig wirkender, in Bezug auf Richtung und Intensivität unbekannter Kräfte unterworfen war, ist es daher unmöglich, etwas Zuverlässiges über Lagerungsverhältnisse anzugeben.

Die völlige Unterbrechung eines Zusammenhangs der Formation im Erdinnern und an der Oberfläche ist auch in dem Profil dargestellt, und wenn es auch schon von Geologen versucht wurde, mit Annahme eines Mitteldolomits, welcher aber noch nirgends, sogar bei sehr regelmässiger Lagerung der Muschelkalkformation gefunden wurde, einen Zusammenhang herauszufinden, so liegt schon in der mehrfachen Art, wie dieser letztere construirt werden kann, eine Unsicherheit der wissenschaftlichen Spekulation.

Wie aus dem geologischen Profil ersichtlich, so ist das vom Tunnel durchbrochene Gebirge vollständig entwickelt, besonders erscheinen die Mergel des Lias und der Lettenkohle, sowie auch das Gypslager in der letztern in bedeutender Mächtigkeit. Die anderwärts z. B. im württembergischen Unterland in bedeutender Ausdehnung auftretenden Einlagerungen von festem Bau-Sandstein in den Sandmergeln des Keupers fehlen im Schweizerischen Jura.

Der obere Muschelkalkdolomit tritt in sehr starken Bänken (bis zu 20 Fussen) mit festem sandigem Gefüge auf, der untere Muschelkalkdolomit erscheint dagegen in dünner Schichtung mit ziemlich loser Verbindung der Sandkörner. In beiden Dolomiten sind die Sandkörner durch einen schmutzig gelben Thon verbunden, woher auch die Farbe derselben rührt. Zwischen diesen beiden Dolomiten liegt der Muschelkalk bei regelmässiger Lagerung sehr schön und meist dick geschichtet, ohne die geringste Thoneinlagerung zwischen den Schichtflächen und ohne eine Spur von Zerklüftung zu zeigen; er war deshalb schwer auszubrechen und bedarf keiner Verkleidung durch Mauerwerk. Dolomitische Bänke, ebenso Encrinitenbänke treten durch das ganze Formationsglied auf, an der obern und untern Grenze kommen auch einige oolithische Bänke von mehreren Fussen Dicke vor.

Ausser dem Muschelkalk begegnet man im Gebiete des Tunnels keinem härteren Gesteine von grösserer Ausdehnung, indem die häufigen Dolomiteinlagerungen im Keuper, der Liaskalk und der Anhydrit in der Muschelkalkformation im Vergleich zu den Mergeln des Lias, Keupers und des Salzthons nur von geringer Ausdehnung sind. In Bezug auf mechanische Bewältigung des Gebirges sind daher die Verhältnisse im Hauenstein nicht ungünstig zu nennen; die grösste Schwierigkeit bereitete dagegen die Wasseransammlung im Innern.

Da die grössere südliche Hälfte des vom Tunnel durchbrochenen Gebirges grösstentheils aus wasserdichten Thonen und Mergeln besteht, so konnte nur sehr wenig Wasser angeschnitten werden, wie sich auch in der That nur an den Grenzen der festen Einlagerungen der Eisenoolithe und des Liaskalkes etwas Wasser vorfand, die nördliche kleinere Hälfte war dagegen sehr wasserreich und hiezu gab besonders die öftere Wiederholung der Muschelkalkformation Veranlassung, indem bei den unregelmässigen Lagerungen das bis an die Oberfläche hinauf grösstentheils geöffnete Terrain wahrscheinlich auf eine grössere Entfernung längs des Jura das Tagwasser einsickern lässt, welches durch die wasserdichten Salzthone und Dolomite in den

Muldenbildungen aufgestaut wurde, ehe der Tunnel einen Theil des Gebirges drainirt hatte. — Da nur dasjenige Wasserquantum, welches von der Nordseite aus abgeschnitten wurde und deshalb ausgepumpt werden musste, dem Baue Schwierigkeiten bereitete, so muss vorausgeschickt werden, dass der Vereinigungspunkt beiderseitiger Stollen bei dem Distanzpunkte 6000 war.

Verfolgen wir nun das Gebirge von der Mitte aus weiter gegen die Nordseite zu, so treffen wir von 4600 bis 5000 eine abnorme Erscheinung, indem dort besonders an vier Stellen aus einzelnen klaffenden Schichtflächen des völlig ungeklüfteten Muschelkalkes und des Dolomits, warme Quellen aufsteigen, deren Temperatur von 14 bis 21° Reaumur wechselt und die durch einen bis jetzt ungekannten, wahrscheinlich vegetabilischen Bestandtheil bluthroth färben. Diese warmen Quellen liefern zusammen ein Quantum von durchschnittlich 1,2 Kubikfuss pro Sekunde, das erst nach Verlauf von acht Tagen den Einfluss der Witterung erkennen lässt. — Da das Terrain 10° Wärme hat, so müssen diese Wasser aus einer sehr bedeutenden Tiefe aufsteigen, indem nicht angenommen werden kann, dass durch Zersetzung eines in der Nähe liegenden Stoffes z. B. Schwefelkies, eine solch bedeutende Wärmequelle erzeugt werde.

Die Verschiedenheit der Temperatur der einzelnen Quellen rührt wohl von der durch Widerstände verursachten ungleichen Geschwindigkeit und ungleichen Wassermenge derselben her, so dass das Wasser mehr oder weniger durch das Terrain abgekühlt wird. — Der zwischen den Distanzen 5100 und 5260 wiederkehrende Muschelkalk, der ziemlich zerklüftet erschien und deshalb unterwölbt werden musste, lieferte dagegen aus schwachen Adern wieder kälteres Wasser von 11½° Reaumur, welches unmittelbar von eingesickertem Tagwasser herrührt.

Nachdem die wasserdichten Schichten der Dolomite und des Salzthones bei 5550 durchbrochen waren, schnitt man den Muschelkalk der zweiten Erhebung an, der wieder vollkommen unzerklüftet erschien und keiner Verkleidung bedurfte und nur Tropfwasser von 10° Reaumur enthielt.

Von der Südseite aus begegnete man daher nur sehr wenig meteorischem Wasser. Das Wasser der Nordseite muss dagegen durchgängig als eingesickertes Tagwasser angesehen werden, das nach längerem Laufe im Gebirge die Temperatur desselben von 10° Reaumur annimmt.

Um das Auftreten der Wasser der Nordseite näher zu beschreiben, wählen wir den Weg von der Nordseite aus, wie man es im Verlauf der Arbeit angeschnitten hat.

Die erste Wasserader zeigte sich an der Grenze des obern Salzthones und des untern Dolomits, mit einem Gehalt von circa 200 Kubikfuss per Stunde; nach Durchbrechung des untern Dolomits steigerte sich das Wasserquantum auf 500 Kubikfuss per Stunde.

Die durch die nördliche Erhebung, deren Centrum auf den Distanzpunkt 7150 fällt, gebildete Muschelkalkmulde zwischen 7300 und 7760 bildete ein Wasserreservoir, das mit dem allmählichen Fortschritt des Stollen sein Wasser abgab. In der Mitte der Mulde bei 7500 waren die Schichten ziemlich zerklüftet und gebrochen, während die beiderseits sich an den untern Dolomit anlehenden Bänke nur schwache Zerklüftung zeigten. Da man in immer tiefere Schichten gelangte, so musste sich auch das Wasser stets mehren, bis man bei 7300 an dem aufsteigendem Dolomit die das durchbrochene Reservoir speisende Quelle von circa 900 Kubikfuss per Stunde selbst abschnitt, während die Muschelkalkmulde drainirt wurde. Der Salzthon erschien wie immer trocken, an der obern Grenze desselben bei 7000 schnitt man dagegen ein neues grossartiges Reservoir an, das, wie sich später zeigte, die an der Hauensteinstrasse gelegene sogenannte »Gypsquelle« speiste. Dabei sank der Wasserspiegel im Schachte Nro. 3, von wo aus man die Stollenarbeiten wegen allzugrossen Wasserandranges eingestellt hatte, um 70 Fuss. Die den Schacht Nro. 3 im Bereich des Tunnels umgebende Muschelkalkparthie zeigt übrigens nur sehr wenig Zerklüftung, wesshalb das Reservoir, welches von einem weiter südlich gelegenen Punkte, nämlich bei 6560 seinen Zufluss erhält, auch nur einen Theil seines Wassers in den Tunnel abgeben konnte, während der andere Theil noch an der sogenannten Gypsquelle ausfloss. Bei allmählichem Fortschritte mehrte sich übrigens die Wassermasse im Tunnel, während die der Gypsquelle ausserhalb abnahm, bis sich aus einer bestiegbaren Kluft bei 6560 das ganze Reservoir in den Tunnel entleerte, und die Gypsquelle gänzlich versiegte. Damit wurde auch alles in der Tunnelfirste längs des ganzen den Schacht Nro. 3 umgebenden Reservoirs in kleineren Adern ausströmende Wasser abgeschnitten. Die eben erwähnte aufsteigende Kluft, die auf eine Länge von 50 Fussen betreten werden kann, bildet daher das Rinnsal für das Wasser des den Schacht Nro. 3 umgebenden Reservoirs, das auf eine unbestimmte Ausdehnung längs des Jura durch die in Folge der Zerrüttung gebildeten Oeffnungen das Tagwasser aufzunehmen geeignet ist. Das mittlere Quantum dieser sogenannten »kalten Quellen« im Gegensatz zu den Thermalquellen beträgt nach den neuern Messungen 1,4 Kubikfuss per Sekunde, welches nun nach Vollendung des Hauensteins anstatt nach Norden in das Homburger Thal abzufließen, in Folge des Tunnelgefälls mit den warmen Quellen vereinigt dem Aarethal zufließt.

Die durch den Tunnelbau veranlasste Entziehung dieses Wasserquantums auf der nördlichen Abdachung des Hauensteins rief einen Prozess des Kantons Baselland mit der Centralbahndirection hervor, indem dieser Kanton sich nicht allein mit den »kalten Quellen« begnügt, sondern auch Anspruch auf die Thermalquellen macht, deren Wasser in dem zwischen dem obern Muschelkalkdolomit bei 4600 und dem Salzthon bei 5800 eingeschlossenen Reservoir bis an die Oberfläche gestaut, daselbst zum Abfluss gekommen und ebenfalls der nördlichen Seite zugeflossen sein sollen.

Die Centralbahn bestreitet diese Behauptung und es wurden deshalb von dem zuständigen Gericht Expertisen für geologische, technische und chemische Untersuchungen angeordnet. Die dabei gemachten Studien wären für die Wissenschaft interessant genug, um sie öffentlich zu besprechen, liegen aber ausser dem Bereich unsers Zweckes.

Bei anhaltendem Regenwetter stieg das Quantum der Wasser der Nordseite, welche durch Dampfmaschinen zum nördlichen Portal gepumpt wurden, auf 13000 Kubikfuss per Stunde an. Die warmen Quellen, wie schon oben bemerkt, sind dem Einflusse der Witterung weit weniger unterworfen als die kalten, welche letztere schon nach einigen Stunden heftigen Regens eine Zunahme und trübe Färbung des Wassers zeigen, während die Thermalquellen stets klar zu Tage treten.

Diese sehr bedeutenden Wasserquantitäten der Nordseite, welche bei dem successiven Anschneiden der aufgestauten Wasser häufige Ueberfluthungen herbeiführten, konnten dem Quellengebiet des Tunnels zufolge nicht erwartet, wohl aber befürchtet werden, indem die an der Oberfläche zu Tage getretene Gypsquelle nur als ein Complex kleinerer Wasseradern, die an der Bruchstelle des Gebirges leicht ihren Ausfluss im Innern finden konnten, anzusehen ist.

Für den Bau hatte die Wasseranhäufung im Innern des Gebirges die nachtheilige Folge, dass der Schacht Nro. 2 nur zur Hälfte abgeteuft, vom Schachte Nro. 3 aus nur 180 Fuss Stollen getrieben und der Stollen der Nordseite im Ganzen 10 Monate unterbrochen war. Hätten diese missigen Umstände schon vor dem Beginn des Baues erwartet werden können, so würden entsprechende Einleitungen vorbereitet worden sein.

Aus diesen Erfahrungen geht nun hervor, dass geologische Studien vor dem Beginn des Tunnels von grosser Wichtigkeit sind, indem hieraus meistens ein ziemlich sicherer Schluss auf die im Tunnel auftretenden Gebirgsarten und Gebirgswasser gefolgert werden kann. Die Gebirgsarten und auftretenden Wasser bedingen aber die Baukosten und die zu diesem im Verhältniss stehende Bauzeit. Hiernach richtet sich auch die Zahl und der Ort der auszuführenden Schächte.

3. Beschreibung des Bau-Fortschritts.

Der Bau des Hauensteintunnels wurde im Juli 1853 in Régie begonnen und am 1. Februar 1854 von dem Accordanten Herrn Thomas Brassey aus London, welcher als renommirter Eisenbahnbauübernehmer und zugleich als grosser Kapitalist der Centralbahndirection bekannt und aus dem letztern Grunde bei den damaligen finanziellen Schwierigkeiten besonders willkommen war, und ausserdem von 3 Concurrenten das niedrigste Offert mit frs. 1700 per laufenden Meter stellte, unter Zugrundlegung des Vertrags, welcher im Anhang enthalten ist, übernommen. Die Betriebsmethode der Ausführung stand dem Unternehmer frei, ebenso die Wahl der Anzahl und Lage der Schächte, und derselbe war in Beziehung des Betriebs nur durch den Endtermin (der 1. April 1857) gebunden. In Betreff der Mauerung musste dagegen der Unternehmer ganz die Weisungen der Ingenieure der Centralbahn befolgen.

Bei dem Régiebau wurde die sogenannte »deutsche Methode« mittelst Seitenstollen und Kernbau angewendet; der Unternehmer gieng aber sogleich auf das »englische System« über, welches in den nächsten Capiteln näher beschrieben werden wird.

Ausser den beiden Mündungen suchte der Unternehmer auch von 3 Schächten aus die Arbeiten zu betreiben, deren Lage aus dem geologischen Profil näher zu sehen ist.

Die Entfernung des Schachts Nro. 1 von der Südseite beträgt 3422 Fuss, die des Schachts Nro. 3 von der Nordseite 1516 Fuss, der Schacht Nro. 2 war von Nro. 1 1663 Fuss und von Nro. 3 1718 Fmss entfernt. Die Wahl dreier Schächte war für den gegebenen Termin, wie durch den fernern Beschrieb dargethan wird, vollkommen ausreichend, und die Lage derselben schien dem zu durchbrechenden Terrain gemäss zweckmässig.

Die Schächte wurden im Februar begonnen, für das Abteufen derselben war die Arbeit in drei Schichten eingetheilt. Das Vortreiben der beidseitigen Stollen von der Sohle des Schachts aus, worauf es besonders ankam, wie im nächsten Kapitel gezeigt werden wird, geschah in 2 Arbeitsschichten. Die Arbeit geschieht in 2, 3, 4 Schichten, wenn die Arbeiter innerhalb 24 Stunden 12, 8, 6 Stunden thätig sind. Bei der ersten Arbeitsart werden 2 Ruhestunden eingelegt, bei der zweiten ½ Stunde, bei der dritten, die nur für den Betrieb des untern Stollen angeordnet war, wechselten die Arbeitsgruppen alle 3 Stunden, so dass die Schicht mit Einrechnung einer 3stündigen Ruhezeit für jede Gruppe 9 Stunden dauerte. Die meisten Arbeiten wurden in 2 Schichten ausgeführt, für welche der Wechsel um 6 Uhr Morgens und Abends zu jeder Jahreszeit Statt fand.

Wenn wir nun zu dem Geschäftsgang selbst übergehen, so war auf der Südseite das für den Fortschritt grösstentheils günstige Terrain der Mergel- und Opalinusthone zu durchbrechen, und man musste hier nur darauf bedacht sein, die Ventilation gut zu unterhalten. Die Abteufung des Schachtes Nro. 1 geschah unter den günstigsten Verhältnissen, indem derselbe mit Ausnahme des untern Eisenrogensteins und des Liaskalks in die leicht zu bebauenden Sandmergel des Rogensteins und in die Liasmergel fiel, und deshalb nur auf der Grenze der härteren Gesteinsarten etwas Wasser aus dem Gebirge aufnahm.

Da ferner von der Sohle des Schachtes aus in südlicher Richtung der Lias und nördlich zunächst der Keuper zu durchbrechen war, so konnten vom Schacht Nro. 1 aus 1570 laufende Fuss Stollen getrieben werden, bis man sich am 23. November 1855 mit der Südseite vereinigte.

Der Schacht Nro. 2 gestaltete sich anfänglich in den Keupermergeln günstig, bis man mit dem October 1854 in den Dolomit- und Gypsbänken der Lettenkohle Wasseradern in solcher Quantität anschnitt, dass der Schachtbau beträchtlich erschwert wurde. Der Unternehmer setzte die Arbeiten noch einige Zeit fort, in der Hoffnung, dass ein Reservoir vorhanden sei, in welchem eine allmähliche Entleerung erfolgen werde. Als aber der Wasserandrang derselbe blieb und bei mittlerer Regenmenge circa 400 Kubikfuss per Stunde betrug, stellte er den Schacht Mitte October ein, indem die Arbeiten auf allen übrigen Punkten des Tunnels einen erwünschten Fortschritt gestatteten. Da aber schon im Monat November 1854 auf der Nordseite wie im Schachte Nro. 3 die auftretenden Wasser den Fortschritt sehr verringerten, so sah sich Herr Brassey veranlasst, im April 1855 die Arbeiten im Schacht Nro. 2 wieder aufzunehmen, indem er das Wasser durch Backsteinausmauerung im Schachte zurückzustauen versuchte. Das Gebirge zeigte sich aber nicht solid genug, um einen wasserdichten Anschluss des Backsteinringes zu gestatten. Im September 1855 stellte der Unternehmer den Schacht Nro. 2 gänzlich ein, indem man annehmen musste, dass bei grösserer Tiefe auch der Wasserandrang zunehme, so dass es nicht mehr möglich wäre, ohne Aufstellung einer grösseren als der zu den Schächten bestimmten Dampfmaschinen von 30 Pferdekräften, die Arbeit fortzusetzen. Ausserdem hatte um diese Zeit Herr Bartlett, Ingenieur des Herrn Brassey bei der Victor Emanuelbahn eine Bohrmaschine, deren Motor aus einer kleinen Dampfmaschine von 3 Pferdekräften bestand, construiert; das Modell derselben lieferte im Freien sehr günstige Resultate, und man hoffte, die in Konstruktion begriffene Maschine nach einigen Monaten anwenden zu können.

Im Schachte Nro. 3 nahmen die Arbeiten der Härte des zu durchbrechenden Materials gemäss einen günstigen Fortgang, bis man im November 1854 in einer Tiefe von 370 Fuss die beträchtliche Wassermasse von durchschnittlich 600 Kubikfuss per Stunde anschnitt, so dass der Fortschritt nur sehr gering war.

Unter diesen ungünstigen Verhältnissen wurde das Abteufen bis auf die Höhe des Firststollens fortgesetzt und dieser selbst noch auf beiden Seiten zusammen 100 Fuss vorgetrieben. Die Kosten der Wasserförderung schienen aber dem Unternehmer ausser Verhältniss mit den Leistungen zu sein, wesshalb er mit Anfang September 1855 die Arbeit vom Schachte Nro. 3 aus einstellte, indem er auf einen günstigen Effect der in den Stollen zu verwendenden Bohrmaschine rechnete.

Im Monat Februar 1856 langte nun die Bohrmaschine an, welche zwar, wie schon erwähnt, im Freien vorthellhaft arbeitete, im Tunnelstollen aber wegen des erzeugten Rauchs und der Hitze nicht angewendet werden konnte. Man war also für den Stollenbau nur auf zwei Angriffspunkte beschränkt und darauf angewiesen, bei denselben die grösste Kraft zu entwickeln, wesshalb die Stollenarbeit in 4 Schichten eingetheilt und die kräftigsten Mineurs verwendet wurden. Nachdem man ferner die Erfahrung gemacht hatte, dass der Wasserspiegel im Schachte Nro. 3 sich in Folge des Fortschritts von der Nordseite aus gesenkt hatte und daraus auf einen geringeren Wasserandrang schloss, eröffnete man die Arbeit im Monat Mai wieder und zwar mit ziemlichem Erfolg, indem die zu fördernde Wassermasse sich auf das Quantum von 350 Kubikfuss per Stunde vermindert hatte. Am 6. Mai 1856 wurde alsdann der Stollen zwischen der Nordseite und dem Schachte Nro. 3 durchgeschlagen.

Von der Nordseite aus bedurfte es daher eines Zeitraumes von nahezu 3 Jahren, um eine Stollenlänge von 1430 Fuss zu durchbrechen. Die Ursache dieses ungewöhnlichen Zeitaufwandes ist, wie wir aus dem geologischen Profil ersehen haben, nicht in der Härte des zu durchbrechenden Materials, sondern in den so häufig eingetretenen Störungen durch Ueberfluthungen und in der durch die ausgedehnten Wasserreservoirs verursachten höchst beschwerlichen Arbeit in dem untern Stollen zu suchen. Auf die ganze Länge, mit Ausnahme der wasserdichten Formationen, strömte nämlich allerwärts das gestaute Wasser in heftigen Adern aus den Oeffnungen des Muschelkalks, so dass der Mineur augenblicklich völlig durchnässt war. Dazu kam noch, dass der Muschelkalk auf eine Länge von circa 300 Fuss, von 6300 bis 6600, eine förmliche Breccie bildet, wo die Minen nur sehr wenig wirkten, und Brechwerkzeuge ohnedies nicht angewendet werden konnten. Erst nach völligem Abschneiden der Reservoirs concentrirte sich das Wasser an einigen Punkten.

Bewunderungswürdig war während der langen Zeit von 3 Jahren die Ausdauer der Arbeiter unter den mühevollsten Verhältnissen, welche beim Tunnelbau vorkommen können.

In Kapitel 2 haben wir bei der Beschreibung der geognostischen Verhältnisse gesehen, dass das Wasser auf der Nordseite nur gemäss des Vorrückens im Stollen sich vermehrte, und dass eine Maschine von 20 Pferdekräften genügte, um das grösste Wasserquantum auf das nördliche Portal auszupumpen. Der Uebelstand dieser Unterbrechungen lag daher nicht in der Beschwerlichkeit einer grossen Kraftentwicklung, als vielmehr in der prekären Aufstellung der Pumpvorrichtungen, indem hiebei nur den jeweiligen Bedürfnissen Genüge geleistet wurde, und immer nur sehr wenig Kraftüberschuss für weitere Wasservermehrungen übrig blieb. Dazu kam noch in der ersten Zeit die Mangelhaftigkeit der Pumpwerke selbst, welche nicht für die zu fördernde Wassermenge construirt waren.

Die Nordseite des Tunnels kam dabei dreimal in die Gefahr einer vollständigen Ueberfluthung, und man war einer grossen Last und Sorge enthoben, als am 31. October 1857 der Stollendurchschlag erfolgte, womit den äusserst beschwerlichen Arbeiten der Nordseite ein Ende gemacht wurde.

Mit dem Stollendurchbruch war man auch der lästigen Arbeit enthoben, von dem südlichen Portal aus auf eine so grosse Distanz von über 6000 Fuss, gute Luft in den Tunnel zu liefern, und die Ausmauerung konnte nun in dem grossartigsten Maassstabe eingeleitet werden, indem weder Luftmangel noch Wasseranhäufung Hindernisse darboten.

4. Die englische Tunnelbau-Methode.

Ehe wir zur speciellen Beschreibung der Miniarbeiten übergehen, ist es zweckmässig, die in Folgendem angewandten Bezeichnungen in der Bergmannssprache näher zu erklären.

Unter Stollen verstehen wir einen gangartigen Raum, der unterirdisch in das Gebirge vorgetrieben wird, der Eingang an der Oberfläche wird das Mundloch, das Ende das Ort genannt, die Decke heisst das Dach oder Firste, der Boden die Sohle. Von den Schächten aus betrieben, wird der Stollen Strecke genannt. Hat das Material, das Gebirge, nicht Consistenz genug, um von selbst sich in dem aufgeschlossenen Raum des Stollens zu erhalten, so muss es eingebaut werden.

In der Regel bildet der Querschnitt des Stollens ein Rechteck, und die zunächst an das Terrain sich anschliessenden, die Verschalung oder Verpfählung bildenden Bohlen-Dielen werden durch rechteckige, in sich stabile Zimmerungen gestützt, welche man Geviere nennt; das die Deckenverschalung sichernde Holz heisst Kopfhölz oder Kappe, welche durch die Seitenpfosten oder Ständer gehalten werden, die auf dem Sohlholz aufstehen. Entweder stossen die Bohlen, Pfähle, auf den Geviere stumpf zusammen, oder die hintern Enden, der Schwanz, der einen untergreifen die vorderen Enden, den Kopf, der zunächst vor diesen eingebracht. Diese Art des Einbaues kommt besonders bei der sogenannten Getriebezimmerung vor, bei welcher die Bohlen-Pfähle in das stets lose Gebirge eingetrieben werden, ehe man die Geviere unterstellt. Um unter die zuletzt eingetriebenen Bohlen neue anstecken zu können, muss zwischen der Kappe des Geviere und dem Kopf der erstern der nöthige Raum die Pfändung durch Keile, die Pfandkeile, freierhalten werden (siehe die Fig. 31—34).

Die Unterstützung der Verschalung oder Verpfählung eines Tunnelprofils kann entweder durch Hölzer, welche parallel der Tunnelachse sich an das Profil anschmiegen, wie beim englischen System, geschehen oder durch winkelrecht zur Tunnelachse gelegte Hölzer, die sich ebenfalls an den Umfang des Profils anschliessen und durch Holzkonstruktion gehalten werden, die in denselben Verticalebenen liegen und die Gespärre bilden; diese Art des Einbaues wird bei den übrigen Tunnelbausystemen angewandt. In beiden Fällen kreuzen sich die, die Verschalung bildenden Bohlen und die sie unterstützenden Einbauhölzer unter einem rechten Winkel.

Bei dem englischen System geschieht die Ausmauerung des ganzen Tunnelprofils in gewissen Längen von circa 8—24 Fuss, je nach dem Druck des Gebirges; eine solche zur Mauerung von den Mineurs vorbereitete Länge wird Ausbruchlänge

genannt; wird diese Ausbruchlänge von dem untern Stollen aus hergestellt, ohne sich an bereits vollendete Ausmauerung anzuschliessen, so heisst sie Aufbruchlänge. Von diesen Aufbruchlängen aus werden alsdann die Ausbruchlängen abgebaut und sogleich ausgemauert.

Wenn wir nun zur Baubeschreibung zurückkehren, so beginnen wir zunächst mit der Erklärung der englischen Tunnelbau-Methode.

Das in England gebräuchliche System beim Bau der Tunnels wurde auch am Hauensteintunnel angewandt. Dasselbe besteht darin, dass der Ausbruch im ganzen Profil des Tunnels von der First abwärts für eine gewisse Länge erstellt, ehe mit der Mauerung von den Fundamenten aus begonnen wird, und dass die Unterstützung der Bohlen, welche sich unmittelbar an das Terrain anschliessen, mittelst Rundhölzern parallel der Tunnelachse geschieht, die ausser den beiden Enden keine andere Unterstützung mehr haben. Die Länge des zur Mauerung vorbereiteten Stückes wechselt je nach der Beschaffenheit des Gebirges.

Ob nun ein unterer Stollen getrieben wird, hängt von der Gebirgsart und von der Länge des Tunnels ab. Wir werden zunächst eine Beschreibung vom Baubetrieb am Hauensteintunnel geben, und alsdann auf die in andern Verhältnissen vorzunehmenden Modifikationen übergehen.

Am Hauenstein war es von der grössten Bedeutung, mit dem untern Stollen möglichst schnell vorwärts zu schreiten, weil von dem Stollenfortschritt die Vollendung des Tunnels abhing. Nachdem nämlich der untere Stollen um einige hundert Fuss vom Portal vorgetrieben war, wurde eine Aufbruchlänge, auch blos Aufbruch genannt, hergestellt, welcher für den Ausbruch und die Ausmauerung des Tunnels zwei neue Angriffspunkte lieferte. Betrug die Stollenlänge vom ersten Aufbruch bis vor Ort wieder circa 200 Fuss, so wurde der zweite Aufbruch begonnen, wodurch man für die Exploitation des Tunnels zwei neue Angriffspunkte gewonnen hatte. Ebenso wurden der dritte, vierte und alle weiteren Aufbrüche ausgeführt. Der Ausbruch und die Ausmauerung des Tunnels waren daher immer von mehreren Stellen aus in Angriff genommen, die man nach Belieben vermehren konnte, indem man die Entfernung der Aufbrüche geringer annahm.

Nachdem der Aufbruch ausgemauert war, kamen die Mineurs wieder in denselben und stellten auf einer der beiden Seiten des Aufbruchs eine Ausbruchlänge her. Während die Maurer diese letztere ausmauerten, vollendeten die Mineurs die Ausbruchlänge auf der andern Seite des Aufbruchs; auf diese Weise wechselten Mineurs und Maurer beständig.

Zum bessern Verständniss des Vorstehenden ist in den Figuren 3 und 4 der Betrieb dargestellt. Bei A haben die Mineurs die letzte Ausbruchlänge zwischen zwei Aufbrüchen vollendet, so dass die Maurer beginnen können. Bei B ist eine andere Partie Maurer beschäftigt. Bei C arbeitet eine dritte Partie Maurer schon im Gewölbe; bei D ist eine Partie Mineurs beschäftigt, um den Maurern bei C eine neue Ausbruchlänge vorzubereiten; bei E hat eine Partie Maurer eben die Widerlager vollendet; bei F stellt eine Partie Mineurs eine neue Länge für die Maurer bei E her, und die erstern sind mit dem Ausbruch schon bis zum untern Stollen herabgelangt; bei G verkleidet eine Partie Maurer die dort als Felsen dargestellte Ausbruchlänge, während die Mineurs bei H auf der andern Seite der schon ausgemauerten eine neue Ausbruchlänge abtreiben.

Hienach ist ersichtlich, dass die Ausmauerung sehr rasch hergestellt werden kann, wenn der untere Stollen getrieben ist; es hängt die Bauzeit nur davon ab, die Aufbrüche einander nahe genug zu rücken. Es kann natürlich nur eine gewisse Anzahl zu gleicher Zeit in Betrieb sein, weil der Zeit entsprechend eine Vereinigung zwischen denselben Statt finden muss. Da man nun mittelst der Aufbrüche in jedem Baugrunde die Mauerung schneller ausführen kann, als der Stollen vorwärts schreitet, so kann der letztere auf eine bedeutende Länge schon erstellt sein, ehe man mit der Ausmauerung beginnt; es lässt sich alsdann nach den verschiedenen Gebirgsformationen berechnen, in wie viel Aufbrüchen die Mauerung betrieben werden muss, um dieselbe auf einen gegebenen Zeitpunkt zu vollenden. Man sucht immer die Anzahl derselben möglichst gering anzunehmen, weil ihre Erstellung theurer zu stehen kommt als die der Ausbruchlängen.

Am Hauensteintunnel war die grösste Anzahl der von der Südseite zu gleicher Zeit betriebenen Aufbrüche 7, im Ganzen wurden 28 Aufbrüche angewendet, deren letzte einander näher gerückt wurden. Da die Maurer für eine gewisse Länge nahezu immer dieselbe Zeit nöthig haben, welcherlei Art auch die Gebirgsart sei, so muss zur Erhaltung eines regelmässigen Betriebs in den verschiedenen Aufbrüchen die Anzahl der Hand in Hand arbeitenden Mineurs und Maurer regulirt werden.

Ehe man sich von der Südseite aus mit dem Schacht Nro. 1 vereinigt hatte, herrschte Luftmangel, so dass die Verwendung vieler Arbeiter in Aufbrüchen sehr unvorthellhaft gewesen wäre; man benutzte daher die gute Luft hauptsächlich für den Stollenbau, und war auch mit dem letztern den Ausbrüchen um 2500 Fuss voraus als die Vereinigung mit dem Schacht erfolgte. Nach Verlauf von 6 Monaten war aber der Stollen von der Mauerung bis auf einige hundert Fuss erreicht. Die einem so ausgedehnten Tunnelbetrieb entsprechende Förderungsart ist aus Fig. 5 zu ersehen, wo dargestellt ist, wie der Transport von gewonnenem Schutt und den Maurermaterialien Hand in Hand gehen muss.

Es ist einleuchtend, dass von dem Fortschritt des Stollens auch die Vollendung des Tunnels abhing, und dass es geboten war, den erstern mit äusserster Energie zu betreiben.

Beim Hauensteintunnel, sowie bei allen Tunnels, wo der Betrieb der Ausbruch- und Ausmauerungsarbeiten, ausser an den durch die Tunnellingänge und den von etwaigen Schächten gebotenen Angriffspunkten, auch noch an weitem Stellen eingerichtet werden muss, oder mit andern Worten, bei allen Tunnels, die in möglichst kurzer Zeit ausgeführt werden sollen, bildet der untere Stollen den hauptsächlichsten Baubestandtheil; denn ein Stollen kann selbst im härtesten Gebirge immer rascher betrieben werden als der Ausbruch des ganzen Tunnelprofils. Ist man dagegen in Betreff der Zeit nicht beschränkt, so kann der untere Stollen auch unterbleiben und die Arbeit reduziert sich alsdann auf nur eine Angriffsstelle in jeder Richtung. Dieser Fall tritt in kurzen Tunnels mit hartem Gestein ein, wo das Treiben eines Stollens sehr kostspielig ist.

Allgemein kezeichnend für das englische Tunnelbausystem ist daher die Anwendung eines untern Stollens nicht, in den meisten Fällen bildet derselbe jedoch einen Hauptbestandtheil der Betriebsmethode.

In Vorstehendem haben wir den allgemeinen Gang des englischen Systems angegeben, die Beschreibung der einzelnen Arbeitsgattungen wird in den nächsten Kapiteln vorgeführt werden.

5. Stollenbau.

Aus dem vorhergehenden Kapitel haben wir ersehen, dass der Bau eines untern Stollens bei den meisten Tunnels aus Rücksichten der Zeitgewinnung, des Wasserablaufs, der Ventilation und der Materialförderung nöthig ist. Von der Ansicht, einen Stollen zu bauen, um sich der Tunnelrichtung zu versichern (Richtungsstollen), ist man in neuerer Zeit abgekommen, seit die Wissenschaft eine solche Vorsichtsmassregel überflüssig gemacht hat. — Was die Angabe der Richtung am Hauenstein anbelangt, so wurden in dieser Beziehung wohl wenige Tunnel unter erschwerten Verhältnissen ausgeführt, indem auf der Südseite eine Länge von 6000 Fuss mit Hilfe der Richtungslinie von einer Seite her und der Controlle durch den Schacht Nro. 1 erstellt wurde.

Es wird nicht ohne Interesse sein, hierauf etwas näher einzugehen.

Nachdem die Tunnelrichtung durch Signale an geeigneten Punkten an der Oberfläche bezeichnet war, wurde von beiden Mündungen aus durch hölzerne Signale, deren Unveränderlichkeit jederzeit durch festgemauerte Signalsteine controllirt werden konnte, die Richtung bestimmt. Der Standpunkt für den Theodoliten war auf beiden Seiten des Tunnels einige Hundert Fuss von den Portalen entfernt. Die Signale an der Oberfläche innerhalb des Tunnelgebiets konnten wegen der Steilheit der Gebirgsabhänge nicht über 900 Fuss von den Tunneleingängen errichtet werden, deshalb waren rückwärts derselben in Entfernungen von circa 2500 Fuss in den Thalsohlen noch Controllsingale aufgestellt, die zugleich zur Justirung des Instruments benutzt werden konnten. In reiner Atmosphäre ist es nun eine leichte Arbeit, mit einem guten Instrumente zu operiren; in einem Tunnel verursacht aber die dichte Luft insofern Hindernisse, als man nur auf kurze Distanzen das Licht deutlich sehen kann und deshalb genöthigt ist, auf grössere Entfernungen mehrere Stationen anzunehmen. Diess war besonders auf der Südseite der Fall, weil dort des bedeutenden Gefälles wegen die dicke Atmosphäre selbst durch Tage lange Aussetzung der Arbeit und kräftiger Ventilation nicht vollständig aus dem Tunnel entfernt werden konnte. Die Unsicherheit lag hier in der Verlängerung der Richtung durch oft Umschlagen des Fernrohrs. Von den Schächten aus musste die Richtung durch eine Boussole bestimmt werden. Zu diesem Zweck wurde die Abweichung der Magnetnadel von der Richtungslinie an der Oberfläche gemessen, welche 9° 58' westlich betrug, und durch Senkel auf der Tunnelsohle übertragen. Mittelst zweier Senkel von 12 Pfund Gewicht wurde die Richtung für die Orientirung der Boussole auf der Sohle bestimmt, und dabei alles Eisen auf 60 Fuss Weite entfernt. Um die Senkel zur Ruhe zu bringen, liess man sie in Gefässen, mit Wasser angefüllt, spielen, dessen Oberfläche noch mit Holzsplitter überdeckt war. Mittelst der Boussole von 8 Zoll Durchmesser wurde vom Schachte Nro. 1 aus die Richtung für den Stollenbau nach beiden Seiten auf je 800 Fuss bestimmt, und als man sich mit der Südseite vereinigte, ergab sich eine Differenz in der Stollenaxe von nur 4 Zollen. Vom Schachte aus wurden ganz in der Nähe desselben nur 130 Fuss Gewölbe hergestellt, so dass der Fehler dort nur 6 Linien betrug. Die Punkte für die Richtung wurden wo möglich im Felsgrund angegeben, weil sowohl die Einbauhölzer im Stollen als das ausgeführte Mauerwerk einer Bewegung ausgesetzt sind.

Hinter die Senkelschnüre bei der Richtungsbestimmung werden am besten durch Reflectoren concentrirte Lichter gehalten, damit sie der Beleuchtung des Kreuzfadens am Fernrohr noch dominiren.

Was die Höhenbestimmung von den Schächten aus betrifft, so wurde sie mittelst hölzernen Gestängen von der Oberfläche auf die Tunnelsohle übertragen; die einzelnen Stäbe wurden auf solide Art an einander gehakt und die ganze Verbindung, deren Länge gemessen wurde, im Schachte aufgehängt. Bei der Vereinigung der Südseite mit dem Schachte ergab sich eine Höhendifferenz von 15 Linien.

Im Ganzen wurden die geometrischen Arbeiten mit grosser Pünktlichkeit vorgenommen. Es zeigte sich beim Durchbruch des Tunnels in Betreff der Richtung und Höhe, eine Differenz von resp. nur 10 und 8 Linien.

Geheh wir nun zum Stollenbau selbst über, so ist derselbe, wie überhaupt der Tunnelbau, in Felsgrund am einfachsten, indem es hiebei hauptsächlich auf Kraftäusserung beim Bohren und auf zweckmässige Bestimmung der Lage und Dimensionen der Minen ankommt. Wenn es sich daher darum handelt, mit möglichster Beschleunigung den Stollen zu betreiben, so wird man sich der kräftigsten Mineurs bedienen und ausserdem die Dauer ihrer Arbeitszeit beschränken, damit immer frische Kräfte thätig sind. Man wird deshalb zweckmässig die Arbeit in 4 Schichten betreiben, wie es am Hauensteintunnel war. Ausser dem möglichsten Kraftaufwand handelt es sich aber auch noch um die Wahl der günstigsten Dimensionen des Stollens. Wird nämlich der Stollen im Felsgrund zu enge getrieben, so ist die Spannung des Gebirges zu gross, als dass die Minen gute Wirkung hervorbringen könnten. Wird er zu weit angelegt, so vergrössert sich das Volumen in höherm Maasse als mehr Arbeitskräfte verwendet werden können. Ein Querschnitt von 9 Fuss Weite und 8 Fuss Höhe, wo 3 Bohrer neben einander arbeiten können, erscheint nun als die für den Fortschritt geeignetste Dimension. In weicherem Material, das mit dem Pickel bearbeitet werden kann, sind die für den Fortschritt günstigsten Dimensionen 6 Fuss im Quadrat, wo 2 Mann das Abpickeln und den Einbau vor Ort besorgen. Es bedarf wohl kaum erwähnt zu werden, dass im Interesse des Fortschritts das Bohren im Stollen zweimännig geschieht, d. h. dass ein Mann den Bohrer und der zweite das Fäustel führt, und dass diese letztere angestählt und die Köpfe der Bohrer von Eisen sein müssen. Findet das Umgekehrte Statt, so wird zwar an Eisen und Reparatur etwas erspart; durch die Höhlungen, welche alsdann die Fäustel bekommen, verliert aber der Schlag, wenn er nicht ganz sicher geführt wird, an Kraft. Am Hauensteintunnel wurde nie einmännig gebohrt. In den Ausbrüchen bediente man sich dagegen häufig der Stossbohrer.

Die Dimensionen des untern Stollens anbelangend, so war hier die Weite durch diejenigen der Transportwagen und Ventilationsröhre, ausser welchen noch ein Durchpass für Personen übrig bleiben musste, und die Höhe durch diejenige der geladenen Wagen bedingt. Die lichte Stollenweite betrug auf der Sohle demnach 9 Fuss und die lichte Höhe 8 Fuss.

Was nun den Einbau der Stollen betrifft, so ist entweder gar kein Holz oder nur eine Kappe, oder eine Kappe mit 2 Seitenpfosten ohne seitliche Verschalung, oder eine Kappe mit Pfosten und seitlicher Verschalung nöthig, je nach der Gebirgsbeschaffenheit (Fig. 6 bis 9).

Ein Sohlholz wurde am Hauenstein nie angewandt; dagegen erhalten die Seitenpfosten, die mit ihrem Fuss auf Bohlenstücken aufstehen, gegen die Tunnelachse zu einen kleinen Anlauf und werden gegen ein Abgleiten von der Kappe durch Hackennägel, die in letztere eingeschlagen werden, gesichert. Die Pfosten erhalten am obren Ende eine Aushöhlung, um der

Kappe eine bessere Auflage zu geben; gegen ein seitliches Abgleiten desselben werden nöthigen Falls, wie schon erwähnt, auch Hackennägel angewandt. Man konnte daher zu den Stollengeviere lauter Rundhölzer verwenden, die von den Mineurs passend abgesägt, zugehauen und gestellt werden. Die Geviere werden durch untergenagelte Bohlen zusammengehalten, und in schwierigem Grunde auch noch verstrebt. Die seitliche Verspannung der Kappen an das Gebirge geschieht durch Keile. Die durch die Fig. 6 bis 9 dargestellte Einbauungsart setzt einen Baugrund voraus, wo die Geviere und die Verschalung erst nach der Entfernung des Materials im ganzen Profil eingesetzt werden. Die Bohlen können deshalb stumpf zusammengestossen werden, oder sich übergreifen, wenn das letztere nothwendig erscheint.

Bei sehr losem Material müssen aber zur Sicherung der Decke und der Wände in der Regel die Bohlen gleichzeitig mit der Entfernung des Schuttes sorgfältig eingebracht werden. In Fig. 10 bis 12 ist ein Verfahren dargestellt, das im losen, mit Wasser angefüllten, untern Dolomit bei 7000 zur Anwendung kam. Zugleich war es dort wegen des enormen Gebirgsdruckes nöthig, den Stollen auf eine lichte Weite von $4\frac{1}{2}$ Fuss und eine lichte Höhe von 6 Fuss zu reduzieren, um sich gegen Einbrüche zu sichern. Die Fig. 10, 11 und 12 stellen den Arbeitsgang in 3 Situationen dar, bei Fig. 10 a, b, c, wo a einen verticalen Querschnitt, b einen Längenschnitt, c einen Horizontalschnitt bezeichnet, ist das letzte Geviere eingebracht, und die Stirne vor Ort eingeschalt. Das weitere Vortreiben des Stollens besteht nun darin, dass im First neue Bohlen angesteckt und um die Entfernung der Geviere vorgetrieben werden; gleichzeitig werden die paar obersten Bohlen der Brust entfernt, so dass das Gebirge anfließen kann. Damit aber die angesteckten Bohlen unter dem auf ihnen lastenden Druck nicht brechen, wird sobald als möglich das Kopfholz für das nächste Geviere eingebracht, das an den beiden Enden durch Pföstchen q provisorisch unterstützt wird (Fig. 11 a, b und c). Diese dienen zugleich als Anhaltspunkte für den möglichst raschen Verschluss des aufgeschlossenen Theils der Brust und der Seitenwände. Auf diese Weise ergibt sich von selbst ein Abbau des Stollens in 2 Etagen. Für den Abbau der untern Etage dürfen nun die Pföstchen q so lange nicht entfernt werden, bis das Kopfholz auf eine passende Weise in der Mitte unterstützt ist.

Bei Fig. 12 ist nun das weitere dessfalls nothwendige Verfahren gezeigt. Es werden nämlich provisorische Bohlen in Dreiecksform aufgestellt und die untere Etage in Form eines Dreiecks hergestellt. Alsdann ist es möglich, einen provisorischen Mittelpfosten p' aufzustellen und die Seitenpföstchen q wegzunehmen und die untere Etage in Rechtecksform zu vollenden. Der Mittelpfosten p' hat ausserdem, dass er die Kappe bis zur Unterstützung mittelst der Seitenpfosten trägt, besonders noch den Zweck, für die Bohlen, welche die Brust sichern, als Anhaltspunkt zu dienen. Es werden nämlich zum Einbau der Brust 2 Reihen Bohlen angewendet, die sich an dem Mittelpfosten übergreifen und an denselben anlehnen. Dieser letztere darf daher erst entfernt werden, wenn das nächste Geviere eingebaut ist. Ebenso ist es erst alsdann möglich, die Sohlswellen und auf diese die definitiven Seitenpfosten einzubringen. Die Sohlswellen wurden am Hauenstein weggelassen; der Stollen senkte sich aber um $2\frac{1}{2}$ Fuss, wesshalb die Anwendung derselben zu empfehlen ist.

Damit das ausströmende Wasser das flüssig gewordene Material nicht mit fortreissen konnte, wurden alle Fugen gut mit Stroh ausgestopft. Die Arbeit in solch schwierigem Grund muss mit äusserster Vorsicht von den besten Mineurs ausgeführt werden, indem sehr leicht ein Auslaufen des Materials in den Stollen und in Folge davon die in ihren Wirkungen so nachtheiligen Höhlungen und Einstürze im Gebirge entstehen könnten. Einer Stollenlänge von 60 Fuss in weichem, jedoch nicht durchnässtem Dolomit drohte der Einsturz schon nach einer Stunde, nachdem man den Dolomitschlamm angeschnitten hatte und nur der eiligsten Kraftanstrengung gelang es, den Einsturz zu verhindern. Obgleich diese Arbeit besonders wegen des bedeutenden Wasserandranges mit grösster Aufmerksamkeit auszuführen war, so konnte per 24 Stunden doch ein Fortschritt von 6 Fuss erzielt werden. Für die geringe Stollenweite wurden 10 und 11 zöllige Kappen verwendet, und die Geviere von Mitte zu Mitte 2,5 Fuss weit aus einander gestellt und doch kamen mehrere Brüche vor, so dass Zwischengeviere eingezogen werden mussten. Der auf diese Weise getriebene enge Stollen wurde erst nach der Entwässerung des Gebirges auf die normale Weite gebracht.

Welche Art von Einbau man zu wählen hat, erkennt der Praktiker sogleich am Gebirge. Hiebei muss man wohl berücksichtigen, dass thonige und besonders thonig-sandige Gebirgsarten, wie z. B. Liasschiefer, durch den bei dem Stollen gewöhnlich längere Zeit einwirkenden Einfluss der Atmosphäre bedeutend aufschwellen. Man hat deshalb zum Voraus den Einbau stark genug und den Stollen höher als gewöhnlich anzulegen, um nicht in den Fall zu kommen, denselben umbauen zu müssen. — Die Beobachtungen über das Verhalten des Materials im untern Stollen sind für den spätern Einbau beim Ausbruch und die anzuwendende Mauerstärke bei der Mauerung von grosser Bedeutung; denn wenn auch ein Material, z. B. Opalinuston, ausschliesslich mit Pulver bewältigt werden muss, so bedarf er doch einer stärkeren Ausmauerung als der Salzthon, der leicht mit dem Pickel gewonnen werden kann. Bei Felsgrund geht man mit der Sohle des untern Stollens bis auf die Planiehöhe herab, in thonigem Gebirge bleibt man aber circa $1\frac{1}{2}$ Fuss darüber, damit das Gebirgswasser das Terrain in der Tiefe des Planums nicht auflöst und letzteres dadurch nicht beschädigt wird.

Die monatlichen Fortschritte im untern Stollen sind in das geologische Profil eingezeichnet. Hiebei muss aber berücksichtigt werden, dass nur die Südseite einen Massstab für die Arbeit in den verschiedenen Materialien abgeben kann, weil auf der Nordseite die Wasseranhäufungen den Fortschritt hinderten.

Bis zum Anschneiden des Muschelkalks bei 4600 wurde auf der Südseite in 3 Schichten, von da an aber in 4 Schichten gearbeitet. Es muss hiebei bemerkt werden, dass Aussetzungen der Arbeit nur dann vorkamen, wenn geometrische Operationen mit dem Theodoliten vorgenommen wurden, was jeden Monat nach dem Zahltag der Arbeiter geschah.

Für vierschichtige Arbeiten haben sich für die verschiedenen Materialien innerhalb 24 Stunden folgende Stollen-Fortschritte ergeben:

Salzthon des Muschelkalks	7 Fuss
Opalinuston, Glimmermergel des Lias	6 »
Posidonienschiefer, Keupermergel, Mergeln der Lettenkohle, unterer Muschelkalkdolomit, zerütteter Muschelkalk	4,4 »
Oberer Eisenrogenstein, oberer Muschelkalkdolomit, Keupergyps	3,2 »
Unterer Eisenrogenstein, Anhydrit des Muschelkalks	2,8 »
Dickgeschichteter Muschelkalk, vollkommen frei von Zerklüftung und ohne Wasser	2,3 »
Dito, frei von Zerklüftung, aber mit Wasser	1,5 »
Muschelkalkbreccie mit viel Wasser	0,7 »

Ausser den 6 vor Ort arbeitenden Mineurs von der besten Klasse wurden je nach Bedürfniss ein oder zwei Förderleute verwendet, welche das gewonnene Material in die Wagen luden; ebenso wurde den Mineurs das Bohrgeschirr, die Hölzer und Pulver beigeleitet.

Bei vierschichtiger Arbeit steht die grössere Leistung gegen eine dreischichtige nicht in geradem Verhältniss zu den Mehrkosten. Wenn aber ein kurzer Termin gegeben ist, so muss der Stollen mit allen möglichen Mitteln gefördert werden — wie wir gesehen haben — davon die Vollendung des Tunnels abhängt.

6. Die Herstellung von Aufbrüchen.

Nachdem der untere Stollen auf die gehörige Distanz vorgetrieben war, konnten die Aufbrüche begonnen werden, um Angriffspunkte für den Ausbruch und die Ausmauerung des Tunnelprofils zu erhalten.

Wenn es angeht, sucht man es zu vermeiden, die Aufbrüche in hartem Gebirge zu erstellen, weil wegen des unbequemen Bohrens nach aufwärts die Kosten im Vergleich zu den Ausbruchlängen noch in höherem Maasse vermehrt werden, als in weichem Baugrund. Bei grosser Ausdehnung des Felsgrundes ist diese Inconvenienz aber gewöhnlich nicht zu ändern.

Die Herstellung der Aufbrüche in Felsgrund ist sehr einfach. Wenn man auf Bockgerüsten (Fig. 13 a und b) den Felsen über der Stollendecke auf Mannshöhe ausgesprengt hat, so wird der Stollen eingebaut (Fig. 14 a und b), um die Passage in demselben nicht mehr zu stören. Die losgeschossenen Felsstücke dienen dann als Standpunkt für die Mineurs, und wenn die Anhäufung über dem Gerüste zu gross ist, so dass das Arbeiten unbequem wird, so wird der Ueberfluss durch die an dem Dielboden angebrachte Oeffnung in bereit gehaltene Wagen unter demselben entfernt. Nachdem der Aufbruch vollendet und zu beiden Seiten der obere Stollen als Angriffspunkt für die anstossenden Ausbruchlängen eröffnet ist, wird das Gerüste geleert und entfernt, weil für die Ausbruchlängen keine Richtung nöthig ist.

Gehen wir nun zu den Aufbrüchen in weichem Baugrunde über, so erfordert es in schwierigem Grund die grösste Vorsicht, um Einstürze zu vermeiden, welche auf grössere Erstreckung hin die Arbeit gefährden und sehr vertheuern. In den meisten Fällen ist es möglich, Stellen zu wählen, wo das Material sich auf einige Quadratfuss frei erhält und wir nehmen hier auch solchen Baugrund an. Die Weite des Aufbruchs beträgt in weichem Grund nicht über 6 Fuss; die Länge desselben richtet sich ganz nach der Druckäusserung des Gebirges und ist durch die Länge der Ausbrüche bestimmt, weil, wie weiter unten gezeigt wird, die Hölzer zum Einbau der Aufbrüche auch zu den Ausbrüchen wieder verwendet werden. Bei Felsgrund, wo kein Einbau nöthig ist, werden der Ersparniss wegen die Aufbrüche möglichst kurz gemacht. Die Art und Weise, wie der Einbau des Aufbruchs zweckmässig vorgenommen wird, ist in Fig. 15 a und b zu ersehen. Ist man mit dem Aufbruch in der Tunnelfirst angelangt, so wird die Decke durch die Verschalung, die auf den Stollenkappen k ruht, abgeschlossen und der obere Stollen begonnen. Ist dieser soweit hergestellt, dass einer oder zwei Längsbalken als Barren b unterzogen werden können, so hat diess so bald als möglich zu geschehen. Bei dem Aufziehen dieser Barren müssen natürlich die hindernden Spannriegel entfernt werden.

Nachdem der mittlere oder die zwei mittleren Kronbarren eingebracht sind, welche durch die Pfosten q gehalten werden, wird der Aufbruch nach beiden Seiten zu erweitert (Fig. 16 a und b). Zu diesem Behufe wird der Schutt mit dem Pickel auf circa 3 Fuss so gut als möglich parallel dem Tunnelprofil entfernt, alsdann die Barren eingelegt, die Verschalungsböhlen über denselben eingebracht und die etwa entstandenen Höhlungen hinter denselben mit Schutt ausgefüllt. Die Barren müssen so lange provisorisch gestützt werden, bis die Schwellen s eingelegt sind. An die Stelle der provisorischen Unterstützungen, die bei dem Kapitel über den Einbau der Ausbruchlängen näher erläutert werden wird, treten die Pfosten p, die auf den Schwellen s aufstehen; die beiden Stirnen des Aufbruchs werden durch Bohlen hinter den Hinterpfosten p' gehalten, worauf wir bei den Ausbrüchen zurückkommen werden; mittelst Hackennägeln werden die Pfosten p und p' an den Schwellen noch mehr befestigt. Auf die Schwellen s, die aus zwei Theilen bestehen (Fig. 17 a und b), ist nun der ganze Druck von den beiden Stirnen übertragen, welche nun ihrerseits durch die Spannhölzer m gehalten werden. Nachdem nun der Aufbruch bis auf die Sohle erweitert ist, wird mit der Mauerung sogleich begonnen, und nach Vollendung derselben die Ausbruchlängen angefangen.

7. Der Bau der Ausbruchlängen.

Allgemein ist zum Voraus zu bemerken, dass die Arbeit des Tunnelausbruchs stets von der First nach unten zu vorgenommen wird, und dass deshalb vor dem Beginn des Ausbruchs stets auf mindestens die Länge desselben ein Stollen in der Tunnelfirste getrieben werden muss. Es liegt daher nicht im Wesen des englischen Systems, einen Firststollen unabhängig von den Ausbruchlängen zu treiben, in weichem, schwierigem Baugrund ist es sogar zu vermeiden, den Firststollen länger zu betreiben, als man für die herzustellende Ausbruchlänge nöthig hat, weil ein Stollen nur Veranlassung zu Senkungen giebt, und daher durch einen längere Zeit stehenden Stollen der Gebirgsdruck bedeutend vergrössert wird. In festerem Gebirge wird dagegen ein oberer Stollen öfters getrieben, um die Ventilation zu unterstützen, oder auch um die Ausbrüche in Felsgrund, wo es keines Einbaues bedarf, mehr beschleunigen zu können.

Bei dem Bau der Ausbruchlängen muss unterschieden werden zwischen Felsgrund ohne Holzeinbau, ferner zwischen mässig festem Baugrund mit Einbau der Decke und zwischen weichem Baugrund, der eines vollständigen Einbaues bedarf.

Beim Felsgrunde ist die Arbeit einfach, indem von dem bereits vollendeten Firststollen aus nach beiden Seiten zu der Felsen ausgesprengt und je nach Bedürfniss in die in dem Stollen bereit gehaltenen Wagen geladen wird; beträgt die Wand zwischen dem untern Stollen und dem bereits ausgebrochenen Theil nur noch circa 3 Fuss, so wird (Fig. 18 a und b) eine Oeffnung durchbrochen und das Material durch diese auf die im Stollen bereitstehenden Wagen geworfen, um das ausgebrochene Material nicht alles bis an den Anfang der Ausbruchlänge transportieren zu müssen, wo gleichfalls ein Wagen steht.

Bei festem Felsgrund ist es übrigens vortheilhafter, von dem untern Stollen aus bis zur First aufwärts zu brechen. Zu diesem Zwecke wird der Stollen eingebaut und ein Schlitz durchgetrieben. Dieses Verfahren hat den Vortheil, dass der Firststollen erspart wird, der übrige Ausbruch leichter herzustellen und das Verladen in die Wagen sehr einfach ist. In Fig. 19 a und b ist zugleich die Einbauart für mässig festen Baugrund, der in der Decke einer Sicherung bedarf, dargestellt. Mit dem einen Ende liegen die Barren auf dem bereits geschlossenen Mauerwerk auf, mit dem andern ruhen sie mittelst der Pfosten p' auf der Unterlage s'. Die Füsse der Pfosten werden ausser den Hackennägeln auch noch durch dazwischen gelegte Dielstücke d in ihrer Lage erhalten.

Mit der Erweiterung des Ausbruchs wurde eine Schwelle s (Fig. 20 a und b) nöthig, auf welcher die obere Barren der Vorsicht halber nochmals durch die Pfosten p gestützt werden, weil durch eine Mine leicht ein Pfosten weggeschossen werden und der dadurch gestützte Barren herunter fallen könnte. Es ist daher zweckmässig, wenn die Kronbarren doppelt unterstützt werden. In Fig. 20 a sind der Deutlichkeit halber bloss die Pfosten p angegeben, die Hinterpfosten p' aber weggelassen. Die Schwelle s wird durch die Spannhölzer m, welche zugleich die letzten Barren sind, gegen eine Längenschiebung gehalten. Die Barren b sind durch die Spannriegel r gegenseitig verbunden, um eine Bewegung derselben zu verhindern, hauptsächlich aber um bei schwerem Baugrund die Last auszugleichen, indem durch dieselben ein förmliches Holzgewölbe hergestellt wird; sie bilden bei schwierigem Grund, wo sie auch in grösserer Anzahl angewendet werden müssen, einen Hauptbestandtheil des Einbaues, so dass sogar einer der Pfosten p weggewonnen werden kann, ohne dass der betreffende Barren fällt, wenn die Arbeit gut ausgeführt wird. Durch diese Spannriegel r wird besonders die in der First grösste Last auf die weniger belasteten Barren der Seitenwände theilweise übertragen, und diese müssen deshalb gut gestützt werden.

Die Fig. 21 a und b stellt den Einbau vor, wo das Material es nicht zulässt, einen Schlitz von dem untern Stollen bis zur First zu treiben, so dass ein oberer Stollen, jedoch ohne Einbau, getrieben werden muss.

In Fig. 22 a und b ist ein Material angenommen, wo der Einbau mittelst einer Schwelle noch geschehen kann, wo aber schon die Stirne oder »Brust« und der obere Stollen eingebaut werden muss.

Bei allen den bis jetzt betrachteten festeren Materialien erfolgt der Einbau auf die Weise, dass für die ganze Länge des Ausbruchs der Raum von einem Barren zum anderen ausgesprengt, der neue Barren eingelegt und alsdann eine neue Reihe von Bohlen hinter die Barren angelegt wird. Das Anstecken der Bohlen hinter die Barren kann also in den betrachteten Fällen nach dem Einbringen der letztern geschehen, ebenso können alle Barren und Bohlen bei dem Auswölben successive entfernt werden, ohne dass das Gebirge nachstürzt, so dass die Mauerung sich nach dem ganzen Gewölbumfang unmittelbar dem natürlichen Terrain anschliesst.

Wenn wir nun zu dem Ausbrüche in weichem, jedoch nicht völlig losem Baugrunde übergehen, so treffen wir den Firststollen für die zu erstellende Ausbruchlänge, welcher mit der vorhergehenden Länge gleichzeitig getrieben wurde, schon vollendet an. Die Fig. 23 a und b stellt die Situation nach der Ausmauerung der vorhergehenden Ausbruchlänge dar. Das Gebirge ist nun besonders in Folge der atmosphärischen Einflüsse seit dem Abbau so unzusammenhängend, dass die obere 6 Kronbalken im Verlauf der Ausmauerungsarbeiten nicht entfernt werden können, ohne Nachstürzungen befürchten zu müssen. Erst nachdem das Gewölbe geschlossen und die Kronbalken durch die Mauerchen zwischen denselben entlastet sind, werden sie zu der nächstfolgenden Ausbruchlänge nach Bedürfniss herausgezogen und verwendet. Damit das Ausziehen der Barren nicht erschwert wird, bleibt man mit der Mauerung 4 Zoll unterhalb denselben, und hat ferner darauf zu achten, dass die Mauerchen fest an die Verschalung angetrieben werden. Ausserdem bringt man die Barren in ansteigender Richtung ein, damit sie nach Lösung der Pfosten bei einem etwaigen Einschlagen das Mauerwerk nicht berühren (s. Fig. 27). Das Ziehen der Kronbarren geschieht mit Hebeisen mit Gaisfüssen — nur selten sind Winden nöthig — die man gegen das Mauerwerk anstemmt. Die von den Barren eingenommenen Höhlungen werden durch Schutt sorgfältig ausgefüllt, und damit diess satt geschehen kann, bedient man sich hölzerner Stämpfel mit genügend langem Stiel. Es wird hievon später noch die Rede sein.

Aus der Zeichnung ist zu ersehen, dass wie in den Aufbrüchen, auch in den Ausbruchlängen die Stirne oder Brust solid eingebaut ist. Anstatt dass dort zu diesem Zweck die Spannhölzer vorkommen, werden aber nur die Streben w angewandt, um die Schwellen s zu halten. Dieser Stirneinbau wird nur nach Massgabe des Fortschritts in der Ausbruchlänge überflüssig gemacht und entfernt.

In Fig. 24 a und b ist nun die Arbeit in dem Stadium dargestellt, wo die obere 6 Kronbalken bereits zu der neuen Länge verwendet, und noch 2 weitere Barren, welche vom vorhergehenden eben ausgemauerten Stück theilweise in den oberen Stollen zur Verwendung für die neue Länge parat liegen, durch die provisorischen Stützen x gehalten werden; nun muss die obere Schwelle s eingelegt und auf diese die Barren definitiv gestützt werden. Die provisorischen Pfosten q dienen als Anhaltspunkte für die Verschalung des oberen Theils der Brust. In Fig. 25 a und b ist die obere Schwelle s eingebracht und durch die Barren m gehalten.

Nun ist es möglich, die obere 8 oder 10 Barren — je nach dem Druck — durch die Hauptpfosten p definitiv zu unterstützen und damit wird erst die Sicherheit der Decke erlangt. Die Hinterpfosten p', welche der Deutlichkeit halber nur in den Längenschnitten angegeben sind, und schon vor dem Einbringen der Schwelle zur sichern Unterstützung der Barren aufgestellt wurden, haben noch den Zweck, für die Höhe vom Fuss der provisorischen Pfosten q bis zur untern Kante der Schwelle dem Druck der Brust zu begegnen. Wird nun mit dem Ausbruch weiter fortgefahren, so ist aus der Zeichnung ersichtlich, dass der auf jeder Seite unter der Schwelle eingelegte Barren durch provisorische Streben gehalten ist. Ein weiterer Barren kann nicht eingebracht werden, bis die zweite Schwelle gelegt ist. Zu diesem Behuf ist es nöthig, die obere Schwelle durch die Pfosten p' zu stützen, welche schief gestellt werden, damit die zweite Schwelle vertical auf die erste kommt; alsdann ist es möglich, die Stirne nach der Flucht der Pfosten p' zu bearbeiten, welche den weitem Zweck haben, die Stirnverschalung zu halten. Die zweite Schwelle wird alsdann eingelegt, und auf dieselbe, mittelst der vertical stehenden Pfosten p, der Druck der oberen übertragen; diese untere Schwelle verhindert auch ein Weichen der Pfosten p'.

Aehnlich wie man von der ersten auf die zweite Schwelle übergieng, wird auch der Einbau der untern Etage vorgenommen (Fig. 26 a und b). Da nun der ganze Einbau einer Ausbruchlänge auf der unbewegten Lage der Schwellen s beruht, so müssen diese ausser den Verspannungsbarren m noch durch besondere Streben w gesichert sein. Diese Streben w sind

so bald wie möglich einzubringen. Sollte der Baugrund es nöthig machen, so werden die Schwellen provisorisch, besonders die oberen, verstrebt, am einfachsten gegen die untere Schwelle der vorhergehenden Ausbrüchlinge.

Damit den Verspannungsbarren *m* durch die Bohlen der Verschalung nicht zu viel Druck auferlegt werde, so dass ein Abgleiten von den Schwellen zu befürchten wäre, so können über die Schwellen noch Hilfsbarren gelegt werden, welche einen Theil des Gebirgsdruckes übernehmen.

In weichem Material müssen nicht nur die Bohlen des Einbaues hinter den obern 6 Kronbarren eingemauert werden, sondern es hat diess wegen der zu befürchtenden Ablösungen des Materials in der Regel für einen grössern Umfang des Profils zu geschehen. Aus diesem Grunde übergreifen sich die Bohlen von unten nach oben (Fig. 23 bis 26). Wenn daher bei der Ausmauerung die Barren der Widerlager und eines Theils des Gewölbes successive entfernt werden, so verbleiben die auf dasselbe aufrührenden Bohlen doch in ihrer Lage unbewegt erhalten. Bei völlig losem Baugrund müssen die Bohlen vor dem Legen der Barren eingetrieben werden, und sie sind auch stärker zu nehmen, wesshalb sie hier Pfähle genannt werden. Das Verfahren des auf diese Weise construirten Einbaues nennen wir Verpfählungsmethode im Gegensatz zu der bisher betrachteten Anlegemethode.

Die Art des Eintreibens der Pfähle ist in Fig. 29 b in grösserem Massstabe dargestellt; *c* bezeichnet die zuletzt eingetriebene Pfähreihe, die mittelst des Pfandbrettes *v* und der Keile *k* an ihren Köfen auf dem Barren *b'* aufrufen. Nun werden die Keile *k* nach einander gelöst und die neue Pfähreihe *c'* angesteckt und in das Gebirge getrieben und dieses successive abgegraben. Damit die Pfähle *c'*, wenn sie mit ihrem Schwanz den Barren *b* verlassen, durch die auf ihren Köfen ruhende Last nicht plötzlich an die Pfähle *c* zurückprallen und brechen können, werden sie durch die Keile *y*, die nach und nach entfernt werden, von der Lage *c'* in die Lage *c''* gebracht, welche der Rundung des Tunnelprofils entspricht. Mittelst der Zugstangen *z* wird immer der letzte Barren an den vorhergehenden angehackt, damit er während der Wegnahme des Schuttes von den Pfosten *q* nicht abgleiten kann.

Die Pfandbretter *v* haben den Zweck zu verhindern, dass nach der Entfernung der Keile *k* zum Zweck des Ansteckens einer neuen Pfähreihe, der Kopf der zuletzt eingetriebenen Pfähle nicht auf den Barren herabfallen kann, und so das Anstecken neuer Pfähle unmöglich macht. Dass in Folge des Drucks auf das Pfandbrett auf einmal nicht mehr Keile hinweggenommen werden dürfen, als für das Anstecken je eines Pfahles nöthig ist, versteht sich von selbst.

Bei grösserer Annäherung der Barren *z. B.* in schwerem Material ist es für das bequeme Anstecken der Pfähle nöthig, dass die Pfändung grösser angenommen werden muss, als es die Stärke des Pfandbretts und der Pfähle zusammengenommen bedingen würde. Zur soliden Verspannung der Pfähle an das Pfandbrett werden alsdann Keile angewendet. Das Eintreiben der Pfähle erleichtert sich der Mineur besonders dadurch, dass er dieselbe nicht in winkelrechter, sondern in schiefer Lage gegen die Barren ansteckt, so dass der Schwanz der Pfähle den zweitletzten Barren nicht mehr berührt. Mit dem allmählichen Vortreiben der Pfähle geht man mit denselben auf die winkelrechte Lage über.

Es ist nun schon behauptet worden, dass bei der englischen Methode diese Verpfählungsmethode nicht möglich sei*), diese Behauptung wird aber durch die Praxis widerlegt; für das Scheitelsegment hat die Pfändung nur etwas grösser zu sein als für die Widerlager. In den Parthien des losen untern Dolomits im Hauenstein, sowie bei der Restauration des Burgdorfer Tunnels nach dem englischen System, welche im Anhang behandelt ist, musste dieses Verfahren angewendet werden; wir werden dort darauf zurückkommen.

Für den Einbau des Tunnelprofils bei sehr schwierigem Material kann man sich auch des folgenden Verfahrens bedienen, das die Eigentümlichkeiten beider Methoden enthält. Die Fig. 27 stellt den Längenschnitt einer erst von den Maurern vollendeten Ausbrüchlinge vor. Ehe nun einer der Kronbarren gezogen werden kann, muss das Gebirge, soweit es von dem über das Mauerwerk hinausragenden Kopf getragen wird, durch eine besondere Abspriessung gehalten werden (Fig. 28), alsdann können die mittleren Kronbarren gezogen und nach Bedürfniss zum Unterbauen für die nächste Länge verwendet werden.

Fig. 29 b und a stellen den Stand dar, wo drei Kronbarren herausgezogen sind und die drei übrigen noch stecken. Der Grundtypus des Abbaues besteht nun darin, dass die Verschalung ebenfalls vor den Barren eingebracht wird, die Bohlen werden aber nicht zwischen den Barren eingetrieben, wie wir es oben bei der Verpfählungsmethode bezeichnet haben, sondern auf folgende Art:

Auf die Pföstchen *q* (Fig. 29 a und Fig. 30 b), welche die Flöcklinge *f* mittragen helfen, werden kleine Dielstücke *d* gelegt, ehe sie ihre Last aufnehmen. Diese dienen als Auflager für die Bohlen *c'*, über sie hinweg werden nun Pfähle *l* in den Grund getrieben und in dem Maasse, als sie vorwärts schreiten, wird das Material entfernt. Sobald auf diese Weise unterhalb der Pfähle *l* so viel Raum frei geworden ist, dass eine Bohle *c'* unterlegt werden kann, hat diess zu geschehen. Die Pfähle werden nun von Neuem durch sogenannte Sticher von unten aus vorgeschoben, das Gebirge soweit entfernt, dass die Pfähle mit ihrem Kopf immer noch sicher aufliegen und dann eine weitere Bohle *c'* unterlegt. Diese Bohlen *c'* stützen sich nun (Fig. 30 a) mit einem Ende auf den im Firststollen vorher schon eingezogenen Barren *b*, mit dem andern Ende auf die Köpfe der Abdeckung *a*, welche das Gebirge vor Bewegung sichert. Diese Abdeckung wird durch die Pföstchen *x* an die Barren abgespriest. Es müssen immer so viel Pfähle *l* neben einander zu gleicher Zeit vorgetrieben werden, als für die Länge der Bohlen *c'* erforderlich sind. Sobald auf die Länge des Ausbruchs eine Reihe der Bohlen gelegt ist, wird der Barren eingezogen und so fortgefahren, wie es in Fig. 30 a dargestellt ist, bis alle Barren, die sich auf die oberste Schwelle stützen, eingezogen sind; von da an abwärts vermindert sich der Gebirgsdruck, so dass der Einbau nicht mehr mit dieser Vorsicht zu geschehen hat, und in der Regel die Anlegemethode angewendet werden kann.

Wir haben in dem Kapitel über Stollenbau die grosse Bedeutung entwickelt, welche der untere Stollen auf den Tunnelbau ausübt, wie er namentlich in wasserhaltigem, erweichtem Gebirge den grossen Nutzen gewährt, dass das Wasser entzogen wird, ehe der Tunnelausbruch erfolgt, und der Einbau des Tunnelprofils weniger schwierig ist als der Stollenbau. In demselben Kapitel haben wir die Methode des Stollenbaus angegeben, welche am Hauenstein bei flüssigem Material vortheilhaft angewendet wurde, führen aber in Folgendem ein sinnreiches Verfahren vor, welches in der Berliner Zeitschrift für Bauwesen (Jahrgang 1858, Seite 598) unter dem Namen »Getriebezimmerung« beschrieben ist.

*) Zeitschrift für Bauwesen von Erbkam. Berlin 1858. Seite 618.

Getriebezimmerung nennt man jene Zimmerung, bei der man die Pfähle vorher ins Gebirge treibt, sich den Umfang des künftig auszuhöhlenden Raumes also von vorneherein sichert, und die Aushöhlung selbst nur immer in einzelnen Bretterbreiten stets geschützt durch vorgesprieste Bretter, also in den kleinsten Partien vornimmt. Dem Wesen nach ist sie mit der von uns bezeichneten Verpfählungsmethode identisch, das Verfahren bei Stollenbau ist aber ein anderes.

Stellen wir uns vor (Fig. 31 a und b), dass knapp vor Ort ein Geviere, Thürstock, steht, dass die Köpfe derjenigen Pfähle, welche mit ihren Schwänzen auf dem nächst vorhergehenden Thürstock aufrufen, durch die Pfändung von dem Umfange dieses erstgenannten Thürstockes so weit entfernt gehalten sind, um die neuen Pfähle anstecken (durchstecken) zu können, und dass endlich das Ort selbst mit den Zumachebrettern fugendicht verzogen ist, so haben wir jenen Moment vor uns, wo die Arbeit aufs Neue beginnt.

Man bezeichnet dann die in Fig. 31 b im Längenschnitt ersichtlichen Geviere *d*, welche unter der Uebergreifung der Pfählenden stehen, mit dem Namen Haupt- oder Ansteckgeviere, weil hier die neuen Pfähle durch die daselbst vorhandene Pfändung vorgetrieben werden. Das Geviere *e*, welches die Mitte der Pfähle unterstützt, heisst das Mittelgeviere oder Hilfszimmer. Da die Pfähle auf dem einen Hauptgeviere knapp an der Aussenkante desselben anliegen, die Köpfe derselben Pfähle aber von der Umfangsline des andern Hauptgeviere um die Weite der Pfändung abstehen, so bildet die Verpfählung eine liegende, abgestutzte Pyramide von der Länge der Entfernung der beiden Ansteckgeviere. Um die Form dieser Pyramide gleich von vorneherein reguliren und festhalten zu können, wird die Arbeit des Vortreibens der neuen Pfähle in den beiden Ecken der Firste begonnen, und zwar mit eigens dazu hergerichteten Pfählen, die zusammen in ihren Köfen um so viel breiter sind, als das Böschungsverhältniss der Pyramide ausmacht. Zum Anfang des Abtreibens richtet sich daher der Bergmann vorerst die Ecken der Firste frei her, d. h. er rückt die Pfandkeile vom Eck fort, dass er Raum gewinnt, um den Kopf des neuen Pfahls durchstecken zu können. Da nun ein derartiges Entfernen des Pfandkeiles den jeweiligen Pfahl ohne Stütze lassen müsste, da es ferner eine Hauptbedingung ist, dass die Pfähle unter einander eine gemeinschaftliche Stütze haben müssen, ein Niedergehen eines einzelnen Pfahles nicht allein desswegen verhindert werden muss, weil durch diese entstandenen Oeffnungen das Gebirge selbst hervorbrechen könnte, sondern dieses plötzlich verursachte Durchbrechen das ganze anliegende Gebirge in Aufruhr bringen müsste, so erhalten sämtliche Pfähle eine gemeinsame, quer durchgreifende Unterfangung durch das sogenannte Pfandbrett *f* (Fig. 32 a und b).

Demnach kennzeichnet sich das Wesen der Pfändung durch Pfandblatt *f* und Pfandkeil *k*, und durch die also gebildete freie Oeffnung zum Durchstecken der neuen Pfähle.

Das Freimachen der Firstenecke besteht nun noch zum Wesentlichsten darin, dass aus dem obersten Zumachebrett (Fig. 32) so viel Holz herausgestemmt wird, als der Kopf des neuen Pfahles breit und der Pfahl selbst dick ist. In das also entblösst daliegende Gebirge werden nun die Pfahlköpfe schleunigst hineingesteckt und mittelst des Fäustels vorgetrieben. Dieses Vortreiben erfolgt je nach Umständen auf 6 bis 12 Zoll Länge, und es werden nun provisorisch die Pfähle mittelst Pfandkeile *k'* (Fig. 32 a) befestigt. Zwischen die also erlangten Eckpfähle werden nun die andern Firstenpfähle angesteckt und auf gleiche Länge vorgetrieben. Hierauf wird das oberste Zumachebrett herausgehauen und also dem Gebirge das freie Hervorquellen gestattet. Damit aber dieses Hervorbrechen stets im Zaume gehalten werden kann, müssen Strohbündel bereit liegen, mittelst deren das Ausfliessen nach Belieben gestopft wird.

Nach Massgabe des also gewonnenen freien Raumes werden nach und nach die sämtlichen Firstenpfähle und die das Eck bildenden 2 obersten Pfähle der Seitenstösse bis auf 24 und 30 Zoll, d. h. bis auf die halbe Länge eines Pfahles vorgetrieben, wobei natürlich jedesmal vor dem Treiben der den Pfahl vom Pfandblatt entfernt haltende Keil gelüftet und nach geschehenem Treiben vorgeschlagen wird.

Mit dem Entfernen des zweiten obern Zumachebrettes der Brust werden nun zugleich die nächsten Paare der obern Pfähle der Seitenstösse vorgetrieben und dergestalt wird also nach und nach die Brust um die halbe Pfahlänge vorwärts gerückt. Es versteht sich von selbst, dass in der successiven Gewinnung der neuen Brust dieselbe mit frisch vorgelegten Zumachebrettern verzogen wird. Diese neuen Zumachebretter werden an ihren Enden (Fig. 33) d. h. knapp neben den Pfählen der Seitenstösse mit Bolzen, sogenannten Sprengbolzen, gegen den zurückstehenden Ansteckthürstock abgebolzt.

Bei sehr flüssigem Schwimmsande wird es nothwendig werden, dass die freie Fläche an der entstandenen Stufe *Im no* abgedeckt werden muss, um daselbst ein Emporquellen zu verhindern. Man legt dann auf die Stufe die Stufenbretter und bolzt diese gegen ein unter die Firstenpfähle gezogenes Anlegholz ab.

Bei weiterem Vordringen (herab zu) der Pfähle der Seitenstösse entfernt man das nächste alte Ortsbrett, zieht weiter an der neuen Brust ein neues Zumachebrett ein, drückt unter successiver Wegnahme der Stufenbretter die Stufe selbst um die Breite des Ortsbrettes herab, und führt dergestalt die Arbeit bis zur Erreichung der Sohle fort. In den meisten Fällen wird es genügen, die Sohle des Stollens (Fig. 33) mit einer dichten, starken Abdeckung zu belegen, auf welche dann das Sohlholz resp. das neue Geviere gestellt wird.

Quillt aber das Gebirge in einem Masse hervor, dass die eben erwähnte Schützung der Sohle nicht mehr durchführbar ist und nicht mehr ausreicht, so muss die Stollensohle ebenso wie die Firste und die Seitenstösse abgetrieben werden.

Wir haben also den Verlauf der ganzen Arbeit so weit verfolgt, dass jener Standpunkt eingetreten ist, wo die fünf Flächen des Stollens auf die Länge des halben Pfahles mit einer Verpfählung versehen sind, d. h. der Ortsstoss auf 24 bis 30 Zoll vorgerückt ist.

Würde man aber bei dem nun erfolgten Stande des Getriebes an ein weiteres Vortreiben für die zweite Pfahlhälfte schreiten, so müsste der Fall eintreten, wo der Pfahlschwanz die Kappe des Mittelgeviere *d* (Fig. 34) verlassen würde, derselbe gewaltsam und plötzlich gegen die zwischen *a* und *b* sich befindliche, schon definitive Verpfählung anschnappen würde.

Diese bei einer solchen gefährlichen Arbeit widernatürliche Bewegung könnte nicht allein ein Brechen der Pfähle selbst im Geleite haben, es würde nicht nur das Gebirge Ausflussöffnungen genug erhalten, sondern, was die Hauptsache ist, es würde ein weiteres Vortreiben der Pfähle ganz unmöglich werden. Es müssen also die sämtlichen vorgetriebenen Pfähle bei *c* ein neues festes Aufrufen erhalten, und man stellt daher ein Mittelgeviere *d'* vor Ort (Fig. 34), auf welches die Abspriessung der Brust vom vorhergehenden Hauptgeviere übertragen wird. Durch dieses Mittelgeviere haben die neu angesteckten Pfähle nicht nur eine solide Abspriessung wieder erhalten, sondern eine neue sichere Führung, die in der Getriebe-

zimmerung unter allen Umständen aufrecht erhalten werden muss. Hierbei ist es nöthig, die Pfähle an die Rahmhölzer des Mittelgeviere anzuheben, um sie in dasselbe Niveau zu bringen.

Die weitere Vortreibung der zweiten Pfahlänge erfolgt nun ganz wie die der ersten. Es wird jedesmal derjenige Keil gelüftet, welcher den zu treibenden Pfahl an das Mittelgeviere befestigt, und nach erfolgtem Treiben wird dieser Keil wieder angezogen. Die Hinweglassung eines Pfahlblattes beim Mittelgeviere versteht sich von selbst.

Ist nun auch die zweite Pfahlänge vorgetrieben, so wird vor Ort das neue Hauptgeviere eingebaut. Diese Ansteckgeviere müssen unter einander genau dieselben Aussendimensionen haben, und der übrig bleibende Raum wird dann als Pfändung behandelt. Nach sorgfältig vorgenommener Aufstellung des Hauptgeviere ist ein Getriebe beendet, und es wiederholt sich nun stets aufs Neue die eben angegebene Manipulation des Ausbaues der Stollen.

Dieses Verfahren für den Stollenbau, welches in den schlesischen Bergwerken bei Triebensand zur Anwendung gekommen ist, verdient in völlig losem, flüssigem Baugrund wegen seiner Solidität Nachahmung.

Kehren wir wieder zu den Tunnelausbrüchen zurück, so müssen bei sehr schwierigem Grund, besonders zur Sicherung der Brust, drei Schwellen angewandt werden, weil die Wände von einer Schwelle zur andern im Vergleich zu dem Drucke zu hoch werden; ebenso muss die Zahl der Streben für die Schwellen vermehrt, und die Spannriegel zwischen den Barren, die hier, wie in Kapitel 7 schon erwähnt, einen wesentlichen Bestandtheil des Einbaues ausmachen, in genügender Anzahl verwendet werden.

Die Länge der Ausbrüche wird ganz durch das Material bestimmt. Es liegt natürlich im Interesse der Wohlfeilheit des Baues, die Ausbrüche möglichst lang zu machen; dagegen darf die Sicherheit nicht dadurch gefährdet werden. Im Hauenstein wechselten sie, wo Einbau nöthig war, zwischen 14 und 23 Fuss. Die Anwendung von drei Schwellen ist nie nöthig gewesen. Da die Barren stets wieder benutzt werden, bis sie in Folge ihrer Abnutzung ihre Tragfähigkeit verloren haben, so erhalten die Ausbrüche alle dieselbe Länge. Auch die Pfosten können grösstentheils immer wieder verwendet werden.

Was die Dimensionen der Hölzer anbelangt, so wechselte die Barrenstärke am Hauenstein von 9' bis 14" Durchmesser je nach dem Baugrund; die Schwellen, welche das einzige beschlagene Holz für den Einbau sind, betragen von 10' bis 12" im Quadrat; die Pfosten hatten von 5" bis 10" Durchmesser; zur Verschalung wurden einzöllige Bohlen verwendet.

Die Entfernung der Barren von Mitte zu Mitte betrug in schwierigem Grund circa 3,5 Fuss, wodurch sich eine Länge für die Verschalungsbohlen von annähernd 4,5 Fuss ergibt.

Zum Abfeuern der Minen wurden fast ausschliesslich Zündschnüre benutzt. In den Lias- und Keuperthonen verwendete man eine Zeit lang auch sogenannte Raketen (Papierröhren, die auf der innern Seite mit einem Brei von pulverisirtem Schiesspulver bestrichen waren). Die schnelle Entladung der Minen macht aber den Gebrauch derselben gefährlich und man kam bald davon wieder ab. In nassem Terrain muss das Pulver in wasserdichte Säckchen gefüllt werden (Patronen). Durch Anwendung dieser Patronen wird aber die Wirkung der Minen bedeutend geschwächt. Man sucht desshalb in dem Bohrloch das Wasser durch eingestampften Lehm ferne zu halten, wodurch die Patronen überflüssig gemacht werden.

8. Die Ausmauerung.

Die Ausführung der Mauerung der Aufbruch- und Ausbruchlängen geschieht in 2 Abtheilungen, nämlich Aufmauerung der Fundamente und Widerlager und Ausführung des Gewölbes.

Der untere Theil wird nach Profillehren, der obere auf Lehrbögen erstellt. In Felsgrund oder bei sehr schwerem Baugrunde werden die Widerlager mittelst eines Bockes versetzt, bei mässig festem Material wird die Rolle zum Aufziehen der Steine an einer der Barren befestigt (Fig. 35 a und b). Die Maurermaterialien und die Hebevorrichtungen werden seitlich der Bahn in der in Ausführung begriffenen Länge placirt. Ist die Mauerung auf die Höhe der Profillehren, welche von dem Gewölbe noch circa 3 Fuss enthalten, vorgeschritten, so werden die Lehrbögen gestellt, welche aus dem vorhin angegebenen Grunde keine Halbkreise, sondern nur Kreisabschnitte von circa 10 Fuss Pfeilhöhe sind (Fig. 36 a und b). Diese Höhe der Lehrbögen ist die geeignetste, weil man mit 2 Maurerrüstungen ausreicht und doch nur wenig Seitendruck am Fuss der Lehrbögen vorhanden ist. Mit dem allmählichen Fortschritt der Mauerung werden die Schalldielen aufgelegt, welche zur gleichmässigen Vertheilung des Drucks über mehrere Lagen reichen. Am Schluss können sie aber nur von einem Bogen zum andern gehen, weil nach einer Richtung Fach für Fach geschlossen wird.

Die Rolle des Aufzugs wird mittelst einer Rüstung auf die Lehrbögen, wenn die Barren entfernt werden können, hoch genug aufgehängt, um damit die Schlusssteine bequem versetzen zu können.

Die Gestalt und Zusammensetzung der Profillehre ist aus Fig. 37 a und b zu ersehen. Nachdem sie senkrecht zur Tunnelachse am Ende des ausgebrochenen Stückes aufgestellt ist, wird sie durch Dielstücke verspannt und nach Aufstellung der Lehrbögen entfernt.

Diese selbst sind aus zwei- oder dreifachen Bohlen zusammengesetzt, je nach der Stärke des Mauerwerks oder dem Druck des Baugrundes (Fig. 38); durch eiserne Bänder werden die einzelnen sich passend überdeckenden Theile zusammengehalten. Nachdem nun die Rüsthölzer a (je nach der Länge des Stückes 2 oder 3) (Fig. 36) in die dazu in der Mauerung reservirten Oeffnungen eingebracht und durch die Pfosten b unterstützt sind, wird der Dielboden für die untere Rüstung aufgelegt und darauf die Lehrbögen zusammengesetzt, mit der Hebevorrichtung aufgewunden und mittelst Keilen auf die Schwellen c vertical aufgestellt und in ihrer gegenseitigen Lage durch aufgenagelte Dielen erhalten. Gegen Formveränderung durch den Druck des teilweise vollendeten Gewölbes werden sie durch Sprengholzen gegen die Barren verspannt. Häufig werden durch eine solche Verspannung schadhafte Barren unterstützt. Die Entfernung der Lehrbögen richtet sich auch ganz nach der darauf ruhenden Belastung und beträgt von 3 bis 4½ Fuss. Sobald die Mauerung soweit vorgeschritten, dass die Arbeit vom untern Gerüst aus unbequem wird, so wird das zweite Maurergerüst angebracht; in den eisernen Bändern h, die an den Lehrbögen in beliebiger Höhe befestigt werden können, hängen die Gerüsthölzer g, die zur Sicherheit noch durch die auf den untern Rüsthölzern a ruhenden Pfosten f unterstützt werden, und darüber liegt der Rüstboden m. Zum Gewölbe-

schluss wird in der Regel noch ein Fussgerüst auf das obere gemacht. Die Lehrbögen haben eine Stärke von 7 bis 8 Zoll, die Rüsthölzer a 10 Zoll im Quadrat, die Rüstböden bestehen aus 1½ bis 2 zölligen Bohlen. Je nach der Länge des Stückes werden auf jeder Seite 3 oder 4 Maurer verwendet. Bei langen Stücken werden 2 Hebevorrichtungen gebraucht, damit der Transport der Materialien auf den Gerüsten möglichst gering ist. — Für den Gewölbeschluss kann man sich mit Vortheil des in Fig. 39 a und b dargestellten Verfahrens bedienen, wo zwischen die Lehrbögen starke Flecklinge auf Winkeleisen liegen, die an die erstern angeschraubt werden können. Diese Flecklinge enthalten oben einen Falz von der Stärke der Schalldielen, in welche diese letzteren quer eingelegt werden. Die Arbeit des Schliessens wird auf diese Weise sehr erleichtert.

Nachdem der Mörtel in solchem Grad erhärtet ist, dass er nach der Ausschaltung des Gewölbes durch die immer eintretende, wenn auch geringe Senkung nicht mehr aus den Fugen gedrückt werden kann, können die Lehrbögen alle bis auf die 2 an der Zahnung hinweggenommen werden. Diese haben nämlich den Zweck, die Zahnung des Gewölbes, worauf die Enden der Barren für die nächstfolgende Länge aufruhend, zu unterstützen. In festem und mittelfestem Baugrund können alle Barren mit dem Fortschritt der Mauerung und ebenso auch die Dielen des Einbaues entfernt werden, bei weichem Material verbleiben die obere 6 Barren bis nach dem Schlusse des Gewölbes unbewegt. Die Bohlen werden hier grösstentheils eingemauert. Das Verbleiben der 6 Kronbarren geschieht einestheils wegen des darauf lastenden grossen Druckes, andernteils um auf die obere Schwelle mittelst der Pfosten p und p' (Fig. 26) diesen Druck überzutragen und dadurch die Brust mit zu sichern. Je grösser hienach der Druck des Gebirges im Scheitel ist, desto mehr trägt er mit zur Sicherung der Brust bei, die durch die Streben w und durch die Reibung der Pfosten p auf den Schwellen gehalten wird. Tritt der Fall ein, dass ein Barren bricht, oder bis über die Höhe des Gewölbes herabgedrückt wird, so kann man sich leicht entweder durch Zwischenbarren oder durch Unterstützung mittelst Pfosten von unten auf helfen, für deren Fuss nach Belieben ein sicherer Standpunkt gefunden werden kann.

Bei dem Verbindungsstück zwischen fertigem Mauerwerk können die Barren nicht mehr herausgezogen werden; in leichtem Grunde verschneidet man dieselben und kann alsdann die Theile entfernen; bei schwerem Material müssen sie eingemauert werden.

In Betreff der soliden Ausführung des Mauerwerks ist neben den allgemeinen Regeln hiefür noch zu erwähnen, dass möglichst wenig hohle Räume gestattet werden dürfen, besonders in weichem Baugrund; die Bohlen sind daher sorgfältig zu hinterfüllen, die Mauerchen zwischen den Kronbarren müssen solid aus lagerhaften Bruchsteinen oder am besten aus Backsteinen erstellt werden, weil sie allein den Druck des Gebirges auf das Gewölbe übertragen, bis nach dem Vermorden der Bohlen die mehr oder weniger lockere Ausfüllung der Räume für die Barren durch das allmählich nachdrückende Gebirge der Druck gleichmässig vertheilt wird. Weil ferner die Gewölbkappe durch die Mauerchen nur in einzelnen Schichten belastet wird, so ist es nöthig, dass die Lagerfugen bis zum Rücken des Gewölbes vollkommen satt in Mörtel versetzt werden, damit die Fugen in der Leibung nicht zu press und die Kanten der Steine daselbst nicht abgedrückt werden (damit kein Brennen vorkommen kann). Von dem Reibungswinkel an aufwärts wurden im Hauenstein lauter Binder verwendet, und dem Mörtel etwas Cement zugesetzt, um eine schnellere Erhärtung zu bewirken, namentlich weil der verwendete Sand feinkörnig war.

Besondere Sorgfalt ist auf die Fundamente zu verwenden; die Planie wurde stets gut abgeebnet und in Felsgrund die Oeffnungen mit Beton ausgefüllt. Im Thonboden hat ein Betonüberzug des Fundaments den Nutzen, dass dasselbe durch das nie ganz abzuhaltende Wasser nicht erweicht, und die Reibung der Fundamentquader grösser wird als auf dem schlüpfrig gemachten Thon. Die Fugen wurden alle in der Leibung vercementet, theils desshalb, um das Tropfen an nassen Stellen zu verhindern, theils auch um allfällige Bewegungen im Gewölbe leicht wahrzunehmen, weil alsdann die Fugen Risse zeigen müssen.

In dem Opalinuston von 1200 bis 2400 trat auch eine Bewegung des Mauerwerks 6 Monate nach der Ausführung ein, indem die Widerlager sich einander näherten und dadurch die Fugen der Leibung im Scheitel »abrennten«. Die Ursache liegt darin, dass durch den Einfluss der Atmosphäre der glimmerhaltige Opalinuston sich aufbläht, wodurch das in den Widerlagern satt anschliessende Mauerwerk unter diesem starken Druck vorwärts getrieben wurde. Durch diese Verengung des Profils musste der Gewölbscheitel in der Leibung leiden. Im Scheitel war nämlich das Gewölbe, wie in Voranstehendem aus einander gesetzt wurde, durch die Hintermauerchen gegen die Deckenverschalung verspannt, welche letztere nie satt an das natürliche Gebirge anschliesst, sondern hinterfüllt werden muss. Dadurch ist aber Gelegenheit gegeben, dass eine Bewegung des Gewölbscheitels nach oben zu eintreten kann, in deren Folge die Gewölbesteine in der Leibung ein »Brennen« erleiden, während die Fugen im Gewölbrücken sich öffnen.

Diesem Uebelstand, welcher im Wesen der englischen Baumethode liegt, und dessen Begegnung bei Kapitel 12 näher erörtert ist, wird bei der Ausführung der Tunneln in England dadurch gesteuert, dass das Gewölbe im Scheitel mindestens ebenso stark ausgeführt wird, wie in den Gewölbanfängern. Am Hauenstein hat man für die schwache Stelle des Gewölbscheitels — wie oben schon erwähnt — lauter Durchbinder verwendet, um der Mauerung mehr Solidität zu geben. Das an mehreren Stellen erfolgte Brennen in der Leibung hat daher keinen Nachtheil für das Gewölbe. Als erste Regel ist in diesem Punkt zu bemerken, dass bei Gewölben mit Werksteinen der Sand die Hauptrolle bei dem Mörtel spielt, und dass dieser wo möglich ziemlich grobkörnig zu nehmen ist.

Sobald diese Bewegung des Mauerwerks durch das Brennen im Scheitel sichtbar wurde, überzeugte man sich auch davon durch Messungen der Gewölbbeite am Kämpfer, und fasste sogleich den Entschluss, diese Bewegung durch ein Sohlgewölbe zu verhindern. Um sich während der Ausführung zu sichern, verspannte man das Gewölbe durch starke Hölzer und brachte das ganz in Cement versetzte Sohlgewölbe in Längen von je 300 Fuss in 2 Hälften ein, indem man eine Seite zuerst aushub und das Sohlgewölbe einbrachte, während die andere Seite zur Dienstbahn gebraucht wurde (Fig. 40 a und b). Das vorbeifliessende Wasser wurde sorgfältig gefasst und in Kändeln abgeleitet, um den Baugrund unter dem Sohlgewölbe nicht aufzuweichen.

Nachdem in einer Länge von 300 Fuss auf beiden Seiten das Sohlgewölbe eingebracht war, wurden die Verspannungshölzer nach und nach gelöst und eine andere Länge verspannt, und die Dienstbahn auf die Hölzer gelegt. In drei Monaten war das ganze Sohlgewölbe fertig, und es zeigte sich, dass es seinen Zweck vollkommen erreichte, indem nach einigen Monaten die Bewegung ganz aufhörte, nachdem die Widerlager zuletzt nach 6 Wochen nur um 1 Linie sich näherten, und auch kein Brennen in den Fugen mehr sichtbar war. Damit war zugleich nachgewiesen, dass das Mauerwerk, das im Scheitel

2 Fuss Stärke hatte, solid genug ausgeführt war, um dem darauf einwirkenden Druck zu widerstehen. Die Stärke des Sohlgewölbes betrug im Anfang 18 Zoll, wurde aber später auf 15 Zoll reducirt. Die Kosten wären bedeutend vermindert worden, wenn das Sohlgewölbe mit der Mauerung ausgeführt worden wäre; in schwellendem Material sollte diess stets geschehen und die Auswölbung stark genug hergestellt werden. Solche sandige Thonarten sind für den Mineur ein leicht abzubauen Gebirge, das mit Pulver bewältigt werden muss und keinen starken Einbau erfordert. Für die Stärke der Ausmauerung giebt diess aber keinen Massstab ab; den besten Fingerzeig hierfür liefert das Verhalten des Materials im untern Stollen, der längere Zeit vor der Ausmauerung getrieben wird. Je nach dem Grad der dort erfolgenden Druckäusserung in Folge der atmosphärischen Einflüsse muss auch die Mauerstärke bestimmt werden.

Was die im Hauenstein angewandte Gewölbstärke betrifft, so beträgt sie im Scheitel von 13 bis auf 20 Zoll; bis zu den Kämpfern herab vermehrt sie sich um 5 Zoll. Die zur Ausmauerung angewandten Profile für die verschiedenen Materialien sind in den Fig. 41 bis 48 in Verbindung mit Fig. 1 zu ersehen.

In Betreff der angewandten Form des Tunnelprofils ist zu erwähnen, dass sie den Formationen des Hauensteins, welche an nur wenigen Stellen einen sehr grossen Gebirgsdruck äussern, entspricht. Bei losem und deshalb sehr schwerem Gebirge ist dagegen eine überhöhte Form, wie man sie bei englischen Tunnels häufig sieht, gerechtfertigt, weil dieses Profil, besonders wenn noch ein Sohlengewölbe eingespannt ist, dem hier auftretenden grossen Verticaldruck besser widersteht, als ein Halbkreis. In Felstunnels kann häufig auch durch eine überhöhte Profilform die Verkleidung erspart werden. Ein Beispiel hierfür liefert der Tunnel aux Loges auf der Jurabahn von Neuchâtel nach Chaux-de-Fonds.

Die Portale (Fig. 49 bis 51) wurden gleich nach Vollendung der beiderseitigen Einschnitte ausgeführt.

Im vollkommen unzerklüfteten Muschelkalk mit stark geneigter Schichtung war keine Verkleidung nöthig; nachdem das Profil für diese Partien ausgesprengt war, wurden die losen Theile nachträglich mit Schlegeln und Spitzbohrern entfernt. Die Länge der mit keinem Gewölbe versehenen Strecke beträgt circa 1300 Fuss; für einen kleinen Theil wurde das Gewölbe auch auf die natürlichen Widerlager aufgesetzt (Fig. 48).

Bei dem nicht gemauerten Theil ist es nöthig, die Decke auch noch einige Zeit nach der Tunnelvollendung zu untersuchen, um die allfällig durch den Einfluss der Atmosphäre bewirkten Ablösungen zu entfernen. In den dem Bahnpersonal erteilten Instruktionen ist auch die Verpflichtung enthalten, vierteljährlich eine sorgfältige Prüfung des ganzen Tunnels vorzunehmen.

Diese Untersuchung ist besonders deshalb nöthig, weil während des Winters durch den sehr starken Luftzug Eisbildung im Tunnel Statt findet, welche übrigens durch einen auf der Nordseite knapp am Portal angebrachten leinernen Vorhang, der durch Ringe in einer Eisenstange hin und her gezogen werden kann und mit Stricken an die Schienen während des Vorziehens gebunden wird, beträchtlich vermindert wurde.

Während ohne den Vorhang bis auf eine Distanz von 6000 Fuss von der Südseite aus eine Eisbildung Statt fand, wurde dieselbe bis auf 1000 Fuss reducirt und wird ganz aufgehoben werden, wenn auch auf der Südseite diese Vorrichtung angebracht sein wird. Diese Art des Tunnelabschlusses ist insofern zweckmässiger als mittelst eines Thores, weil sie weniger kostet und für den Fall, dass durch irgend einen Zufall der Vorhang bei dem Durchfahren eines Zuges nicht zurückgezogen wird, kein Unglück entstehen kann; derselbe wird einfach von der eisernen Stange abgerissen.

Das im Tunnel austretende Wasser wird in einer Dohle von 15 Zoll Weite und Höhe abgeleitet. Die Planie des Bahnkörpers fällt nach der Mitte zu, und die Sohle der Dohle liegt 18 Zoll unter dem tiefsten Punkt der Planie, so dass alles Wasser in die Dohle abziehen kann, indem die Stossfugen über der Planie offen gelassen sind, während der unter der Planie befindliche Theil in weichem Baugrund wasserdicht hergestellt wird. Bei grösseren Quellen sind überdiess noch Querdöhlichen nach der Hauptdohle gemauert, damit das Wasser angehalten ist, direkt in die letztere zu laufen. Die zur Ausmauerung verwendeten Bausteine wurden den Formationen des Muschelkalks, Bathkalks, oberen Rogensteins und Astartenkalks entnommen, welche auf Entfernungen von $\frac{1}{4}$ bis 2 Stunden aus den Juragehängen beigeleitet wurden. Von dem Muschelkalk des Tunnels konnten nur sehr wenig Quader gehauen werden, weil derselbe überall mit Pulver bewältigt werden musste. Der hydraulische Kalk wurde aus den thonigen Lagern des Bathkalks gebrannt, der Cement wurde aus der Fleiner'schen Fabrik in Aarau bezogen, welche hiezu die in Aarau brechenden Astartenthone benutzt.

9. Abteufung der Schächte.

Der Zweck der Schächte am Hauenstein war, ausser den beiden Mündungen noch weitere sechs Angriffspunkte für den untern Stollen zu gewinnen und baldmöglichst eine natürliche Ventilation herzustellen.

Nachdem der Ort für die drei Schächte bestimmt war, wurde mit dem Abteufen derselben zu gleicher Zeit Mitte Februar 1854 begonnen. Dieselben sollten für Förderung mit zwei Kübeln von drei Fuss grösstem Durchmesser dienen, und da Ventilationsröhren anzubringen waren, so wurden sie, wenn Einbau nöthig war, in Form von Rechtecken von 9 bis 11 Fuss Lichtweite und ohne Einbau rund mit 11 Fuss Durchmesser angelegt, um den gehörigen Spielraum beim Ausweichen der Kübel und Wasserfässer zu erhalten. Wir werden zuerst die Arbeiten ohne Rücksicht auf Transport besprechen und diesen bei dem Kapitel über Förderung abhandeln.

Bei Felsgrund ohne Einbau ist das Abteufen einfach, man hat nur darauf zu achten, nicht aus der verticalen Richtung zu kommen und beim Sprengen stets zeitig genug ausser Schussweite aufzufahren. Das Aussprengen geschieht annähernd kreisrund (Fig. 52). Es wurden 6 Mineurs und je nach Bedürfniss ein oder zwei Mann zur Förderung des Schuttes und des Wassers verwendet.

Ist eine Sicherung des Gebirges nöthig, so kann diess durch Holz oder durch Mauerwerk geschehen.

Beim Holzeinbau der Schächte sind wie beim Einbau der Ausbrüche auch die 2 Fälle möglich, entweder ist das Material mittelfest, so dass die Verschalung erst nach Einbringung der Gesperre — des Schachtkranzes — eingebracht werden kann, oder es hat in umgekehrter Weise Statt zu finden. Der erste Fall ist in Fig. 53 dargestellt. Hinter die Rahmen a

werden Bohlen b durch Keile gespannt und der Raum zwischen diesen und dem natürlichen Grund satt ausgefüllt; die Pfosten p in den Ecken übertragen das Gewicht des Einbaues auf den Grund und erhalten die Rahmen in gehörigem Abstand. Zum Einbringen des untersten Rahmens wird der darüber liegende durch die provisorischen Pfosten x gehalten, bis die definitiven eingesetzt werden können. Der ganze Einbau wird innerlich ebenfalls durch Dielen verschalt, damit bei etwa eintretendem unregelmässigem Gang der Kübel diese nicht an dem Geviere anstossen und dadurch Unglück herbeigeführt wird. Die beschlagenen Hölzer des Einbaues werden von Zimmerleuten zugerichtet und von den Mineurs eingesetzt.

Der zweite Fall, wo der Verspannungsrahmen nach dem Eintreiben der Bohlen eingebracht werden kann, findet bei losem Baugrund seine Anwendung; Fig. 54 a und b stellt diesen Fall dar. Bei dem Einbringen des untersten Rahmens wird der Raum für die darauf folgenden Bohlen durch Keile erhalten. Die Entfernung der Rahmen richtet sich ganz nach dem Druck des Gebirges. Die Stärke derselben beträgt circa 10 Zoll im Quadrat. Die innere Verschalung wird hier aus demselben Grund wie im vorhergehenden Fall angewandt. Die Rahmen a, deren einzelne Theile überblattet und vernagelt werden, sind gegen den Druck des Gebirges durch die Spannriegel c unterstützt, welche mit den Rahmen eingesetzt werden.

Bei der auch für den Schachteinbau angewandten Verpfählungsmethode sind die Pfähle wegen des grössern Abstandes besser einzutreiben als bei dem Tunnleinbau, man muss gleichwohl die in Fig. 29 b dargestellte Vorsichtsmassregel gebrauchen, um eine plötzliche Bewegung der Pfähle zu verhindern, nachdem der Schwanz derselben den vorhergehenden Rahmen verlassen hat. Die Pfahndretter sind hier, wie bei den Ausbrüchen in schwerem Material, deshalb nöthig, damit das Anstecken der Pfähle möglich ist, ohne dass die vorhergehende Reihe gelockert wird.

Besteht der Schachteinbau aus Mauerwerk, so muss diess in einzelnen Stücken ausgeführt werden; der Querschnitt ist entweder ein Kreis oder eine Elypse, die stückweise ausgeführten Mauerringe ruhen auf hölzernen Bohlenringen. In Fig. 55 ist mittelfester Baugrund angenommen. Nachdem das Gebirge für den nächsten Mauerring soweit entfernt ist, dass mit dem Legen des Bohlenrings begonnen werden kann, so wird dieser stückweise eingelegt und das Mauerwerk darüber sogleich hergestellt, und damit der obere Bohlenkranz unterfangen. Wenn es nöthig ist, muss der letztere auch durch provisorische Stützen gehalten werden.

In weichem Baugrund ist das Princip des Einbaues dasselbe, nur muss das Gebirge durch Verschalung gesichert werden, ehe die Mauerung fertig ist (Fig. 56 a und b). Das Abteufen unter dem Ringe a wird damit begonnen, dass zuerst die Pfosten b gestellt werden, welche einen doppelten Zweck haben, nämlich den Ring a zu unterstützen und als Anhaltspunkte für die Verschalung zu dienen, welche von oben nach unten zu eingebracht wird. Ist diese vollendet, so wird der neue Bohlenring a' gelegt und alsdann die Mauerung ausgeführt, die Pfosten b werden nach und nach durch andere ersetzt, die sich auf das fertige Mauerwerk stützen. Die Hintermauerung muss satt an die Bohlen angeschlossen werden.

Da trotz einer gehörigen Verspannung der Mauerung gegen den natürlichen Grund der Schachteinbau dennoch ein bedeutendes Gewicht erhält und dadurch nach der Untergrabung des Bohlenrings a Senkungen und Einstürze entstehen könnten, so wird bei schwierigem Baugrund das Mauerwerk durch die Rahmbölder c und die Schlaudern f an 2 starke über der Schachtmündung liegende Balken aufgehängt. Nach Abteufung des Schachts werden alsdann diese Hölzer, welche einer raschen Förderung hinderlich sind, herausgeschnitten.

Was nun die Wahl des Einbaumaterials (Holz oder Mauerwerk) betrifft, so wird das letztere bei länger stehenden Schächten angewandt, während der Holzeinbau nur für Hülfschächte gewählt wird. Am Hauenstein wurde mit der Mauerung von oben nach unten begonnen; man gieng aber zur Erzielung von Zeit- und Geldersparniss bald zum Holzeinbau über, weil die Schächte nach Vollendung des Tunnels wieder zuzufüllen waren.

Die Mauerstärke betrug 10 Zoll, und man benutzte dazu Muschelkalk und Jurakalksteine. Wenn gute Backsteine leicht zu erhalten sind, so werden diese am zweckmässigsten verwendet.

Die Fig. 37 a, b und c stellen einen Einbau dar, wo zwischen dem Förderraum des Schuttes und Wassers noch eine Abtheilung für das Besteigen des Schachtes mittelst Leiter reservirt ist. Bei seichten Schächten kann die Förderung der Mannschaft auf diese Weise geschehen, sobald aber die Schachttiefe über 100 Fuss beträgt, so werden die Kräfte der Mannschaft durch dieses Leitersteigen zu sehr in Anspruch genommen auf Kosten der Arbeit.

In der Fig. 51 a, b und c ist ersichtlich, dass durch die Schwellen e, welche mit ihren Enden in den Baugrund eingreifen, die Rahmen des Schachteinbaues unterstützt werden. Dieses Verfahren, welches im Zürcher Tunnel angewendet wurde, erscheint nur bei mittelfestem Baugrund zweckmässig.

In sehr losem Baugrund wird zweckmässigerweise das Mauerwerk versenkt, indem man es auf einen eisernen Schachtkranz aufsetzt und unter diesem das Gebirge successive aushebt, worauf das Gewicht des Mauerwerks von selbst die Versenkung bewirkt. Damit diese nicht einseitig erfolgen kann, wird der Schachtkranz mittelst eiserner Schleudern an feste Balken über dem Mundloch aufgehängt, wodurch das Versenken regulirt werden kann.

Die Schächte am Hauenstein wurden senkrecht zur Tunnelaxe abgeteuft, und dieses Verfahren ist wegen der bequemen Förderung auch rationeller, als wenn sie sich seitwärts befinden. Für die ungehinderte und sichere Passage der Arbeiter ist es aber zweckmässig, in einiger Entfernung von dem Schachte einen Verbindungsstollen mit dem Hauptstollen herzustellen.

10. Förderung.

Wir unterscheiden zwischen Stollen- und Schachtförderung und zwar kommt hierbei die Schutt-, Maurermaterial und Wasserförderung in Betracht.

a. Stollenförderung. Die Förderung geschah auf Wägen, die auf einer Dienstbahn von Eisenbahnschienen liefen. Wegen des starken Gefalles war die Förderung kostspielig und gefährlich. Da auf der Südseite die vollen Wägen von selbst aus dem Tunnel liefen, auf der Nordseite diese dagegen durch Pferde gezogen werden mussten, so wurden auf der erstern grössere Wägen angewandt als auf der andern. Betrachteten wir zuerst die Südseite, so wurden mehrere Wägen je nach Bedürfniss bis zu 7 Stücke zusammengekuppelt und die nöthige Anzahl Pferde eines hinter dem andern vor dieselben gespannt;

ebenso wurden die geladenen Steinwägen gekuppelt und mit Pferden bespannt, und auf diese Weise die leeren Schutt- und die vollen Steinwägen in passender Aufeinanderfolge in den Tunnel gebracht (Fig. 5). In den verschiedenen Aufbrüchen wurden alsdann die Wägen nach Bedürfniss abgehängt und die Pferde entweder in den Ausbrüchen selbst oder an Stellen, wo der Stollen eigens erweitert wurde, gewendet und aus dem Tunnel geführt. Die Wägen wurden alsdann durch Zurücklassen derselben an die passende Stelle gebracht, wo sie mit Schutt beladen oder die Maurermaterialien abgeladen werden sollten.

Da während der Zeit, in welcher die vollen Wägen abgeladen, die leeren geladen werden, so bedarf es zweier Abtheilungen, Schutt- und Steinwägen. Bei grosser Transportweite würde es zu lange andauern, bis die leeren Wägen an den vordersten Punkten angelangt wären, wesshalb in dem fertigen Mauerwerk in passender Entfernung vor Ort mittelst einer Weiche ein zweites Geleise gelegt wird, auf welches eine Abtheilung leerer Wagen zu stehen kommt, welche nach dem Abgang der vollen Wägen vorwärts zu in den Arbeitsstollen vertheilt werden.

Bei dem Ausfahren wurden sie in Abtheilungen von höchstens 7 gekuppelten vollen Wägen von einem Bremser, der auf dem hintersten Wagen sass, durch eine Bremsvorrichtung geführt, welche bei der Rubrik »Wägen« näher beschrieben ist. Ausser dieser nach Bedürfniss gehandhabten Bremse mussten aber noch einige Achsen durch das Einstecken hölzerner Prügel in die Speichenfelder ganz gesperrt werden. Bei solchen bedeutenden Steigungen liegt es im Interesse der Sicherheit, weniger Wagen, etwa nur 5, zusammenzukuppeln, damit man mit der Bremse mehr leisten kann, denn es kommen bei dem Bau in 5 bis 7 Aufbrüchen manche Hindernisse vor, die ein schnelles Anhalten nöthig machen. Häufig kam es vor, dass die Wägen nicht mehr gehalten werden konnten, und es wurden dadurch mehrere Pferde, welche die hinteren Reihen Stein- oder Schuttwägen zogen, getödtet. An Mannschaft wurde Niemand gefährlich verletzt, und selbst bei den Bremsern kamen bei ihrem gefährlichen Geschäfte nur einige leichte Contusionen vor.

Da die Arbeit im Tunnel auf mehr als 2000 Fuss vertheilt war, so gab man durch Hornsignale verabredete Zeichen für den Transport. Zum Unterschied mit den Schuttwägen wurden die Steinwägen mit Pfeifen signalisirt. Die ganze Föderung leitete ein Zugmeister, der die Züge in ihrer Aufeinanderfolge arrangirte, die Wägen in den einzelnen Aufbrüchen vertheilte, nachdem er mit den Vorarbeitern an allen Arbeitsstellen Rücksprache genommen hatte.

Bei dem Ausladen der Wägen wurde in einer gewissen Entfernung von der Abladestelle Halt gemacht, und die vollen Wägen auf einem Gefälle durch eine Weiche in 2 oder 3 Geleise geleitet, je nach der Höhe des Damms, wo sie sich alsdann durch die erlangte Geschwindigkeit selbst entleerten. Hierauf wurden sie durch ein stets auf der Abladestelle arbeitendes Pferd in ein Seitengeleise zusammengestellt und nach dem Entleeren aller Wägen auf die Haltstelle geführt, von wo aus sie in Zügen formirt wurden. Zu dem Laden der Steinwägen, das mit dem Ausladen der Schuttwägen wegen der gemischten Züge gleichen Schritt halten musste, hat man sich hölzerner Krähnen bedient, die bei schweren Quadern gute Dienste geleistet haben; bei leichtern Steinen, besonders wenn sie ziemlich weit von dem Krähnen entfernt liegen, wendet man zweckmässiger eine Tragbühne an. Grosse Erleichterung gewährt es, wenn die Steine nach ihrer Dicke sortirt auf dem Lagerplatz abgelagert werden, indem zu Winterszeiten bei ziemlicher Schneemasse das Aussuchen der Steine nach der nöthigen Schichtendicke sehr zeitraubend ist. Der Mörtel wurde anfangs ausserhalb des Tunnels bereitet; als aber die Transportweite beträchtlich gross wurde, geschah diess im Tunnel selbst; das nöthige Wasser fand sich an verschiedenen Stellen vor, an welchen es in einer Tonne gefasst wurde.

Auf der Nordseite, wo die vollen Schuttwägen durch Pferde bergauf zu ziehen waren, wurden sie kleiner und leichter gemacht als auf der Südseite. Die Einrichtung in Abtheilungen für Schutt- und Steinwägen war dieselbe wie auf der Südseite.

Was nun die zum Transport angewandten Wägen betrifft, so sind die Stein- und Schuttwägen der Nordseite in den Fig. 58 und 59 dargestellt. Die Schuttwägen sind Vorwärtskipper, und bei der hintern Achse sitzen die Lager lose auf derselben, so dass, wenn das vordere Räderpaar auf ein Hinderniss stösst, die Achsenlager die hintere Achse verlassen und der Kasten nach vorn seinen Inhalt entleert. Damit das hintere Räderpaar nicht auf dem Geleise fortrollt, ist die hintere Achse mit der vorderen durch den Rahmen verbunden, der in der Ansicht von unten (Fig. 59 b) zu sehen ist. Zur Entleerung der Wägen ist deshalb an der Abladestelle quer über die Bahn ein starkes Holz gelegt, welches den Stoss an die anprallenden Wägen verursacht. Das Entleeren geschieht mit Leichtigkeit und es kann mit einigen Leuten für einen ganzen Zug besorgt werden, während der Zeit, in welcher die andere Wagenabtheilung geladen wird.

Die Fig. 60 a, b und c stellen die auf der Südseite angewendeten Transportwägen dar. Dieselben sind weit stärker construirt als die der Nordseite, und statt der hölzernen Kasten wurden hier schmiedeiserne Pfannen mit hölzernen Aufsätzen angewandt. In den ersten Jahren des Baues hat man auch für die Südseite hölzerne Kasten benutzt, fand aber bald, dass die spätere Anordnung wohlfeiler sei, weil durch das Aufladen felsigen Materials, welches — wie wir früher gesehen haben — meistens durch Werfen von oben geschieht, das Holz leidet und bald ersetzt werden muss. Weil aber dadurch die Wägen sehr schwer wurden, konnten sie auf der Nordseite nicht angewendet werden, denn das Eisen an jedem Wagen hatte allein ein Gewicht von circa 28 Zentnern.

Wenn beim englischen Tunnelbausystem Seitenkipper angewendet werden wollen, so müssen diese gegen ein seitliches Umkanten, wozu das Laden der Wägen von oben herab leicht Veranlassung giebt, auf solide Weise gesichert werden.

Die meisten Reparaturen verursachten die Brüche der Achsen und Achsenlager, wesshalb man auch zu den grossen Dimensionen schritt, die in den Fig. 62 und 63 in grösserm Massstab dargestellt sind. Die auf der Südseite angewandten Steinwägen sind aus der Fig. 61 a und b zu sehen; sie haben dieselben Räder wie die Schuttwägen, indem die Geschwindigkeit beim Ausfahren bedeutend grösser war, als sie auf der Nordseite sein konnte.

Es bedarf kaum erwähnt zu werden, dass eine gute Unterhaltung der Bahn von grossem Einfluss auf den regelmässigen Betrieb war, weil Entgleisungen nicht nur in der Föderung störten, sondern auch die Miniarbeiten in Folge der entstehenden Schuttanhäufung an den Arbeitsplätzen und die Maurerarbeiten wegen Mangel an Materialien störten.

Bei minder bedeutendem Gefälle werden nicht nur die Gefahren bei der Föderung, sondern auch die Kosten bedeutend vermindert, indem die Wägen leicht anzuhalten sind, und es weniger Pferde und Bedienungsmannschaft beim Transport bedarf; das Gefälle eines Tunnels giebt demnach in Bezug auf die Föderung der Materialien auch einen bedeutenden Faktor für die Baukosten ab.

b. Gehen wir nun zur Schachtföderung über, so richten sich die Transportmittel nach der Tiefe und der Weite der Schächte, ferner nach der Härte des Materials und der Quantität des zu fördernden Wassers.

Am Hauenstein wurden zuerst die bekannten Handwellen mit zwei Eimern angewendet. Je nach Bedürfniss wird die Mannschaft an der Welle vermehrt, bis die hiezu nöthige Kraft wohlfeiler durch Pferde ersetzt werden kann; bei der Tiefe von circa 80 Fuss wurden an allen 3 Schächten Pferdegepöpel eingerichtet, indem man zuerst ein Pferd anwandte und nach und nach auf 6 Pferde, die zu gleicher Zeit angespannt waren, stieg. In den Fig. 64 bis 73 ist der Pferdegepöpel mit mehreren Details dargestellt; wie aus denselben zu ersehen ist, so bewegten sich die Eimer nicht in sogenannten Führungen, die in den Schachtwänden befestigt werden, sondern sie hingen frei. Bei den Dimensionen der Schächte konnten sich die Eimer auch leicht ausweichen, und da Schwankungen bei schnellem Laufe der Pferde nicht zu vermeiden sind, so liess man diese bei der Bewegung der Kübel langsam gehen; es kam auch nie ein Zusammenstoss vor, und die 2 Unglücksfälle, wo durch niederfallende Materialien tödtliche Verletzungen entstanden, wurden durch die Arbeiter an der Schiebbühne veranlasst. Diese letzte hat die Vortheile, dass der Schacht bequem und sicher abgeschlossen werden kann, und dass die Eimer auf kleinen Wägelchen mit der auf dem vom Schachtmaterial aufgefüllten Damm erstellten Dienstbahn leicht geleert werden können.

Mit 12 Pferden per 24 Stunden konnte der Schacht No. 1 bequem abgeteuft werden; weil sich dort nur sehr wenig Wasser fand, war es mit obiger Pferdeanzahl möglich, aus einer Tiefe von 560 Fuss 20 Kübel von je 20 Kubikfuss Inhalt Schutt zu ziehen. Als man im Schachte No. 3 in einer Tiefe von 370 Fuss auf eine beträchtliche Wassermasse stiess, musste die Pferdeanzahl vergrössert werden, und man trieb es bis auf 24 Stück per 24 Stunden, wobei es möglich war, 20 Fässer Wasser von je 27 Kubikfuss Inhalt heraufzuziehen.

Da man sich aber von dem Betrieb mittelst Dampfmaschinen einen weit grössern Erfolg versprach, so wurden in den Schächten No. 1 und 3 Dampfmaschinen von 35 Pferdekraften aufgestellt, womit man aus einer Tiefe von 420 Fuss per 24 Stunden 26 Fässer Wasser von 40 Kubikfuss Inhalt aufziehen konnte. Bei dem Dampfmaschinenbetrieb bewegten sich besonders die absteigenden leeren Kübel und Fässer mit einer solchen Geschwindigkeit, dass wegen den dadurch erzeugten bedeutenden Schwankungen der Betrieb mit nur einem Kübel möglich war. Die nöthigen Signale für Anziehen, Ablassen und Anhalten wurden durch Schläge eines Hammers auf eine Eisenplatte im Maschinenhause gegeben, und wurden durch einen Eisendraht von der Tiefe des Schachts aus dem Maschinenführer oder bei einem Pferdegepöpel dem Schachtaufseher gegeben.

Die Wasseranhäufung im Schachte No. 3 konnte dennoch mit den aufgestellten Maschinen nicht gehoben werden, wesshalb man dort den Betrieb aufgab, bis aus geologischen Ursachen die Wassermasse sich dort verringerte, und im Schachte No. 1 hätte für die Föderung des Materials der beiden Stollen, nachdem man den Schacht schon abgeteuft hatte, und des nur sehr geringen Wasserquantums im Schachte — 1200 Kubikfuss per 24 Stunden — ein Pferdegepöpelbetrieb vollständig ausgereicht. Der Maschinenbetrieb hat demnach die Arbeiten nicht gefördert gegenüber der Anwendung grosser Pferdegepöpel. Ueberhaupt ist hiebei zu bemerken, dass, wenn nicht ein grösseres Wasserquantum vorauszusehen ist, die bedeutenden Kosten für Ankauf und Aufstellung einer Dampfmaschine gespart werden können; macht dagegen eine zu befürchtende Wassermenge die Einrichtung einer starken Pumpe nöthig, so muss man zu einer Dampfmaschine schreiten, deren Leistungsvermögen aus dem zu fördernden Wasser- und Schuttquantum zu berechnen ist.

Was die Sicherheit anbelangt, so steht der Maschinenbetrieb dem Betrieb mit Pferdegepöpel nicht nach, indem man ebenso stetig fahren und leicht anhalten kann, wie mit Pferden. Es kamen bei dem Maschinenbetrieb auch nur 2 Unglücksfälle vor, indem im Schacht No. 1 beim Ausfahren 6 Mann in einem Kübel zu weit aufgezogen wurden und an dem eisernen Rade über dem Schachte anfahren, wodurch ein Mann getödtet und zwei leicht verwundet wurden, und im Schacht No. 3 ein Mann so schnell abgelassen wurde, dass das eiserne Drahtseil ihn theilweise bedeckte, ohne ihm aber lebensgefährlich zu verwunden.

Damit der Transport des aus den Schächten geförderten Materials möglichst bequem wird, erhöht man die Schächte noch über die Oberfläche herauf, was auch eine Erhöhung des Damms um den Schacht herum zur Folge hat. — Durch den Schacht No. 1 wurden auch die Maurermaterialien zu gleicher Zeit mit der Schuttförderer abgelassen, die Quader wurden einfach an das Seil gehängt und die Ausmauersteine und der Mörtel in Tonnen gefüllt; der Transport in den Stollen vom Schacht aus wurde durch kleine Wägelchen, ähnlich wie die zum Transport der Kübel an der Oberfläche benutzten, auf der in den Stollen gelegten Bahn vermittelt. Nachdem derselbe eine Länge von mehreren hundert Fuss erreicht hatte, war es vortheilhafter, auf dem südlichen Stollen Pferde zu verwenden. Man brachte deshalb 2 Pferde in den Schacht hinab, die erst nach 3 Monaten nach dem Stollendurchschlag mit der Südseite das Tageslicht wieder sahen. Die Schutteimer hatten einen Kubikinhalte von höchstens 20 Kubikfuss, die hinföernen Seile der Pferdegepöpel 1,7 Zoll Durchmesser.

c. Gehen wir nun zu der Föderung des Wassers über, so lief dieses auf der Südseite von selbst ab, und man hatte nur dafür zu sorgen, dass es die Bahn nicht überfluthe und dadurch die Passage sehr beschwerlich machte. Diess letztere war aber im Lias- und Opalinuston in hohem Maasse der Fall, und erst als ein zusammenhängendes Stück Mauerwerk von grösserer Länge erstellt war, wurde das Wasser in hölzernen Kändeln über die Thone hinweggeleitet.

Aus den Schächten wurde das Wasser durch Tonnen gefördert, wie schon oben bemerkt. Zur Einsetzung von Pumpen würde man sich entschlossen haben, wenn das Wasser in den Schächten No. 2 und 3 nicht in solcher Quantität aufgetreten wäre, dass die dort aufgestellten Maschinen nicht stark genug waren, wesshalb man auch die Arbeit in beiden Schächten einstellte. Für den Schacht No. 1 war die Wasserförderer nur sehr gering. In dieser Beziehung waren die Verhältnisse dort sehr günstig; denn die ziemlich bedeutende Wassermenge zwischen Opalinuston und Untereisenrogenstein wurde noch von der Südseite aus angeschnitten und als man den warmen Wassern in der untern Grenze des obern Dolomits begegnete, war der Stollen zwischen Schacht No. 1 und Südseite längst durchbrochen.

Auf der Nordseite verursachte dagegen die Wasserförderer grosse Schwierigkeiten. Wie schon in Kapitel 2 erwähnt, wurden die ersten Wasserader der Nordseite nach Durchbrechung des obern Salzthons im October 1854 angeschnitten in einer Stärke von 200 Kubikfuss per Stunde, welche mit einer sogenannten Pumpe Letesdu (Fig. 74 a und b) zum nördlichen Portal bei Hand ausgepumpt wurden. Dieselbe ist doppelwirkend eingerichtet, das lose Ventikel v vermittelt bei m n den Eingang des Wassers von der Saugröhre in den Pumpencylinder, der Kolben besteht aus einem eisernen Seiler k, an dessen innerer Seite Lederlappen befestigt sind, welche beim Abgang des Kolben durch das von unten durch den Seiler einströmende

Wasser von dem Ring entfernt, beim Heben der Kolben aber durch das Gewicht der darauf ruhenden Wassersäule gegen den Cylinder angedrückt werden; der nöthige Spielraum der Kolbenstange *s*, welcher durch die Drehung des Hebels nothwendig ist, wird dadurch erhalten, dass dieselbe in einer kupfernen Hülse *h*, welche dem Kolben eine gerade Führung verleiht, sich bewegen kann. Die Auswechslung der Liderung der Ventile und Kolben kann sehr leicht vorgenommen werden, und da die Pumpe grösstentheils aus Kupfer besteht, kommen wenig Reparaturen vor. Wir haben überhaupt die Pumpe Letesdu wegen ihres grossen Leistungsvermögens und ihres leichten Transportes als sehr zweckmässig gefunden. Für diese Handpumpen hat man für das Saugen des Wassers Lederschläuche und für die Förderung desselben häufene Schläuche angewandt, deren einzelne Längen mittelst messingener Ringe an den Enden zusammengeschraubt werden konnten.

Bei einer Zunahme des Wassers in Folge des Fortschrittes des Stollens wendete man am 30. November 1854 2 Pumpen Letesdu an, für welche bei sehr strenger Arbeit innerhalb 24 Stunden 64 Mann verwendet wurden bei einer Leistung von 500 Kubikfuss Wasser per Stunde. Das Resultat ist deshalb hauptsächlich so gering, weil die Reibung des Wassers in den engen, 1½ zölligen Schläuchen zu bedeutend war. Der Unternehmer entschloss sich daher, eine grössere Pumpe Letesdu aus Paris kommen zu lassen, die mit einer Locomobile von 6 Pferdekräften betrieben wurde.

Bis diese nach 10 Wochen anlangte, war der Stollen grösstentheils nach Regentagen überfluthet und die Arbeit unterbrochen. Mittlerweile suchte man mit einer Hebevorrichtung das Wasser aus dem Tunnel abzuführen. Man benutzte hölzerne Deichel von 5 Zoll innerem Durchmesser. Diese Deichel konnten aber nicht luftdicht erhalten werden, und da wegen eines horizontalen Einschnittes der Röhrenleitung auf eine ziemlich bedeutende Länge nur eine schwache Steigung gegen den höchsten Punkt, wo eine Hahnenvorrichtung zum Entweichen der Luft angebracht war, gegeben werden konnte, so zeigte sich die Hebevorrichtung für unwirksam. Mit Anwendung eiserner Röhren würde ein besserer Effekt erzielt worden sein. Die Zeit zur Beischaffung derselben würde aber für vorliegenden Zweck zu lange gedauert haben.

Die neue Pumpeinrichtung ist aus Fig. 75 zu ersehen, der Durchmesser des Cylinders betrug 8 Zoll, und es war möglich, bei der grossen Regenmenge im Monat Mai 1856 mit dieser Pumpe eine Wassermenge von 2600 Kubikfuss per Stunde zu fördern, als die Saugröhren unter Wasser standen. Die Leitung für das Saugen und Heben bestand aus runden Deicheln von 5 Zoll Durchmesser. Diese hölzernen Röhren zeigten sich aber besonders als Saugröhren undicht und veranlassten auch durch die Sprengarbeiten viele Reparaturen und Unterbrechungen.

Anfangs Januar 1856 wurde eine zweite Pumpe mit Dampfmaschinenbetrieb aufgestellt, wozu einzelne Theile der für die Schächte bestimmten Pumpe benutzt wurden. Da die Röhrenleitung auch wieder aus hölzernen Deicheln bestand, und das Wasser 20 Fuss hoch gesaugt wurde, so war die Wirkung der beiden Pumpen zusammengekommen nicht ausreichend, um bei Regenwetter das sich auf 6500 Kubikfuss per Stunde belaufende Quantum zu fördern, indem das Leistungsvermögen für die Saughöhe von 20 Fuss nicht über 2700 Kubikfuss per Stunde betrug. Das Wasser wurde in eingesprengten Reservoirs gesammelt. Man gab nämlich vom Reservoir aus dem Stollen eine sehr schwache Ansteigung, wodurch das vor Ort angeschnittene Wasser rückwärts lief. Betrug diese Stollenlänge mit todtm Gefälle 150 bis 200 Fuss, so legte man ein neues Reservoir vor Ort an und gab dem Stollen das Bahngelände; auf diese Weise wurde aber eben die Saughöhe immer vermehrt und die Wirkung der Pumpen verringert. Der Unternehmer sah sich daher veranlasst, eine Pumpe mit eisernen Saug- und Steigröhren aufzustellen, da man die alten Pumpen nicht weiter in den Tunnel hinein stellen konnte, indem die zu hebende Wassersäule die Steigröhren in der Nähe der Pumpe zersprengt hatte.

Diese neue Pumpe (Fig. 76) wurde in einer Entfernung von 1050 Fuss vom nördlichen Portal aufgestellt. Der Durchmesser des Cylinders und der Röhre betrug 7 Zoll, der Kolbengang 4 Fuss, und man war bei einer Saughöhe von 22 Fuss im Stande, per Stunde 3000 Kubikfuss Wasser zu fördern. Die zum Betrieb angewandte Locomobile hatte 5 Pferdekräfte Stärke. Da aber bei heftigem Regenwetter die zu fördernde Wassermenge auf mehr als das doppelte Quantum stieg, so mussten bei Ueberfluthungen die Stollenarbeiten doch eingestellt werden, und als dadurch der Wasserspiegel sich soweit hob, dass der Sauer der hölzernen Leitung der Pumpe Letesdu wieder unter Wasser stand, so wurde diese als Nothpumpe wieder in Bewegung gesetzt. Um daher den ungestörten Stollenbetrieb zu sichern, bedurfte es ausser der Pumpe mit eiserner Leitung noch einer zweiten, und es wurden im August 1856 die Einleitungen dazu getroffen und Ende December 1856 konnte sie in Betrieb gesetzt werden.

Da man aber in dem Glauben, die Gypsquelle ganz abzuschneiden, immer mehr bestärkt wurde, so wurden mit Anfang December 1856 Aufträge zur Aufstellung einer dritten Pumpe gegeben, die mit der zweiten ein gemeinschaftliches Saugrohr hatte, welche (Mitte Januar 1857) in Gang kam. Mit diesen 3 Pumpen war man alsdann im Stande, per Stunde 9000 Kubikfuss Wasser zu fördern, während als Maximum nach Wochen lange anhaltendem Regenwetter 10,000 Kubikfuss angenommen werden mussten, nachdem man die Gypsquelle am 30. December 1856 vollständig abgeschnitten hatte. Mit diesen Pumpeneinrichtungen war man daher für alle Eventualitäten gesichert, indem die mittlere Wasserquantität der Nordseite 4000 Kubikfuss per Stunde betrug, und grossartige Ueberfluthungen nur kurze Zeit anhielten.

Für die gewöhnliche Wassermenge genügten also 2 Pumpen mit langsamem Kolbengang, für allfällige Schadhaftheit einer der Pumpen hatte man eine Reservepumpe, und für Reparaturen der Dampfmaschinen hatte man ebenfalls Reservemaschinen. Es war die Einrichtung getroffen, dass alle 3 Pumpen durch eine Dampfmaschine (älteres Locomotiv) getrieben werden konnten, und dass ferner, wenn diese nicht geheizt wurde, 2 Pumpen durch je ein Locomobile von 5 resp. 6 Pferdekräften in Betrieb gesetzt wurden (Fig. 77 a, b und c).

Durch den strengen Gebrauch der Maschinen wurden aber die Feuerkasten derselben häufig schadhafte und die Locomotive konnte zuletzt nur noch für eine Pumpe benutzt werden. Es kam deshalb auch einige Male der Fall vor, dass zu gleicher Zeit 2 Maschinen untauglich wurden und bedeutende Ueberfluthungen entstanden. Man war daher darauf angewiesen, wenn man die Maschinen fort benutzen wollte, Dampfkessel aufzustellen und den in denselben erzeugten Dampf in die Cylinder der Maschinen zu leiten. Man benutzte hiezu die zwei Kessel der Dampfmaschine im Schachte Nro. 1 und stellte beide zu den Seiten der Bahn auf; die Einrichtung war so getroffen, dass entweder einer allein oder beide zusammen geheizt werden konnten; der Dampf konnte in einer eisernen Röhrenleitung durch Hahnenvorrichtungen auf jede der 3 Maschinen geleitet werden. Selbst mit diesen Vorkehrungen war man zweimal in Gefahr, dass die ganze Nordseite unter Wasser gieng, weil es wegen Luftmangel schwer war, die nöthige Hitze zu erzeugen. Glücklicherweise war der Sommer 1857 trocken, so dass man

meistens mit einer Pumpe ausreichte, und so gelang es endlich, die Pumpwerke zu unterhalten, bis der Stollendurchschlag am 31. October 1857 erfolgte, womit man den ausserordentlichen Calamitäten der Wasserförderung enbolen wurde.

Werfen wir nun einen Blick auf die allmählig zur Entwicklung gekommenen Wasserförderungsmittel der Nordseite zurück, so lag die Hauptursache der so häufigen Unterbrechungen in der langsamen Art der Beischaffung und Aufstellung der Pumpwerke, weil man erst im Juli 1856 sich ernstlich mit dem Gedanken vertraut machte, die Gypsquelle abzuschneiden. Von dieser Zeit an wurden zweckmässige Einleitungen getroffen, um die so häufigen Unterbrechungen der Stollenarbeit zu verhindern und bei dem Abschneiden der Gypsquelle mit dem Stollenfortschritt die gehörigen Pumpwerke vorbereitet zu haben.

Mit dem 1. August 1856 wurde deshalb die Stollenarbeit gänzlich eingestellt, und man nahm diese erst mit dem 5. December wieder auf, als man die 2 Pumpen mit eiserner Leitung in Gang gesetzt hatte. Die Anwendung dieser Vorsicht wurde später gerechtfertigt, indem man schon nach 5 Fuss Stollenfortschritt in einer Kluft eine solche Wassermasse anschnitt, dass trotz der 2 Pumpen für einige Tage der Stollen verlassen werden musste. Die häufigen Ueberfluthungen wurden besonders dadurch herbeigeführt, dass im nördlichen Hauenstein 2 natürliche Wasserreservoirs bestanden, von welchen die Gypsquelle auch ihren Ursprung hatte. Diese beiden Reservoirs der kalten Quellen, welche von Tagwasser gespeist wurden und je nach der Witterung sehr varirten, erstreckten sich, wie schon in Kapitel 2 angegeben worden, von 7200 bis 7920 und von 6130 bis 7000. Wahrscheinlicherweise bildeten sie nur ein einziges, ehe das erstere angeschnitten worden, und erst nachdem diess erfolgt war, und der Wasserspiegel sich auf die Höhe des Salzthonrückens bei 7140 senkte, entstand die Trennung in 2 Reservoirs. Der Raum für die Reservoirs wurde durch die Klüfte und Spalten des Muschelkalks gebildet. Bei starkem Regenwetter war nun der Wasserzufluss grösser als der Abfluss durch die Spalten der Tunnelleitung, weil diese nicht genug Oeffnung darboten, so lange die Kluft bei 6563 noch nicht angeschnitten war. Dieser Umstand hatte die Wirkung, dass der Wasserspiegel der Reservoirs sich hob, und durch die vermehrte Druckhöhe die Ausflussmenge in den Tunnel und an der Gypsquelle ausserhalb vergrösserte. Bis das Wasser dieser sehr ausgedehnten Reservoirs sich auf die Normalhöhe gesenkt hatte, war demnach die durch Pumpwerke zu fördernde Wassermenge grösser als das Durchschnittsquantum, und da es immer einige Zeit währte, bis die Normalhöhe eingetreten ist, so ist leicht begreiflich, dass in regnerischer Jahreszeit die Ueberfluthungen andauerten. Wenn man auch, wie in voranstehender Darstellung gezeigt wurde, die Pumpwerke verstärkte, so waren sie doch immer nur für die jeweiligen Maxima berechnet, weil man die Idee eines grossartigen Reservoirs und den daraus gefolgerten Zusammenhang der kalten Quellen im Tunnel mit der Gypsquelle ausserhalb erst im Juli 1856 erfasste. Die auf die Arbeit der Nordseite so hinderlich einwirkenden Ueberfluthungen hatten daher ihren Grund nicht in dem zur Förderung anzuwendenden Kraftaufwand, indem 20 Pferdekräfte im Maximum ausreichten, sondern in der durch die Ungewissheit der im Maximum zu fördernden Wassermenge veranlassten ungenügenden Aufstellung der Pumpwerke.

II. Ventilation.

Von dem grössten Einflusse auf den Fortgang der Tunnelarbeiten war die Unterhaltung einer wirksamen Ventilation. Da die wärmere Luft aufwärts steigt, so muss ein Unterschied zwischen der Ventilation der Süd- und Nordseite, ferner bei kalter und warmer Jahreszeit gemacht werden.

Betrachten wir zuerst die Südseite, so zog sich die durch Abfeuerung der Minen, durch Ausdünstung der Arbeiter erwärmte Luft aufwärts und lagerte sich vor Ort. Als man daher mit dem Stollen einige hundert Fuss vom Portal vorgegangen war, und die Ausgleichung der Atmosphäre inner- und ausserhalb des Tunnels nur schwer erfolgte, musste man auf künstlichem Wege gute Luft in den Tunnel schaffen. Diess geschah zuerst durch einen Ventilator von 3 Fuss Durchmesser. Das auf das Wasserrad geleitete Wasser wurde einem in der Nähe des Portals entspringenden Bächlein entnommen. Bei trockener Witterung, wo die Wassermenge nachliess, war aber die Ventilation mit durchschnittlich 200 Umdrehungen des Ventilators in der Minute sehr unwirksam. Die Blechröhren waren überdiess nur in einander gesteckt und deshalb musste ein grosser Theil Luft unterwegs ausströmen. Nachdem man mit dieser Ventilationseinrichtung den untern Stollen auf eine Länge von 1500 Fuss vorgetrieben hatte, und die Stollenarbeit sehr beschwerlich war, wurde ein Pferdegepöl aufgestellt und die Luft durch eine hölzerne Röhrenleitung von 10 Zollen im Quadrat eingetrieben.

Die Verbindung der einzelnen Röhren geschah durch Muffe (Fig. 78 a, b und c); die Hölzer waren im Innern gehobelt und zur Verdichtung wurden in Bleiweiss getauchte Schnüre zwischen dieselben gelegt, und etwaige Oeffnungen durch Wergbündel, die ebenfalls von Bleiweiss durchdrungen waren, mittelst Meiseln verstopft. Die Anzahl der Umdrehungen betrug nicht über 600 per Minute, und man war im Stande, hinreichend genug Luft in den Stollen zu senden, so dass eine Vereinigung mit dem Schacht Nro. 1 erfolgen konnte. Dagegen konnte man nur wenig Arbeiter für die Ausbrüche und Ausmauerung wegen Mangel an guter Luft beschäftigen. Man begnügte sich auch damit, die hinreichende Anzahl von Aufbrüchen bis zur Vereinigung mit dem Schachte zu vollenden, und leitete durch eine Zweigleitung mittelst Schieberrichtungen in der Hauptleitung den daselbst arbeitenden Mineurs und Maurern die nöthige Luft zu. — Nach dem Durchschlag zwischen Südseite und dem Schacht Nro. 1, der am 23. November 1855 erfolgte, stellte sich eine natürliche Ventilation von der Südseite aus durch den Schacht dar, welche so bedeutend war, dass man in dem Stollen mittelst einer Thüre einen Abschluss anbringen musste, welche nur während der Passage der Wägen und der Arbeiter geöffnet wurde. Da aber diese natürliche Ventilation auf den nördlich vom Schacht Nro. 1 gelegenen Stollen keinen Einfluss ausübte, so musste für diesen Theil künstlich ventilirt werden, welches vom Schacht Nro. 1 aus durch den dort aufgestellten Ventilator geschah.

Nachdem man im Verlauf des Sommers 1856 die warmen Quellen angeschnitten hatte, so ergab sich durch die Benutzung dieses bedeutenden Wasserquantums eine hinreichende Kraft für die Ventilation. Man fasste daher das Wasser in einem Gerinne und leitete es auf ein Zellenrad von 14 Fuss Durchmesser, das südlich vom Schachte Nro. 1 in dessen unmittelbarer Nähe aufgestellt war (Fig. 79 a und b und Fig. 80); das bedeutende Tunnelgefälle kam hiebei sehr zu Statten. Mit dieser Wasserkraft war man im Stande, dem Ventilator 600 Umdrehungen per Minute zu geben. Es wurde deshalb die Ventilation durch den Schacht unterbrochen, welche für die bedeutende Entfernung bis zum Distanzpunkt 5100 ohnediess

mangelhaft war, weil einestheils durch die öftern Biegungen der Leitung, andererseits durch die häufige Schadhaftheit der Röhren im Schacht der Luftstrom geschwächt wurde. Mittelt dieses Wasserrades am Schachte Nro. 1 konnte nun während des Winters und Frühjahrs 1857 hinreichend Luft nördlich vom Schachte geliefert werden, um ausser dem Stollen auch noch die Ausbrüche zu speisen, wozu letztere auch wieder Zweigleitungen mittelst Schiebvorrichtung erhielten. Mit der wärmeren Witterung des Frühjahrs trat aber eine umgekehrte Luftströmung zwischen dem Schachte und der Südseite ein, indem die äussere Luft wärmer wurde als die des Tunnels, und demgemäss die Atmosphäre der Tunnelröhre von dem südlichen Portal bis zur Schachtöffnung an der Oberfläche schwerer war als die Atmosphäre vor dem südlichen Portal für dieselbe Niveaudifferenz, wesshalb die verdorbene Luft nördlich vom Schacht Nro. 1, welche durch die Ventilation verdrängt wurde, nicht durch den Schacht ihren Abzug nahm, sondern den ganzen Tunnel erfüllte und durch die südliche Mündung abzog. Da aber auf diese Weise die verdorbene Luft, welche durch die durch den Schacht niederfallende reine Luft etwas verbessert worden, wieder durch den Ventilator vor Ort geschickt wurde, so konnte die Ventilation nur sehr unwirksam sein, so dass die Arbeit sehr erschwert und der Schein eines Lampenlichts kaum auf 50 Fuss sichtbar war. Da dieser Uebelstand während des ganzen Sommers angedauert hätte, so musste man darauf sinnen, eine Luftströmung durch den Schacht aufwärts, wie sie zu kalter Jahreszeit bestand, wieder zu erzeugen. Das Mittel bot sich aber leicht dadurch dar, dass man die Luft im Schacht durch eine Heizvorrichtung erwärmte, so dass sie wärmer wurde als die Atmosphäre über demselben, wodurch alsdann nur reine, durch die Südseite einströmende Luft in den Stollen gefördert wurde. Man stellte daher einen Ofen unter dem Schachte auf, mit dessen oberem Theil eine Blechröhrenverbindung verbunden war, um eine wirksame Strömung zu erzeugen. Mittelt dieser Heizung wurde ganz die gewünschte Wirkung hervorgebracht, und man arbeitete so leicht wie zur Winterszeit.

Aber eben dieser Heizapparat gab Veranlassung zur Entzündung des hölzernen Schachteinbaues und des dadurch erfolgten Einsturzes des Schachtes. Die Geschichte der Rettungsarbeiten und das Schicksal der durch das Kohlenoxidgas getödteten Arbeiter, das sich aus den erhitzten Liasmergeln gebildet hatte, ist bekannt.

Man überzeugte sich sehr bald, dass zur Reinigung der Tunnelatmosphäre die angewandten chemischen und mechanischen Mittel zur Niederschlagung des Giftgases, das sich auf eine Entfernung von 2000 Fuss vom Schuttkegel in südlicher Richtung verbreitete, wirkungslos wäre und gab deshalb schnellstens Aufträge in den angrenzenden Städten, Ventilationsröhren anzufertigen. Nach 2 Tagen, während welcher die unwirksamen Mittel mittelst Wasserspritzen im Tunnel, Befahren desselben mit Segeln, Vertheilen von ungelöschtem Kalk etc. versucht, wobei 11 Mann durch das eingeathmete Kohlenoxid getödtet wurden, waren so viele Ventilationsröhren, die fast alle von Basel geliefert wurden, auf dem Platz, ebenso war der Ventilator und die Locomobile, welche man von der Nordseite und dem Schachte Nro. 1 beschaffte, aufgestellt und zum Betrieb bereit. Die Röhren wurden ebenso schnell gelegt, als sie beigeleitet wurden, und nach 24 Stunden war schon eine Länge von 2600 Fuss gelegt, von wo aus man aber langsamer verfahren musste, weil die Luftverbesserung nicht mehr so rasch erfolgte. Man musste sogar die Vorsicht gebrauchen, die Mannschaft alle 15 Minuten zu wechseln und einige Mal Stunden lang die Röhrenverlängerung ganz aussetzen. Trotzdem konnte 42 Stunden nach der Aufstellung des Ventilators vor dem südlichen Portal die Stollenarbeit durch den Schuttkegel wieder aufgenommen werden, so dass in der kurzen Zeit von 4 Tagen die Ventilationsröhren auf eine Länge von 3500 Fuss angefertigt, beigeleitet und gelegt, und der Tunnel bis zum Schachte von dem Giftgase gereinigt war. Die edle Aufopferung der Rettungsmannschaft sollte aber nicht durch einen der Hingebung würdigen Erfolg belohnt werden, obgleich man stets gehofft hatte, dass die eingeschlossene Mannschaft unter dem abstürzenden Wasser so viel gute Luft finden würde, als sie bedürfte.

Die ersten 1500 Fuss von dem Ventilator ab hatten eine Lichtweite von 14 Zoll im Quadrat und bestanden aus 1½ zölligen Flöcklingen, die übrigen waren 10 Zoll weit und die Dielen dazu 1 Zoll stark. Die Locomobile hatte 5 Pferdekräfte Stärke und man war damit im Stande, dem Ventilator 1300 Umdrehungen zu geben. Die Pressung der Luft in den Röhren nahe am Ventilator war so stark, dass eine fleissige Unterhaltung nöthig war, und dass eine geringere Dielenstärke als 1½ Zoll nicht ausreichend gewesen wäre.

Nachdem der Schuttkegel durchbrochen war, wurde die Röhrenleitung bis vor Ort gelegt und der ganze Tunnel vollständig ventilirt. Da nun aber die Leitung eine Länge von 5690 Fuss hatte, so war zur regelmässigen Wiederaufnahme der Tunnelarbeiten die Weite der Röhren von nur 10 Zoll ungenügend, weil die Reibung zu stark wurde. Es wurden deshalb sogleich 3000 laufende Fuss Röhren von 14 Zoll Weite mehr bestellt, so dass eine Länge von 4500 laufende Fuss nur aus 14zölligen und die übrige Länge aus 10zölligen Röhren bestand. Man konnte mit dieser Ventilationseinrichtung eine solche Menge guter Luft in den Tunnel senden, um alle Arbeitsstellen hinreichend zu versehen. Die Unterhaltung der Dampfmaschine erschien aber zu kostspielig, wesshalb man zu den Wasserrädern als Motoren zurückkehrte; dieselben brachten aber bloss 600 Umdrehungen hervor, und es wurde das Wasser auf 2 Räder vor dem Portal und am Schacht Nro. 1 geleitet, wodurch die Wirkung derjenigen der Dampfmaschine gleichkam. Der Ventilator am Schacht Nro. 1 nahm nämlich die von dem Ventilator ausserhalb des Tunnels gesendete Luft auf und trieb sie vor Ort. Mit dieser Einrichtung wurde der Stollen bei 6000 durchschlagen und es musste demnach auf diese Länge von der Südseite aus ventilirt werden.

Auf der Nordseite genügte das starke Tunnelgefäll, um eine natürliche Ventilation hervorzubringen; während der Sommermonate war aber die Luft sehr dick, und man war genöthigt, den durch die Dampfmaschinen erzeugten Rauch durch eine Leitung aus Blech und Holz bestehend, durch den Schacht Nro. 3 abzuleiten, dadurch wurde zugleich eine Luftströmung aufwärts erzeugt. Als man die Gypsquelle abgeschnitten hatte, und alles Wasser aus der grossen Kluft bei 6563 austrat, machte man die Erfahrung, dass mit dem Wasser auch eine bedeutende Menge Luft mit ausströmte, welche man sich dadurch zu Nutzen machte, dass man dort einen Handventilator aufstellte und durch eine 7zöllige Leitung diese gute Luft in den Stollen vor Ort trieb. Auf der Nordseite war daher die künstliche Ventilation von geringem Belang. Während des Frühjahrs und des Sommers 1857 war die durch die Dampfmaschinen erzeugte, in den Schacht geleitete Wärme nicht mehr ausreichend, eine Luftströmung aufwärts zu erzeugen, und es trat nicht nur Luftmangel zur Feuerung der Maschinen, sondern auch zum Athmen für die Tunnelmannschaft ein. Man half sich auf eine sehr wirksame Weise bis zum Tunneldurchbruch durch Aufstellung eines Ofens unter dem Schachte Nro. 3, wie im Schachte Nro. 1, wo diese Heizvorrichtung erst aufgestellt wurde, nachdem der günstige Erfolg in Nro. 3 erprobt war.

Was die Ventilation in den Schächten betrifft, so benutzte man zur Abteufung derselben Handventilatoren; die Leitung

bestand aus 7 Zoll weiten quadratischen Röhren. Nachdem die Schächte abgeteufelt waren und die Stollenarbeit begann, reichte die Ventilation bei Hand nicht mehr aus. Man stellte daher einen Ventilator, von derselben Art wie auf der Südseite, auf und brachte diesen mit der Maschine in Verbindung. Während des Gangs der Maschine zum Aufziehen und Ablassen der Kübel war nun der Ventilator in Bewegung, sobald aber die Maschine stille stand, kam auch der Ventilator zur Ruhe. Die Folge hiervon war aber die, dass sich die Leitung mit der schlechten Luft anfüllte, welche durch den Ventilator erst ausgetrieben werden musste, ehe die frische Luft folgen konnte; deshalb war die Ventilation mangelhaft und die Arbeit beschwerlich. Diesem Uebelstand wurde dadurch abgeholfen, dass der Ventilator durch ein eigenes Locomobile, das von den Kesseln der Schachtmaschine gespeist wurde, in immerwährender Bewegung erhalten blieb, wodurch die Ventilation bedeutend verbessert wurde, und die Quantität guter Luft hinreichend war, um beide Stollen bis zum Durchschlag mit der Nordseite zu versorgen. Die Weite der Röhren wies sich für die grosse Distanz von 1500 Fuss als zu gering, und man änderte sie deshalb nicht, um den Zeitverlust während der Befestigung in den Schächten zu ersparen und weil nach dem Durchschlag doch eine Abänderung eintreten musste. Nachdem man die warmen Quellen angeschnitten hatte, wurde die Ventilation vom Schachte aus ganz aufgegeben und von dem Stollen südlich des Schachtes Nro. 1 mittelst eines Wasserrades eingeleitet, wie schon aus einander gesetzt worden ist. Die Unterhaltung der Ventilationsröhren war sehr kostspielig, weil sie durch das Anfluten des Schuttes in die Wägen sehr häufig beschädigt wurden; während der Zeit der Reparaturen war die Ventilation grösstentheils unterbrochen, wodurch das Arbeiten erschwert wurde. Es ist daher zweckmässig, statt hölzerner Röhren eiserne zu verwenden, wenn auf eine so grosse Distanz die Luft eingetrieben werden muss; die Ventilation ist nicht nur bedeutend wirksamer, sondern sie kömmt auch billiger zu stehen, weil nach dem Gebrauch die eisernen Röhren zu mancherlei Zwecken wieder verwendet werden können, während die hölzernen entwerthet sind.

Ueberhaupt werden die auf die Erstellung einer guten Ventilation verwendeten Kosten durch den bessern Erfolg der Arbeiten hinreichend ersetzt; am Hauenstein wurde die Erfahrung gemacht, dass nach Aufstellung einer bessern Construction eines Pferdewagens auf der Südseite unter sonst ganz den gleichen Verhältnissen der Stollenfortschritt um den vierten Theil grösser war als bei weniger gutem Luftzuschuss. Die Güte der Atmosphäre wird am deutlichsten durch das Licht angezeigt. In reiner Luft brennt das Kerzen- oder Lampenlicht hell und ist auf grosse Distanzen sichtbar, je matter dagegen die Flamme sich zeigt, desto spärlicher ist Sauerstoff vorhanden; wenn ein Kerzenlicht erlischt, so gestattet die Atmosphäre keinen längern Aufenthalt. Lampen brennen länger als Kerzen und aus Rücksichten der Wohlfeilheit und Bequemlichkeit wurden fast ausschliesslich Lampen und zwar von dem Fabrikanten C. H. Gruat, Maison Delaunay, Nro. 1 Rue du Plat à Lyon, angewandt, die sich als sehr zweckmässig erwiesen haben; das Stück kostete frs. 3. 50 auf den Platz geliefert.

12. Wahl der Betriebsmethode beim Bau eines Tunnels.

Die beim Bau eines Tunnels anzuwendende Betriebsmethode ist von mancherlei Verhältnissen abhängig. Insbesondere treten als leitende Faktoren die gegebene Bauzeit, die Natur der abzubauenen Gebirgsarten und der damit im Zusammenhang stehende Wasserreichthum des Gebirges auf. Die Forderungen, welche allgemein beim Bauen gestellt werden, haben beim Tunnelbau in noch höherem Maasse ihre Geltung. Sie bestehen darin, dass die Arbeiten solid, in kurzer Zeit und möglichst wohlfeil ausgeführt werden sollen. In dem letztern Punkte muss vorausgeschickt werden, dass der Stollenbau verhältnissmässig kostspieliger ist als die Herstellung der Ausbrüche, und dass die Ausmauerung wohlfeiler zu stehen kommt, wenn das ganze Profil ausgebrochen ist, als wenn es mittelst Stollen successive erstellt wird. Die wohlfeilste Tunnelbaumethode ist daher diejenige, wenn der obere Stollen, der unter allen Umständen als Angriffspunkt für die Ausbrüche getrieben werden muss, erstellt wird, und von diesem aus die Ausbrüche und Ausmauerungen im ganzen Profil hergestellt werden. Da man aber diese Bammethode besonders in druckäusserndem Gebirge früher für zu gefährlich hielt, als dass Einbrüche des Terrains unvermeidlich wären, so ist man auf den Gedanken gekommen, den Ausbruch und die Ausmauerung nicht im ganzen Profil auf ein Mal, sondern in 2 Abtheilungen auszuführen. Zuerst wird das obere Segment von circa der halben Tunnelhöhe ausgebrochen und ausgemauert, und später zur Wegnahme der untern Etage und Einsetzung der Widerlager geschritten.

Dieses Verfahren wird gewöhnlich mit dem Namen der belgischen Betriebsmethode bezeichnet. Ist nun der Baugrund der Art, dass er überhaupt kein Mauerwerk oder die Widerlager keiner Mauerung oder nur einer schwachen Verkleidung bedürfen, und ist man in der Zeit nicht beschränkt, so gewährt diese Methode einen Vortheil, weil in felsigem Material der Stollenbau verhältnissmässig theuer zu stehen kommt. In weicherem Baugrund, wo das Gewölbe durch Widerlager unterfangen werden muss, leidet dagegen die Solidität der Mauerung, und die Arbeit selbst kommt theurer zu stehen als bei Herausnahme des ganzen Profils. Ist aber beim Bau eines längern Tunnels ein kurzer Termin gegeben, so kann die belgische Methode nicht mehr angewendet, sondern der Tunnel muss von einem untern Stollen aus betrieben werden.

Der untere Stollen kann nun in der Mitte, wie beim englischen und österreichischen System, oder es können an beiden Widerlagern Seitenstollen getrieben werden, wie bei dem deutschen System.

Zur bessern Würdigung der verschiedenen Tunnelbausysteme geben wir in Folgendem eine kurze, vergleichende Beschreibung der belgischen, deutschen und österreichischen Methode mit dem englischen System, dessen Grundzüge wir nochmals in Kürze wiederholen:

Es wird in der Regel ein unterer Stollen durch den ganzen Tunnel unabhängig von den übrigen Arbeiten mit möglichster Beschleunigung getrieben, der besonders folgende Zwecke hat: 1) eine hinreichende Anzahl von Angriffspunkten für Ausbrüche zur beliebigen raschen Vollendung des Tunnels abzugeben; 2) als Förderstollen für die Abfuhr des ausgebrochenen Schuttes und Anfuhr der Maurermaterialien zu dienen; 3) das Gebirge zu entwässern und dadurch den Einbau zu erleichtern; 4) möglichst bald eine natürliche Ventilation zwischen den Eingängen und etwa abgeteufelten Schächten herzustellen; 5) das Gebirge möglichst rasch aufzuschliessen, um bei sehr unregelmässig gelagertem Gebirge, wo die Mittel der Geologie zum Voraus die zu durchbrechenden Formationen nur mangelhaft bestimmen konnten, Anhaltspunkte für die anzuwendende Ausmauerung zu erhalten (s. Kap. 5). Sind vor den beiden Tunnelingängen grosse Einschnitte auszuheben, was bei sanft ansteigendem

Terrain der Fall ist, so verlängert man mit Vortheil den Stollen auch durch die Einschnitte, um nicht auf den theuren und häufig ungenügenden Transportweg durch Schächte beschränkt zu sein.

Von dem Stollen aus werden in gewissen Entfernungen Aufbrüche gemacht und von diesen aus das vollständige Tunnelprofil in einzelnen Längen ausgebrochen und sogleich untermauert. Der Einbau dieser Ausbruchlängen geschieht durch Barren parallel zur Tunnelachse, die zwischen ihren Enden keine weitere Unterstützung haben. Je nach dem Gebirgsdruck richten sich die Ausbruchlängen und die Stärke der Barren, sowie das spezielle Verfahren des Einbaues, namentlich ob die Anlege- oder Verpfählungsmethode anzuwenden ist. Durch die Entwässerung des Gebirges mittelst des untern Stollens, ferner dadurch, dass es nur sehr kurze Zeit auf dem Holz steht, kann die englische Methode bei jedem Baugrund mit vollkommener Sicherheit angewendet werden. Der Umstand, dass das Gebirge nur auf kleine Distanzen geöffnet und sogleich definitiv unterbaut und ausgemauert wird, giebt ihr einen grossen Vorzug vor den übrigen Tunnelbaumethoden, wie wir weiter unten sehen werden. Zur Vertheilung des Drucks wird mittelst der Barrenverstrebung ein förmliches Holzgewölbe construiert, zur Sicherung der Brust wird aber der Druck der First mittelst der Kronbarren und ihrer Unterstützungsposten auf den Schwellen selbst wieder verwendet und leistet derselbe um so bessere Dienste, je grösser er ist, wie wir oben bei Kap. 8 es näher kennen gelernt haben; die Furcht, welche schon öfters in Wort und Schrift über den Druck der Brust geäussert worden, ist durch die Praxis als ungegründet erwiesen worden.

Die Mineurs und Maurer arbeiten immer an getrennten Bauplätzen; die gegenseitigen Störungen, welche eintreten müssen, wenn die Maurer in unmittelbarer Nähe hinter den Mineurs die eben von diesen verlassenen Arbeitsstellen einnehmen, kommen bei der englischen Methode nicht vor.

Die Einbauungsart des englischen Systems gewährt folgende Vortheile:

1) Der Holzeinbau befindet sich ausserhalb des Tunnelprofils; die Arbeiter bewegen sich daher vollkommen frei; sämtliche Minir- und Förderarbeiten können somit ohne die Hindernisse, welche aus Mangel an Raum bei andern Baumethoden eintreten, ausgeführt werden.

2) Die Hölzer des Einbaues, welche grösstentheils aus Rundholz bestehen, können so lange wieder verwendet werden, bis sie durch Bruch oder Vermoderung zu Grunde gehen; Verschnitt kommt sehr wenig vor.

3) Der Einbau geschieht sogleich definitiv und wird nicht erst durch Stollen vorbereitet; ferner erfolgt nach dem Abbau des Tunnelprofils sogleich die Ausmauerung; die Atmosphäre kann daher nur sehr kurze Zeit auf das Gebirge einwirken und es wird auf diese Weise in thonigem Terrain dem Gebirgsdruck zweckmässig gesteuert.

4) Durch die Barrenverstrebung wird der grössere Druck an einer einzelnen Stelle auf das ganze Profil vertheilt.

5) Die Förderung der Ausbruchmasse kann auf die bequemste Weise geschehen; der grösste Theil des Schuttes wird von oben herab in die Wagen geworfen, und ebenso geschieht der Transport mittelst gekuppelter Wagen auf die zweckmässigste Art ohne irgend welche Störung, wenn diese nicht durch Zufälligkeiten veranlasst wird.

6) Die Ausmauerung geschieht auf die einfachste Art; die Maurer sind durch den Holzeinbau weder in der Lagerung der Steine an der Arbeitsstelle, noch im Aufziehen auf das Gerüst, noch im Versetzen derselben gestört und arbeiten mit wenig mehr Mühe als im Freien.

7) Macht der Baugrund ein Sohlgewölbe nöthig, so kann es ausgeführt werden, ehe mit der Mauerung der Seitenwände und Decke begonnen wird. Gegenüber diesen Vortheilen kann dagegen der Nachtheil geltend gemacht werden, dass in weichem Baugrund der Raum für die oberen 6 Kronbarren über die Stärke der Tunnelausmauerung ausgebrochen und dieser Raum theils durch die Hintermüerchen, theils durch Schuttausfüllung der Barrenräume wieder compensirt werden muss. Die Ausfüllung schliesst sich aber nie so fest an das Gebirge an, als Mauerwerk, deshalb verbleibt über dem Scheitel ziemlich viel hohler Raum; bis zu den oberen 6 Kronbarren herauf schliesst sich aber das Mauerwerk satt an das Gebirge an. Bei starkem Seitendruck, wie er z. B. bei schwelenden, sandigen Thonen vorkommt, müssen die Hintermüerchen allein einer Bewegung des Scheitels nach oben steuern. Diese sind deshalb solid auszuführen, widrigenfalls Veranlassung gegeben wird, dass die Steine des Scheitels in der Leitung abbrennen und bei unzureichender Gewölbstärke zermalmt werden. Diesem Uebelstand muss vorgebeugt werden, und es geschieht am besten dadurch, dass auch die Räume für die Barren, nachdem diese herausgezogen sind, ausgemauert werden. Ein Maurer hat hinreichend Platz, um noch arbeiten zu können, besonders wenn Backsteine verwendet werden.

Dieses Bedürfniss tritt nur in weichem Baugrund ein; aber gerade hier ist es am nothwendigsten, dass die allgemeine Regel der Ausmauerung, welche einen möglichst satten Anschluss des Mauerwerks an den Baugrund vorschreibt, befolgt werde. Die Kosten, um welche zur Erreichung dieses Zweckes die Ausmauerung vertheuert wird, bilden aber nur einen sehr kleinen Theil der Bausumme, und dieser Nachtheil der englischen Methode verschwindet gegen die bedeutenden Vortheile, welche sie darbietet.

Betrachten wir nun zuerst das belgische System. Das Charakteristische desselben besteht im Allgemeinen darin, dass man von einem in der Tunnelfirste vorgetriebenen Stollen aus denselben nach beiden Seiten zu erweitert, so dass ein Segment von circa 11 Fuss Pfeilhöhe abgebaut wird. Nach dem Abbau desselben wird sogleich die Mauerung eingesetzt, deren Fuss entweder der natürliche Baugrund oder eine Holzschwelle bildet. Macht der Baugrund ein Widerlager nöthig, so kann diess sogleich eingesetzt werden, indem man den Raum hierfür mittelst sogenannter Absenken ausbricht, während ein Mittelkern stehen bleibt, wie es bei dem Tunnel von St. Cloud^{*)} geschah, oder man treibt vorher durch die untere Etage einen Schlitz und nimmt auf diese Weise den Kern mit den Widerlagerräumen heraus und unterfängt die Gewölbekappe durch die Widerlager. In den Figuren 80 und 81 ist der belgische Betrieb dargestellt.

In felsigem Material hat der Einbau nur den Zweck, die durch die Minen theilweise gelösten Felsstücke vor dem Abfalle zu sichern, die Abspriessung geschieht daher in der Regel unsystematisch durch Streben, nach Bedürfniss aufgestellt (Fig. 80a). In weicherem Baugrund werden die Böhlen durch Polygonverbindungen (Gespärre) unterstützt, welche durch fächerförmig gestellte Streben, die mit ihrem Fuss auf einer Schwelle aufstehen, gehalten werden (Fig. 80b und 81b). Ist der Einbau des Segments so weit vorgeschritten, dass durch die Sprengarbeiten die Maurer nicht mehr gestört werden, so

werden die Lehbögen gestellt und die Kappe eingewölbt (Fig. 81a u. b), mit der Wegnahme der Einbauhölzer wird auf die Lehbögen abgespriessert. In festerem Baugrund können die Lehbögen aus Bohlenbögen zusammengesetzt sein (Fig. 81a), bei nachgiebigem Material müssen sie aber ebenfalls in Fächerform construiert werden, weil sie sich sonst in den Baugrund eindrücken können.

Zum Einbau des obern Stollen wird zweckmässiger Weise ein Sohlholz verwendet, welches als Schwelle für die Transportbahn dient. Bedarf der Stollen keinen Einbau, so werden zu der Dienstbahn beliebige Abfallhölzer als Schwellen genommen.

Mittelst der in den Stollen gelegten Bahn wird nun der Transport des gewonnenen Ausbruchs aus dem Stollen und dem Segment, sowie die Beischaftung der Maurermaterialien vermittelt, welche letztere zu beiden Seiten der Bahn zwischen die Hölzer gelagert werden.

Bei festem Baugrund, der ohne Gefahr längere Zeit auf dem Holz stehen kann, kann der Betrieb auf voranstehende Weise regelmässig eingeleitet werden. Die Dienstbahn setzt sich bis zu den Schächten resp. den Tunnelmündungen fort, und von da aus werden die Transportzüge in geeigneter Aufeinanderfolge der Stein- und Schuttwagen regulirt. Dabei wird nun vorausgesetzt, dass die untere Etage erst in Angriff genommen wird, wenn die obere vollendet ist. Macht aber die Bauzeit es nöthig, dass der Ausbruch und die Ausmauerung der untern Parthie der Segmentausmauerung folge, so wird zu diesem Zweck ein Schlitz in der Mitte durchgetrieben (Fig. 81a) und der Ausbruch nach beiden Seiten erweitert, und zu diesem Zweck eine Dienstbahn auf die Tunnelsohle gelegt.

In diesem Fall wird aber der Transport im obern Stollen unterbrochen, und es muss der ausgebrochene Schutt von dem obern in den untern Stollen geworfen, dort noch einmal verladen und die Maurermaterialien auf Rampen zu beiden Seiten der untern Bahn in den obern Stollen hinaufgetragen werden.

In weichem Baugrund müssen aber, wie oben schon bemerkt, die Lehbögen ebenfalls eine fächerförmige Unterstützung erhalten, damit kein Aufsteigen des Materials zwischen den stützenden Gestellen eintreten kann, und für diesen Fall erleidet die Transportbahn während des Aufstellens der Lehbögen Unterbrechungen; ebenso wird der Raum für die Lagerung der Steine beschränkt, weil die Gespärre des Einbaues einander näher gerückt werden müssen, und die Maurer sind durch den Schutttransport mehr gehindert, so dass die combinirte Minir- und Maurerarbeit mit dem entsprechenden Materialtransport in einer Richtung verhältnissmässig nur geringe Fortschritte zulässt. In diesem Fall wird es daher nothwendig, zuerst den obern Stollen zwischen zwei Angriffspunkten durchzuschlagen, alsdann die Minir- und Maurerarbeiten der Gewölbekappe in einer Richtung in der Weise auszuführen, dass der Transport des Schuttes und der Maurermaterialien je nach einer Seite zu getrennt erfolgt.

In nachgiebigem, wasserhaltigem Material darf aber das Gewölbe nicht lange ohne die Widerlager stehen bleiben, es stünde sonst ein Setzen der Gewölbekappe und ein Aufquellen des Materials zu befürchten, man wird also bald mit dem Unterfangen des Gewölbes beginnen. Die Folge davon ist das schon oben beschriebene Zeit und Geld raubende Geschäft, welches in dem Umladen des Schuttes und des Maurermaterials vom obern in den untern Stollen besteht und umgekehrt.

Ist man mit der Zeit nicht beschränkt, so besteht daher das rationellste Verfahren beim Bau in festem Material darin, dass man zwischen allen Angriffspunkten von den Schächten und Mündungen aus das Segment von beiden Seiten aus ausbricht und einwölbt und erst dann zum Ausbruch des untern Theils schreitet. Auch wenn der Felsgrund keine Auswölbung bedarf, wird man dieses Verfahren anwenden, weil durch den Transport des Materials vom Segment die Sprengarbeiter am am untern Satze gestört würden.

Bei weichem Baugrund wird man zuerst den obern Stollen durchschlagen, welcher auch den Vortheil des Wasserablaufs gewährt, die Auswölbung der Gewölbekappe auf die oben angegebene Art von einer Seite aus herstellen und von dieser Seite aus zu gleicher Zeit die Widerlager einsetzen, wenn es die Schwierigkeit des Baugrundes nöthig macht; im andern Fall wartet man damit, bis das Segment vollständig untermauert ist.

Wenn dagegen der Baubeginn eine möglichst rasche Arbeit erfordert, so können die obigen aus finanziellen Gründen gebotenen Rücksichten nicht mehr beobachtet werden, sondern der Ausbruch des untern Satzes und die Einsetzung der Widerlager hat der Mauerung der Gewölbekappe rasch zu folgen.

Wenn wir nun einen Vergleich der Zweckmässigkeit des belgischen Betriebs gegenüber dem englischen anstellen, so werden die beiden Faktoren Solidität und Geldersparniss immer gefordert; der letztere Punkt ist aber sehr von der Bauzeit abhängig.

I. Nehmen wir letztere so gross an, dass das günstigste Verfahren der belgischen Methode angewendet werden kann, so haben wir zu unterscheiden a) ob ein Tunnel gar keine Mauerung oder b) nur eine Gewölbekappe oder c) eine vollständige Tunnelausmauerung nöthig hat.

ad a) Hier wird man das obere Segment zwischen je zwei Angriffspunkten vollständig aussprengen und alsdann erst mit dem untern Satz nachfolgen. Dieses Verfahren verdient bei den angegebenen Verhältnissen vor jeder andern Methode den Vorzug.

ad b) Für diesen Fall, wo eine Gewölbekappe nöthig ist, wird auch schon ein Einbau nöthig. Bei der belgischen Methode kann nun von beiden Seiten aus in geeignetem Abstand von den Minirarbeiten ohne Unterbrechung gemauert werden; bei dem englischen Betrieb ist diess aber wegen der Einbauungsart unmöglich, sondern es müssen Mineurs und Maurer an einem Angriffspunkte stets wechseln. Man wird daher mit der belgischen Methode rascher vorwärts schreiten als mit der englischen, wenn wir für letztere keinen untern Stollen annehmen, welcher, wie wir am Eingang des Kapitels gesehen haben, nicht bezeichnend für das Verfahren ist.

In Betreff des Kostenpunktes gewährt aber der Einbau nach englischem System Vortheile gegenüber dem belgischen, weil er leichter herzustellen und die Mauerung bequemer ausgeführt werden kann. Das Treiben eines untern Stollen, um die Arbeit rascher zu vollenden, würde zwar für die Förderung manche Bequemlichkeit abgeben, die Kosten hierfür aber bei hartem Material die Vortheile aufwiegen, so dass auch noch in diesem Fall die belgische Methode vorzuziehen ist.

ad c) In diesem Fall, wo eine vollständige Tunnelausmauerung nöthig ist, wollen wir immer noch den Fall voraussetzen, dass das Gebirge es gestattet, zwischen je zwei Angriffspunkten die Gewölbekappe einzusetzen, ehe mit dem Ausbruch

^{*)} Notice sur la construction des tunnels de St. Cloud et de Montretout par Toni Fontenay. Paris 1856.

und der Ausmauerung der untern Tunnelhälfte begonnen wird. Wie wir oben gesehen haben, kann die Mauerung der Gewölbekappe nur nach einer Seite zu erfolgen. Die Arbeiten des Einbaues, der Mauerung mit Unterfangen der Gewölbekappe, die Förderung des Schuttes kommen aber hier theurer zu stehen als beim englischen Betrieb, wo man den untern Stollen treiben wird, dessen Erstellungskosten allein durch die erleichterte Förderung compensirt werden; ausserdem leidet die Mauerung durch das Unterfangen des Gewölbes an Solidität. Unter diesen Verhältnissen ist daher der englische Betrieb vortheilhafter.

Bei wasserhaltigem weichen Baugrund darf aber mit dem Einsetzen der Widerlager nicht lange gesäumt werden, ohne die Solidität der Mauerung in hohem Grade zu gefährden; es ist aber dann selbstverständlich, dass durch die complicirte Förderung die belgische Methode sich noch ungünstiger gestalten muss.

II. Fassen wir nun den Fall in's Auge, wo ein Tunnel in kürzester Zeit gebaut werden soll, alsdann muss die Wegnahme des untern Satzes des Tunnelprofils dem fertigen Segment möglichst bald folgen, und die Förderung hat auf die schon mehrmals erwähnte complicirte Art zu geschehen.

Bei Anwendung des englischen Systems wird man einen untern Stollen treiben, welcher unter allen Verhältnissen schneller erstellt werden kann als der Ausbruch des ganzen Tunnelprofils, und von diesem aus mittelst Aufbrüchen den Tunnel vollenden.

Je härter nun das Material und je kürzer der Tunnel ist, desto geringer wird für letztere Methode der Zeitgewinn, desto grösser aber die Mehrausgaben, veranlasst durch den Bau des untern Stollens und der Aufbrüche. Je weicher, wasserhaltiger aber der Baugrund ist, desto mehr treten die Vortheile der englischen Methode in jeder Beziehung hervor. Abgesehen davon, dass bei grossem Gebirgsdruck aus Rücksicht der Solidität die belgische Methode gar nie zur Anwendung kommen sollte, so stellt sich auch der Baetermin als ungünstig dar. Derselbe setzt sich für Druck äusserndes Gebirge beim belgischen System aus folgenden Zeiten zusammen:

a) wenn nach dem finanziell am zweckmässigsten Plan verfahren wird

1. der Zeit zum Durchschlagen des obern Stollens,
2. der Zeit zum Ausbruch des Segments, wobei die Arbeit nur in einer Richtung erfolgen kann (die Auswölbung der Kappe kann den Miniarbeiten auf dem Fusse folgen),
3. der Zeit zur Wegnahme des untern Satzes, wenn die Arbeit von zwei Seiten erfolgen kann. (Die Einsetzung der Widerlager folgt unmittelbar dieser Arbeit.)

b) Ohne Rücksicht auf den Kostenpunkt setzt sich die überhaupt kürzeste Frist zusammen aus:

1. der Zeit zum Durchschlagen des obern Stollens,
2. der Zeit zum Ausbrechen des Segments, wobei diess nur in einer Richtung geschehen kann,
3. der Zeit, um welche die Widerlager später fertig werden als die Gewölbekappe.

Nehmen wir nun in beiden Fällen die unter 1. angegebene Zeit als die Einheit A an, so beträgt die Zeit für 2. circa $1\frac{1}{2}A$ und für 3. bei a mindestens $\frac{1}{2}A$, bei b ist sie als eine Constante von circa einem Monat anzunehmen.

Beim englischen System darf für die Vollendung eines Tunnels drei Monate weiter gerechnet werden als die Zeit zum Durchschlagen des untern Stollens beträgt. Am Hauenstein konnte der Tunnel 6 Monate nach dem Durchbruch dem Verkehr übergeben werden, obgleich dort für eine bedeutende Strecke die Arbeiten wegen der auch noch nach dem Tunneldurchbruch erfolgten Wasserförderung auf die Nordseite in Folge der Verpflichtungen gegen den Kanton Baselland nicht in Angriff genommen werden konnten.

Es ergibt sich daher unter obiger Voraussetzung bei weichem Baugrund zur möglichst raschen Vollendung eines Tunnels bei dem belgischen Betrieb eine Zeitdauer $Z = 2\frac{1}{2}A + 1$ Monat, bei dem englischen Betrieb » » » $Z = 1A + 3$ Monate.

Je grösser A, d. h. je länger der Tunnel und je weiter die Schächte auseinander sind, desto mehr verschwindet die Bedeutung der Constanten.

Zur Vollendung langer Tunnels in weichem wasserhaltigem Gebirge braucht man daher mit der belgischen Methode $2\frac{1}{2}$ Mal so lang als mit der englischen. —

Was die Baukosten anbelangt, so dürften die bisherigen Auseinandersetzungen genügen, um darzuthun, dass die belgische Methode für obige Verhältnisse weit theurer zu stehen kommt, als die englische.

Wir kommen daher zu dem Schluss, dass in kurzen Tunnels mit hartem Gestein das belgische System wegen grösserer Wohlfeilheit den Vorzug verdient, während der Unterschied in der Vollendung zu Gunsten des englischen Betriebs nur gering ist. Je länger dagegen der Tunnel und je weniger hart das Material ist, desto unvortheilhafter erscheint die belgische Methode, besonders wenn noch Gebirgswasser auftreten.

Die Grenze, wo das englische System sogar bei kurzen Tunnels zweckmässiger erscheint als das belgische, tritt schon da ein, wo das Gebirge anfängt, einen Druck auszuüben und deshalb eingebaut werden muss. Die Kosten für den Bau des untern Stollens werden weit aufgewogen durch die vortheilhaftere Förderung und erleichterten Minir- und Maurerarbeiten. —

Bei der deutschen Methode wird die Mauerung mit den Widerlagern in Stollen begonnen, hierauf das Segment für das Gewölbe ausgebrochen und die Mauerung ausgeführt, während ein Mittelkörper des Gebirges, der Kern, stehen bleibt. Da diese Stollen nicht nur die Mauerstärke der Widerlager, sondern zugleich Raum für den Transport des Schuttes und der Maurermaterialien enthalten müssen, so erhalten sie mit der Verschalung eine Weite von circa 11 Fuss. Die Sohle der Stollen liegt annähernd in der Schwellenhöhe. Dieses Tunnelbausystem war bisher in Deutschland allgemein üblich, woher sich auch seine Benennung datirt. Die Fig. 89 bis 92 stellen das Verfahren in den verschiedenen Stadien dar. Zuerst werden die untern Stollen getrieben (Fig. 89 a u. b), alsdann über denselben die zwei Mittelstollen, hierauf das Mauerwerk für die Widerlager nach Profilehren, welche an die Schwellen der Stollen angebolzt werden, ausgeführt. Nach Wegnahme der Rahmen, welche die Verschalung gegen das Terrain halten, wird diese durch provisorische Stützen gehalten (Fig. 90.). Für die Entfernung des Gebirges in der Gewölbekappe muss, wie bei allen überhaupt angewandten Tunnelsystemen, zuerst ein oberer Stollen getrieben werden, von welchem aus nach beiden Seiten zu das Profil hergestellt wird, indem die Bohlen durch fächerförmig gestellte Streben, welche auf den Kopfhölzern der Mittelstollen aufstehen, gegen das Terrain angetrieben werden. (Fig. 90.)

Hierauf werden die Lehbögen für die Gewölbekappe gestellt (Fig. 91) und das Gewölbe fortgeführt, wobei die Bohlen nach Entfernung der Streben durch kurze Stützen auf den Lehbögen gehalten werden (Fig. 91). Der Kern kann in der Regel erst entfernt werden, wenn der Tunnel nahezu vollendet ist, damit keine Störung im Transport im obern Stollen eintritt, weil sonst die Förderung mittelst Rampen geschehen müsste. Damit die Kopfhölzer der untern und mittlern Stollen durch die Ausführung des Mauerwerks nicht abgeschnitten werden müssen, bestehen sie aus zwei verholzten Theilen (Fig. 89 a.). Damit ferner bei dem Transport der Maurermaterialien und des Schuttes in den engen Stollen die Störungen vermindert werden, werden in Distanzen von circa 50 Fuss Querschläge zur Verbindung der beiderseitigen Stollen getrieben, welche als Ausweichstellen dienen (Fig. 92). Als Transportmittel in den Stollen für das ausgebrochene Gebirge und die Maurermaterialien werden kleine Wägelchen, die auf einer Dienstbahn in den untern Stollen fortbewegt werden, sogenannte Hunde angewendet, oder wenn diess wegen des durch den Einbau beschränkten Raumes nicht möglich wäre, werden die Materialien durch Tragbutten und Tragbahnen transportirt. Bei mässig festem Material kann statt der untern und mittlern Stollen auf jeder Seite auch je nur einer getrieben werden (Fig. 93 u. 94), wodurch an Arbeitslohn für den Einbau erspart wird. Dieses modificirte Verfahren wurde im Geröll bei dem Bau des Bruchsaler Tunnels auf der württembergischen Westbahn angewendet.

Wenn wir nun dieses Bausystem einer näheren Prüfung unterwerfen, so wurde es ohne Zweifel durch die Mängel der belgischen Methode hervorgerufen, welche sich in wasserhaltigen weichen Gebirgsarten einstellen.

Dadurch, dass man mit den zwei untern Stollen den Miniarbeiten des ganzen Profils auf eine gewisse Distanz voraus ist, wird wasserhaltiges Gebirge entwässert, die Miniarbeiten im Ausbruche des Profils deshalb erleichtert und die Mauerung von den Fundamenten aus — den Grundsätzen der Solidität entsprechend — ausgeführt.

Wenn nun in Betreff des Ausbruchs des Tunnelprofils der diesem Bausystem zu Grunde liegende Satz, dass das Aufschliessen eines druckäussernden Gebirges durch eine kleinere Oeffnung (Stollen) leichter geschehen kann als durch eine grössere, vollkommen richtig ist, so liegt doch in der Anwendung des Principes, das ganze Tunnelprofil durch Stollenbau zu gewinnen, wie es bei der deutschen Methode der Fall ist, einer der Hauptmängel desselben. — Wir haben nämlich gesehen, dass nach Fig. 90 das Profil meistens mittelst 5 Stollen erstellt wird, von welchen die untern beiden Seitenstollen zuerst, in bestimmtem Abstand, alsdann die beiden Mittelstollen und sodann der Firststollen getrieben werden; diesem folgt dann die Erweiterung des Segments nach Vollendung der Widerlager und die Mauerung der Gewölbekappe. Wenn es nun vollkommen richtig ist, dass ein Stollen selbst im schwierigsten Gebirge sicher abgebaut werden kann, so wird aber auf der andern Seite durch den successiven Bau der übereinander liegenden Stollen erst der Druck des Gebirges hervorgerufen, weil jeder Stollen Veranlassung giebt zur Ablösung des hierzu disponirten Gebirges auf eine gewisse Ausdehnung, besonders wenn es längere Zeit auf dem Holz steht, je nach dem Grad der Cohäsion des Materials und je nachdem die Bohlen des Einbaues mehr oder weniger satt an das natürliche Terrain anschliessen.

Wenn daher das deutsche Tunnelbausystem in seinem leitenden Princip als ein verkehrtes bezeichnet werden muss, so wird die Unzweckmässigkeit desselben durch den vermehrten Zeit- und Kostenaufwand in Folgendem noch näher bewiesen werden.

Um die Zeit zu bestimmen, welche zur Vollendung eines Tunnels nöthig ist, muss man sich den Geschäftsgang vor Augen führen. — Wie wir schon oben gesehen haben, werden die untern, mittlern und obern Stollen unabhängig von einander vorgetrieben, und ebenso geschieht aus Rücksichten der Öconomie der Transport der Maurermaterialien in den Stollen, für welchen sie bestimmt sind. Denn würde z. B. der Steintransport in einer gewissen Entfernung von der Arbeitsstelle von den oberen auf die unteren Stollen verlegt oder umgekehrt, so wären zum Uebergang auf die letzteren Rampen oder Hebevorrichtungen nöthig, wodurch aber der Transport vertheuert würde. Die Förderung in den Stollen geschieht durch sogen. Hunde. Grössere Transportwagen können besonders bei weichem Material deshalb nicht angewendet werden, weil die Breite des Kerns dadurch vermindert, und die Solidität des Einbaues noch mehr gefährdet würde.

Die Arbeit wird nun in den untern Stollen begonnen und nachdem diese auf eine Distanz von circa 50 Fuss vorgetrieben sind, wird mit der Mauerung der Widerlager auf eine Länge von 30 bis 50 Fuss angefangen. Während der Zeit der Mauerung der Widerlager kann aber der Transport des gewonnenen Schuttes im untern Stollen nur sehr unvollkommen stattfinden, weil die gelagerten Maurermaterialien die Passage hindern; die Folge davon ist die, dass das vor Ort gewonnene Material gelagert und nach Vollendung der Mauerung nochmals geladen werden muss. Dieses doppelte Laden kann durch die in Entfernungen von circa 50 Fuss angebrachten Querschläge vermieden werden, wobei aber alsdann das vor Ort gewonnene Material mit Butten bis zur Stelle getragen werden muss, wo der Transport mit Hunden geschehen kann; die Mauerung in beiden Widerlagern muss alsdann in ungleichen Distanzen ausgeführt werden. Ebenso sucht man die Hindernisse im Transport für die mittleren Stollen mittelst der Querschläge zu vermindern; man kann sich aber auch dadurch helfen, dass man den in den mittlern Stollen und im Segment gewonnenen Schutt in die untern Stollen herabwirft und dort auf Hunden weiter fördert. Wollte man im Segment zu gleicher Zeit mauern und Schutt fördern, so würden dieselben Hindernisse eintreten, die wir schon bei der belgischen Methode kennen gelernt haben, d. h. die Arbeiten gestalten sich so unvortheilhaft, dass sie nicht zugleich vorgenommen werden können. Dass bei dieser beschränkten Art der Förderung die grösste Regelmässigkeit beobachtet werden muss, um die Störungen zu vermindern, versteht sich von selbst.

Wie aus dem Voranstehenden erwiesen worden, so hängt die Zeitdauer zur Vollendung eines Tunnels von dem Fortschritt im untern Stollen ab; denn obgleich das Segment zuletzt eingewölbt wird, so ist die Mauerung sehr von dem Transport in den untern Stollen abhängig. Die Förderung wird aber um so schwieriger, je weicher das Material ist, je mehr Schutt nämlich in verhältnissmässig kurzer Zeit gewonnen werden kann. In diesem Fall kann die Förderung in den untern Stollen mit der Gewinnung nicht gleichen Schritt halten, wenn die Arbeiten an den übrigen Arbeitsstellen möglichst rasch betrieben werden sollen.

Wenn der Transport nicht sehr vertheuert werden soll, so haben wir schon oben gesehen, dass der Kern stehen bleiben muss, bis die Mauerung vollendet ist. Für die Wegnahme des Kerns und die übrigen Vollendungsarbeiten, wie Mauerung der Tunnelöhle und eines etwaigen Sohlgewölbes, Einbringung des Schotter etc. dürfen wir circa dieselbe Zeit rechnen wie für das ungehinderte Treiben eines Stollens; ferner dürfen wir die Zeit zwischen dem Durchschlag der untern Stollen und der Vollendung der Auswölbung auch zu circa zwei Monaten rechnen. Bezeichnet man daher mit A die Zeit zum Durch-

bruch eines untern Stollen, so berechnet sich die Zeitdauer zur Vollendung eines Tunnels nach deutscher Methode mindestens auf $Z = 2A + 2$ Monaten.

Gegenüber dem englischen System ist die deutsche im Punkte der Zeit im Nachtheil, gegenüber der belgischen in weichem Baugrund, für welchen die Anwendung der deutschen Methode überhaupt nur Sinn hat, gestaltet sie sich etwas vortheilhafter.

Wenn wir nun die Solidität dieser Baumethode betrachten, so haben wir schon oben gesehen, dass durch den successiven Stollenbau der Druck des Gebirges vermehrt wird und dass daher in schwierigem Grunde stärkere Einbauungshölzer und ebenso eine sorgfältige Abspriessung des Kerns bis nach dem Schluss des Gewölbs nöthig sind; es unterliegt alsdann keinem Zweifel, dass jede Gebirgsart mit genügendem Holzaufwand ausgebaut werden kann.

Bei sehr losem Gebirge wird von der Firse ein so grosser Druck auf den Mittelkern ausgeübt, dass derselbe auf allen Seiten förmlich eingeschachtelt werden muss, damit das Material nicht auslaufen kann, es würde sonst die ganze Construction des Einbaues den Zusammenhalt verlieren und dadurch Einstürze herbeigeführt werden. Bei dem Treiben des untern Stollens können in wasserhaltigem, flüssigem Material Höhlungen hinter dem Einbau, die nachher mit Stroh ausgefüllt werden, nicht vermieden werden. Dadurch wird nun Gelegenheit zu den eben erwähnten üblen Folgen gegeben. Ist aber einmal eine theilweise Lösung im Kerne entstanden, so bereitet eben die Baumethode dem raschen und soliden Einbau selbst Hindernisse dar. Ebenso bedingt in solchem Material die Abspriessung auf dem Kern eine Abspriessung der Seitenwände desselben gegen die ausgeführten Widerlager, wodurch der Holzverbrauch bedeutend vermehrt und die Passage in den Stollen noch mehr erschwert wird; ferner wird der Wasserablauf in den engen Stollen durch das herabgeworfene Material sehr gehindert werden, worunter nicht nur der Einbau, sondern auch die Foundation der Mauerung leidet.

Wenn ferner ein Sohlgewölbe nöthig ist, so kann diess erst nach Wegnahme des Kerns eingesetzt werden; in losem Baugrund ist es aber häufig nöthig, mit dem Sohlengewölbe die Mauerung zu beginnen.

In Betreff der Solidität der deutschen Methode erscheint sie gerade in schwierigem Material, für welches die Anwendung von den Freunden derselben empfohlen wird, als sehr unzweckmässig.

Die schon öfters gemachten Erfahrungen, dass Einbrüche bis an die Oberfläche selbst bei einer Tiefe von über 70 Fuss Statt fanden, verdanken ihre Entstehung hauptsächlich dem auf eine grössere Distanz erfolgten Aufschluss des Tunnelprofils mittelst der successiven über einander getriebenen Stollen, ehe die Mauerung erfolgt.

Was den Kostenpunkt betrifft, so stellt sich ein sehr beträchtlicher Unterschied zu Gunsten der englischen Methode heraus. Die vertheuernden Punkte sind hauptsächlich folgende: Die Miniarbeit ist grösstentheils Stollenarbeit und kostet deshalb mehr als gewöhnlicher Ausbruch; das zu den unteren und mittleren Stollen verwendete Holz wird grösstentheils unbrauchbar gemacht, der Holzbedarf ist daher ein weit grösserer; die Hölzer der Stollengevierte müssen ferner alle beschlagen und mit einander verbunden werden, wodurch die Arbeit vermehrt wird; der Transport der Materialien ist ein sehr unvollkommener, indem diese theils getragen, theils auf Hunden gefördert werden; der Holzeinbau der Stollen hindert die Maurer sehr beim Versetzen der Quader, sie können daher weniger leisten als wenn das Profil frei von allem Holzeinbau ist.

Die österreichische Tunnelbaumethode, welche bei den österreichischen Tunnelbauten am Semmering und Karst angewendet wurde und neueren Ursprungs ist, hat mit dem englischen System das Vortreiben eines untern Stollens, ehe mit dem Ausbruch begonnen wird, ferner den Ausbau im ganzen Profil gemein. Sie hat aber die charakteristischen Unterschiede, dass die das Gebirge zunächst haltenden Bohlen ihrer Länge nach parallel der Tunnelachse laufen und von einem Gespärtpolygon in ihrer Lage erhalten werden, das wiederum durch eine feste Zimmerung unterstützt wird (Fig. 82 bis 88). Der Einbau verbreitet sich demnach (in seiner Vollständigkeit) über das ganze Tunnelprofil, während bei der englischen das Profil vollkommen frei ist.

Das Verfahren bei der österreichischen Methode besteht nun darin, dass man von der Tunnelfirse aus mit einem obren Stollen beginnt — Fig. 82, bei losem Baugrund — Fig. 83, diesen zu beiden Seiten erweitert, die Polyongespärre so lange provisorisch unterstützt, bis man auf die Höhe der Schwelle (Fig. 85) herabgekommen ist, auf welche alsdann definitiv abgebaut wird, indem die Polyongespärre durch Langhölzer für die Vertheilung des Druckes unterfangen werden. Die Schwelle selbst wird durch verticale Pfosten getragen, gegen welche das Gebirge der Widerlager verstrebt wird. Ist auf diese Weise der vollständige Ausbruch auf eine Länge von circa 20 Fuss hergestellt, so werden die Lehrschieben gestellt und die Mauerung für diese Länge ausgeführt, während welcher Zeit die Mineurs eine andere Länge einbauen, so dass die Mauerung ununterbrochen von einer Seite aus fortgesetzt werden kann. Da die Arbeit auf diese Weise gleichförmig vorwärts schreitet, so rückt der Ausbruch und Ausbau von der Firse aus stollenartig vorwärts.

Diese Tunnelbaumethode ist nun als die zweckmässigste sowohl in Bezug auf Zeit und Geldersparniss und Solidität bezeichnet werden*). Wenn wir sie in diesen Punkten für weichen Baugrund, für welchen ihre Vorzüge besonders gerühmt werden, der Reihe nach mit dem englischen Betrieb vergleichen, so hängt bei ihr die Vollendung von der Schnelligkeit ab, mit welcher die Mauerung hergestellt werden kann.

In losem Baugrund wird aber durch den Tunnleinbau der untere Stollen so sehr verengt, dass der Schutt- und Maurer-materialtransport für weitere Angriffspunkte zwischen den Schächten und beiden Mündungen sehr erschwert und für die Mauerung die Anwendung von Aufbrüchen, wie wir es bei dem englischen Betrieb gesehen haben, unmöglich gemacht wird. Der untere Stollen hat alsdann nur den Zweck, das Gebirge zu entwässern und bald möglichst eine natürliche Ventilation herzustellen. Die Mauerung nimmt aber mindestens die doppelte Zeit in Anspruch als der Bau eines Stollens. Zu einer Länge von 20 Fuss Ausmauerung bedurfte man am Hauenstein mit 8 Maurern 13 bis 14 Schichten, während in dem für den Einbau äusserst schwierigen Material des wasserhaltigen untern Dolomits der untere Stollen per Schicht um 3 Fuss vorrückte.

Bei der österreichischen Methode kann aber wegen des complicirten Einbaues die Mauerung nicht so schnell wie bei der englischen ausgeführt werden. Es ist daher klar, dass in Betreff der Zeit die österreichische Methode der englischen weit nachsteht, und zwar bei weichem Grunde mehr als bei hartem, wo der Stollenbau weniger rasch vorschreitet.

Was die Solidität anbelangt, so kann mittelst der angewandten Holzconstruction dem grössten Gebirgsdruck gesteuert werden.

*) Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens von Dr. H. Scheffler, Jahrg. 1868, und Berlinerzeitung von Erbkam 1868.

Aber an einem Hauptübel leidet diese Methode, dass nämlich ähnlich wie beim deutschen Betrieb, eine zu grosse Strecke Gebirgs aufgeschlossen, und dass die stützenden Pfosten und Streben für die obere Etage längere Zeit nur provisorisch sein können, wodurch zu Senkungen Veranlassung gegeben und der Druck auf den Einbau sehr vergrössert wird. — So sehr also einerseits die österreichische Einbauart geeignet ist, dem Gebirgsdruck zu begegnen, so wird auf der andern Seite ein vermehrter Gebirgsdruck erst erzeugt dadurch, dass das Gebirge längere Zeit auf dem Einbau ruht, ehe es untermauert wird, welchem Nachtheil man beim Tunnelbau möglichst steuern muss, anstatt ihn hervorzurufen. Dieser Uebelstand könnte dadurch vermieden werden, dass die Miniarbeiten nicht ununterbrochen fortgesetzt werden, sondern dass man eine neue Länge nicht eher ausbricht, bis die vorhergehende untermauert ist; dadurch würde aber die Bauzeit circa verdoppelt werden. Bei der englischen Methode wird das Gebirge aber immer nur auf eine bestimmte Länge ausgebrochen, die alsbald ausgemauert und der Einbau immer gleich definitiv erstellt; dadurch war es möglich, bei der Restauration des Burgdorfer Tunnels, wo das Gebirge (Molassesand) bis an die Oberfläche lose war, Längen von 10 Fuss mit 18 bis 20 zölligen Barren einzubauen, die grösstentheils wieder verwendet werden konnten (s. Anhang). Solche Thatsachen entkräften wohl die Behauptung, dass das österreichische System in gewissen Gebirgsarten in Betreff der Solidität angewendet werden müsse.

Wenn aber für dasselbe in Betreff der Kostenverhältnisse ein Vorzug in Anspruch genommen wird, so widerlegt sich diese Behauptung leicht durch folgende Punkte: Die Solidität des Einbaues beruht hauptsächlich in der regelmässigen Lage der Gespärrehölzer; da deshalb die Arbeit des Ausbruchs sehr vorsichtig geschehen muss, ist sie zeitraubend; die Herstellung der regelmässigen Zimmerung selbst erfordert viele Zeit; in sehr schwerem Baugrund müssen die Gespärre für das Gewölbe mit eingemauert werden, wie es auch in den Zeichnungen angenommen ist; der complicirte Holzeinbau erschwert die Förderung des Schuttes auf die Wagen und in hohem Grad die Ausführung der Mauerung, wenn hiezu Hausteine verwendet werden, weil das Aufziehen derselben auf eine mühsame Weise geschehen muss, und die Maurer selbst bei ihrer Arbeit sogar mehr eingeschränkt sind als bei der deutschen Methode. Zur Schutt- und Steinförderung können wegen des Verbaues nur niedrige Wagen benutzt werden. Derartige zeitraubende Hindernisse kommen aber bei der englischen Methode nicht vor, sie ist daher weit wohlfeiler als die österreichische. Bei härterem Gebirge, wo der Einbau einfacher sein kann, vermindert sich die Kostendifferenz.

Wir kommen daher zu dem Schluss, dass in festem Gestein bei hinreichender Bauzeit das belgische System, wie wir es oben näher erörtert haben, in allen andern Fällen aber das englische den Vorzug verdient.

13. Berechnung der Baukosten des Hauensteintunnels.

Die Baukosten eines Tunnels sind von mancherlei Verhältnissen abhängig. Von hauptsächlichem Einfluss sind:

- 1) der Baubeginn;
- 2) die geognostische Beschaffenheit des zu durchbrechenden Terrains, welche auf die Miniarbeiten und die Ausmauerung einwirkt;
- 3) der damit zusammenhängende Wasserreichthum;
- 4) das Gefälle des Tunnels, welches sehr auf die Förderung influirt;
- 5) die Länge desselben, welche die Anzahl der Schächte und die Förderungsweise — ob durch letztere oder durch die beiden Mündungen — sowie die Ventilationsvorrichtungen bedingt.

Bei Abfassung eines Kostenvoranschlags müssen demnach alle diese Faktoren gewürdigt werden und nur mit Berücksichtigung aller dieser Punkte können, nach gemachten Erfahrungen, Schlüsse in ähnlichen Fällen gemacht werden.

Für die Kosten des Hauensteintunnels stand uns die Einsicht der Buchführung des Unternehmers zu Gebot. Die Einteilung der Kosten war aber dort nach den verschiedenen Materialien in kaufmännischer Form geordnet. Wir wählen für die Aufstellung der Baukosten der Ausführung die Form, in welcher der Voranschlag abgefasst wurde, wobei wir aber vorausschicken, dass die angegebenen Berechnungen sich auf unsere eigenen Beobachtungen stützen.

I. Bureau- und Bauaufsicht.

Das leitende Personal des Unternehmers bestand aus:

1 Ingenieur (Agent des Unternehmers) mit jährlich	Frs. 12000.
1 Oberaufseher für Miniarbeiten	> 4000.
2 Unteraufseher für Miniarbeiten mit je Frs. 3000	> 6000.
1 Oberaufseher für Maurerarbeiten	> 4000.
(Die Aufseher für die einzelnen Arbeitergruppen arbeiteten selbst mit, so weit es angiebt, ihr Lohn ist daher in den Arbeitslisten aufgeführt.)	
1 Cassier	> 3600.
1 Materialverwalter	> 2500.
2 Arbeitslistenführer und Buchhalter mit je Frs. 2500	> 5000.
	jährlich Frs. 37,100.
und für 5 Jahre durchschnittliche Dauer der Anstellung	Frs. 185,500.

II. Zurüstung der Baustellen.

a. Zufahrtswege zu den Arbeitsplätzen	Frs. 10000.
b. Hütten sammt Einrichtung für	> 12000.
1) Bureaux und Bauaufsicht	
	Trsp. Frs. 22,000. Frs. 185,000.

2) Zimmerleute und Wagner	Trsp.	Frs. 22,000.	Frs. 185,500.
3) Schmiede		» 2000.	
4) Dampfmaschinenhäuser		» 3000.	
5) Deckung der Schächte		» 10000.	
6) Magazine		» 1000.	
7) Pferdeställe		» 3000.	
		» 4500.	

III. Betriebsmaterial.

Frs. 45,500.

- a. *Anschaffung und Unterhaltung* der gewöhnlichen Werkzeuge zum Graben, Sprengen, Bearbeitung von Stein, Holz, Eisen etc. Frs. 150,000.
- b. *Hilfsbahnen* sammt *Ausweichen*.
Die zu den Hilfsbahnen verwendeten Schienen wurden dem Unternehmer auf sein Ansuchen von der Centralbahndirektion gegen eine Entschädigungsleistung entsprechend der Abnutzung geliehen, welche sich mit der Verzinsung des Werths der Schienen auf circa 40% des Ankaufs beläuft. Für eine Bahnlänge von 13000 laufende Fuss beträgt die Entschädigungssumme für Schienen, Ankauf der Schwellen, Unterhaltung der Bahn » 60,000.
- c. *Transportwägen*.
Zum Schutttransport wurden auf der Südseite 54 Wägen, auf der Nordseite 12, zum Steintransport auf der Südseite 12, auf der Nordseite 8 verwendet. Die Anfertigung und die Unterhaltung derselben belaufen sich mit Zuhülfeziehung der entsprechenden Zeichnungen auf » 80,000.
- d. *Dampfmaschinen*.
Die für die Schächte Nro. 1 und 3 aufgestellten Dampfmaschinen von je 30 Pferdekraften, die zur Wasserförderung und Ventilation gebrauchten 5 Locomobilen von 3 bis 6 Pferdekraften, verursachten für Ankauf, Transport, Aufstellung und Reparatur einen Kostenaufwand von » 110,000.
- e. *Aufzugsvorrichtungen*.
Diese bestehen in den für die Schächte benützten Handwellen, Pferdegepöl mit gehöriger Ausstattung, Kübel und Fässer, Schiebbühnen über den Schächten, ferner die Hebmachines zum Versetzen der Steine für die Mauerung; Herstellung und Unterhaltung » 45,000.
- f. *Ventilationsvorrichtungen*.
Hiezu gehören die hölzernen Ventilationsröhren in den Schächten und auf der Südseite, Wasserräder, Ventilatoren mit den nöthigen Uebersetzungen; Anfertigung und Unterhaltung » 36,000.
- g. *Pumpen*.
Der Ankauf und die Unterhaltung der kupfernen und eisernen Pumpen, der Uebersetzungsvorrichtungen bei denselben, der hölzernen und eisernen Röhrenleitung » 40,000.

IV. Dotation einer Krankenkasse.

Frs. 521,000.

Die Krankenkasse wurde aus einem Lohnabzug der Arbeiter gebildet.

V. Verzinsung des Betriebskapitals, Provisionen an Banquiers etc.

Hiefür darf für die Bauzeit gerechnet werden Frs. 150,000.

VI. Minir- und Grabarbeiten.

a. *Einschnitte vor beiden Tunnelmündungen* Frs. 40,000.

b. *Schächte.*

Die Kosten hiefür setzen sich zusammen aus den Arbeitslöhnen für Minirarbeiten und den Ausgaben für den Einbau.

Im Schacht Nro. 1 dürfen wir per 30 Tage einen durchschnittlichen Fortschritt von 55 Fuss annehmen, bei den Schächten Nr. 2 und 3 theils wegen der bedeutenden Wasserförderung, theils wegen des harten Materials durchschnittlich 35 Fuss.

Das Abteufen sämtlicher Schächte mit Förderung des Schuttes und des Wassers beläuft sich auf » 205,000.

c. *Stollen und Ausbrüche.*

Wir verfolgen hiebei die verschiedenen Materialien von der Süd- zur Nordseite und berechnen die Handarbeit für Ausbrechen mit Pulververbrauch, Einbauen und Aufladen.

Stollen.

Mergel des Marlysandstones	250 Fuss.
Marlysandstone	430 »
Opalinusthon	1770 »
Unterer Eisenrogenstein	110 »
Liasmergel	820 »
Liaskalke	170 »
Keuperformation mit der Lettenkohle	760 »
Lettenkohle und Lettenkohle, Salzthon	200 »

Trsp. Frs. 245,000. Frs. 902,000.

Oberer Muschelkalkdolomit	90 Fuss.
Fester Muschelkalk	270 »
Unterer Muschelkalkdolomit	220 »
Gebrochener Muschelkalk	170 »
Dolomit und Salzthongebilde	260 »
Fester Muschelkalk	400 »
Unterer Dolomit	200 »
Fester Muschelkalk, theilweise Breccie mit sehr viel Wasser	740 »
Unterer Dolomit und Salzthon	420 »
Gebrochener Muschelkalk mit viel Wasser	470 »
Unterer Dolomit und Salzthon	240 »
Anhydrit	130 »
Unterer Salzthon	200 »

Hiebei nehmen wir an, dass die Mergel des Marlysandstone, Opalinusthone, Liasmergel, untere Dolomite und Salzthone, zusammen 4380 laufende Fuss, im Mittel einen täglichen Fortschritt von 5 Fuss bei gut unterhaltener Ventilation abgeben; Keuperformation und gebrochener Muschelkalk, zusammen 1400 l. F., einen täglichen Fortschritt von 4,5 Fuss; Marlysandstone, oberer Muschelkalkdolomit, zusammen 520 l. F., einen täglichen Fortschritt von 4 Fuss; unterer Eisenrogenstein, Liaskalk, Anhydrit, Lettenkohlegypse, Lettenkohle, Salzthon, zusammen 610 l. F., 3 Fuss täglicher Fortschritt; fester Muschelkalk mit wenig Wasser, zusammen 670 l. F., 1,8 Fuss Fortschritt; fester Muschelkalk, theilweise Breccie mit viel Wasser, 740 l. F., durchschnittlich 1,2 Fuss täglicher Fortschritt.

Die Kosten für den Bau des untern Stollen berechnen sich nun folgendermassen: Handarbeit mit Pulververbrauch:

4380 laufende Fuss à 22 Frs. =	Frs. 105,120.
1400 » » à 28 » =	» 39,200.
520 » » à 32 » =	» 16,640.
610 » » à 42 » =	» 25,620.
670 » » à 85 » =	» 56,950.
740 » » à 127 » =	» 93,980.
	= 337,510.

Ausbrüche. Handarbeit mit Pulververbrauch.

4380 laufende Fuss à 58 Frs. =	Frs. 254,040.
1400 » » à 65 » =	» 91,000.
520 » » à 80 » =	» 41,600.
610 » » à 110 » =	» 67,100.
670 » » à 210 » =	» 140,700.
740 » » à 300 » =	» 222,000.
	= 816,440.

Frs. 1,398,950.

VII. Maurer- und Steinhauerarbeit.

a. *Tunnel.*

Die hier aufgeführten Preise begreifen den Ankauf per Maurermaterialien und die Handarbeit der Mauerung. Die sehr gut bearbeiteten Hausteine der Ausmauerung sind im Maximum mit 80 Cts. per Kubikfuss bezahlt worden.

2550 l. F. 20" stark im Scheitel, Quadratinhalt des Mauerwerks 163 □', pro l. F. 160 Frs. =	Frs. 408,000.
2115 l. F. 16" stark im Scheitel, Quadratinhalt des Mauerwerks 116 □', pro l. F. 126 Frs. =	» 266,490.
1995 l. F. 13" im Scheitel, Quadratinh. d. Mauerwerks 109 □' pr. l. F. 120 Frs. =	» 239,400.
240 l. F. Gewölbekappe 13" im Scheitel, Quadratinhalt des Gewölbes 68 □', pro l. F. 85 Frs. =	» 20,400.
1420 l. F. ohne Mauerung	—
Betonüberzug über das Gewölbe	» 2,000.
Trockene Hintermauerung	» 40,000.
	Frs. 976,290.

b. *Portale und Flügel.*

Mauerwerk an Flügeln und Stirnen	Frs. 20,000.
Quaderwerk	» 30,000.
Trockene Hintermauerung	» 2,000.
	= 52,000.

c. *Stützmauer im nördlichen Einschnitt.*

Mauerwerk	Frs. 25,000.
Trockene Hintermauerung	» 2,000.
	= 27,000.

Trsp. Fr. 1,055,290. Frs. 2,300,950.

Trsp. Frs. 1,055,290. Frs. 2,300,950.

d. Wasserabzugsdohle.

Mauerwerk	Frs. 100,000.
Betonsohle im Tunnel	» 25,000.
	» 125,000.

Hierunter ist das in régie ausgeführte Sohlengewölbe im Betrag von Frs. 120,000 nicht inbegriffen. = 1,180,290.

VIII. Beschotterung

wurde in régie besorgt.

IX. Zimmer- und Schmiedearbeiten.

a. Rüstung der Portale	Frs. 1,000.
b. Schachtzimmerung (schon unter den Schächten berechnet).	
c. Stollenzimmerung	» 40,000.

Unterer Stollen bedurfte auf circa 4400' einen Einbau » 40,000.
Zu dem oberen Stollen konnten die Hölzer des untern Stollens wieder verwendet werden.
Ausbrüche.

Es wurden 27 Aufbrüche gemacht. Rechnet man für jeden Aufbruch durchschnittlich 20 Rundhölzer von circa 15" Durchmesser und 25' Länge, ferner 200 l. F. Pfosten und für die Länge von 4200 l. F. eine Bohlenverschalung, von welcher für die 6 Kronbalken alle Bohlen eingemauert werden, und nimmt man ferner an, dass die Barren und Pfosten für die Ausbruchlängen zwischen 2 Aufbrüchen einmal erneuert werden, so ergibt sich eine Kostensumme von . . . Frs. 134,000.
Lehrbögen und Lehrgerüste » 25,000.

X. Förderung

a. des Ausbruchmaterials der Stollen und Ausbrüche	Frs. 410,000.
b. der Maurermaterialien	» 230,000.
c. des Wassers (unter d inbegriffen),	
d. Bedienung, Betrieb und Unterhaltung der Dampfmaschinen, Ventilationsvorrichtungen, Pumpen etc.	» 280,000.
	» 920,000.

XI. Beleuchtung.

Für eine Schicht von 12 Stunden muss für Beleuchtung per Mann 30 Centimes gerechnet werden » 200,000.

XII. Räumung der Baustelle

	» 10,000.
Total-Summe	Frs. 4,811,240.

Zusammenstellung.

I. Bureau und Bauaufsicht	Frs. 185,500.
II. Zurüstung der Baustelle	» 45,500.
III. Betriebsmaterial	» 521,000.
IV. Dotation einer Krankenkasse	» —
V. Verzinsung des Betriebskapitals	» 150,000.
VI. Minir- und Grabarbeiten	» 1,398,950.
VII. Maurer- und Steinhauerarbeit	» 1,180,290.
VIII. Beschotterung	» —
IX. Zimmer- und Schmiedearbeiten	» 200,000.
X. Förderung	» 920,000.
XI. Beleuchtung	» 200,000.
XII. Räumung der Baustelle	» 10,000.
	Frs. 4,811,240.

Werth des übrig bleibenden Materials in Abzug » 61,240.
Gesamt-Kosten Frs. 4,750,000.
Die Accordssumme beträgt dagegen nur 4,250,000 Frs.

In folgender Tabelle geben wir eine Zusammenstellung der Baukosten über verschiedene ausgeführte Canal- und Eisenbahntunnels*):

Benennung des Tunnels.	Jahr.	Canal C oder Eisenbahn E.	Totallänge	Breite zwischen Bögenmitte			Gewölbedicke	Grösste Tiefe der Sohle.	Bausperide.	Anzahl der Kosten per Metr.	Beschaffenheit des Terrains.	Bemerkungen.
				Mtr.	Mtr.	Mtr.						
Terre-Noire	1826	E. Lyon-Saint-Etienne	1500	3,30	—	84	36	799	Schiefer und Kohlensandstein.			
Charleroy	1828	C. Charleroy	1288	4,30	0,70	36	48	1240	Thon, loser Sand, Wasser.	Das Gewölbe hat durch den Druck ein wenig gelitten.		
Cumplieh	1835	E. Lourain	925	4,30	0,46	29	24	850	Fliegender Sand und Thon, Wasser.			
Hercastle	1825	C. Grand-Trunk	2630	4,20	0,45	57	50	990	Felsen, Sand, Kohlensandstein etc.			
Sapperton	1783	C. Thames et Severn	3830	4,50	—	75	72	—	In Allgemeinen sehr harter Felsen.			
Blisworth	1798	C. de Grande-Jonction	2820	4,80	—	18	84	430				
Braine-le-Comte	—	E. Belge	641	5	—	—	—	1200		Durch schwierigen Boden getrieben und ganz mit Backsteinen verkleidet.		
Sainte-Aignan	1822	C. Ardennes	262	6	0,50	45	—	1070	Muschelkalkstein.			
Pouilly	1824	C. Bourgogne	3330	6,20	0,65	50	96	2000	Schiefermergel, Gryphitenkalk, wenig Wasser.	Mittelst 32 rechts und links der Tunnelaxe abgetauften Schächte angelegt.		
Han	1838	C. Canalisation de la Meusel	554	6,40	—	32	34	954	Grobkörniger bläulich-grauer Kalkstein (terrain dévonien) ohne Wasser.	Ohne Mauerverkleidung. Mittelst 7 Schächten angelegt.		
Revin	1838	ditto.	213	6,40	—	30	29	1180	Schieferartiger und quarzhaltiger Felsen.	Ohne Mauerverkleidung.		
Boratte	—	E. Rhénan en Belgique	—	7,24	—	—	—	1700				
Kilsby	1834	E. Londres-Birmingham	2204	7,30	—	50	48	3410	Weiches Material, Sand, viel Wasser.			
Bleckingley	1840	E. Londres-Douvres	1210	7,32	0,75	28	24	1992	Blauer Letten, sehr hart, Sand mit viel Wasser.	Die Gewölbedicke beträgt abwechselnd 57 und 92 Centimeter. Die Widerlager haben eine Mauerverkleidung. Dieser Tunnel wurde mittelst 12 Schächten angelegt.		
Saltwood	1842	ditto.	872	7,32	0,80	29	—	3664	Grünsand, viel Wasser.	Die Gewölbedicke beträgt abwechselnd 68 und 92 Centimeter. Die Widerlager haben eine Mauerverkleidung. Dieser Tunnel wurde mittelst 12 Schächten angelegt.		
Colanelle	—		750	—	—	—	15	2000				
White-Hall	—	E. Exeter	—	—	—	—	—	1451				
Great-Western	—	E. Great-Western	—	—	—	—	—	2709		Die Breite dieser Tunnels beträgt 6 bis 8 Meter.		
Cheltenham	—		—	—	—	—	—	924				
Box	—		2850	—	—	—	48	2500				
Batignolles	1837	E. St. Germain	333	7,40	0,90	18	18	2380	Gyps, Sand, Mergel, kein Wasser.	Die Rückseite der Mauerung ist mit einem Ueberzug aus Mörtel und Asphalt versehen, letzteres noch mit einer Lage Kieselsteine überdeckt, sowie mit Trockenmauerung, welches nicht in der Gewölbedicke von 90 Centimeter begriffen ist. Bei dem Bau der Eisenbahn von Versailles wurde ein zweiter Tunnel parallel dem ersten angelegt. Ein für beide Tunnel gemeiner Widerlager von 1 m. 40 Dicke hält dieselben getrennt.		
Montretout	1838	E. Versailles	168	7,40	0,90	10	13	2071	Mergel, Sandstein, loser Sand, wenig Wasser.	Die Rückseite der Mauerung ist mit einem Ueberzug aus Mörtel und Asphalt versehen, letzteres noch mit einer Lage Kieselsteinen überdeckt, sowie mit Trockenmauerung, welches nicht in der Gewölbedicke von 90 Centimeter begriffen ist.		
Saint-Cloud	1837	E. Versailles	504	7,40	1,35	—	15	2180	Grüner Mergel, Gyps, Wasser.	Die geringste Mauerdicke beträgt 90 Centimeter.		
Dix-huit Tunnels	—	E. Liège-Aix-la-Chapelle	—	7,50	—	—	—	1250		Mit einer 1/4 Backsteinmauerung versehen.		
Rolleboise	1841	E. Bouen	2642	7,60	0,45	87	24	1105	Harte Kreide u. Feuerstein, wenig Wasser.	In Folge von Nachrutschungen wurde die Gewölbedicke an einigen Stellen verstärkt. Im Bausch-Accord ausgeführt, auf 680 m. Länge ohne Mauerung.		
Roule	1841	ditto.	1720	7,60	0,45	55	20	1105	ditto.	In Folge von Nachrutschungen wurde die Gewölbedicke an einigen Stellen verstärkt. Im Accord ausgeführt.		
Venables	1841	ditto.	265	7,60	0,45	30	20	1105	Wenig Wasser, Kreide, Thonerde und Feuerstein.	ditto.		
Tourville	1841	ditto.	465	7,60	0,45	32	18	1105	ditto.			
Ripueval	1803	C. Saint-Quentir	5675	3	0,36	64	84	700	Weiche und harte Kreide, viel Wasser.	Zuerst ohne Mauerung ausgeführt, dann auf die Hälfte seiner Länge verkleidet. Mittelst 5 in Zwischenräumen von 100 m. auf die Tunnelaxe abgetauften Schächte angelegt.		

* Ein grosser Theil dieser Tabelle ist dem Werkchen „Tunnel de St. Cloud par Toit Fontenay“ entlehnt.

Benennung des Tunnels.	Jahr.	Canal U oder Eisenbahn E.	Totallänge.	Breite zwischen Bogenmitte.			Grösse Tiefe der Schichten.	Bauperiode.	Anzahl Tage nur von 3 Uhr bis 10 Uhr.	Fr.	Beschaffenheit des Terrains.	Bemerkungen.
				Mtr.	Mtr.	Mtr.						
Tronquoy	1803	dito.	1103	8,00	0,36	50	—	770	—	Zerrüttete Kreide, ohne Wasser.	Zuerst an einigen Stellen und später auf seine ganze Länge verkleidet. Von 12 in Entfernung von 150 bis 540 m. hergestellten Schichten aus in Angriff genommen.	
Thames et Medway	1822	C. Thames et Medway	3620	9,00	—	59	—	800	—	Weiche und harte Kreide.		
Foug	1839	C. Marne au Rhin	868	8,00	0,80 bis 1,80.	61	46	1560	—	Mergel und Kalkstein des Oxford-Clay, Oolith- und Juraformation, eine beträchtliche Wassermenge.	Das Gewölbe wurde in 30 Monaten vollendet. — Sehr hartes Gebirge, das nur durch Pulver bewältigt werden konnte. Die oberen Bänke sehr zerbrochen und waren durchgängig nur durch Stützen zu halten.	
Liverdun	1839	dito.	380	8,00	0,50 bis 1,20.	33	57	1600	—	Sehr unregelmässgr. Oolith-Kalkstein, kein Uebergang des Ooliths in den Lias, kein Wasser.	Das Gewölbe wurde in 19 Monaten vollendet, es trat dann eine 15monatliche Unterbrechung ein. Der Sand wurde bei den Tunnelzügen gewonnen, zur Mauerung lieferte der Ausbruch das Material.	
Arschwiller	1839	C. Marne au Rhin	2250	8,00	0,90	65	72	1000 bis 1200	—	Viel Wasser, das aber durch zerklüftete Stellen versiegt. Vogesen-Sandstein.	Auf 1900 m. Länge ist keine Verkleidung angebracht; das zur Mauerung nötige Material wurde an der Stelle selbst bezogen.	
Arschwiller	1840	dito.	410	8,00	1,00	28	57	1000 bis 1400	—	dito.	Das ganze Gewölbe mit einem Uebergang versehen.	
Mauvages	1840	dito.	4800	7,80	0,50	120	72 unvollendet.	1550 bis 1700.	—	Fester aber leicht zu durchtreibender Mergel des Kimmeridge-Clay. — Viel Wasser in den Schichten, nicht aber im Stollen.	Das Gewölbe wurde nach 5 Jahren, anno 1845, ganz vollendet. Es waren 22 Schächte projectirt. Die Zahl der ausgeführten betrug 17, wovon 13 beständig Dienst geleistet haben.	
Sainte-Catherine	1844	E. du Havre	1050	7,62	0,45	131	—	1000 bis 1200.	—	Kreide mit kieschaltigen Bänken und Feuersteinkauern durchzogen.	Auf die Hälfte der Länge eine Krümmung von 750 m. Radius erhalten, und wie die 7 nachstehenden, in Accord ausgeführt zu fr. 889 —, die unvorhergesehenen, von Rutschungen, Vermehrung der Mauerstärke, Wasserschöpfen und Arbeiten zu dessen Abfluss etc. herrührenden Kosten nicht inbegriffen.	
Rue percée	—	dito.	80	7,62	0,45	16	—	dito.	—	Das nämliche Gebirge, wenig Wasser.	In einer Krümmung von 950 m. Radius und einer Steigung von 0,0055.	
Roulingrin	—	dito.	1460	7,62	0,45	21	—	dito.	—	dito.	In einer Krümmung von 1600 m. Radius auf 500 m. Länge und einer Steigung von 0,00535.	
Cimetière Saint Maur	—	dito.	1134	7,62	0,45	27	—	dito.	—	dito.	In einer Steigung von 0,00535.	
Mont-Riboudet	—	dito.	360	7,62	0,45	26	—	dito.	—	dito.	In einer Krümmung von 800 m. Radius und einer Steigung von 0,0053.	
Pissy-Poville	—	dito.	2200	7,62	0,45	66	—	dito.	—	dito.	In einer Steigung von 0,005.	
Pissy-Poville	—	dito.	200	7,62	0,45	28	—	dito.	—	dito.	In einer Krümmung von 1,200 m. Radius und einer Steigung von 0,005.	
Le Banage	—	dito.	160	7,62	0,45	—	—	dito.	—	dito.	In einer Krümmung von 1000 m. Radius und einer Steigung von 0,005.	
Rosenstein	1844	E. Stuttgari-Cannstadt	363	7,40	0,57	—	18	1137	—	Keupermergel, Geschiebe und Conglomerate, Thon und Dilavium.	Steigung 8‰.	
Papur	1855	E. Schweiz. Centralbahn	270	7,8	—	—	14	1138	—	Compacte Oolithfelsen.	Nur die Eingänge gemauert. Steigung 20, 80‰.	
Laüfelfinger-Fluh	1854	dito.	53	7,8	0,45	—	8	1243	—	Zerklüfteter Oolithfelsen.	Ist bloss eine Gewölbedecke eingesetzt. Steigung 20, 80‰.	
Hauenstein Aarau	1853	dito.	2496	7,8	0,4 bis 0,6.	*)	60	1923	—	Siehe Bericht.	Gefall 26,23‰.	
Aarburg Luzern	1855	dito.	69	7,8	0,45	—	9	1357	—	Astartenkalk.	Steigung 10‰.	
Burgdorf	1857	dito.	319	5,4	0,45	—	18	1128	—	Geschichteter harter Molassesandstein.	Horizontal. Einspurig. Steigung 3‰; auf 84 Meter von beiden Seiten aus offen betrieben.	
Bommelstein	1855	dito.	510	7,8	0,60	—	24	902	—	Losser Sand und Molassesandstein.	Gefall 7‰. Backsteinausmauerung.	
Bommelstein	1856	Vereinig. Schweizerbahnen	178	4,80	0,60	10	13	425	—	Schiefriger Kalkstein, sehr hart.	Einwölbung beider Eingänge auf je 7 m. Länge. 1 horiz. Stollen; zur Hälfte in einer Curve von 300 m. Radius.	
Bühl	1857	dito.	113	4,80	—	—	9	417	—	Sernfschiefer (Verrucano).	Ohne Einwölbung. Steigung 2,16‰.	
Rossplatte	1837	dito.	108	4,80	0,60	—	14	464	—	dito.	Ein Eingang 6 m., 6 lang gewölbt. Gefall 3,58‰.	
Stutz	1858	dito.	120	4,71	0,60	—	13	1356	—	Lockerer Kalkfelsen mit Thonschichten durchzogen u. Erde mit grobem Kies.	Die ganze Länge eingewölbt; zu 2/3 in einer Curve v. 300 m. Rad. Gefall 4,0‰.	
Hechlen	1858	dito.	83	4,80	0,60	—	7	523	—	Kalkfelsen.	Einwölbung beider Eingänge.	
Glatzwand obere	1858	dito.	107	4,80	0,60	—	10	440	—	dito.	Ein Eingang gewölbt.	
Standenhorn	1858	dito.	248	4,80	0,60	39	8	512	—	dito.	Ein Eingang gewölbt; 1 horiz. Stollen; Contrecurve v. 450 m. u. 600 m. Rad. Steigung 4,0‰.	
Glatzwand untere	1858	dito.	198	4,89	0,60	6	9	632	—	dito sehr hart.	Zwei Eingänge gewölbt; 1 horiz. Stollen. Gefall 4,0‰. auf 60 m. Länge Curve von 450 m. Rad.	
Weisswand	1858	dito.	200	4,80	0,60	13	10	686	—	dito zieml. viel Wasser.	Zwei Eingänge gewölbt; ebenso im Innern 30 m. 1 horiz. Stollen. Gefall 4,0‰.	
Ofeneck	1858	dito.	250	4,80	0,60	16	9	510	—	dito.	Zwei Eingänge gewölbt; ebenso im Innern 10 m. 2 horiz. Stollen. Zu 2/3 in einer Curve von 300 m. Rad.	

*) Nro. 1 170 M.; Nro. 2 nicht abgeteilt; Nro. 3 128 Mètres.

Anhang.

Vertrag über die Ausführung des Hauensteintunnels auf der Linie Basel-Olten, abgeschlossen zwischen dem Directorium der Schweizerischen Centralbahn einerseits und Herrn Thomas Brassey als Unternehmer anderseits.

Art. 1. Das Directorium der Schweizerischen Centralbahn überträgt Herrn Th^s Brassey die Ausführung des Hauensteintunnels auf der Linie Basel-Olten unter den Bestimmungen und Vorschriften des allgemeinen Bedingnisshäftes, insofern dieselben nicht durch nachstehende besondere Bedingungen abgeändert oder abgekürzt sind.

Art. 2. Die Lage des Tunnels ist durch die an beiden Oeffnungen durch die Verwaltung in Regie begonnenen Arbeiten bestimmt, welche letztere bis zur Uebergabe des Tunnels an einen Unternehmer fortgesetzt werden. Die Tunnelachse ist durch die theils an beiden Mündungen, theils auf dem Hauenstein und auf den entgegengesetzten Höhen vorgenommenen Abmessungen festgesetzt. — Uebrigens ist die Linie auf der ganzen Tunnellänge und auf beiden Zugängen von Basel und Olten ausgesteckt.

Die Länge des Tunnels, von einem Portal zum andern gemessen, beträgt 8320 Schweizerfuss.

Die Steigung des Tunnels ist durch die an beiden Oeffnungen angebrachten Marken bestimmt, zwischen welchen der Tunnel auf seine ganze Länge von Norden gegen Süden ein Gefälle von 0,0265 oder 1 : 38 erhält.

Das Gefälle des Tunnels an beiden Zugängen ist durch das Längenprofil bestimmt.

Alle Messungen, Richtungen und Nivellirungen hat der Unternehmer auf die oben erwähnte durch die Ingenieure der Verwaltung ausgeführte Aussteckung zu gründen; die Ausführung derselben geschieht auf seine Kosten und Gefahr. Die Verwaltung behält sich jedoch das Recht vor, die durch den Unternehmer ausgeführten Operationen zu jeder Zeit durch ihre Ingenieure verificiren zu lassen.

Art. 3. Der Tunnel ist beiliegendem Profil gemäss zweispurig anzulegen. In der Richtung von Norden nach Süden durchbricht er die Formationen des Muschelkalks, des Keupers und des Lias. In Betreff der Ausdehnung dieser Formationen auf der ganzen Tunnellänge kann dem Unternehmer keine vorherige genaue Angabe gemacht werden. Es fallen daher alle Chancen einer mehr oder weniger günstigen Lage, oder einer mehr oder weniger häufigen Veränderung der geologischen Lage des Gebirgs zu seinen Lasten, ebenso diejenigen des Anschneidens von Wasseradern, insofern solche Fälle auf den Fortschritt und die Kosten der Ausführung Einfluss haben könnten; in Folge dessen hat der Unternehmer die Zahl und die Stelle der Schächte und im Allgemeinen die für die Arbeiten anzuwendende Betriebsart nach seiner Ansicht zu bestimmen.

Art. 4. Die zur Errichtung von Hilfsbahnen, Lager- und Arbeitsplätzen, zur Einrichtung von Bureaux, Werkstätten, Magazinen, Weinschenken etc. nöthigen Grundstücke werden von der Verwaltung abgetreten und dem Unternehmer für die ganze Dauer der Arbeit unentgeltlich zur Verfügung gestellt. Jedoch wird der zu solchen Einrichtungen nöthige Raum durch die Bauleitung bestimmt.

Art. 5. Die durch die Verwaltung an beiden Tunnelmündungen in Regie ausgeführten Arbeiten, nämlich die Herstellung der Einschnitte und der unteren Stollen, die zum Betrieb der Arbeiten aufgeführten Gebäude, sowie die schon in Dienst befindlichen Materialien, Geräthschaften und Apparate aller Gattungen, werden dem Unternehmer gegen Rückerstattung aller dafür gehabten Auslagen als Eigenthum überlassen.

Der Unternehmer des Tunnels übernimmt ebenfalls alle durch die Verwaltung mit andern Unternehmern und Lieferanten für oben erwähnte Arbeiten abgeschlossenen Ankäufe oder Verträge, sofern dieselben nicht vor der Uebernahme des Tunnels aufgehoben worden sind.

Art. 6. Der Ausbruch und die Verkleidung sollen, nach der geologischen Lage des Gebirgs in den verschiedenen Aufbrüchen, den beiliegenden Profilen gemäss ausgeführt werden. Es ist anzunehmen

Profil A für die in festem unzerklüfteten Felsen getriebenen Theile, welche dem Einfluss von äusseren Wirkungen, dem Wasser und der Atmosphäre widerstehen;

Profil B für jene Theile, deren Widerlager, nicht aber die Tunnelfirste, obig erwähnte Eigenschaften besitzen;

Profil C für jene Theile, deren Widerlager, obwohl hinlänglich fest einem grossen Verticaldruck zu widerstehen, jedoch zerklüftet oder der Verwitterung ausgesetzt sind;

Profil D für jene Theile, welche in stark zerklüfteten Felsen oder in Geröll, oder auch in zerrüttetes Terrain oder im Allgemeinen in solches ohne Haltbarkeit fallen.*)

Der Sectionsingenieur entscheidet je nach den örtlichen Umständen über die Ausführung des einen oder des andern der hier bezeichneten Profile. Im Fall der Unternehmung mit diesem Beschluss nicht einverstanden wäre, so kann er sich an den Oberingenieur wenden, dessen Spruch endgültig entscheidet.

Art. 7. In denjenigen Theilen des Tunnels, die keiner Verkleidung bedürfen, sind die Widerlager und die Firste von allen hervorragenden Theilen zu befreien und möglichst sauber abzuspitzen.

Wo der Tunnel durch Felsen getrieben wird, ist die Planie nach dem Normalprofil auszubrechen; die noch bleibenden unregelmässigen Stellen werden mittelst Mauerung oder Betonirung geebnet, so dass das Wasser in der nach der Tunnelachse

*) Die Profile A, B, C und D entsprechen den Figuren 45, 44, 43 und 42.

zu erstellenden Dohle ungehindert abfliessen kann. Im Allgemeinen soll die Fläche, worauf der Schotter eingebracht wird, eine möglichst ebene Oberfläche darbieten.

Art. 8. Zur Fundation der Mauerung und der Widerlager, und zur Bedeckung der Abflussrinnen im Tunnel können Sand- und Kalksteine aus der Umgegend verwendet werden, jedoch nur, wenn dieselben durch die Erfahrung als den Einflüssen von Frost und Nässe vollkommen widerstehend anerkannt worden sind. — Ueber die Zulassung der einen oder der andern dieser Steinsorten entscheidet der Sectionsingenieur, nach dessen Beschluss sich jedoch der Unternehmer an den Oberingenieur wenden kann, aber ohne weitere Berufung.

Die zur Ausmauerung bestimmten Steine sollen nach §. 11 der Vorschriften des Bedingnisshettes über die Ausführung der Maurer- und Steinhauerarbeiten bearbeitet sein; für eine Mauerdicke von höchstens 15 Zoll müssen die Steine aus lauter Binder, für eine Mauerdicke von 15 bis 25 Zoll müssen sie zu zwei Drittheilen aus Binder bestehen.

Die für die Widerlager der Profile B und C behauenen Steine, ebenso diejenigen für die Gesichtsfläche der Wölbung und die Deckplatten zur Abflussrinne sollen nach §. 15 der oben erwähnten Vorschriften bearbeitet sein. Die Fläche der für die Profile B und C zu verwendenden Steine soll nicht weniger als 3 Fuss betragen.

Art. 9. Da wo es die Bauleitung für zweckmässig erachtet, ist die Gewölbausmauerung mit einer Betonschicht von circa 3 Zoll zu überdecken.

Für den regelmässigen Abfluss der Wasser, die sich auf dem Gewölbe oder hinter den Widerlagern ansammeln könnten, werden in der Mauerung Oeffnungen behalten, die durch 3 Zoll weiten Abstand der Stossfugen gebildet werden. Die Zahl und die Stelle dieser Oeffnungen werden nach den Umständen durch den bauleitenden Ingenieur bestimmt.

Um den Abfluss des Wassers, das sich unter dem Schotter ansammeln könnte, in die Wasserabzugsdohle zu sichern, erhalten die Stossfugen derselben einen 1 Zoll weiten Abstand von einander.

Art. 10. Für alle Theile der Mauerung soll der Mörtel aus magerem Kalk und reinem aber nicht zu feinem Sande bestehen. Für die, starken Wasserandränge ausgesetzten Stellen wird, um dessen Erhärtung zu fördern, Trass oder jeder andere vulkanische, zu diesem Zweck geeignete Gegenstand zugesetzt.

Die Verwaltung behält sich das Recht vor, die vom Unternehmer für die Bereitung des Mörtels gelieferten Materialien Proben zu unterwerfen und dieselben, wenn sie den Erfordernissen nicht entsprechen, zu verwerfen.

Art. 11. Die über dem Normalprofil des Tunnelausbruchs durch schlecht angelegte Minen, durch Verschüttungen oder andere Unfälle dieser Art entstandenen hohlen Räume hat der Unternehmer den hierfür bestehenden Regeln gemäss, mit Trockenmauerung auszufüllen.

Art. 12. Die Portale und Flügelmauern des Tunnels sollen genau nach den durch die Verwaltung gegebenen Plänen erstellt werden. Zur gewöhnlichen Mauerung und zur Mauerung mit behauenen Steinen sollen Kalksteine erster Qualität verwendet werden, erstere hat nach §. 12, letztere nach §. 16 der Vorschriften des Bedingnisshettes über die Ausführung der Maurer- und Steinhauerarbeiten mit, aus reinem Sand zusammengesetzten Mörtel zu geschehen. — Zu den Stützmauern vor dem nördlichen Tunnelleingang sollen dauerhafte Kalksteine nach §. 10 der oben erwähnten Vorschriften und Mörtel aus magerem Kalk und grobem Sande verwendet werden.

Art. 13. Der durch den Tunnelbau gewonnene Schutt ist zu dem Bahndamm zu verwenden: von der Nordseite aus bis Nr. 11000, von der Südseite aus bis Nr. 3500, und nach den durch die Verwaltung aufgestellten Profilen anzuhäufen. — Der Ueberschuss dieses Materials, sowie der durch das Abteufen der Schächte erhaltene Schutt sind an die von der Verwaltung zu diesem Zweck erworbenen Stellen zu transportiren und daselbst den durch dieselbe formulirten Vorschriften gemäss abzulagern.

Art. 14. Im Fall beim Tunnelausbruch Steine vorgefunden werden, die sich zur Mauerung oder als Schotter eignen, so ist dem Unternehmer erlaubt, dieselben für die besagten Arbeiten auf geeignete Weise zu benützen, ohne der Verwaltung irgend eine Entschädigung dafür zu entrichten. — Ueber die Verwendung solcher Materialien hat der Sectionsingenieur zu entscheiden; dem Unternehmer bleibt, in letzter Instanz aber, vorbehalten, mit diesem Beschluss an den Oberingenieur zu gelangen.

Art. 15. Die auf die Zimmerungen, Bogengerüste und Gerüste in den Stollen und Schächten bezüglichen Anordnungen werden dem Unternehmer überlassen, die Verwaltung behält sich jedoch das Recht vor, im Falle der Unternehmer die nöthigen Vorsichtsmassregeln vernachlässigen würde, im Interesse der Sicherheit für die Arbeiter dagegen einzuschreiten.

Art. 16. Spätestens 3 Monate nach Vollendung des Tunnels und der dazu gehörenden Bauobjecte hat der Unternehmer alle der Verwaltung angehörenden Arbeitsplätze zu räumen, die darauf errichteten Schuppen sammt den darin lagernden Baumaterialien und Apparaten wieder zu entfernen und endlich die Schächte wieder auszufüllen.

Art. 17. Zur Vollendung aller auf den Tunnel Bezug habenden Arbeiten, nämlich für den vollständigen Tunnelausbruch und dessen Ausmauerung, die Anordnungen für den Wasserabfluss, die Flügel- und Stützmauern bei den Portalen, die Aushebung und Herstellung der Einschnitte bei den Eingängen, die Förderung und Ablagerung der vom Tunnelausbruch und den Einschnitten herrührenden Materialien, die Vertheilung dieser Materialien nach den Anweisungen ist dem Unternehmer ein Termin von 3 Jahren und 9 Monaten festgesetzt. Dieser Termin beginnt mit dem 1. Juli 1853 und endet mit dem 31. März 1857. Jedoch sollen die Arbeiten bis 1. März 1857 so weit vorgerückt sein, dass mit dem Oberbaulegen im Tunnel sofort begonnen werden kann.

Im Fall der Nichteinhaltung des obigen Termins ist der Unternehmer einer Conventionalstrafe von Fr. 2000 — für jeden Tag der Verspätung verfallen.

Art. 18. Für die vollständige plan- und vertragsgemässe Ausführung der in §. 17 benannten Arbeiten, für alle von der Bauleitung, der Lage der Bauplätze, der Lieferung und Unterhaltung von Betriebsmaterialien, der Ueberwachung der Arbeiter und dem Verlust der Zinsen erwachsenden Unkosten, sowie auch für alle dazu gehörenden Arbeiten, welchen Namen sie haben mögen, und die zur endlichen Räumung der Bauplätze erforderlich sind, erhält der Unternehmer für den laufenden Meter, von einem Tunnelportal zum andern gemessen, die Summe von 1700 Fr. (tausend sieben hundert Franken).

Art. 19. Der Unternehmer erhebt die oben angegebene Summe in Abschlagszahlungen von 14 zu 14 Tagen, deren Bträge nach dem Fortschritt des Ausbruchs und der Mauerung bestimmt wird, wobei ihm

für den laufenden Meter der Schächte	Fr. 460. —
» » » » unterer Stollen	» 150. —
» » » » oberer Stollen	» 50. —
» » » » vollendete Tunnelwölbung	» 1400. —

in Rechnung gebracht werden.

Nach demselben Maasse werden dem Unternehmer die, durch die Verwaltung vor dem Zuschlag des Tunnels in Regie ausgeführten Arbeiten des Ausbruchs und der Mauerung vergütet, indem die, den sowohl für die Arbeiten als für die Anschaffung der Baumaterialien gehaltenen Auslagen entsprechende Summe in Abrechnung gebracht wird.

Art. 20. Der Unternehmer hat für die Erfüllung des gegenwärtigen Vertrags eine Caution von 250,000 Franken zu leisten. Die Einzahlung dieser Caution geschieht mittelst jeweiligen Rückhalts von 10% der ihm auszahlenden Abschlagssummen. Für die rückbehaltenen Summen wird dem Unternehmer 4% Zins per Jahr vergütet. Insofern der Unternehmer vorziehen würde, der Gesellschaftskasse den Betrag der zu leistenden Caution ganz oder theilweise in Werthpapieren anweisen zu lassen, so steht der Entscheid über deren Annahme der Verwaltung allein zu.

Nach Vollendung des Tunnelbaus wird die besagte Cautionssumme auf 100,000 Fr. reducirt, die dann nach §. 23 der Vorschriften des Bedingnisshettes als Garantie für die Ausführung der Maurer- und Steinhauerarbeiten, für die gute Qualität der gelieferten Materialien, sowie für die Dauer der ausgeführten Arbeiten dienen.

Gegenwärtiger Vertrag ist doppelt ausgefertigt, unterzeichnet und von beiden Contrahenten ausgewechselt worden.

Die in vorstehendem Vertrag aufgestellten Bedingungen eröffnen dem Bauunternehmer grosse Chancen für Gewinn bei günstigem Verlauf der Arbeit; bei ungünstiger Gestaltung des Terrains in Bezug auf Einbau, Ausmauerung, Wasserbewältigung etc. riskirt er dagegen grosse Verluste, wie es am Hauenstein wirklich der Fall ist. Die daraus hervorgehenden Inconvenienzen, insbesondere die Ansprüche der Unternehmer auf Entschädigungsleistungen können bei der Vergebung solch grossartiger Bauarbeiten dadurch beseitigt werden, dass der Unternehmer für die Ausmauerung gemäss der verschiedenen Profile je nach der Natur des Terrains und ebenso für die Wasserförderung über ein bestimmtes Quantum hinaus entschädigt wird. Dieses letzte Verfahren wurde bei mehreren Tunnels der Schweizerischen Centralbahn und der Jura industriel befolgt.

Die Gewölbauswechslung eines Theils des Burgdorfer-Tunnels.

Der Burgdorfer Tunnel befindet sich auf der Linie von Olten nach Bern in der Nähe der Stadt Burgdorf, durchbricht in geradliniger, doppeltspuriger Bahn einen Hügel der im Kanton Bern in grosser Ausdehnung die Oberfläche bildenden Molasseformation in einer grössten Tiefe von 320 Fuss.

Die Molasse tritt dort in ziemlich fester Consistenz auf, so dass sie für den Raum eines Tunnelprofils zwar nicht ohne Einbau ausgebrochen werden kann, dieser aber grösstentheils nur schwach zu sein braucht. An den beiderseitigen Tunnelingängen bestand dagegen das Terrain aus Molassesand, der sich durch Verwitterung am Fuss des Hügels abgelagert hat, wie diess bei allen leicht verwitterbaren Gebirgsarten der Fall ist. Diese Parthien bildeten ein für den Tunnelbau sehr ungünstiges Material wegen der grossen Druckäusserung in Folge des losen Terrains, das durch die erleichterte Wasseraufnahme für den Einbau noch grössere Schwierigkeiten bereitete.

Die für den Tunnelbau angewandte Methode war die deutsche, und der 1700 Fuss lange Tunnel wurde nur von den beiden Mündungen aus ausgeführt. Nach Vollendung desselben sah man, dass auf der nordöstlichen Mündung das Profil der Ausmauerung sowohl im Längenschnitt als im Grundriss bedeutende Unregelmässigkeiten zeigte. Diese bestanden darin, dass die beiden Widerlager Wellenlinien auf eine Länge von 390 Fuss bildeten und der Scheitel des Gewölbes sich im Maximum um 2 Fuss unter der Normalhöhe befand.

Die Ursachen dieser Formveränderungen für die Widerlager liegen darin, dass die Tunnelrichtung durch Marken an den Hölzern des Stolleneinbaus bestimmt wurde, die in immerwährender Bewegung waren, andertheils die stückweise ausgeführte Mauerung der Widerlager bei einseitigem Druck eine Bewegung zulies.

Die tiefe Lage des Scheitels mag aber daher rühren, dass die Lehrbögen sich in das nachgiebige Terrain des mittleren Kerns eindrückten und zwar in immer grösserem Maasse, je mehr sie durch das Gewölbe belastet wurden. Da die obere Fläche des Kerns nicht abgedeckt war, so konnte ein Ausweichen des Terrains leicht erfolgen; ferner wurde zu dem Backsteinmauerwerk schwach hydraulischer Mörtel verwendet, der nur langsam erhärtete und nach der Ausschaltung der Gewölb-längen durch den bedeutenden Gebirgsdruck aus den Fugen gepresst wurde, die dadurch bewirkte Verminderung des Profils musste eine Senkung des Gewölbscheitels nach sich ziehen. Dass diese Formveränderungen schon während der Ausführung des Mauerwerks entstanden, scheint auch daraus hervorzugehen, dass bei der Wegnahme des Backsteinmauerwerks nicht viele Backsteine zerbrochen waren.

Die vorgeschriebene Gewölbstärke für die schadhafte Parthie betrug 25 Zoll und die Backsteinmauerung geschah anstatt in Ringen im Verband, wodurch die Lagerfugen in der Nähe des Gewölbrückens über Gebühr verstärkt wurden, welcher Umstand jedenfalls auch zu der eingetretenen Senkung beigetragen hat. Ein Backsteingewölbe von mehr als ein Stein Stärke sollte überhaupt stets in Ringen ausgeführt werden, besonders wenn der verwendete Mörtel nicht sehr gut ist. Die Backsteine

waren in Betreff der Solidität von mittlerer Qualität, welche unter dem Einfluss von Nässe und Frost nach und nach verwittern.

Die Fig. 95 und 96 stellen nun die an dem nordöstlichen Tunnelleingang unregelmässige Parthie dar, deren abnorme Formen erst nach Wegnahme des Kerns deutlich sichtbar waren.

Die Senkung des Gewölbes war nun so stark, dass für einen doppelspurigen Betrieb die nöthige Höhe nicht ausreichte, andertheils befürchtete man, dass die Senkungen und Bewegungen des Mauerwerks noch fortauern und das Gewölbe zerstört werden könnte. Die Folge davon mussten aber Einstürze des Gebirges sein, welche einem neuen Ausbau ungeheure Schwierigkeiten bereitet haben würden, da ohnedies das ganze Gebirge abgelöst und in Bewegung war, wie auch viele Bäume des die Oberfläche bildenden Waldes in der Richtung der Tunnelaxe eine geneigte Stellung angenommen hatten. Die Nothwendigkeit der Beseitigung des Backsteingewölbes und der Ersetzung derselben durch ein solides, aus festen Kalksteinen construirtes lag klar zu Tage und man entschloss sich hiezu trotz der Voraussicht der grossen Schwierigkeiten und Kosten.

Als das zweckmässigste, ja als das einzige solide und sichere Verfahren für die Gewölbeauswechslung bietet sich die englische Baumethode dar. Man nahm das alte Gewölbe in gewissen Längen heraus, unterstützte das Gebirge mittelst Längsbarren nach englischem System und setzte nach vollständigem Einbau der einzelnen Längen bis zu den Fundamenten herab das neue Mauerwerk ein. Da die Barren mit dem einen Ende auf dem neuen Quadergewölbe, mit dem andern Ende mittelst Pfosten auf dem alten Backsteingewölbe aufruheten, und demgemäss die Last einer Ausbruchlänge auf die beiden Enden übertragen wurde, so mussten diese durch einen Unterbau verstärkt werden.

Diese Unterstützung geschah durch Bohlenbögen und die Bogengerüste ruhten mit ihrem Fuss mittelst eiserner Schuhe auf eigens gebauten steinernen Fundamenten auf, Fig. 97 a u. b. Diese nach einem und demselben Profil angefertigten Lehrbögen hatten von dem unregelmässigen Gewölbe ungleiche Abstände, wesshalb die auf den erstern gelegten Bohlen durch eine mehr oder minder starke Keilung an das Mauerwerk angeschlossen wurden. Es wurden immer 3 Bohlenbögen von je 10' Stärke zusammengestellt, die einzelnen Gruppen von je 3 Bögen waren um 6 Fuss von einander entfernt und auf denselben waren die das alte Gewölbe unterstützenden Bohlen abwechselnd gestossen.

Die Anwendung von Bohlenbögen zum Einbau des alten Gewölbes war dadurch geboten, dass die Auswechslung während des Bahnbetriebs vorgenommen werden, dass somit das Tunnelprofil soweit frei sein musste, um den Bahnzügen ungehinderte Passage in der Mitte zu gestatten. Nachdem nun auf eine Länge von circa 20 Fuss die Bogengerüste gestellt waren, begann man das alte Gewölbe an einem Punkte zwischen den Bogengruppen zu durchbrechen, um über denselben einen Stollen als Angriffspunkt für die Ausbrüche treiben zu können. Das Aufbrechen war nun eine sehr gefährliche Arbeit, indem sogleich nach entstandener Oeffnung der feine Molassesand mit Vehemenz ausströmte; den hiezu verwendeten tüchtigsten Bergleuten gelang es aber bald, sich die Decke zu sichern, um mit dem Stollen über dem Gewölbe beginnen zu können.

Um einen Standpunkt für die Arbeiter während des Aufbruchs zu erhalten, wurde ein Plattwagen mit einem Gestell versehen, Fig. 99, der später besonders zum Einbringen der Barren grossen Vortheil gewährte.

Der Stollen, Fig. 97, a und b, musste so hoch sein, dass ausser dem höher angelegten Quadergewölbe noch die Barren Platz hatten, und dass die Arbeiter nicht zu sehr beengt wurden; er erhält demnach eine lichte Höhe von mindestens 4 bis 5 Fuss und eine Breite von 5 Fuss, die Kappe und Pfosten hatten 9" Durchmesser und die Bohlen waren 2 Zoll stark. Nachdem der Stollen auf eine Länge von etwa 15 Fuss vorgetrieben war, fieng man im Scheitel des Gewölbes an, die Backsteinmauerung zu entfernen, um Raum für das Aufziehen und Einbringen der Barren zu bekommen. Alsdann wurden die zwei Kronbarren eingebracht und an ihren Enden durch Pföstchen auf das alte Gewölbe oder die Bogengerüste gestützt. Der

weitere Ausbau mittelst Anwendung der Verpfählungsmethode, wie wir es im Kap. 7 beschrieben haben, ist aus der Fig. 97, a und b zu ersehen. Sobald das alte Mauerwerk durch den Einbau entlastet ist, wird es entfernt. Ist man auf diese Weise auf dem Fundament angelangt, so wird mit der Ausführung der neuen Mauerung begonnen; ganz auf dieselbe Weise, wie wir es in Kap. 8 gesehen haben (Fig. 98, a und b). Die obern 8 bis 10 Barren mussten wegen des grossen Gebirgsdrucks unbewegt gelassen werden, bis das Gewölbe geschlossen war, sie wurden durch die Hintermüerchen entlastet und für die nächste Länge verwendet. Das Ziehen der Barren konnte in der Regel mit dem sog. Gaisfuss geschehen und nur selten waren Winden nöthig. Da die Barren mit ihrem einen Ende auf dem ausgewechselten Mauerwerk aufruheten, so muss das letztere an der Zahnung so lange unterstützt bleiben, bis die Auswölbung des nächsten Stückes vollendet ist. Diese Unterstützung geschieht dadurch, dass man immer den letzten der Bohlenbögen stehen lässt (Fig. 97 b) und durch Aufsattlung auf denselben die Zahnung des neuen Gewölbes erreicht.

Anfänglich wurde die Gewölbeauswechslung in Längen von 5 Fuss vorgenommen und alle Barren mit eingemauert, weil man den Gebirgsdruck für zu gross hielt, als dass ein Ziehen derselben möglich wäre. Man überzeugte sich aber bald, dass eine Barrenstärke von 18 Zoll ausreichend sei, um für Längen von 10 Fuss noch das Ziehen der Barren zu gestatten. Die Räume für die Barren wurden so satt als möglich mit Schutt ausgefüllt, der Stollen über dem Gewölbe wurde unabhängig von der Gewölbeauswechslung getrieben, und man hatte dabei den Zweck im Auge, noch mehr Angriffspunkte für die Auswechslung zu bekommen, indem man die sehr gefährliche Arbeit der Gewölbeaufbrüche vermeiden wollte. Der in dem Stollen gewonnene Schutt wurde durch Oeffnungen, die in gewissen Entfernungen durch das alte Gewölbe durchbrochen wurden, auf die Wagen in der Bahn heruntergelassen.

Wenn die Hintermüerchen eine so stark geneigte Lage erhielten, dass die Reibung zwischen den Lagerfugen für ihre Aufführung nicht mehr ausreichend war, so wurden sie durch Bohlen unterstützt, welche an die Verschalung angenagelt worden, Fig. 98 a.

Bei der geringen Entfernung der Barren erscheint es auf den ersten Anblick schwierig, die Verpfählungsmethode anzuwenden. Wollte man die Pfähle senkrecht zu den Barren eintreiben, so müsste die Pfändung schon ziemlich gross sein, immerhin ist diess Verfahren mit Beobachtung der in Fig. 29 b dargestellten Manipulation möglich. Man kann sich aber leicht dadurch helfen, dass man den Pfählen beim Beginn des Eintreibens eine schiefe Richtung gibt, bis sie mit ihrem Schwanz den zweitletzten gelegten Barren nicht mehr berühren, und alsdann auf die zu den Barren rechtwinklige Lage übergehen. — Die Pfähle b, Fig. 100, zwischen den beiden Kronbarren und den 4ten Barren werden jedoch eingebracht, ehe ein Barren überhaupt eingezogen wird; um einen Anhaltspunkt für deren Richtung zu erhalten, wurden an die Seitenpfosten des Stollen die Bohlen a angenagelt und hierauf die Pfähle b in den Baugrund vorgetrieben und die Verschalung der Seitenwände des Stollen successive entfernt. Der zuletzt eingebrachte Barren wurde immer durch eiserne Schlaudern an den vorhergehenden angehängt, damit ein Abrutschen bei dem Eintreiben der nächsten Pfahlreihe nicht zu befürchten war, Fig. 100.

Da die Auswechslung des Gewölbes während des Bahnbetriebs vorgenommen werden musste, so ist begreiflich, dass alle Sorgfalt nöthig war, um Störungen zu verhüten, es kam übrigens nicht ein einziger Fall vor, der auf den Bahnbetrieb hemmend einwirkte. Die Arbeit wurde im April 1857 begonnen, ohne Unterbrechung bei Tag und Nacht fortgesetzt, und stand blos still während des Durchfahrens der Personen- und Güterzüge. Es wurde alle Monat eine Länge von 50—55 Fuss Ausmauerung ausgewechselt.

Die Kosten der Auswechslung sind aber sehr beträchtlich und betragen für die Längen von 5 Fuss 754 Fr. per l. F., und bei Anwendung von Längen von 10 Fuss 512 Fr. per l. F.

Inhalts-Verzeichniss.

1. Anlage des Hauensteintunnels	Seite 1.	9. Abteufung der Schächte	Seite 8.
2. Geognostische Verhältnisse desselben	» 1.	10. Förderung	» 8.
3. Beschreibung des Baufortschrittes	» 2.	11. Ventilation	» 10.
4. Die englische Tunnelbaumethode	» 3.	12. Wahl der Betriebsmethode beim Bau eines Tunnels	» 11.
5. Stollenbau	» 4.	13. Berechnung der Baukosten	» 14.
6. Herstellung von Aufbrüchen	» 5.	Anhang.	
7. Der Bau der Ausbruchlängen	» 5.	Vertrag über die Verakkordirung des Tunnels	» 17.
8. Die Ausmauerung	» 7.	Gewölbeauswechslung eines Theils des Burgdorfer Tunnels	» 18.



In **Bahmaier's Buchhandlung** (C. Delloff) in Basel und Biel sind ferner nachstehende Eisenbahnerwerke erschienen:

Brücken und Thalübergänge Schweizerischer Eisenbahnen

entworfen und ausgeführt

von

Carl von Etzel,

Oberbaurath und Baudirector in Wien.

(Früher Baudirector der Schweizerischen Centralbahn.)

quer Imp. Fol.

Inhalt.

Tafel I. a. Brücke über die Birs bei Basel. Pfeiler, Situation, Widerlager.	Tafel X. Details zu Tafel IX. Längenschnitt, Ansicht.
b. » » die Frenke bei Fieschal. Pfeiler, Situation, Widerlager.	» XI. » » » » Querschnitt.
» II. Thalübergang bei Rümmlingen. Längenschnitt, Querschnitt, Geländer, Situation.	» XII. » » » » Grundriss.
» III. Brücke über die Aare bei Olten. Pfeiler, Widerlager, Situation.	» XIII. a. Brücke über die große Emme bei Derendingen. Pfeiler, Widerlager, Situation.
» IV. Details zu Tafel III. Ansicht, Querschnitt.	b. Brücke über die Aare bei Solothurn. Pfeiler, Widerlager, Situation.
» V. » » » » Längenschnitt, Grundriss.	c. » » » kleine Emme bei Emmenbrunn. Pfeiler, Widerlager, Situation.
» VI. a. Brücke über die Pfaffen bei Niedermühl. Widerlager, Situation.	» XIV. Thalübergang bei Goldach. Längen- und Querschnitt, Situation.
b. » » » Murg bei Murgenthal. Widerlager, Situation.	» XV. Brücke über die Sitter bei St. Gallen. Pfeiler, Widerlager, Pfeilerfuss, Grundriss der Pfeiler, Situation.
» VII. Details zu Tafel VI, VIII, XIII. (Fig. XI und XIII). Ansicht, Grundriss, Längen- und Querschnitt.	» XVI. Details zu Tafel XV. Querschnitt, Ansicht.
» VIII. a. Brücke über die große Emme bei Burgdorf. Pfeiler, Widerlager, Situation.	» XVII. » » » » Ansicht und Schnitt des Pfeilerfusses.
b. » » » das Worblaufenenthal bei Bern. Pfeiler, Widerlager, Situation.	» XVIII. a. Brücke über die Thur bei Wyl. Pfeiler, Widerlager, Situation.
» IX. » » » die Aare bei Bern. Grundriss, Querschnitt der Gitterbrücke, Querschnitt der Blechbrücke, Ansicht des linkseitigen Widerlagers, Situation.	b. » » » Glatt bei Flawyl. Pfeiler, Grundriss der Pfeiler, Widerlager, Situation.

Preis fr. 32. — oder fl. 15. 45 rhein., oder Rthlr. 9.

Supplement

zu den

Brücken und Thalübergängen Schweizerischer Eisenbahnen,

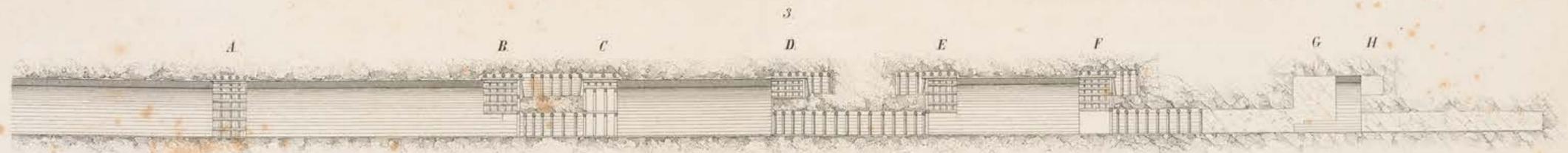
Entworfen und ausgeführt von **Carl von Etzel**, Oberbaurath und Baudirector.

quer Imp. Fol.

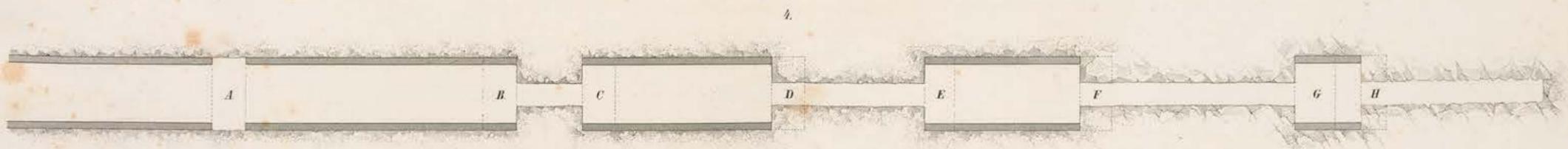
Inhalt.

Tafel XIX. Thalübergang bei Rümmlingen. Gerüstungen und Werkzeuge.	Tafel XXIV. Brücke über die Aare bei Bern. Versetzen der Eisenconstruction.
» XX. Brücke über die Aare bei Olten. Allgemeine Situation, Transportsteg und Rüstung der Pfeiler.	» XXV. » » » » Solothurn. Zurüstungen und Werkzeuge.
» XXI. Brücke über die Aare bei Olten. Baggerarbeit, Senkkasten, Pfahlrost.	» XXVI. Werkzeuge: Kraneen sammt Wagen.
» XXII. » » » » » Rüstungen über die Aufstellung der Eisenconstruction.	» XXVII. » Schlagwerke, Grundsäge.
» XXIII. Brücke über das Worblaufenenthal bei Bern. Versetzen der Eisenconstruction.	» XXVIII. » Kraneen und Betonmulde.
	» XXIX. » Transportabler Kraneen.
	» YXX. » Transportable Dampfmaschine mit sechs Pferdekraft.

Preis fr. 26. 80 oder fl. 12. 40 rhein. oder Rthlr. 7. 10 gr.

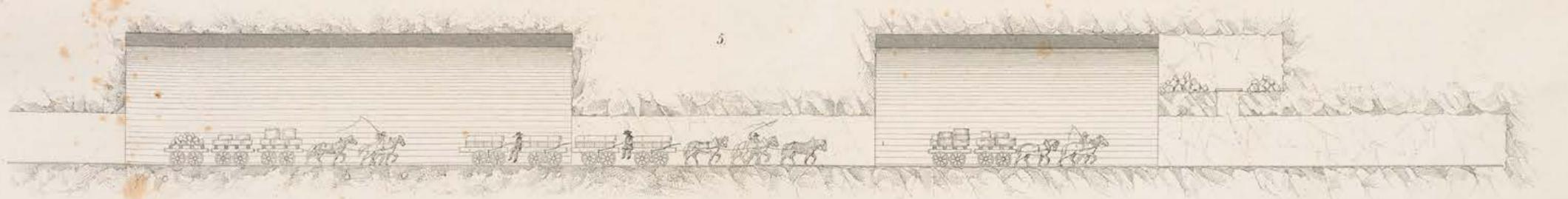
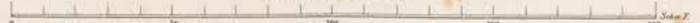


3



4

Maasstab - 1:500



5

Maasstab - 1:200



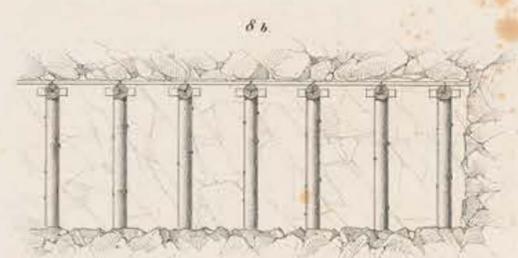
6a



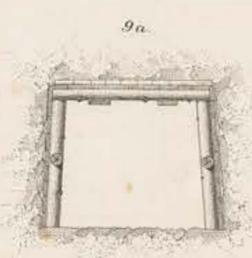
7a



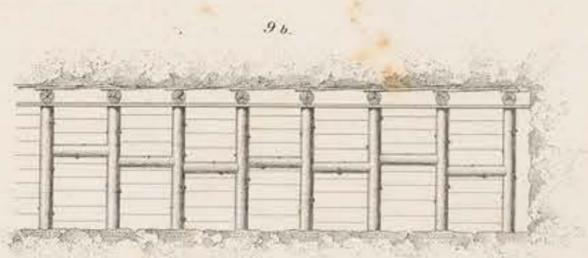
8a



8b



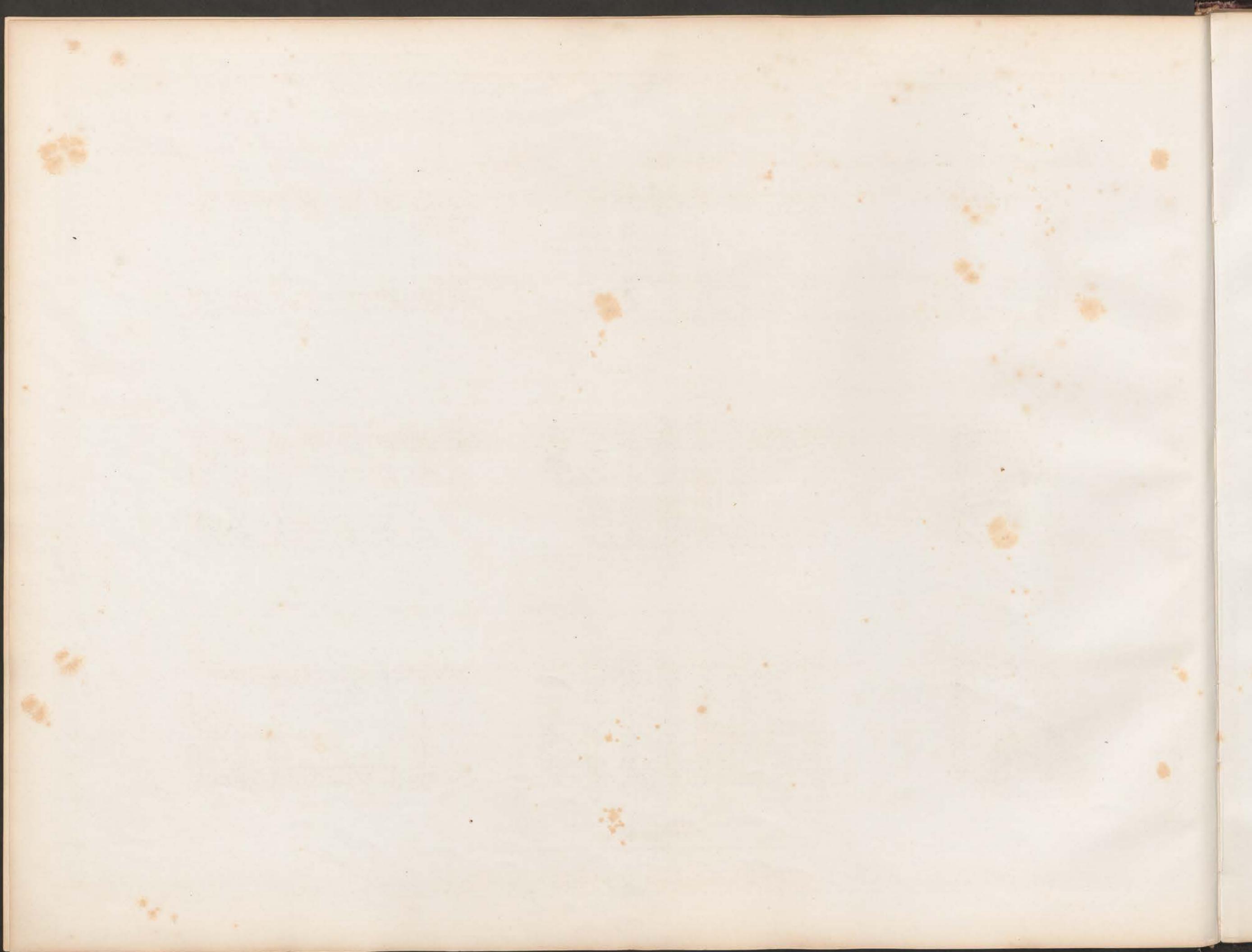
9a



9b

Maasstab - 1:100

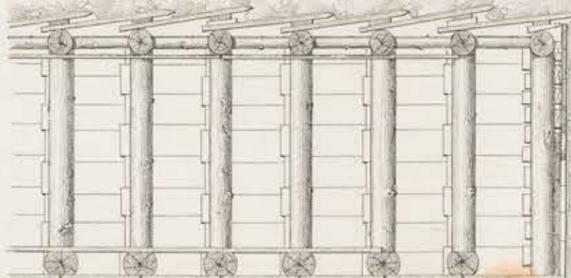




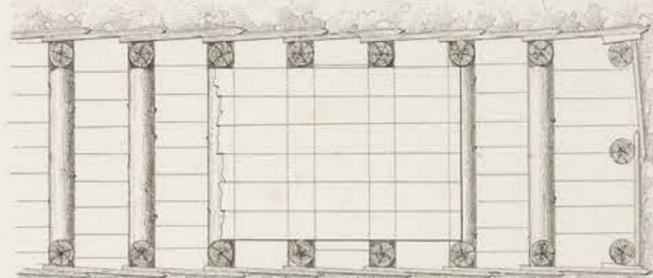
10a



10b



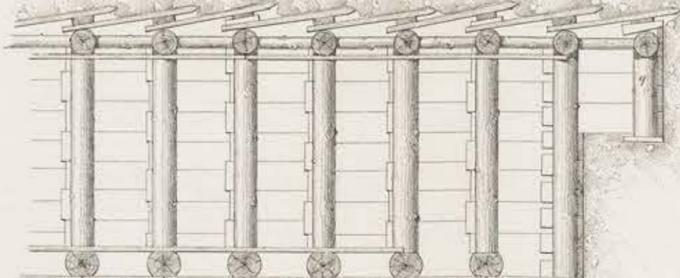
10c



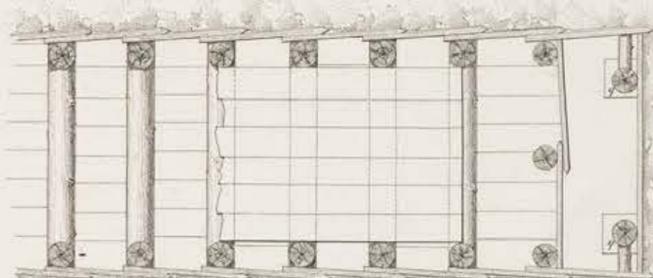
11a



11b



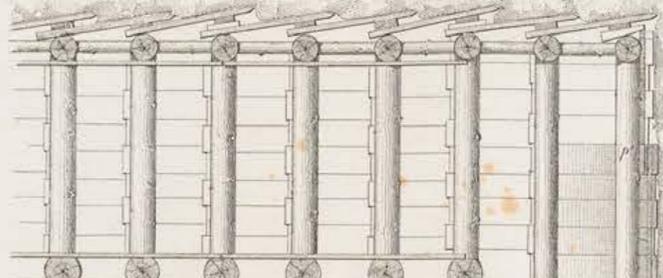
11c



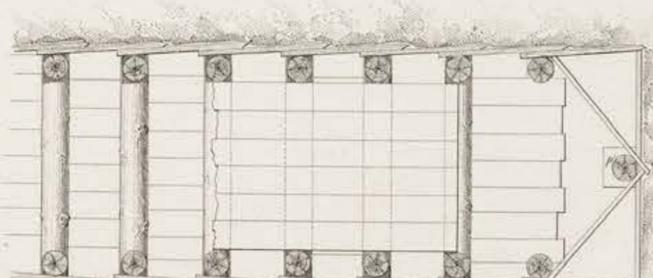
12a



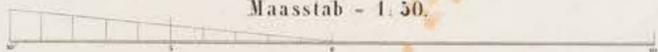
12b

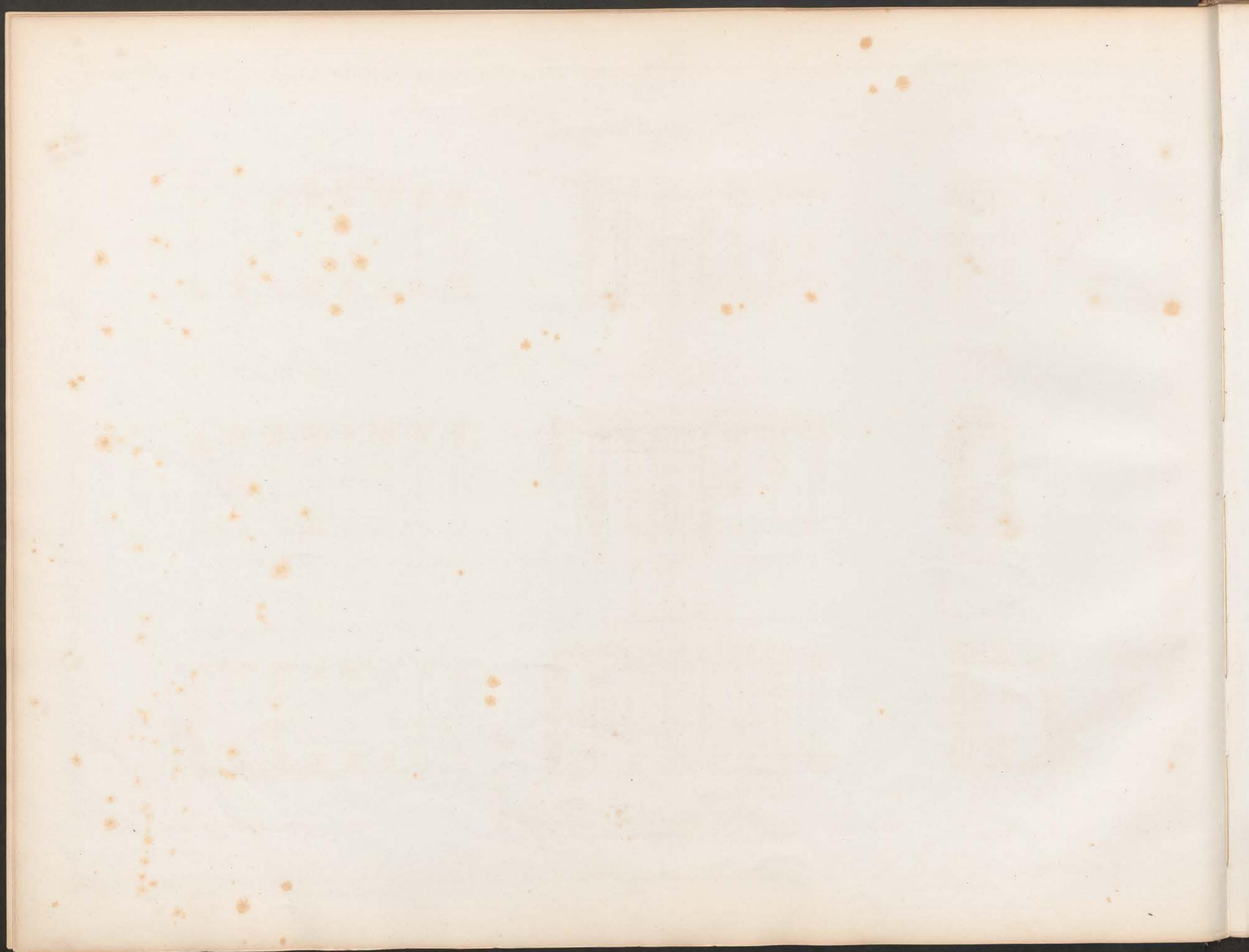


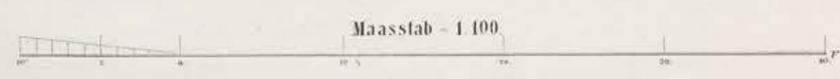
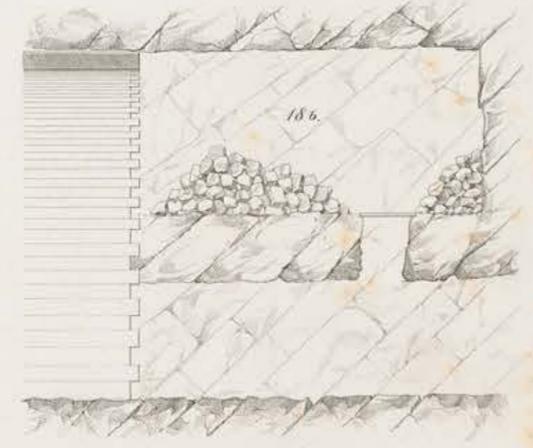
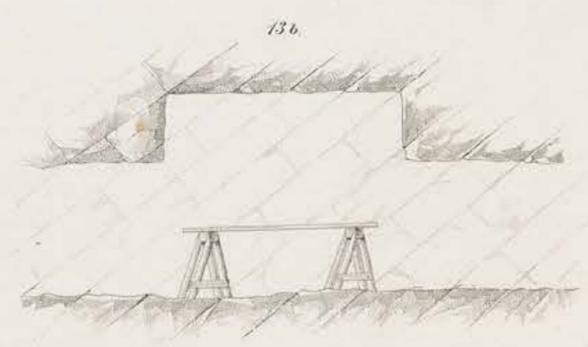
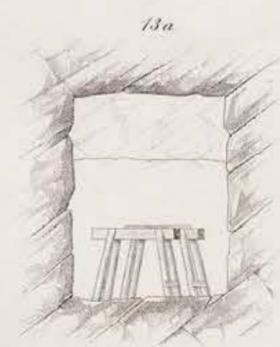
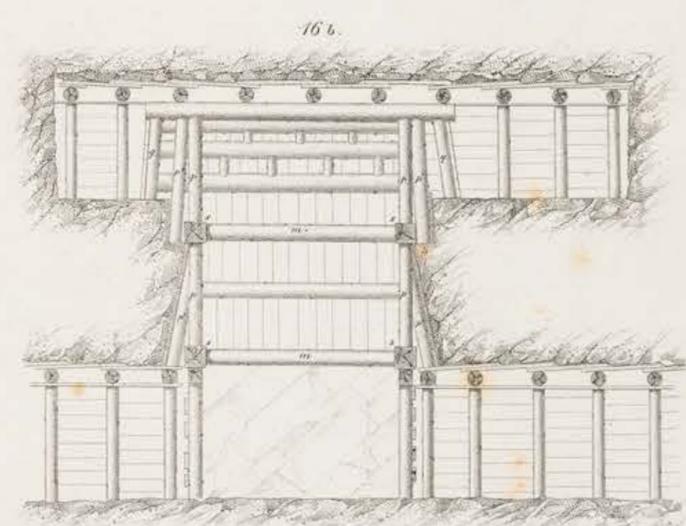
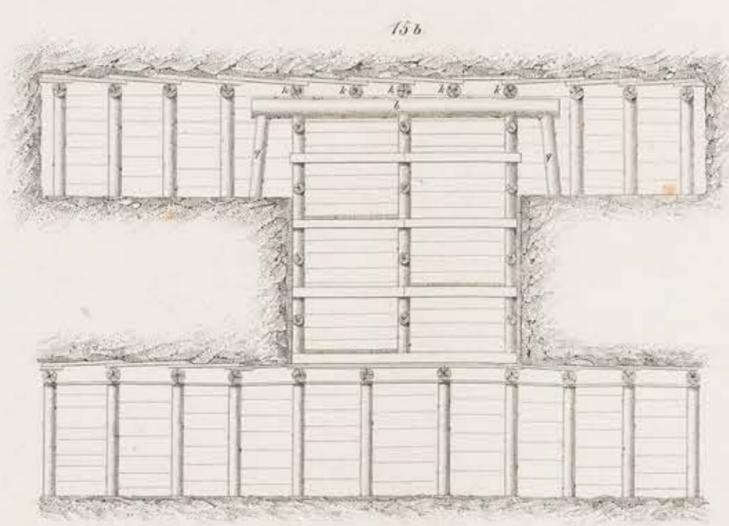
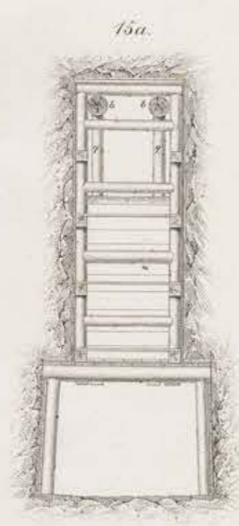
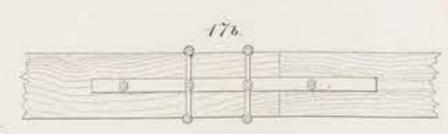
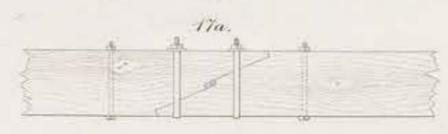
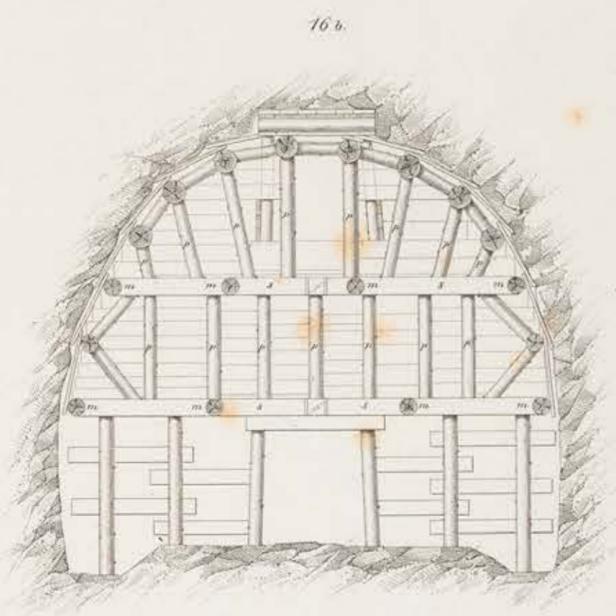
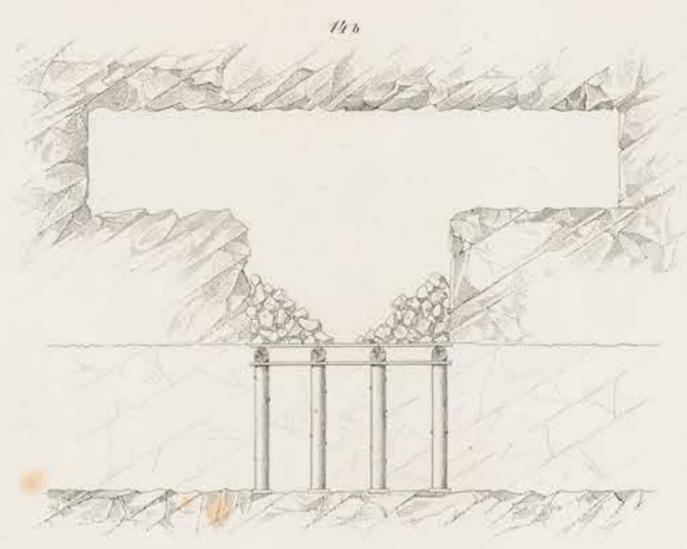
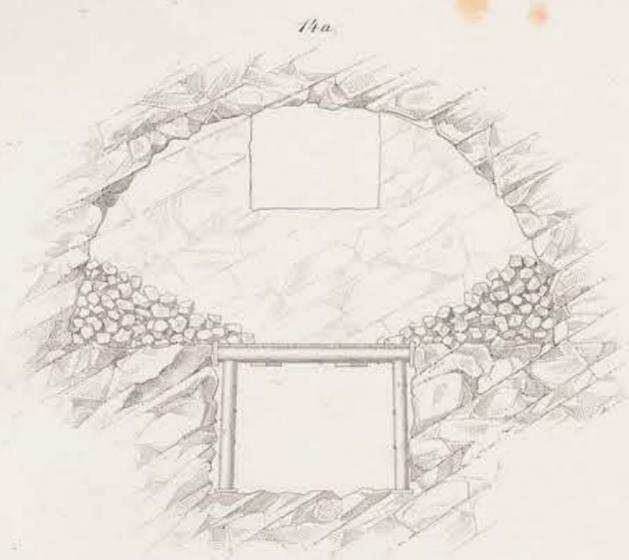
12c



Maasstab - 1. 50.





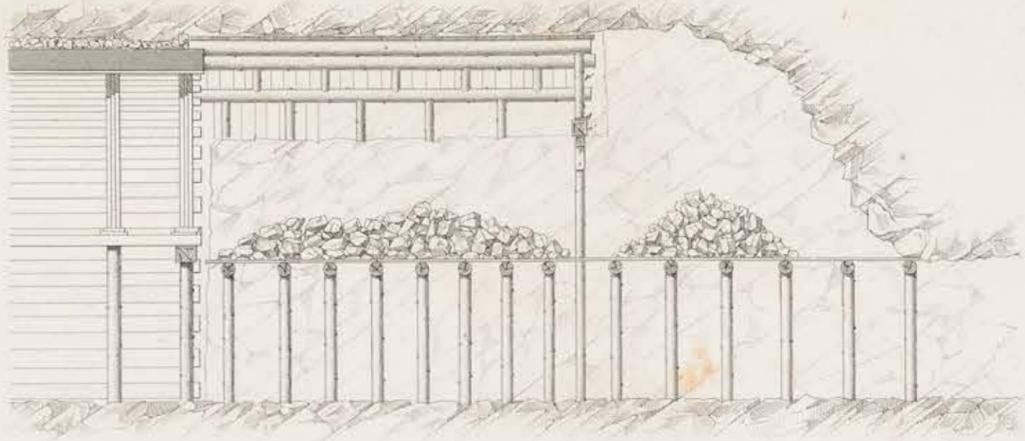




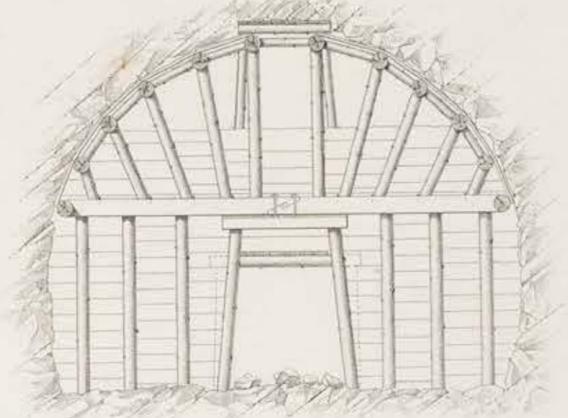
19a.



19b.



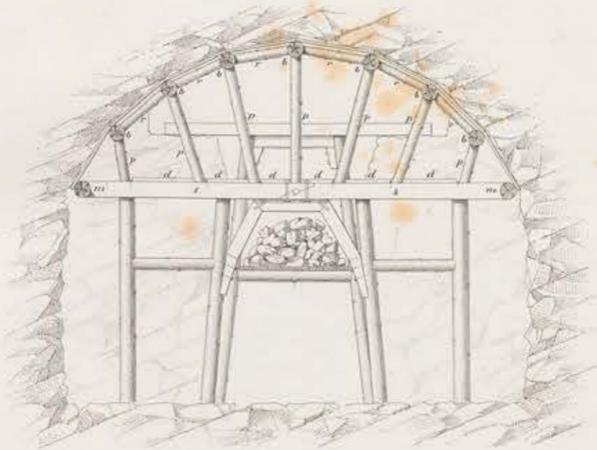
22a.



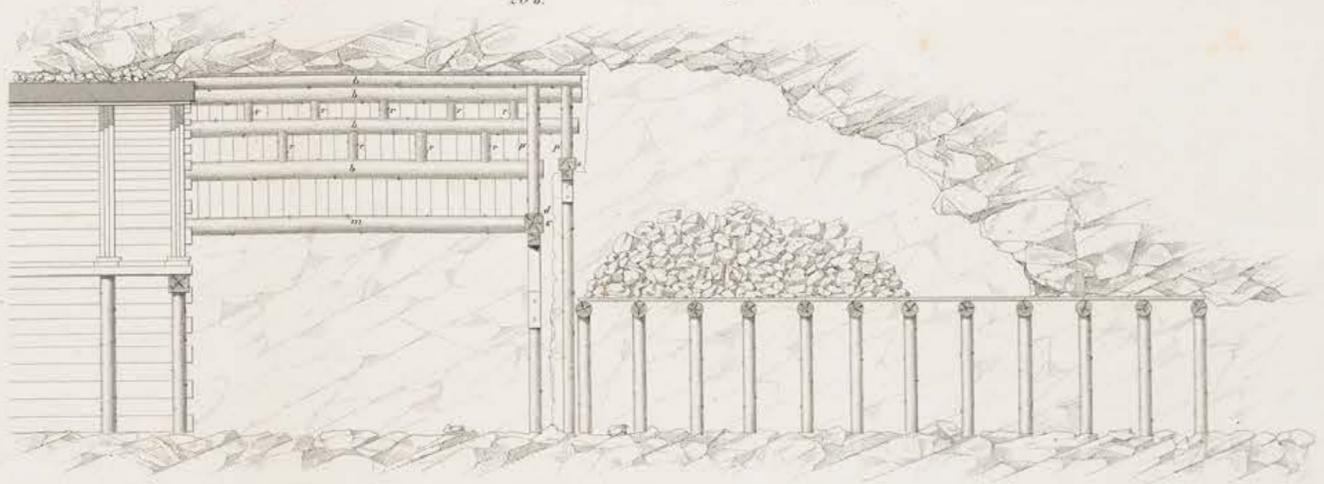
Maasstab - 1:100.



20a.



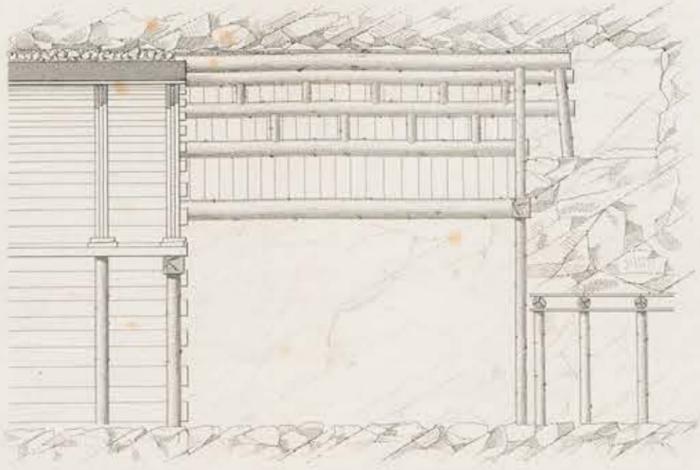
20b.



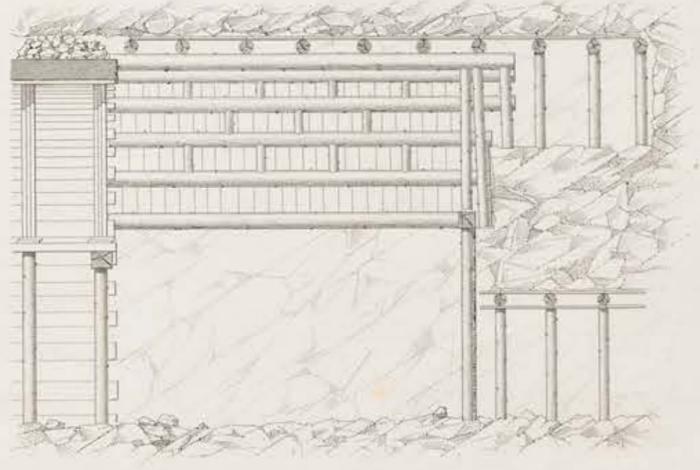
21a.



21b.



22b.

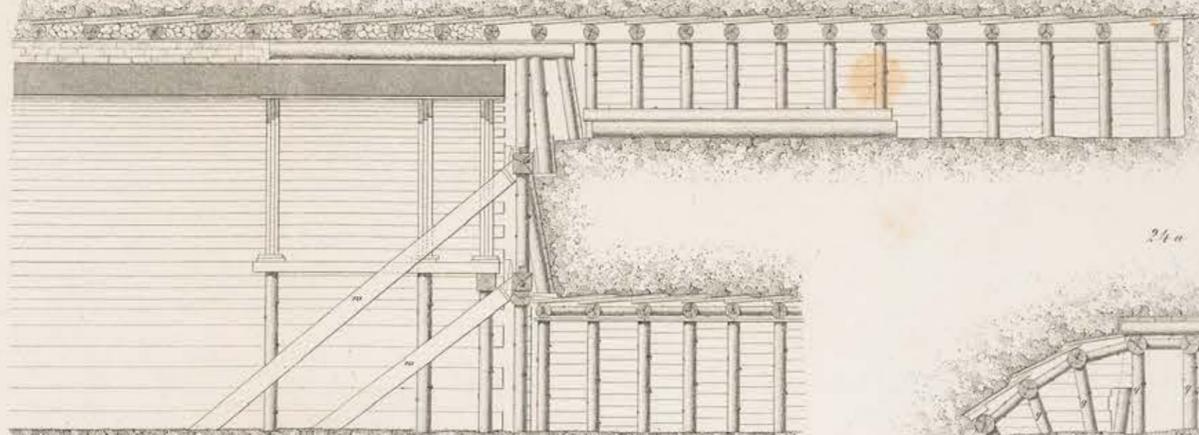




23a.



23b.



24a.



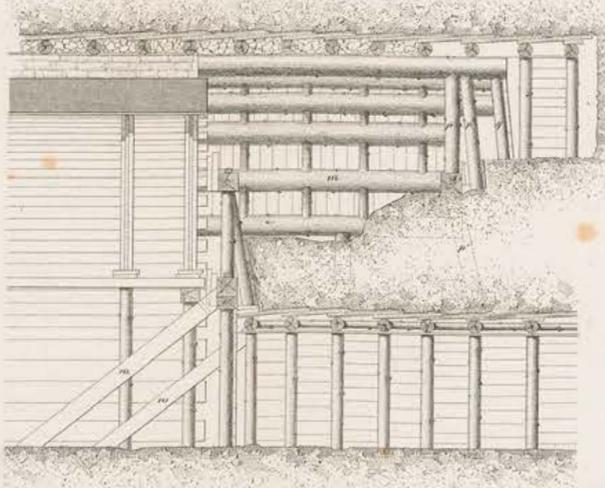
Maasstab = 1, 100



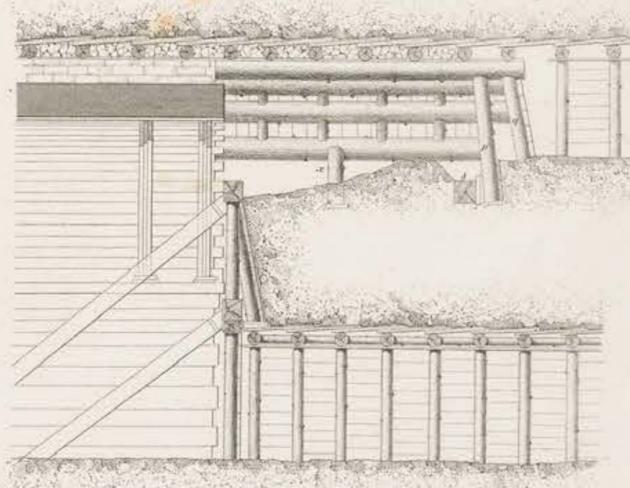
25a.



25b.



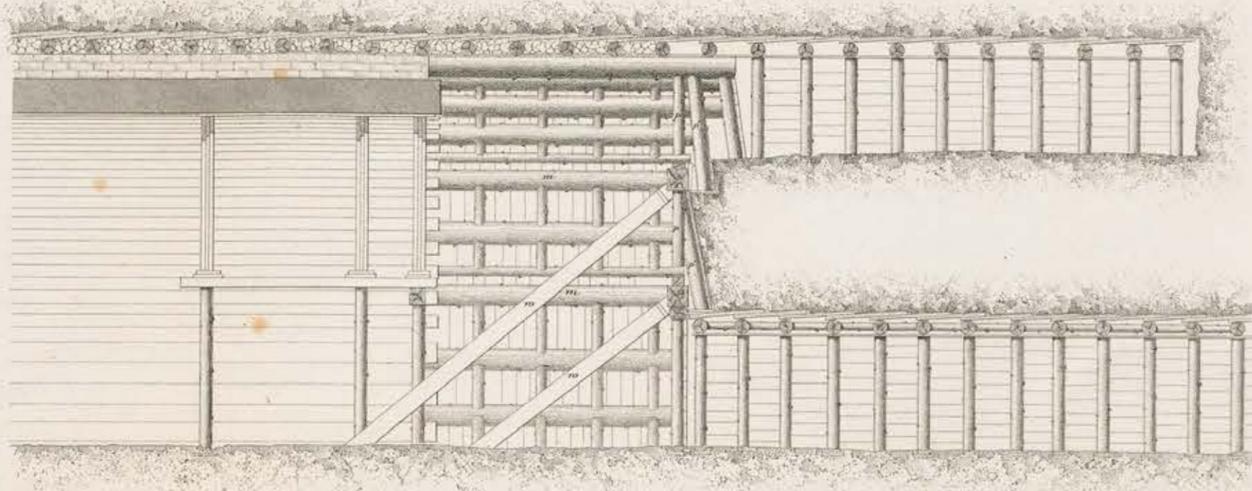
24b.



26a.

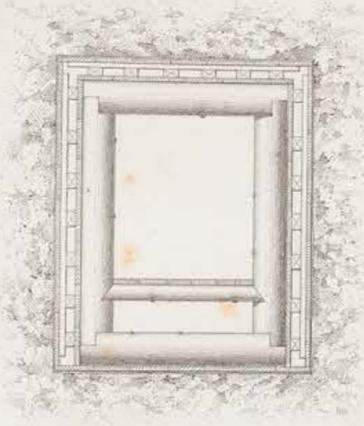


26b.

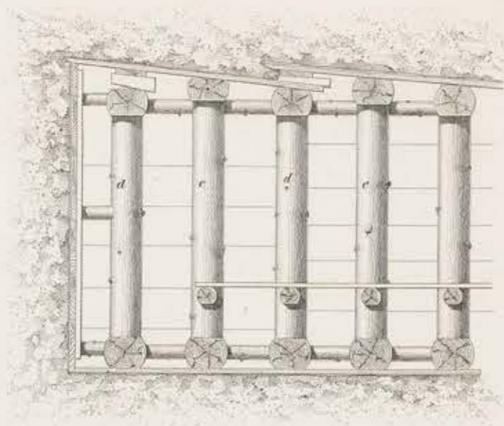




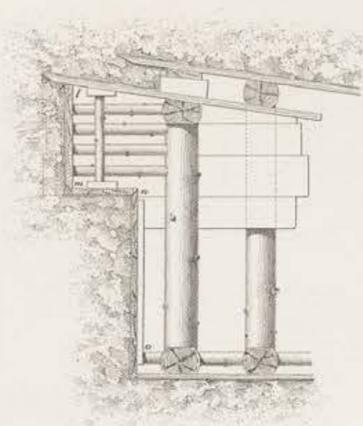
31a



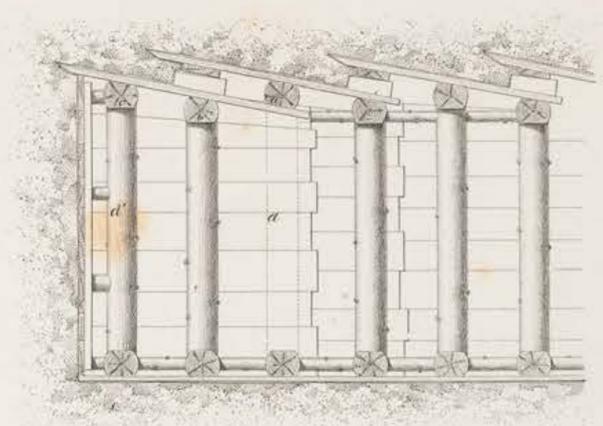
31b



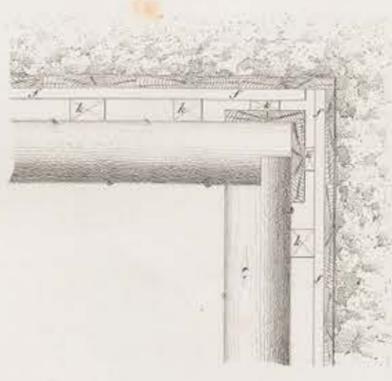
33



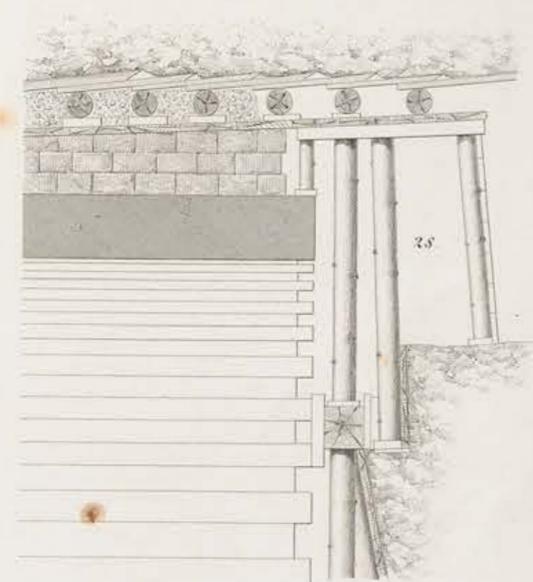
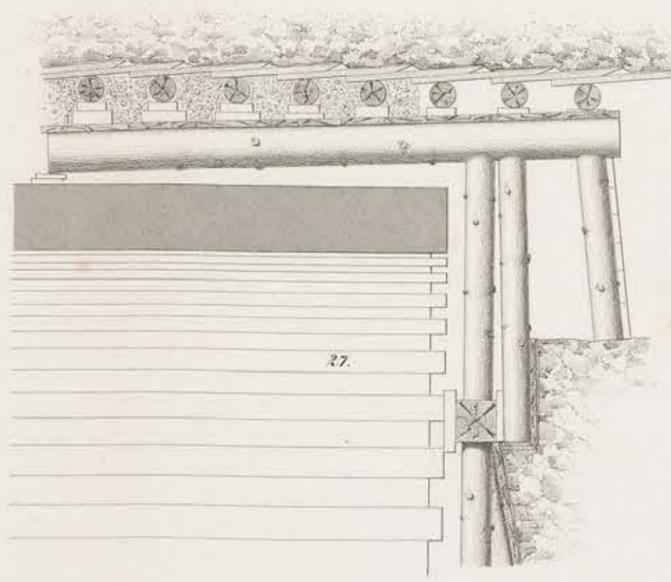
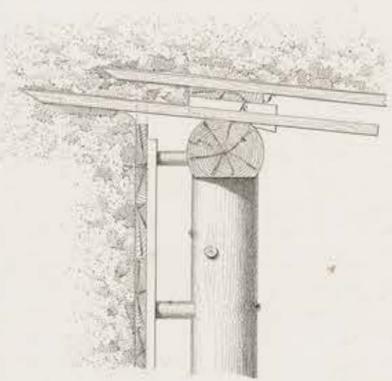
34



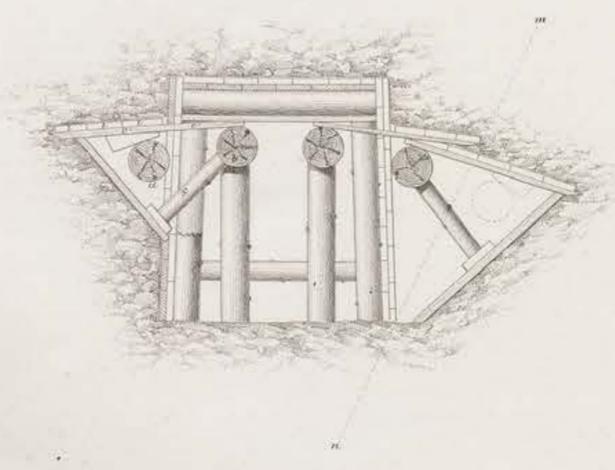
32b



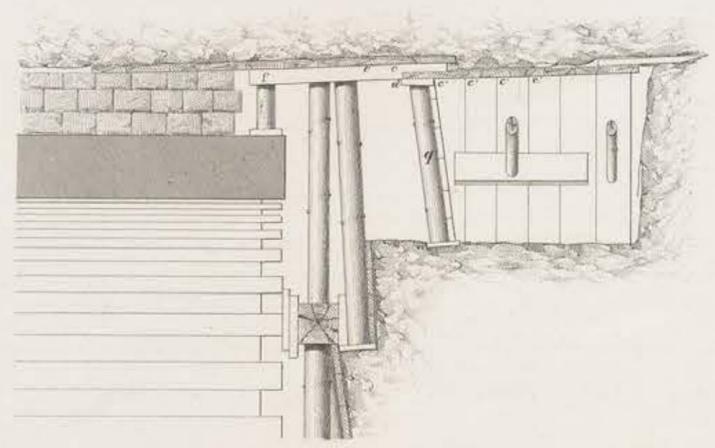
32a



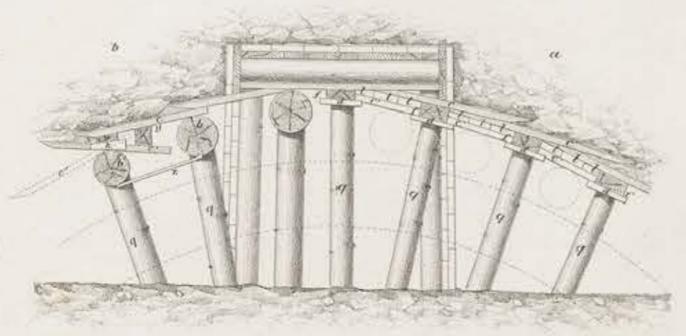
30a



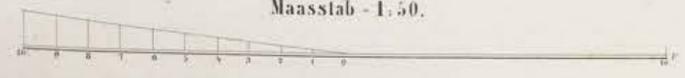
30b



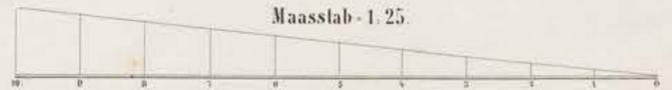
29

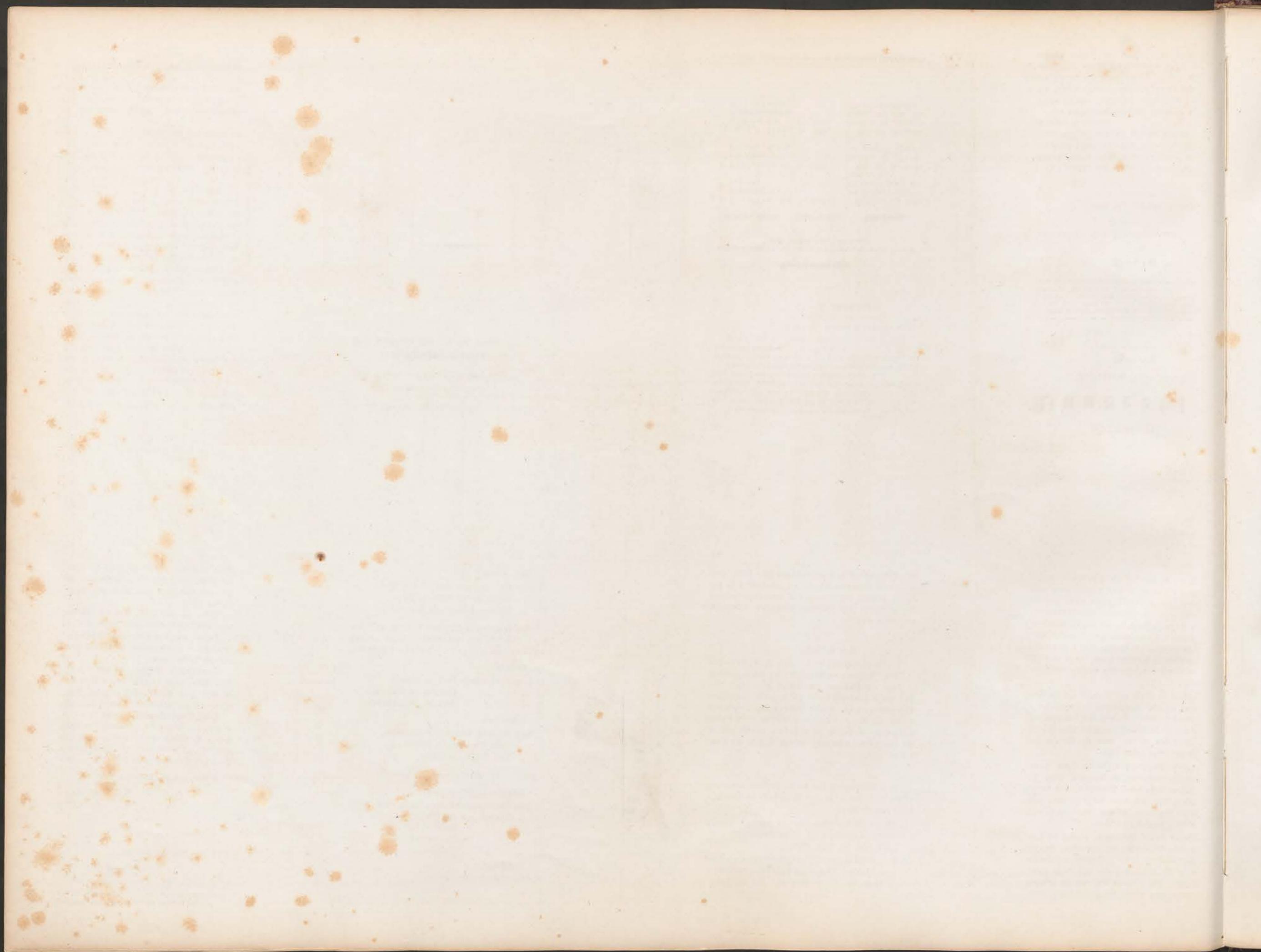


Maasstab - 1:50.

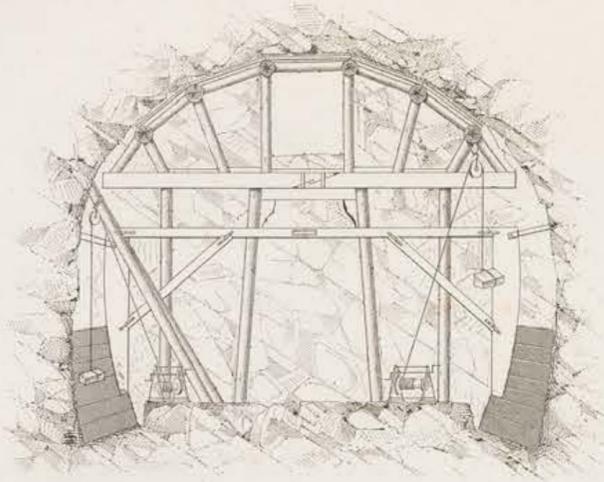


Maasstab - 1:25.

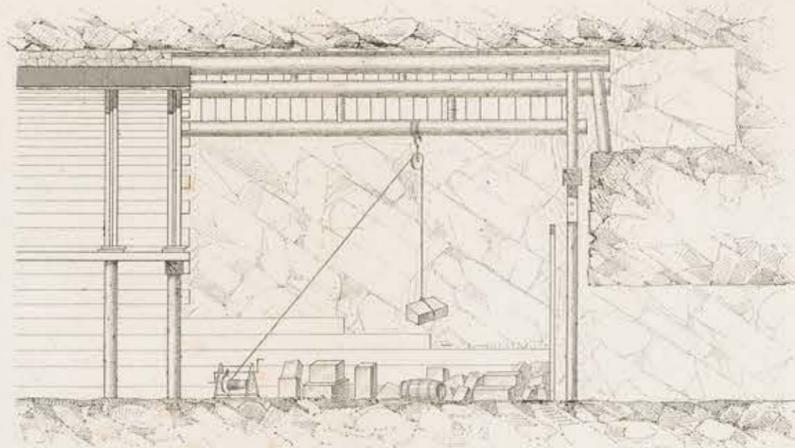




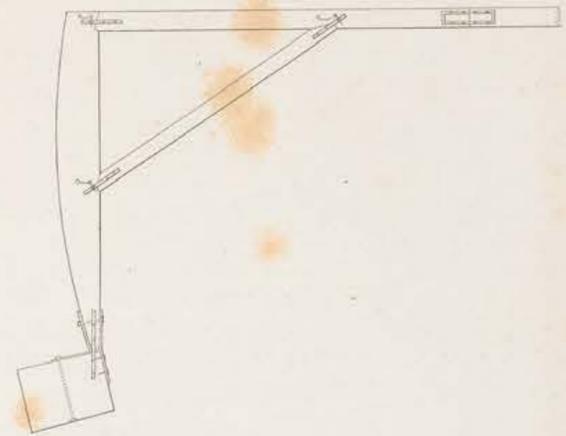
35 a



35 b



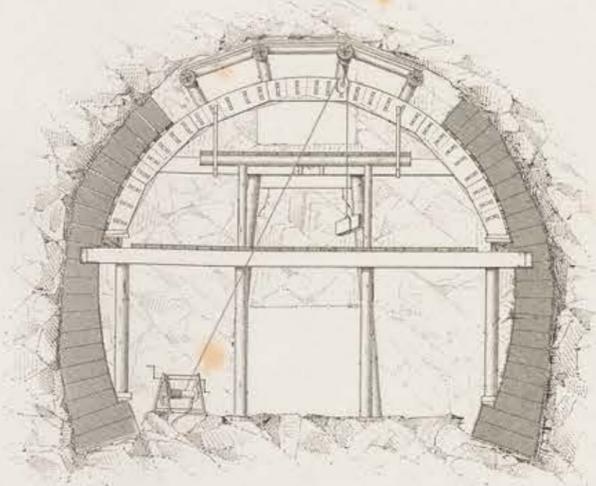
37 a



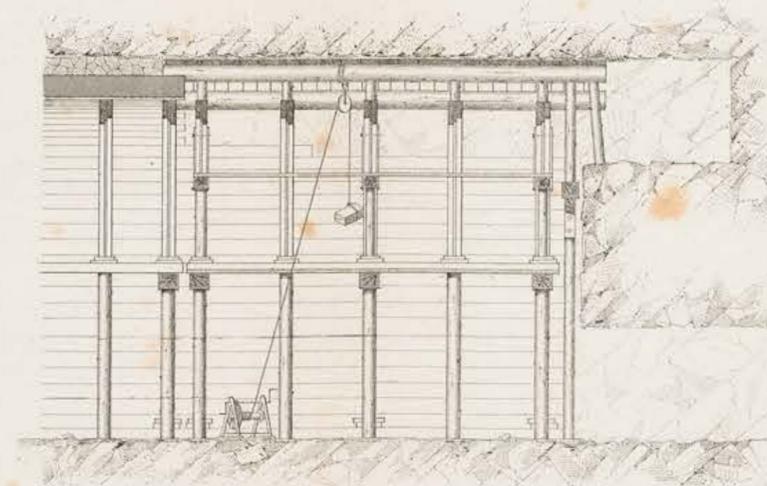
37 b



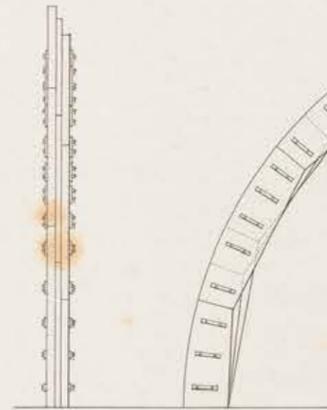
36 a



36 b



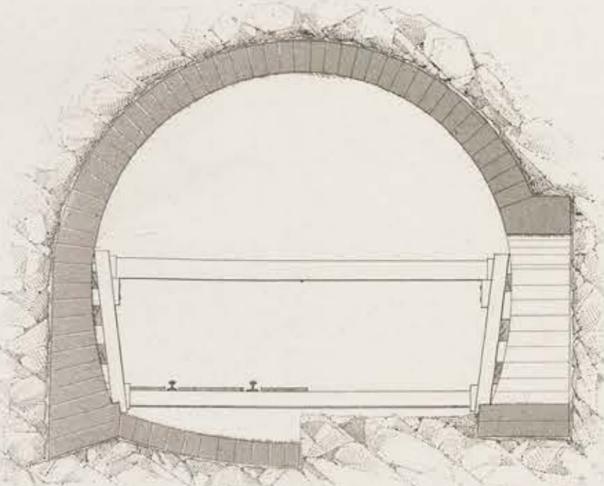
38 a



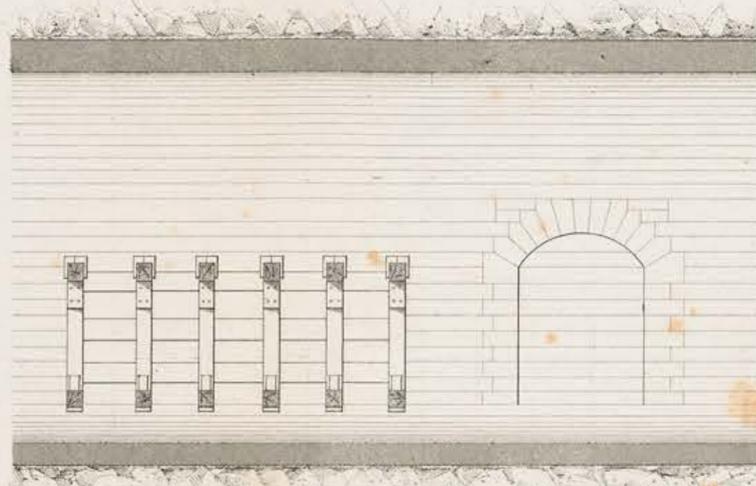
38 b



40 a



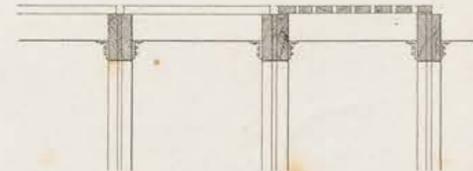
40 b



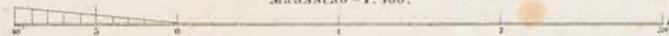
39 a



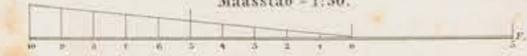
39 b

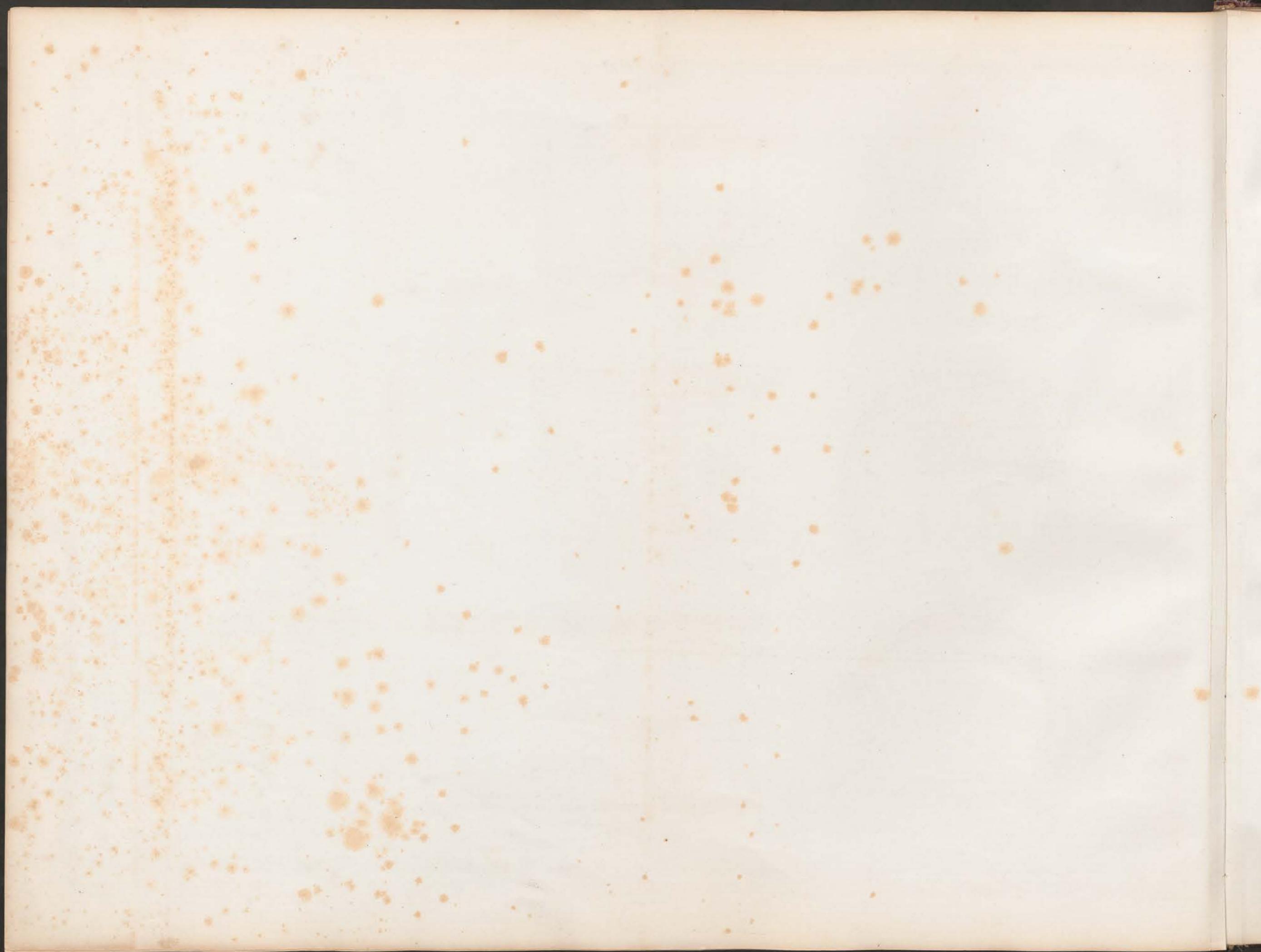


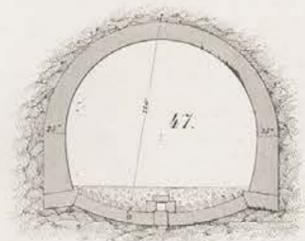
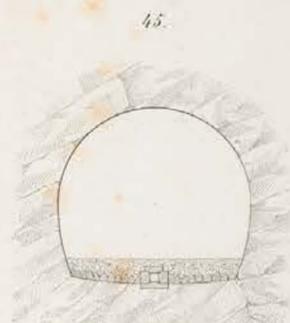
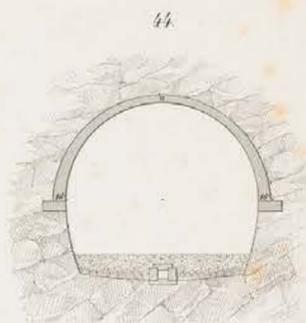
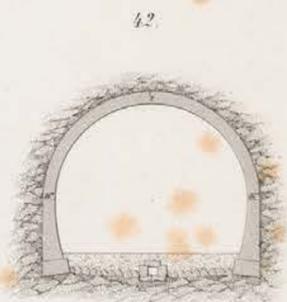
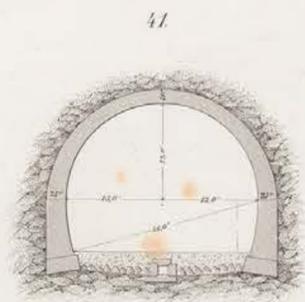
Maasstab - 1:100.



Maasstab - 1:50.

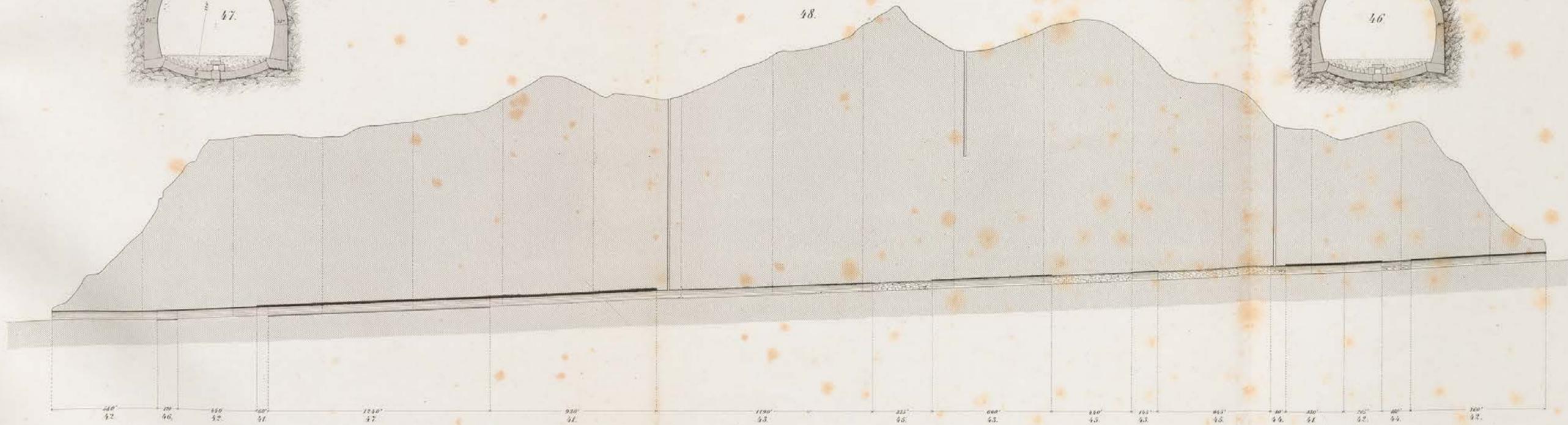






Maasstab - 1:200

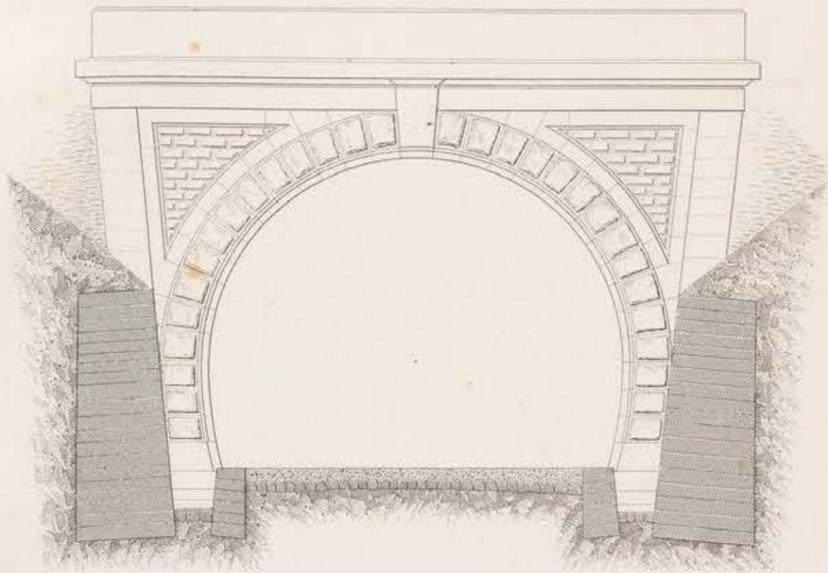
48



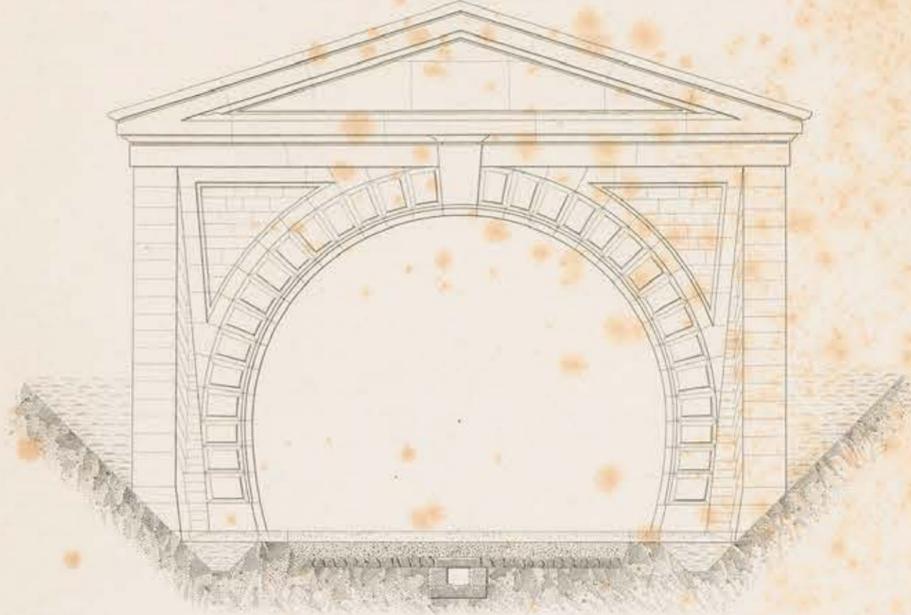
Maasstab für die Längen - 1:5000

Maasstab für die Höhen - 1:2500

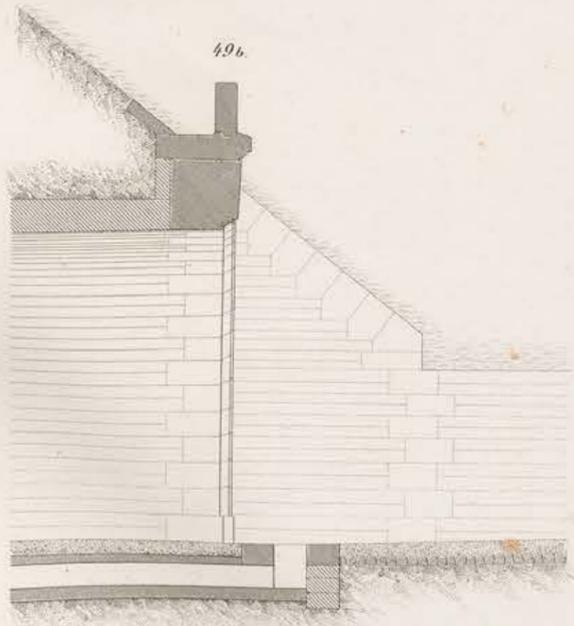
49a.



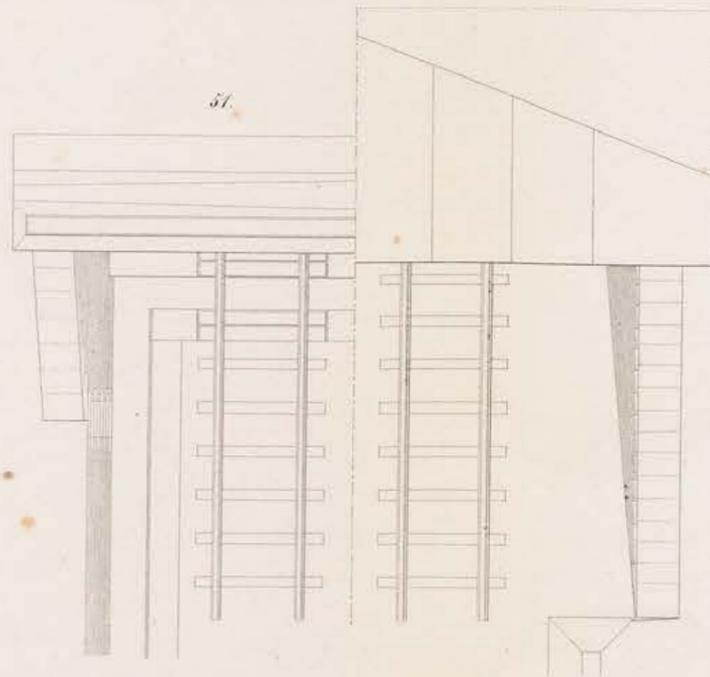
50a.



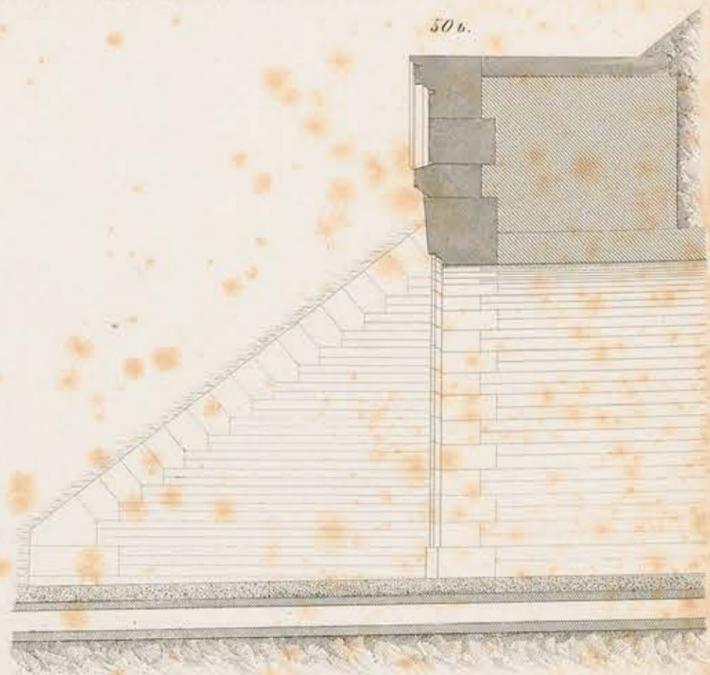
49b.



51.



50b.

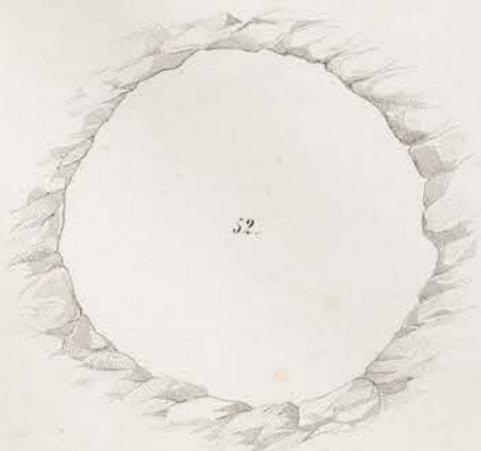
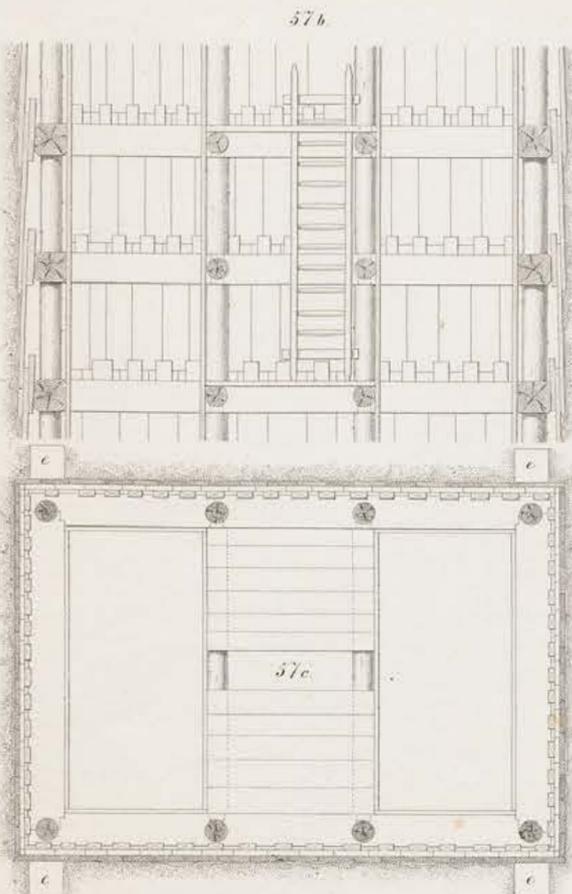
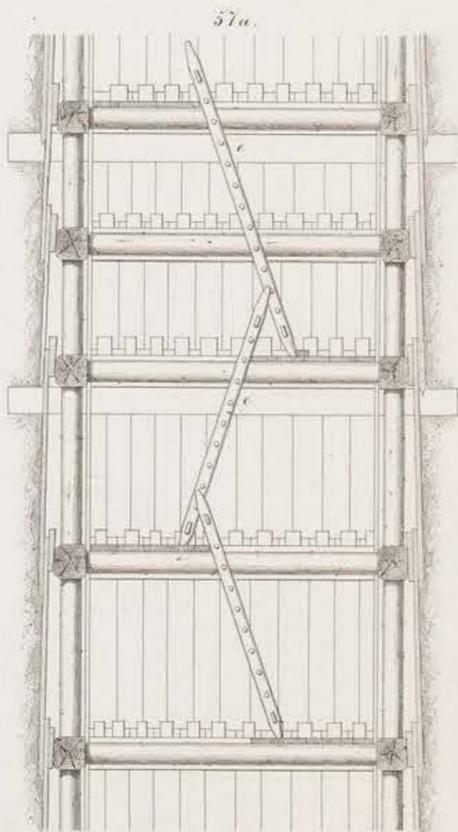
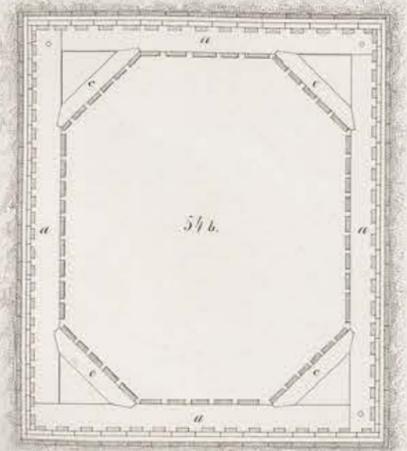
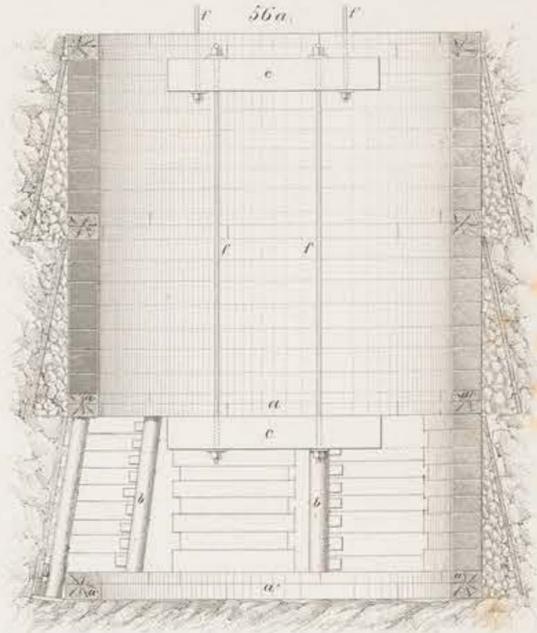
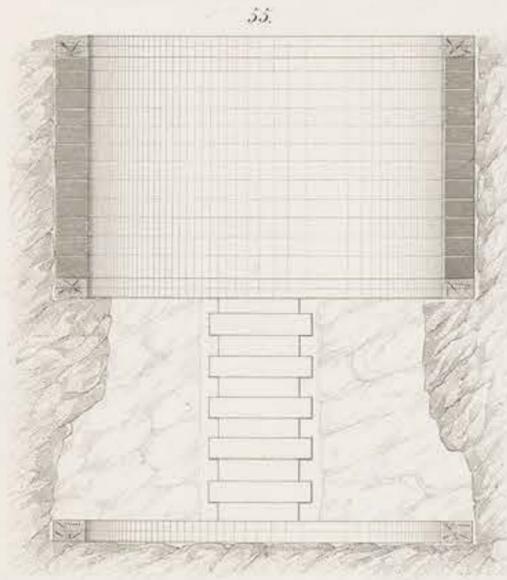
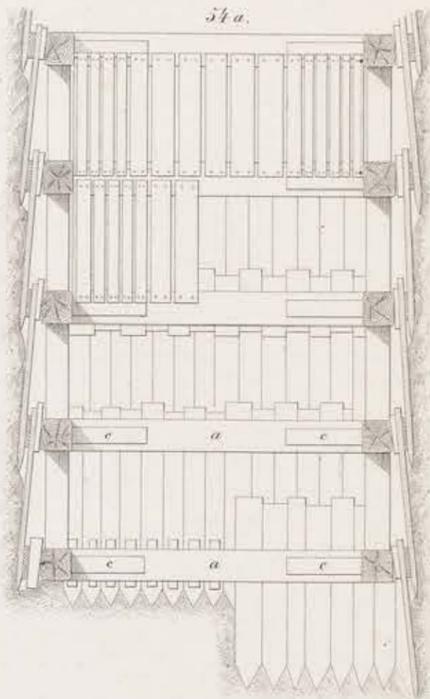
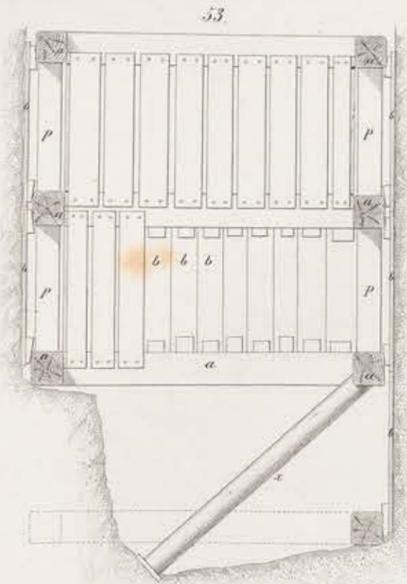


Maasstab - 1:100



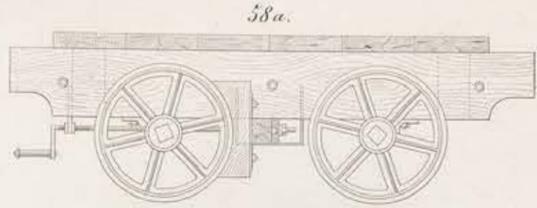
Made in Paris 1871



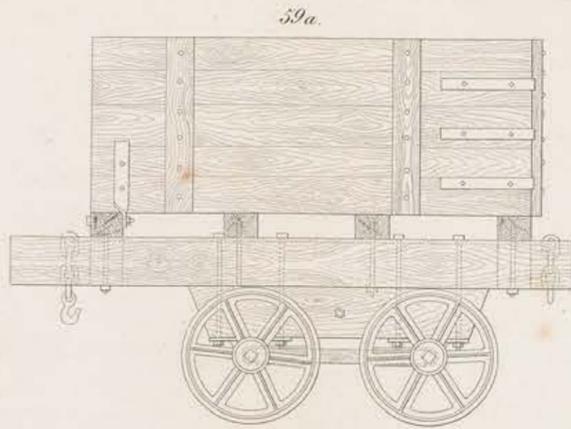


Maasstab - 1:50.

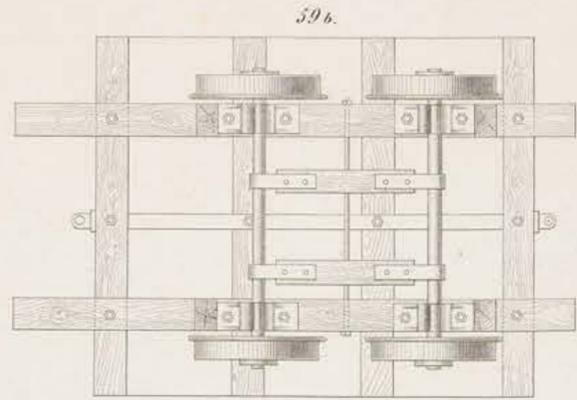




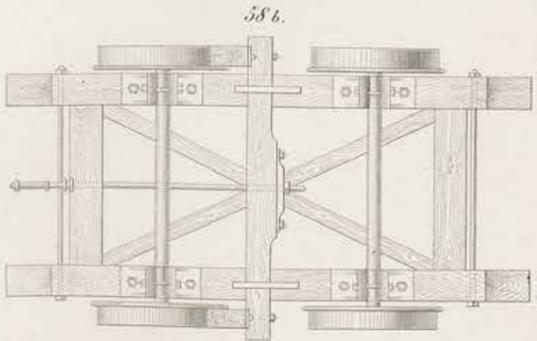
58a.



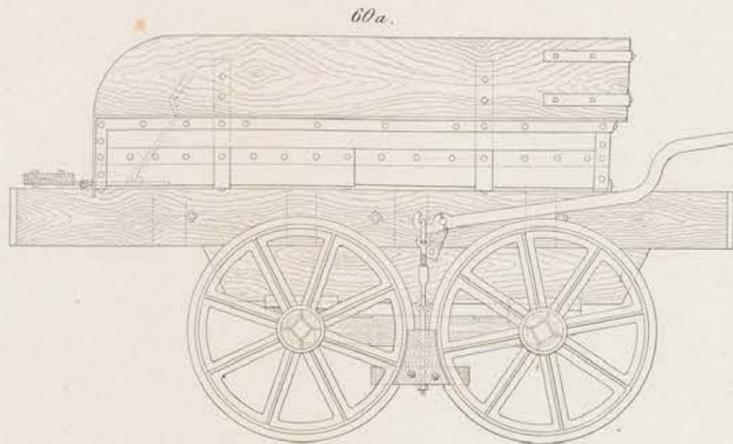
59a.



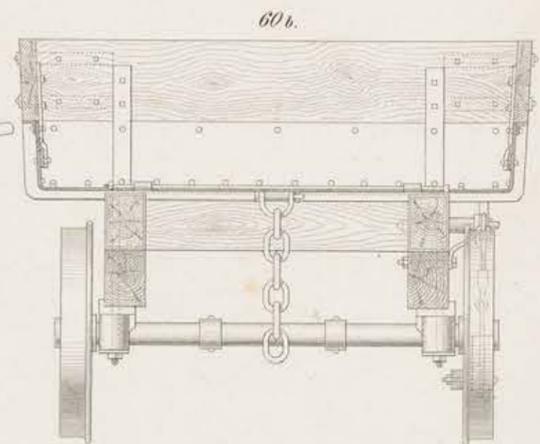
59b.



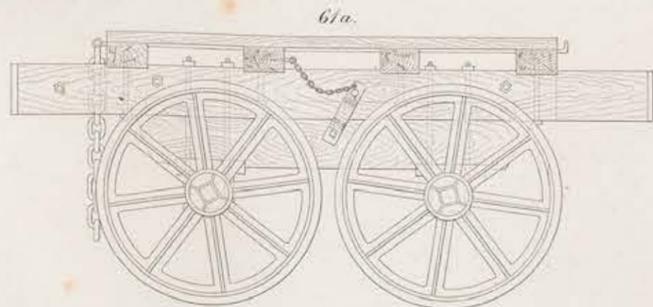
58b.



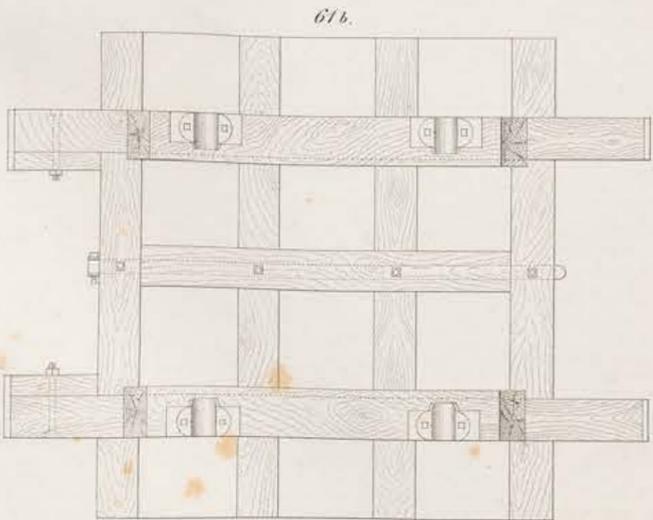
60a.



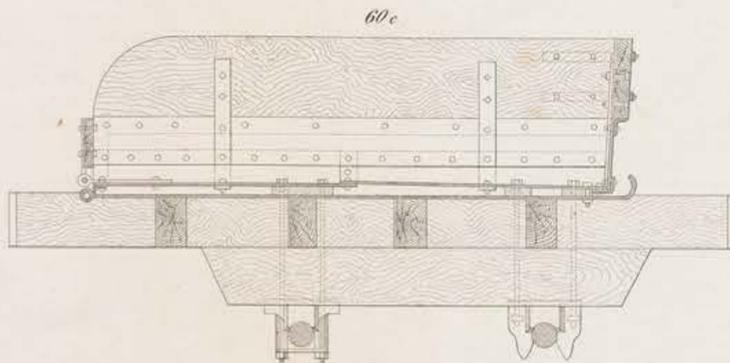
60b.



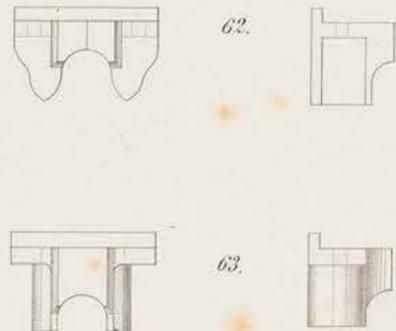
61a.



61b.

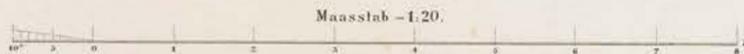


60c.

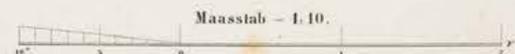


62.

63.

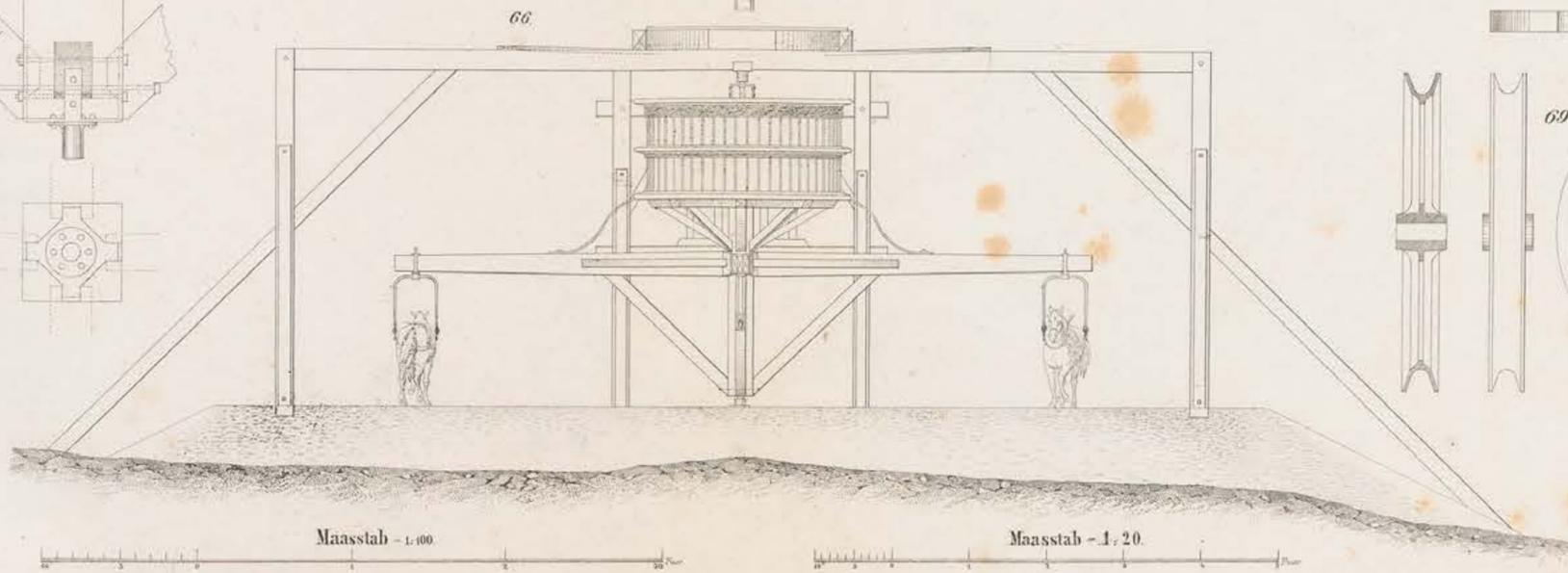
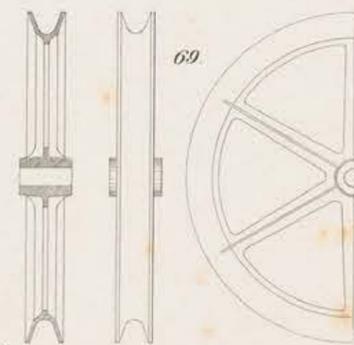
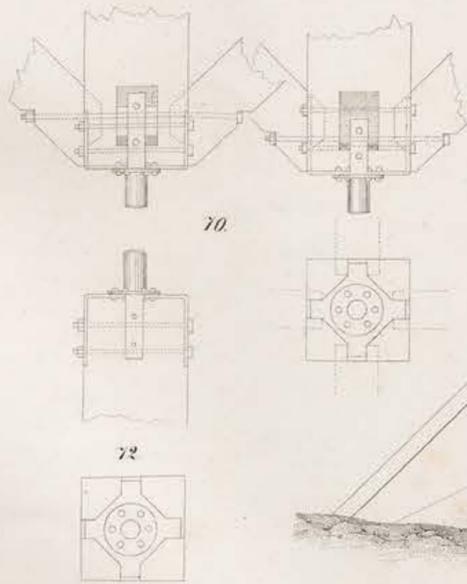
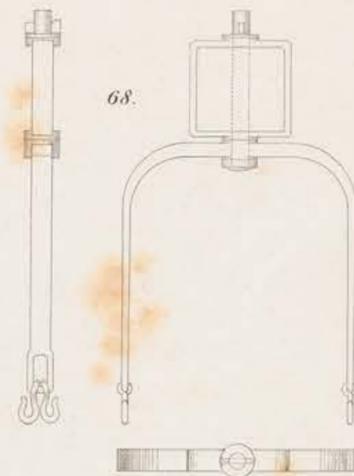
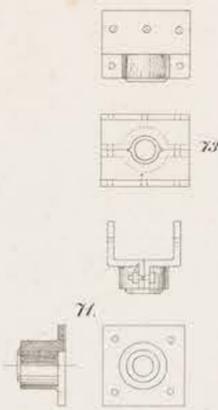
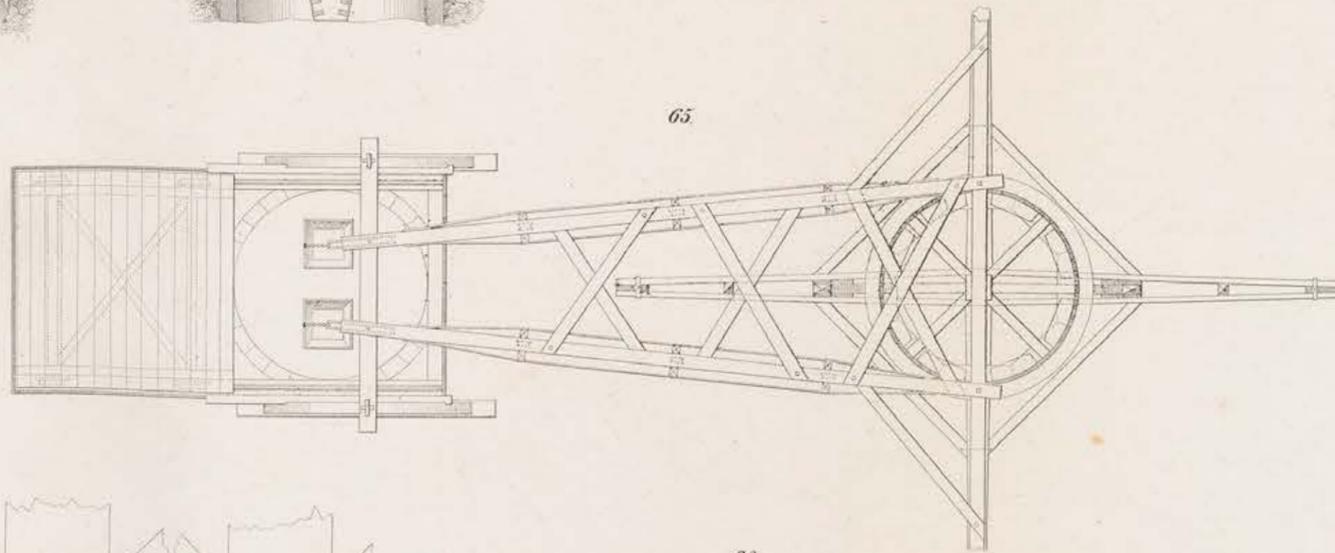
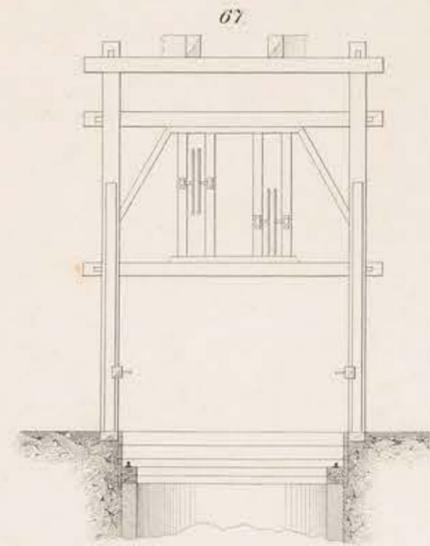
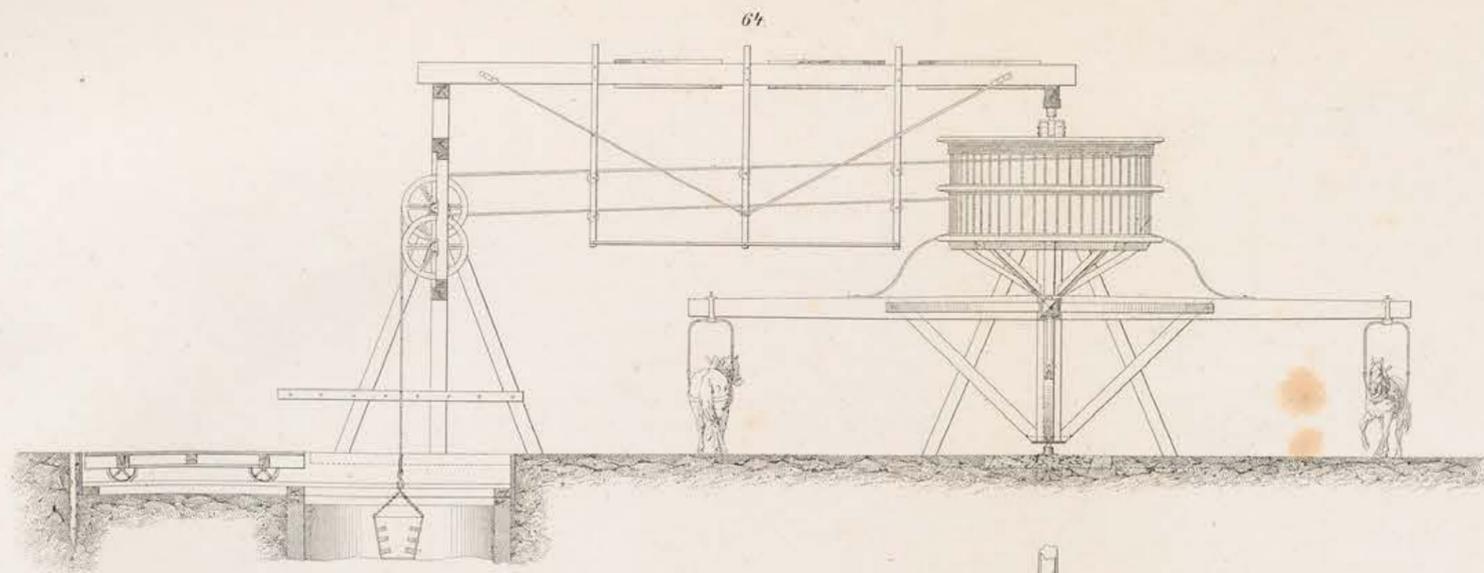


Maasstab - 1.20.

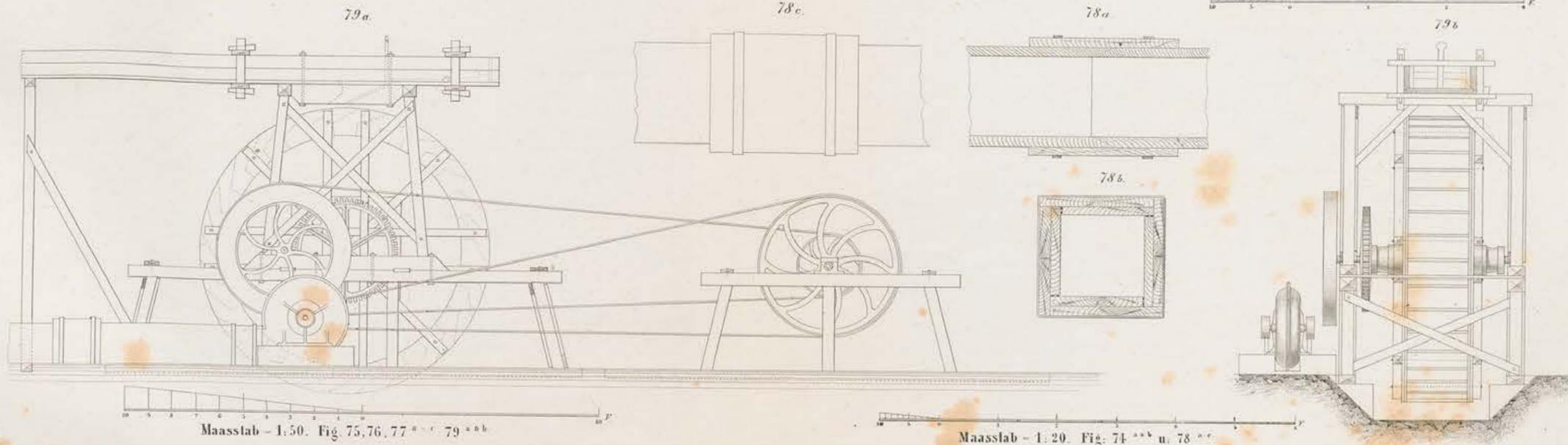
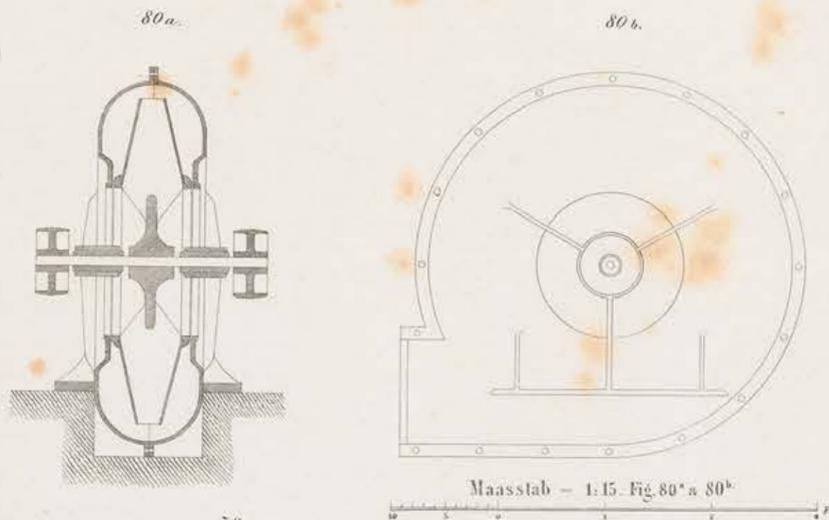
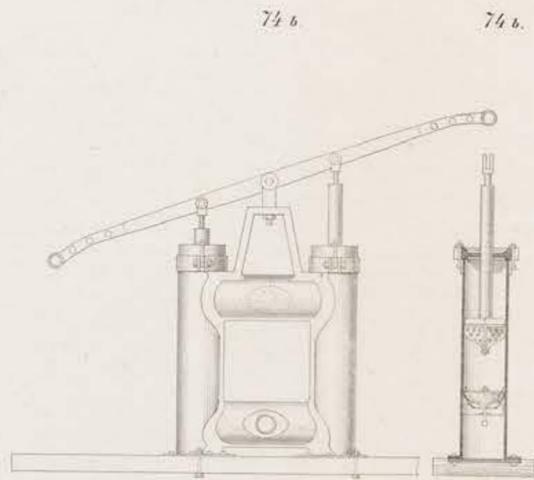
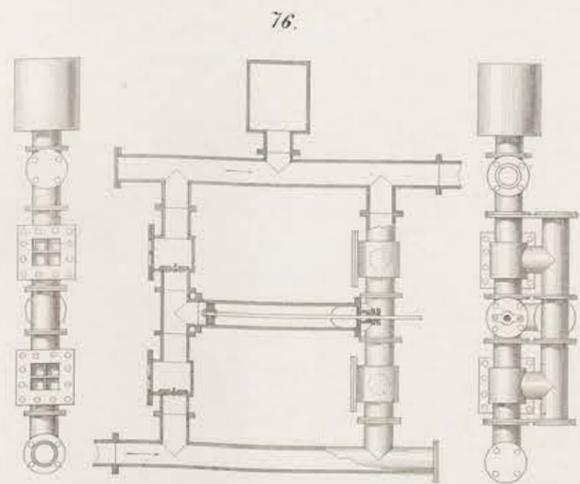
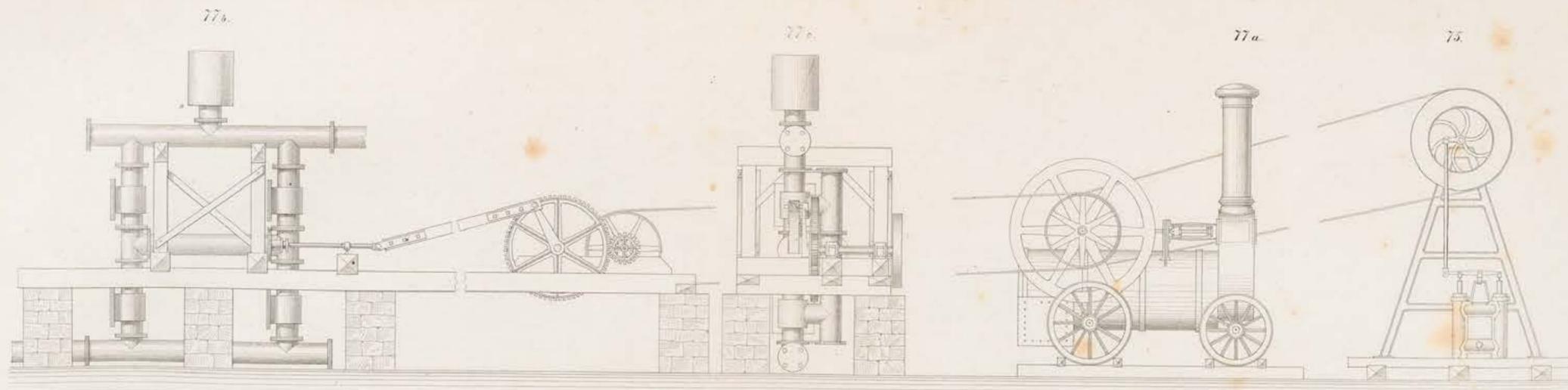


Maasstab - 1.10.

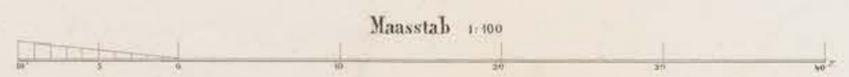
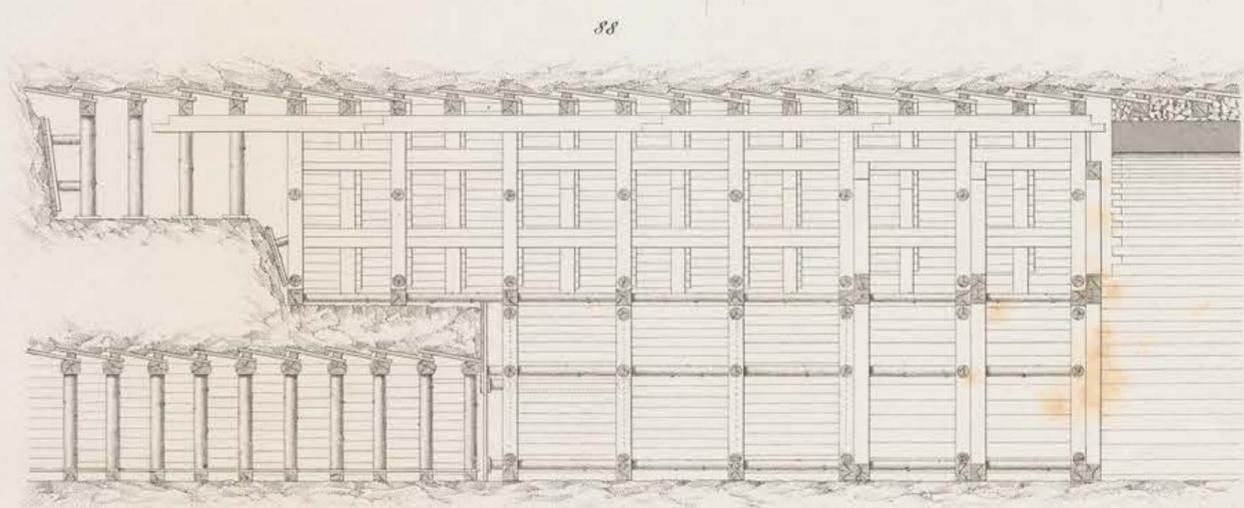
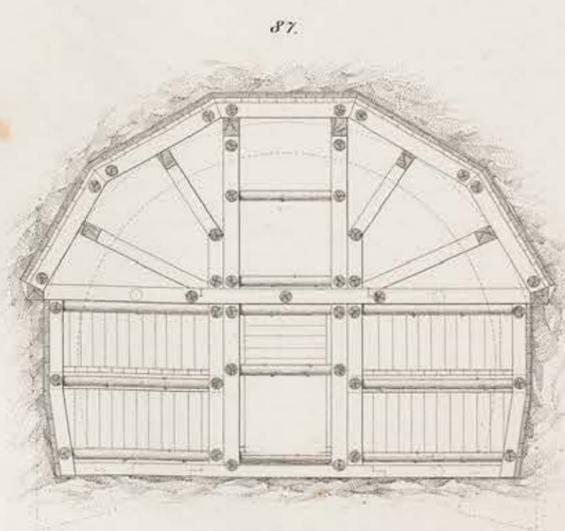
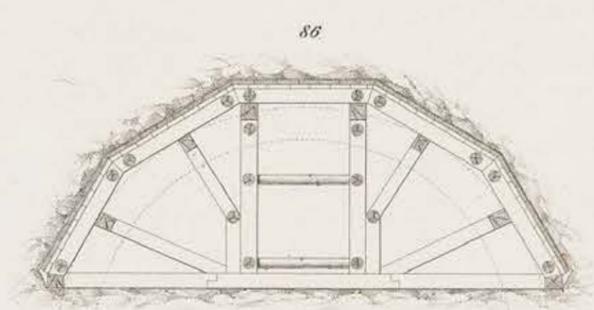
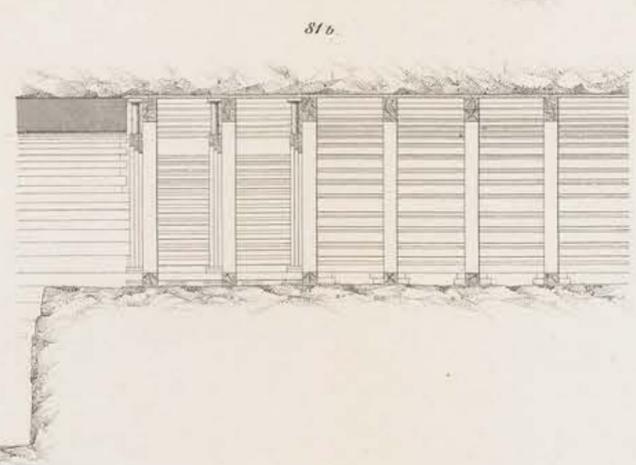
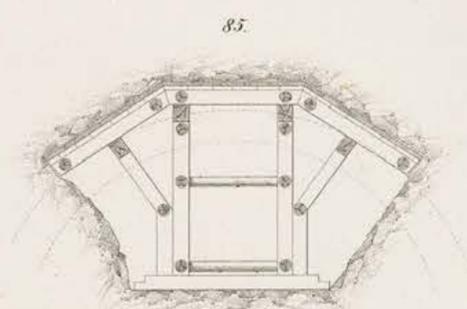
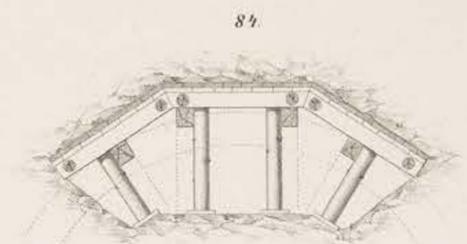
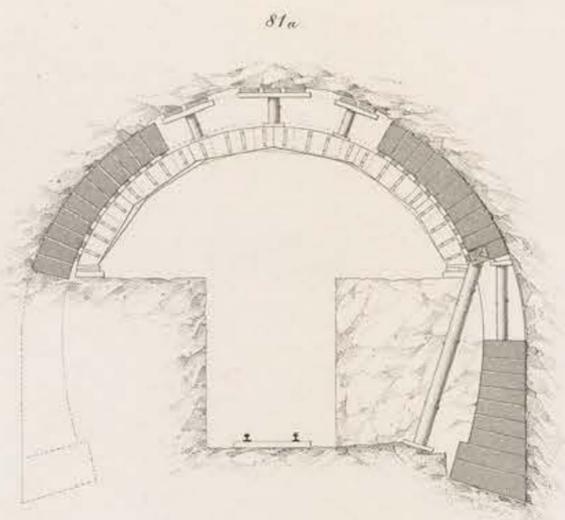
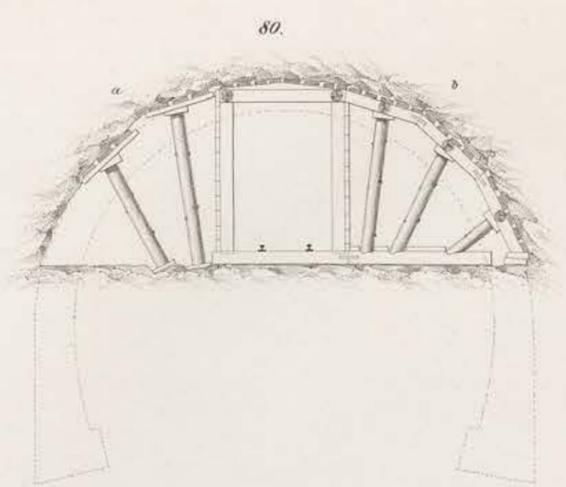


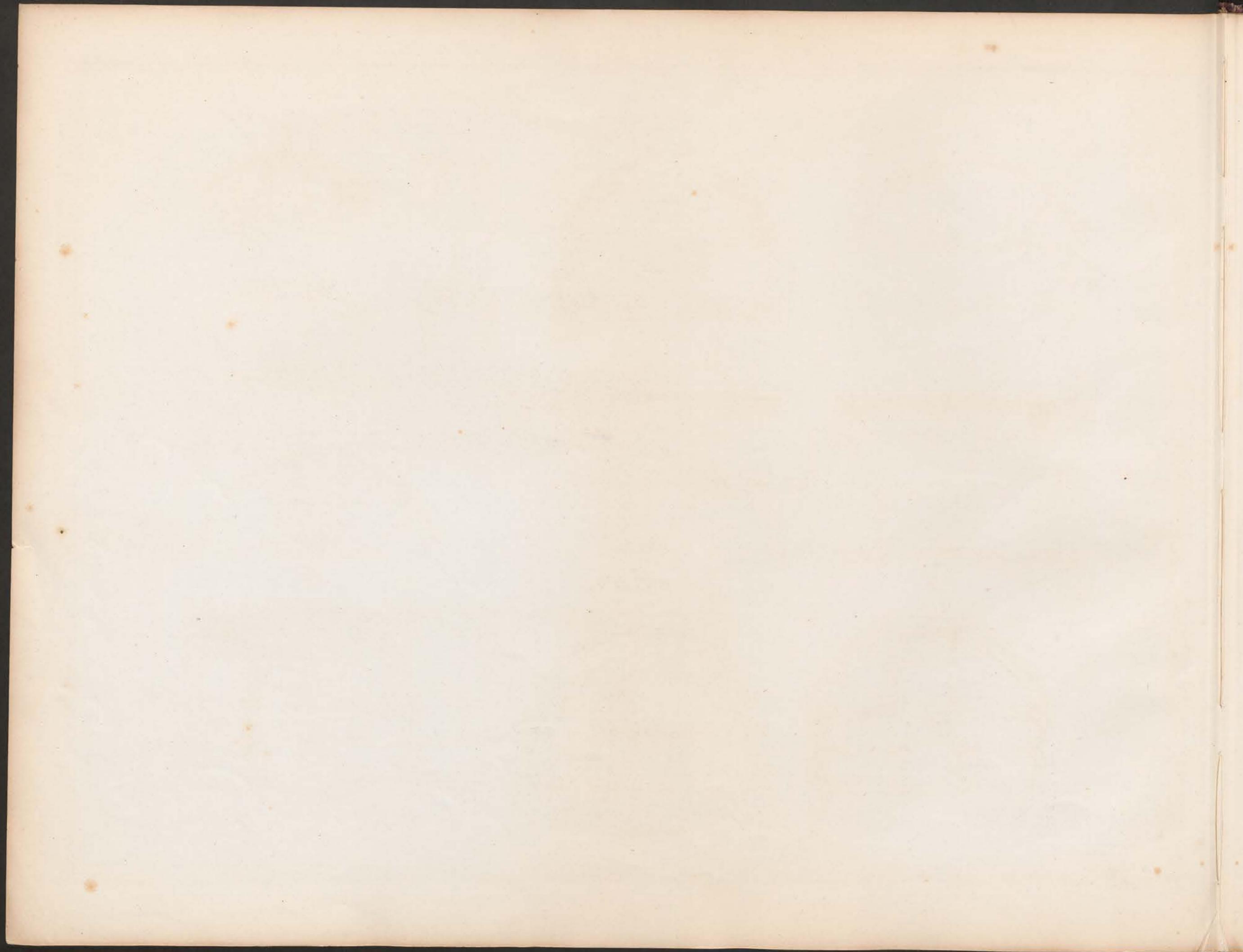




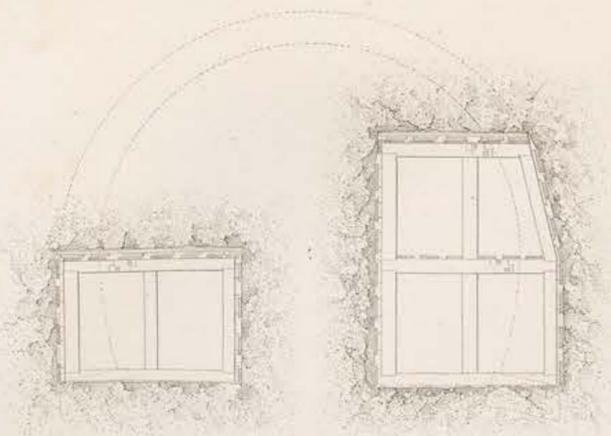




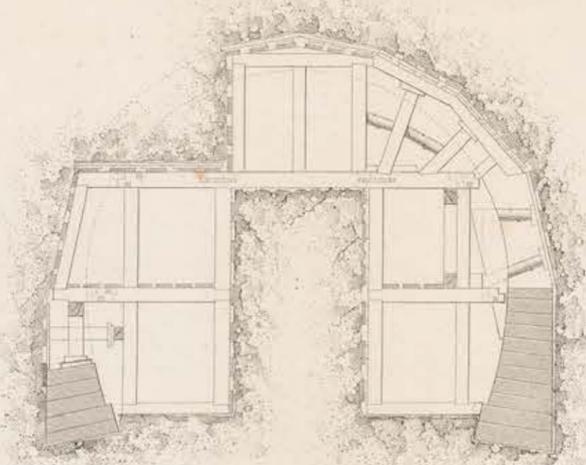




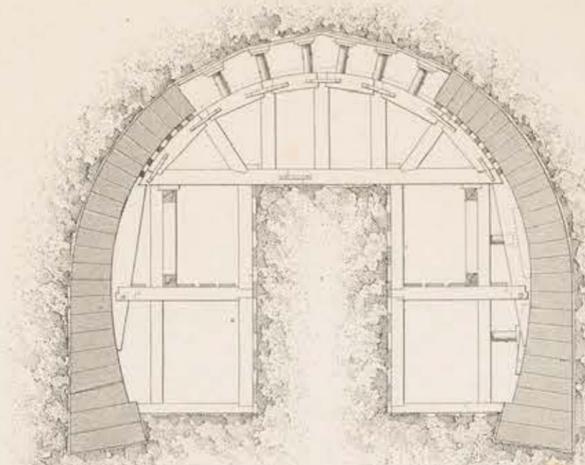
89a



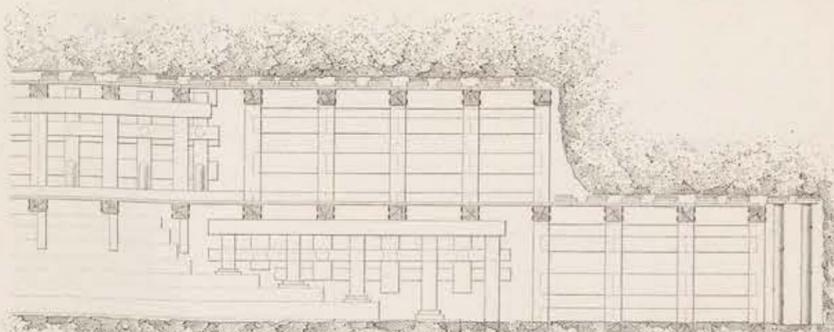
90



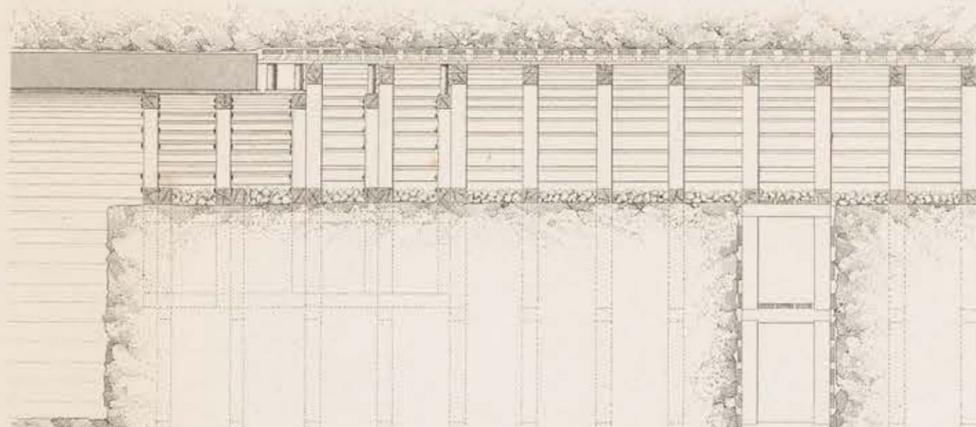
91



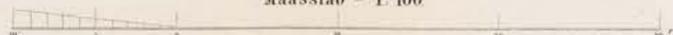
89b



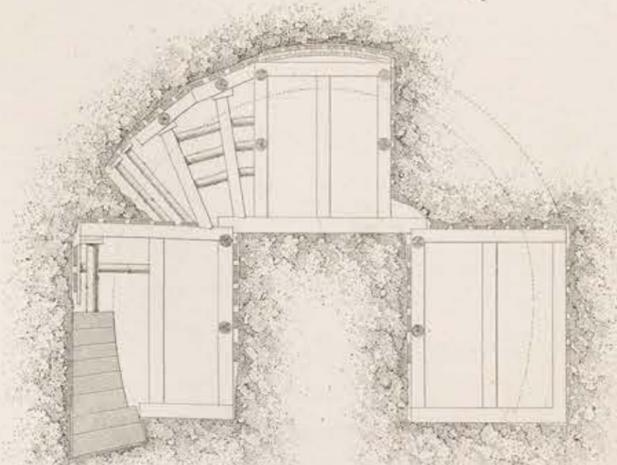
92



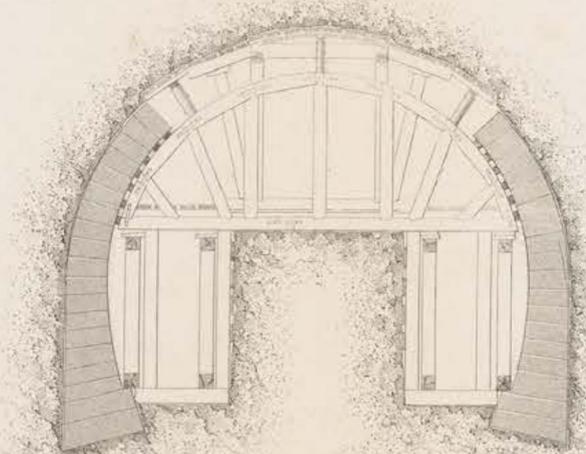
Maasstab - 1. 100



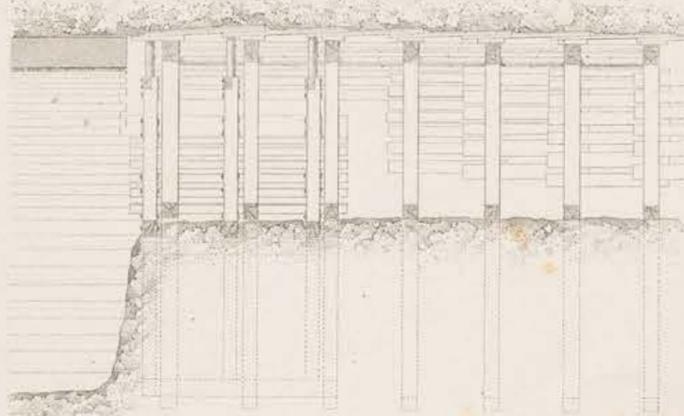
93

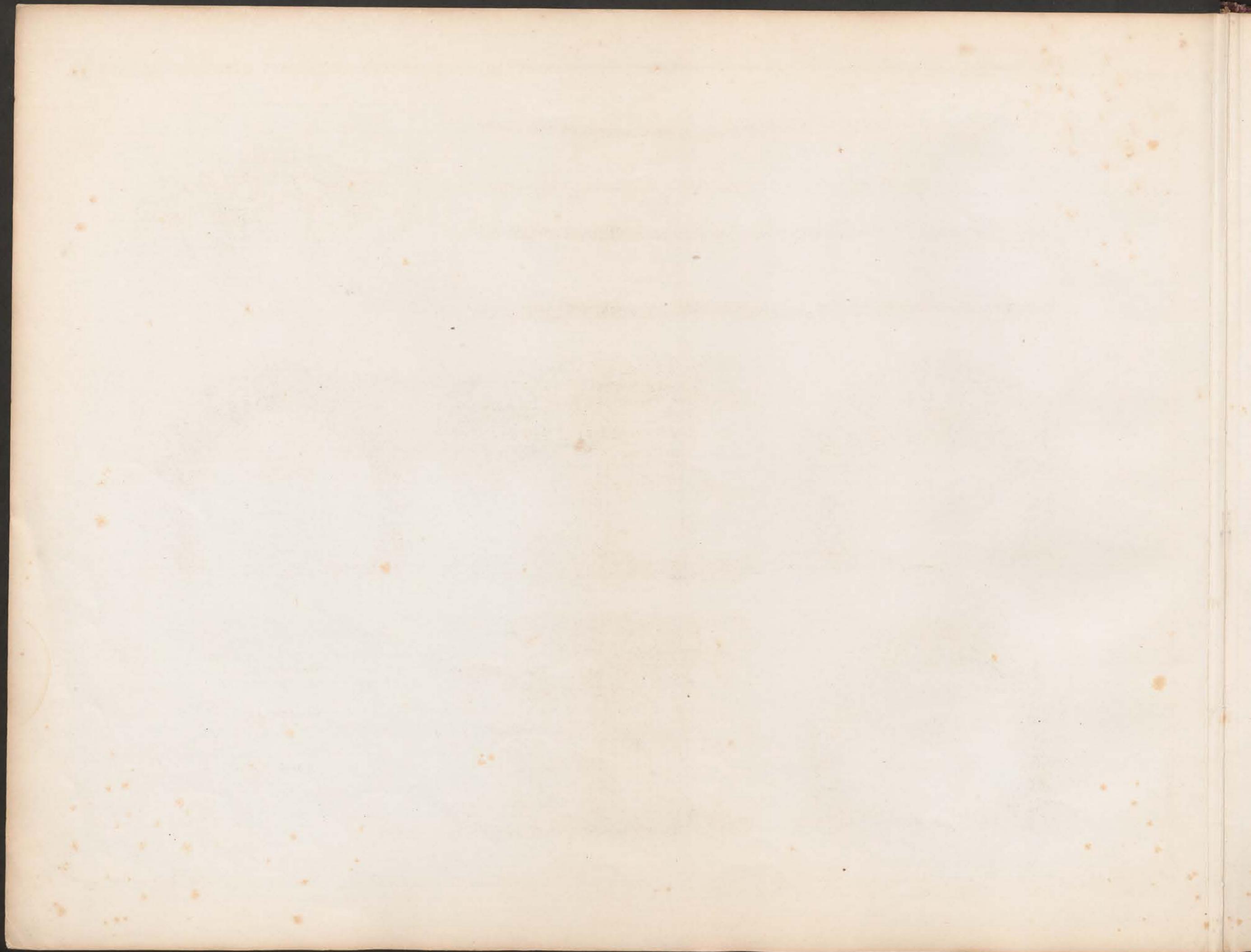


94a



94b



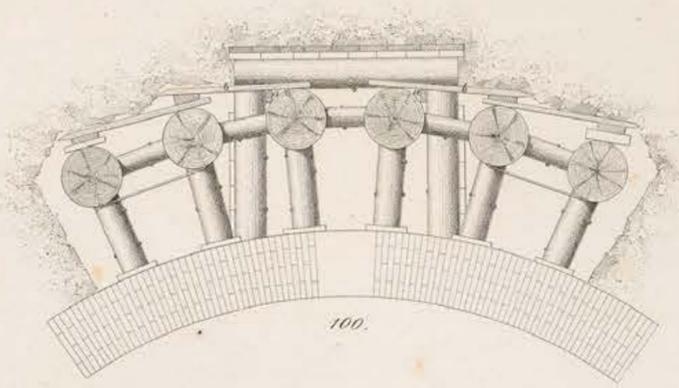




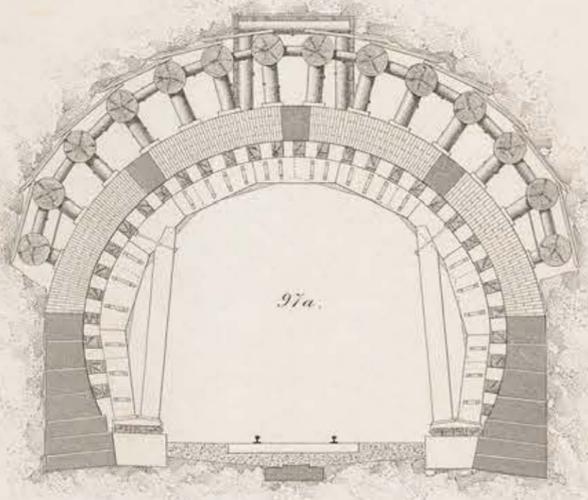
95.



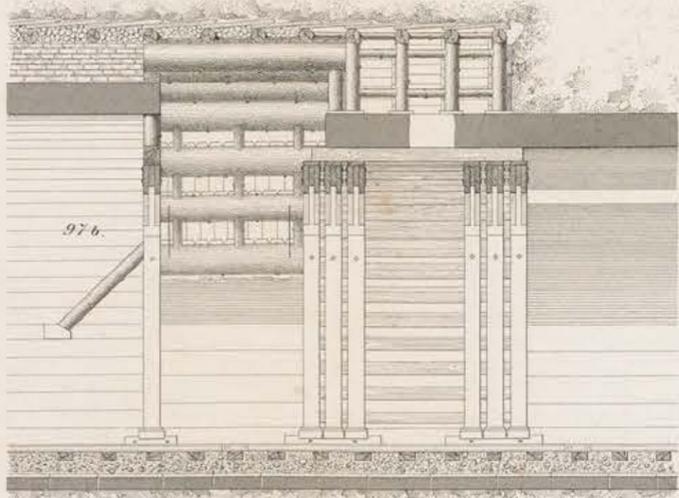
96.



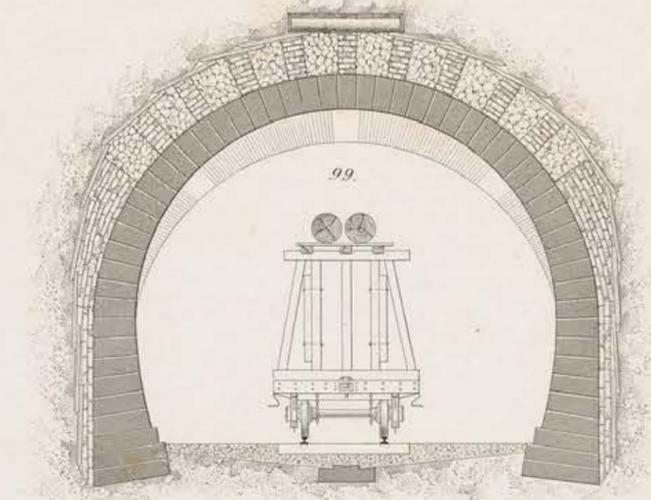
100.



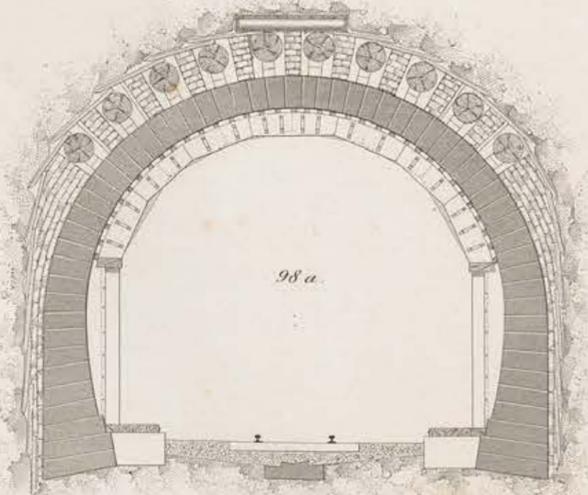
97a.



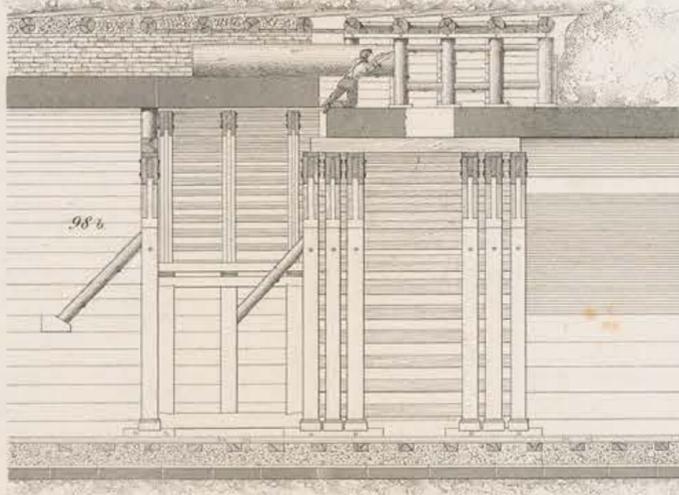
97b.



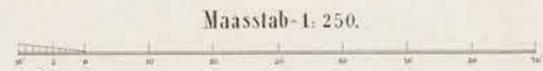
99.



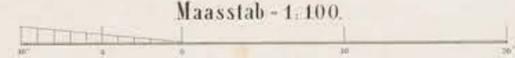
98a.



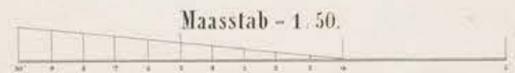
98b.



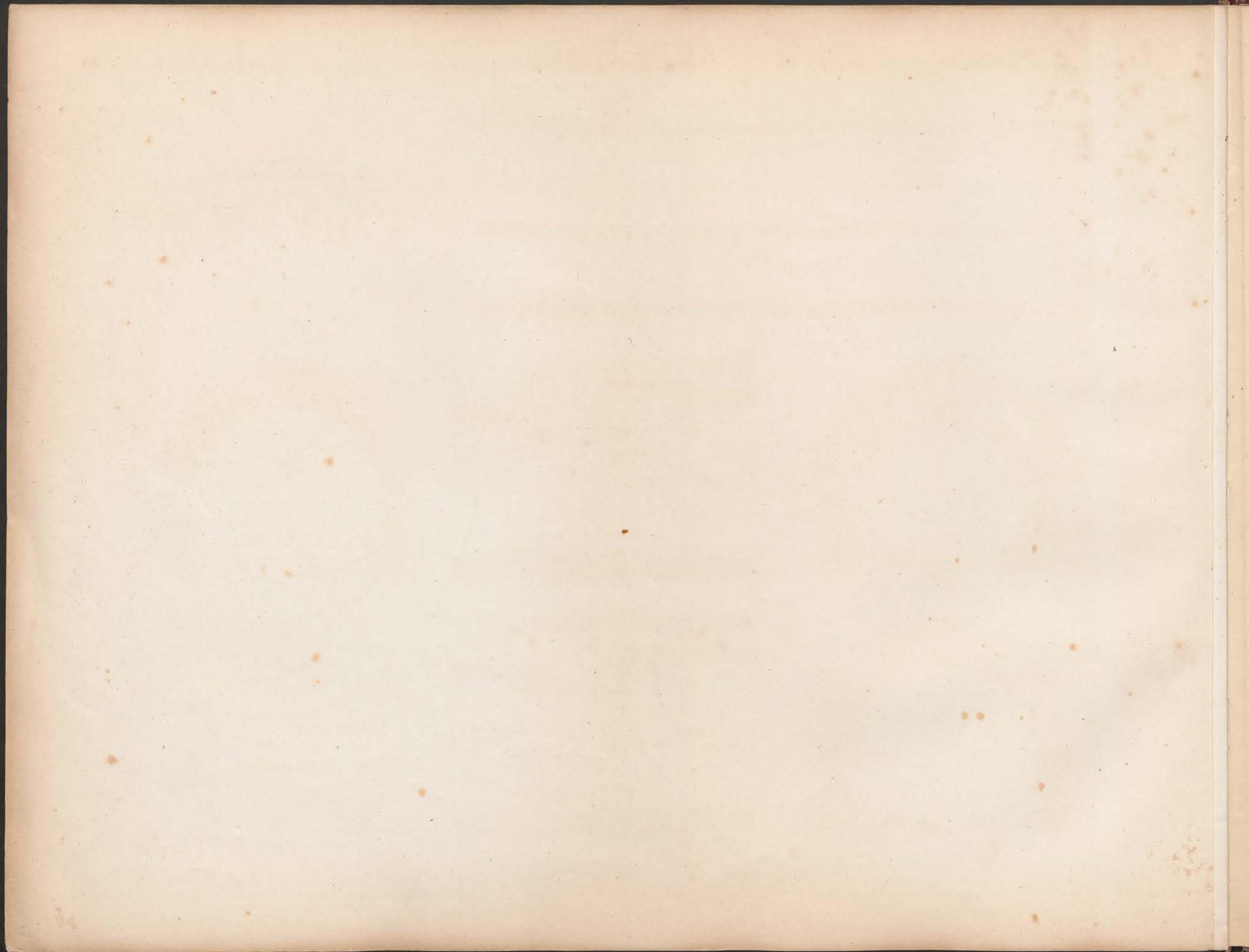
Maasstab - 1: 250.

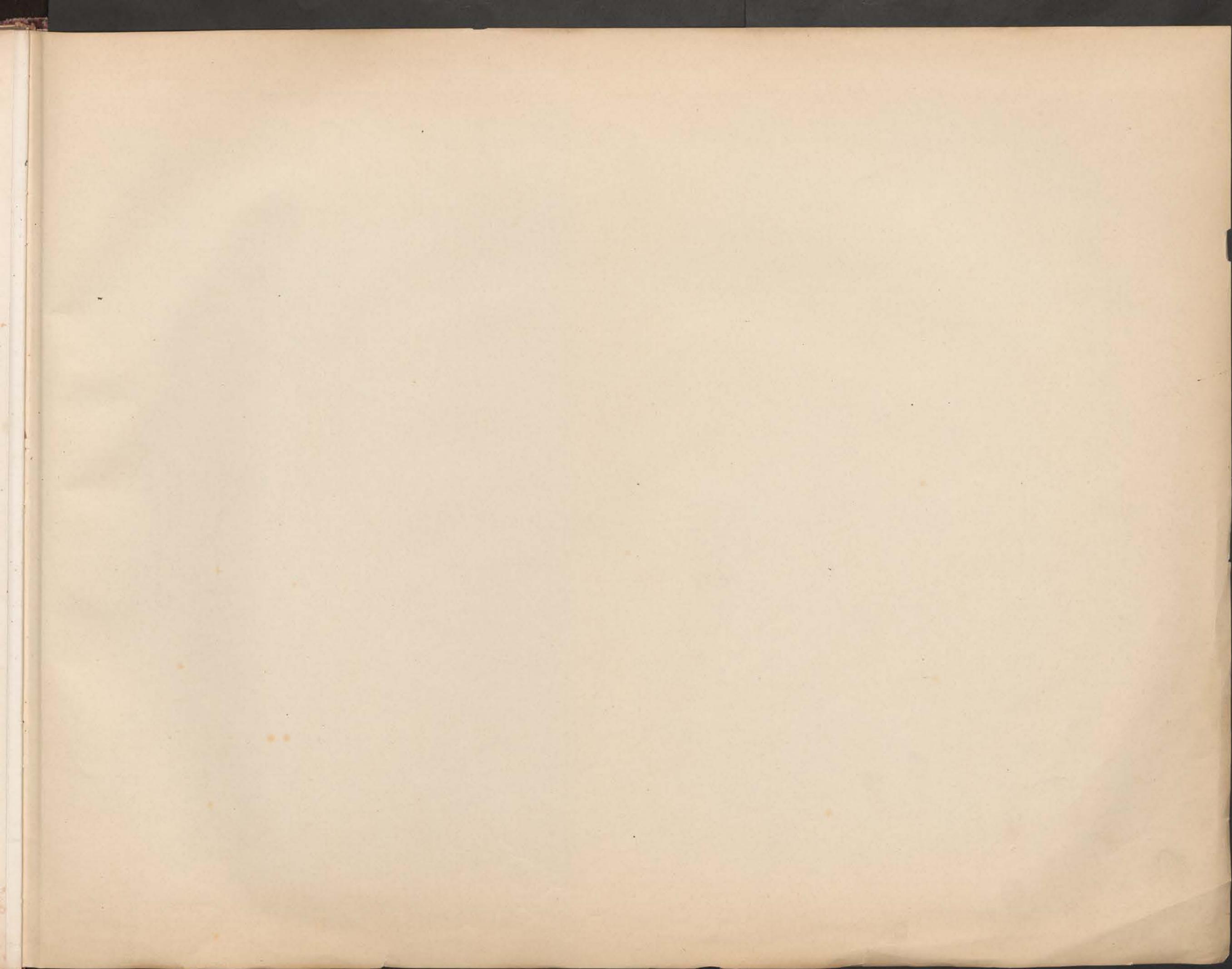


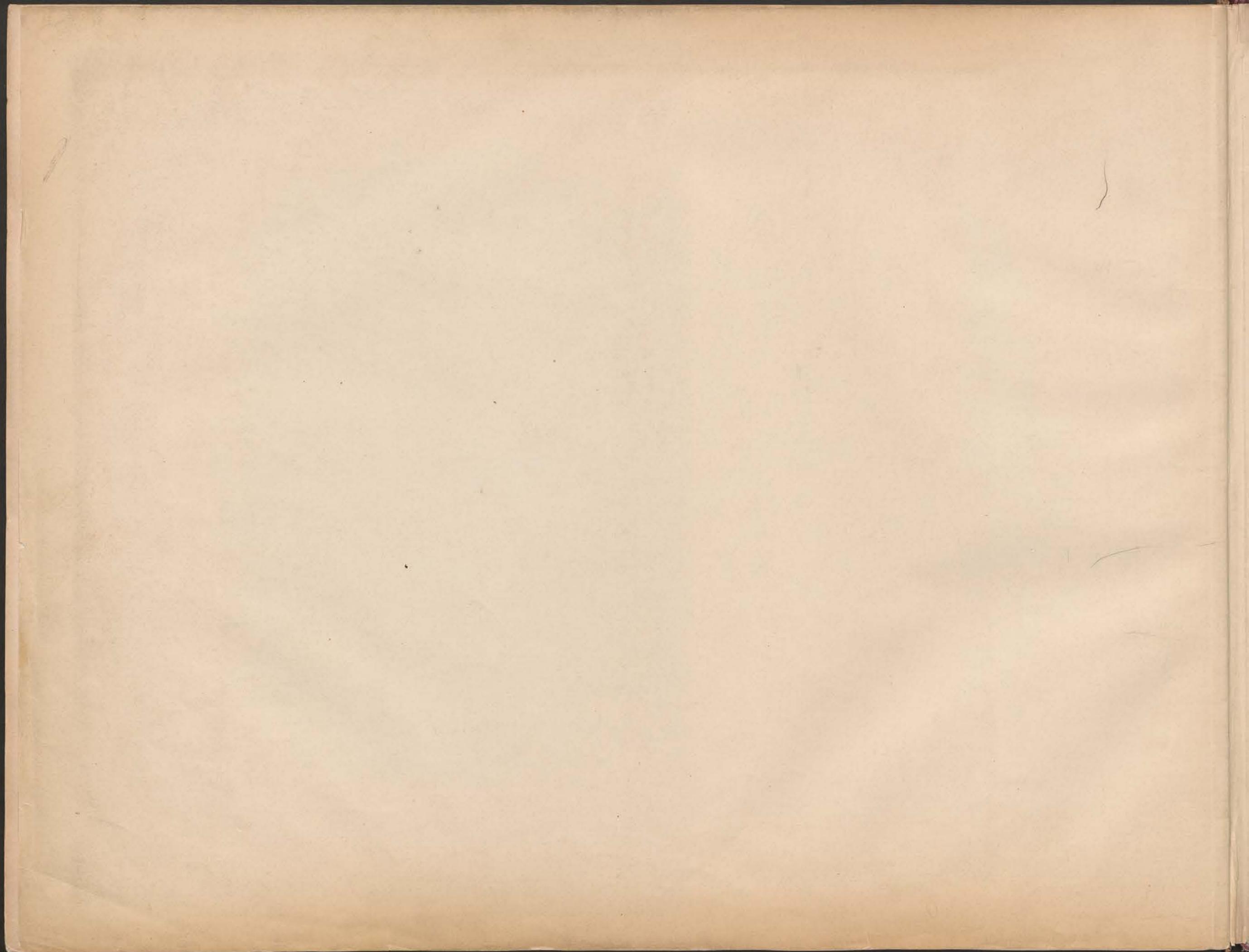
Maasstab - 1: 100.



Maasstab - 1: 50.







671
561
110

Tafeln:

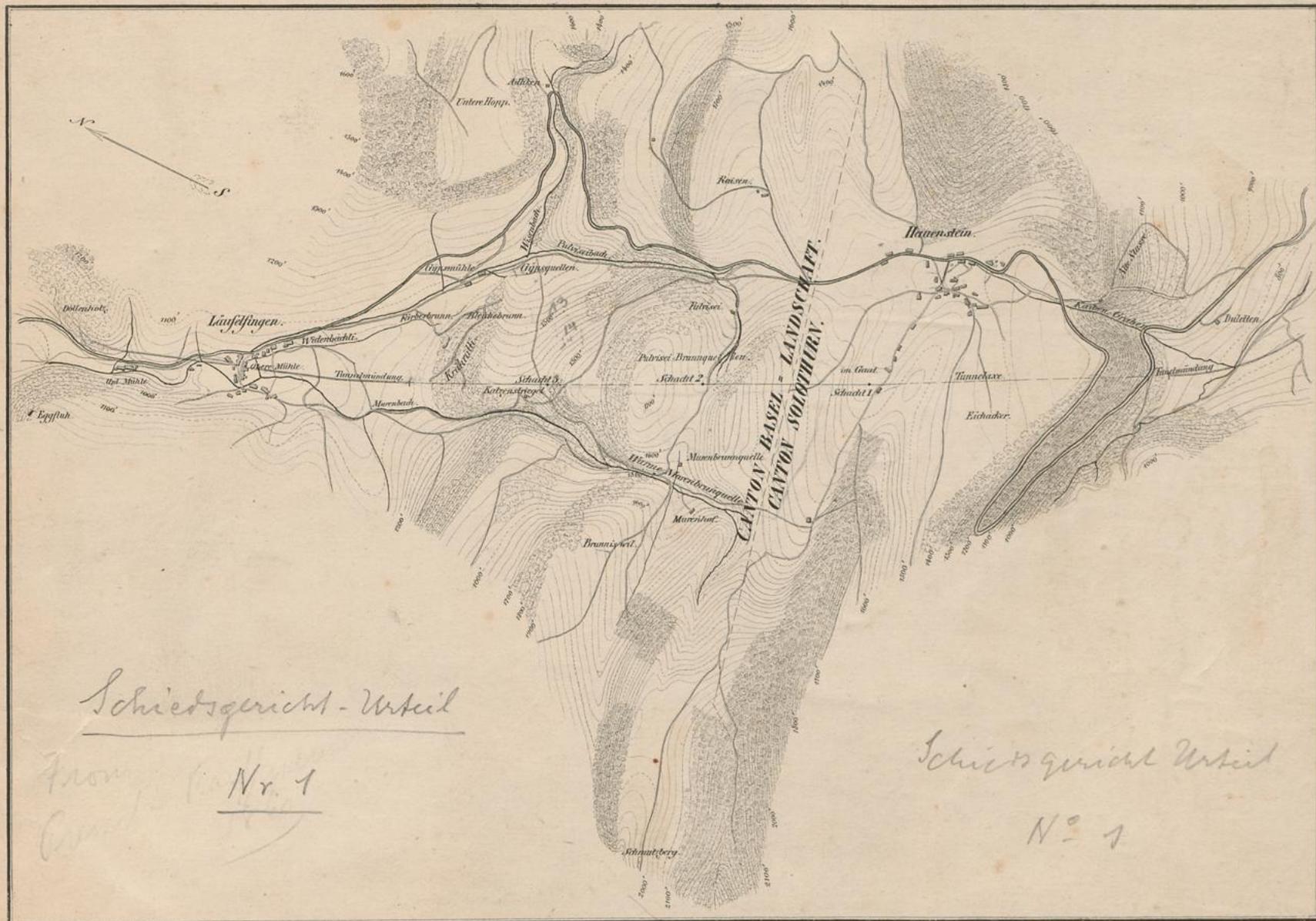
- a) 1. Preussel-Kauffmann: Geol. Durchschnitt des Heeresuntertunnels 1:2500 ✓

Tafeln zum Schiedsgericht Wsthal

- c) Nr. 1 2 Expt. ✓
d) Nr. 2 2 " ✓ (div. Ausg.!)
e) Nr. 3 1 " ✓
f) Nr. 4 2 " ✓

- e) 1 2 Expt. Geol. Längensprofil & Situationsplan ✓

KARTE DES HAUENSTEINS nach der Aufnahme des Herrn Geometer Christen.

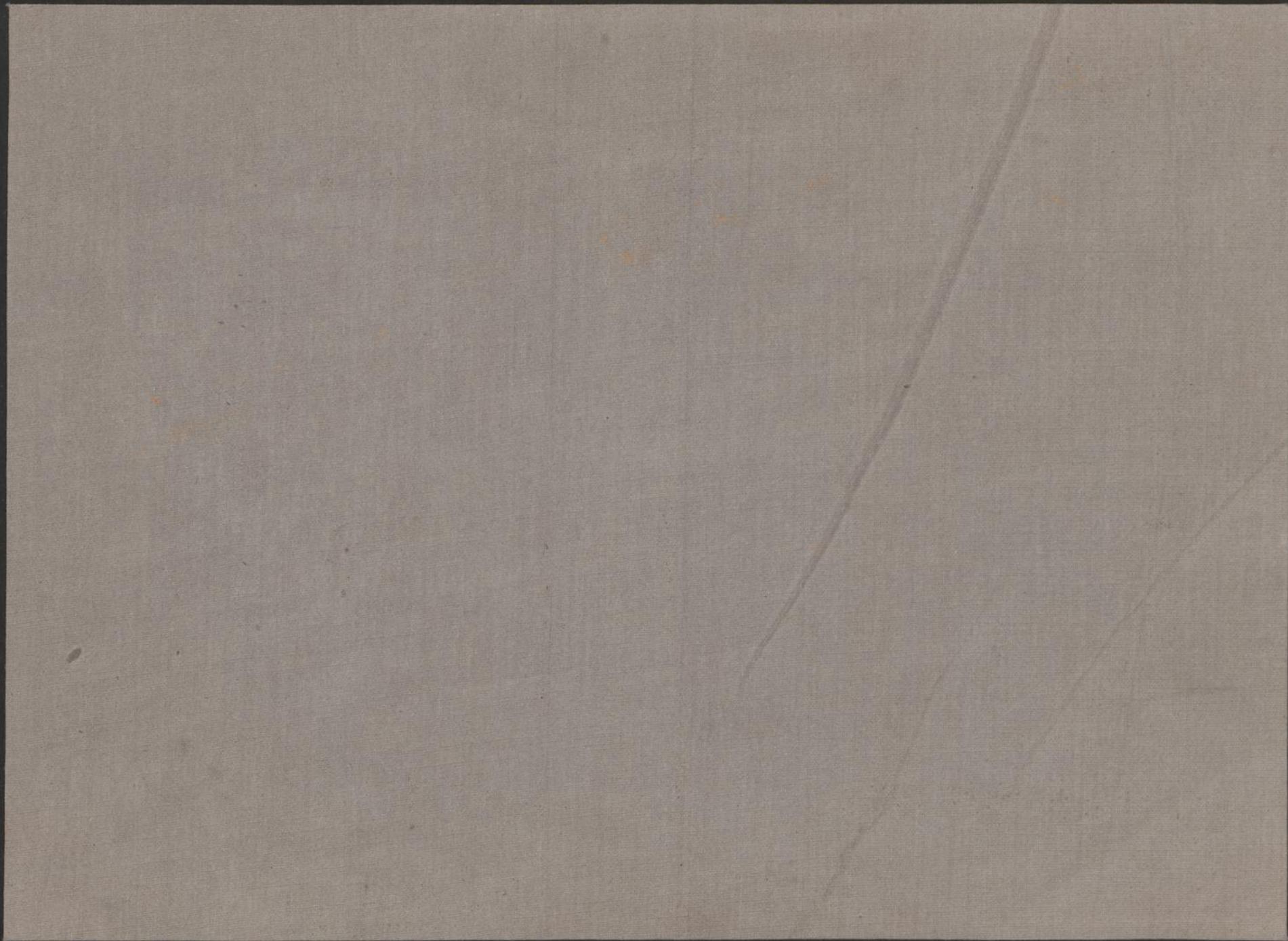


Schiedsgericht - Urteil

From
Canton
Nr. 1

Schiedsgericht Urteil

Nr. 1



vermutlich Prognose Gressly

Formationsgrenzen und Conventionelle Zeichen	Allgemeine Beschaffenheit.	
	Meist fester Kalk	a
		b
		c
Gränze zwischen Oolith. l. u. Lias g.	Größtentheils mergelig od. halbfest	d
	Keine Mergel.	e
Gr. zw. Lias k. u. Keuper l.	Kalk u. brüchiger Mergelkalk	f
		g
	Weiße Mergel mit halbfest Bänken	h
		i
		j
Gr. zw. Keuper l. u. Muschelkalk u.	Mergelige u. halbfeste Dolomite	k
		l
	Fest beständig fester Kalk	m
		n
Gr. zw. Muschelkalk z. u. Salzhau u.	Beständig Thonmergel u. halbfester Gyps u. Dolomite	o
		p
		q
		r
		s
		t

SCHWEIZERISCHE CENTRALBAHN

GEOLOGISCHES LAENGENPROFIL

UND

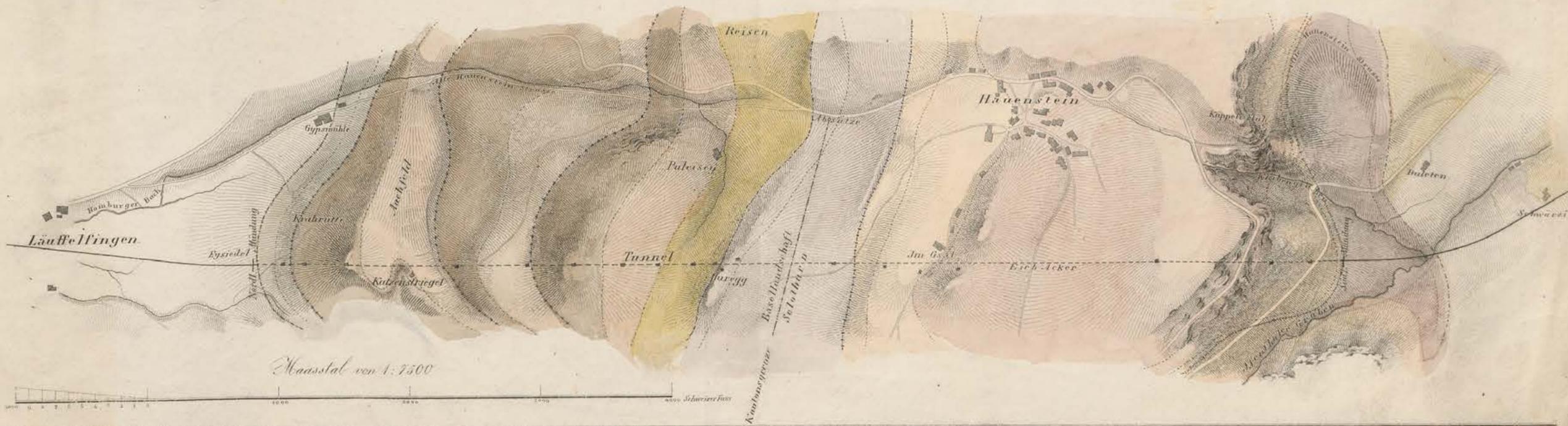
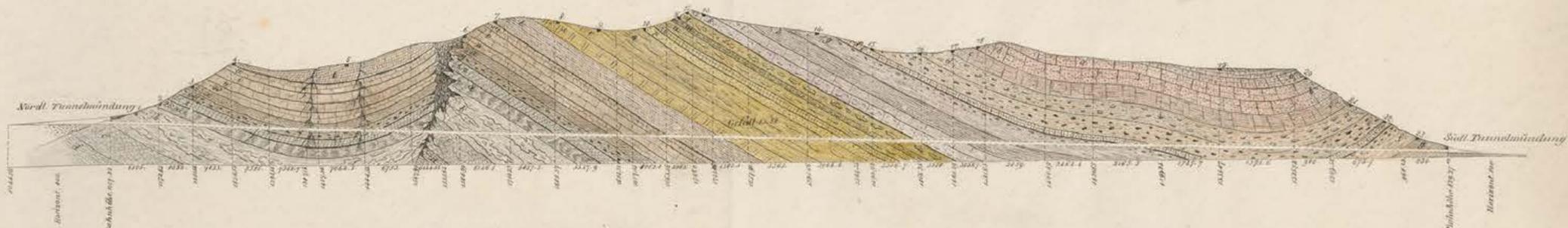
SITUATIONSPLAN

DES

HAUENSTEIN TUNNELS.

Sonder-Graben n. 1-23.

Formationen u. Stufenglieder.	N ^o	Schichten-Numm.	Gesteinsart der Stufen-glieder.
IV. Jura-Formationen			
IV. a. Unt. Bogenstein-Obau			
Brenlieser Sand	a		Eisenschüssige Kalk mit Mergel
Ob. Bathkalk	b		Mergelige stichschichtige Kalk
Unt. " "	c		Schiefer Kalk in starken Bänken
Liaconien	d		Roths Mergel u. Mergelkalk im Wechsel mit Kieselstein
Düppelen	e		Thonkalkige Kieselstein
Keuperstein	f		Glimmermergel mit Giebelstein
Obere Liasmergel	g		Fette dunkle Mergel
Untere " "	h		Schwache Thonmergel u. Mergel
III. Keuper			
Obere Keuper	i		Starke Mergel mit Kieselstein
Mittlere " "	j		Mergel mit Kieselstein
Untere " "	k		Körnermergel mit weissen Gips
Wald-Dolomit	l		Halbfester beständiger Dolomit
Waldmergel	m		Halbfester Mergel mit gelbem Sandstein
Kette, Kalk u. Gips	n		Dunkle, dunkle Mergel mit Kiesel u. Gips
Keuper-Salzhau	o		Schwarze " " Dolomit
" " "	p		Grünliche
Obere Muschelkalk-Dolomit	q		Hellgelber Dolomit u. Rauhwerke
IV. Muschelkalk			
Ob. Muschelkalk	r		Feste u. grobe Kalkplatten
Mittlere " "	s		Dunkler körniger Kalk in starken Bänken
Unt. Muschelkalk	t		Körniger u. Kalkplatten
Ob. Muschelkalk	u		Beständige Dolomite mit Hornstein
Muschelmergel	v		Beständige gelbe Dolomit Mergel
Ob. Muschelmergel	w		mit gelbem Thon
Ob. Salzhau	x		Glimmermergel mit Gips
III. Anhydrit u. Gips			
Anhydrit u. Gips	y		Dunkle unbeständige mergelige Gips mit Anhydrit " " "
Untere Salzhau	z		Milchsteinmergel u. Thon mit Salz u. Anhydrit
Waldkalk	aa		Hellgelbe u. grobe dolomitische Thonkalk



Geol. Längsprofil
& Situationsplan

Vermutliche
Pragmata Gressly



Lith. u. geogr. d. Welt

N^o 3

Zac. 1732 e

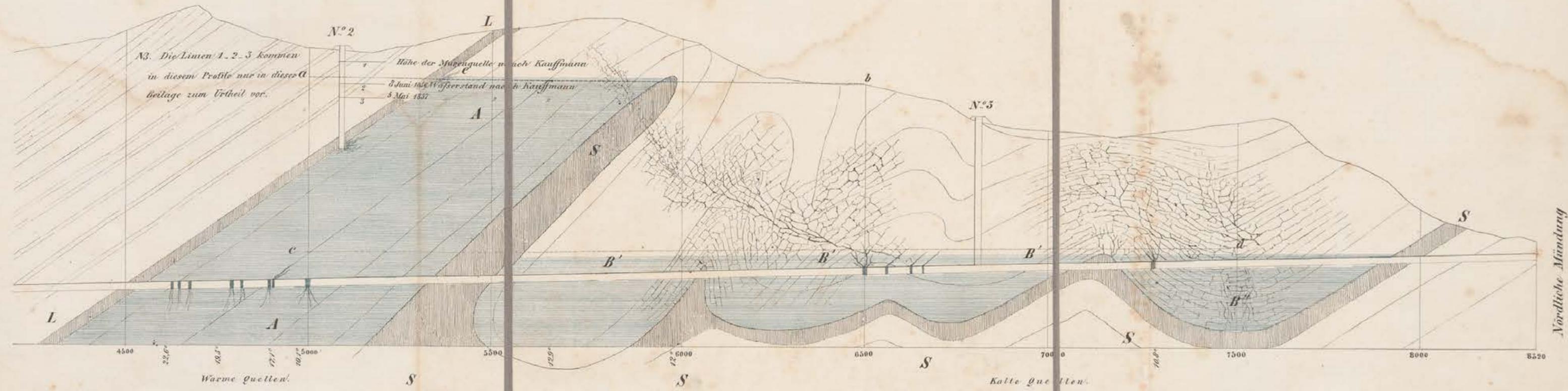
4 Bänder zu
 Schwanzquerschnitt
 22. 15. Sep. 1860

gestrichelt Rücklicht bis in Kauenstein
 zu Tage tretende Wasser in dem
 Kauensteinloch.

N^o 2. Profil des nördlichen Theiles des Kauensteintunnels zur Erläuterung der Wasserhältnisse.

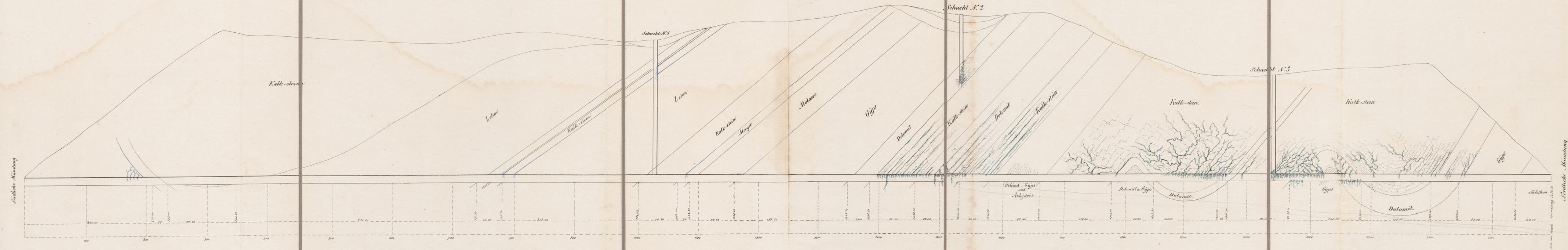
A Inneres Becken der warmen Quellen
 B' Inneres Becken der kalten Quellen
 B'' Äußeres " " "
 L Undurchdringliche Schicht des Lettenkohlentones
 S " " " oberer Salzkthon

a b Niveau des Beckens der warmen Quellen, des Murenbrunnens,
 und der Wasserhöhe im Schacht N^o 2
 c d Niveau des Beckens der kalten Wasser, der Gypsquellen, (annähernd
 des Färberbrunnens und der Wasserhöhe im Schacht N^o 5)
 e Murenbrunnen



Leitungsricht-Verh.
N^o 4.
Bon 1938 p. 2

Profil des Kauenstein tunnels.
nach Watson.



Schicksgraben
Winkel
N^o 2
Zwe 1936 ab₂

Schichtverzeichn. - Blatt N^o 2
1858

GEOLOGISCHER DURCHSCHNITT des Hauenstein-Tunnels.

Längenprofil.

Unter Rogenstein.

- a Grobkörniger Batholith.
- b Weisser und grauer Batholith.
- c Spaltiger und schiefriger Batholith.
- d Banfleckige Kalk- und Mergel.
- e Graue und schwarze Mergel.
- f Oberer Mergelstein und Eisenoolith.
- g Untere Sandmergel und Schiefer mit *Pecten personatus*.
- h Unterer Eisenrostein.

Lias.

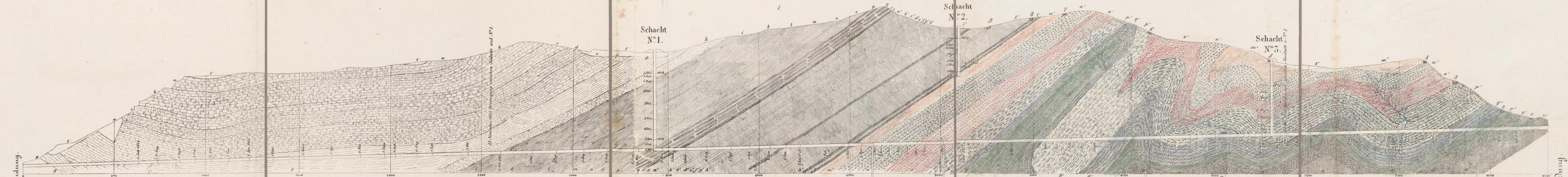
- i Strontian Kalkmergel.
- k Glimmermergel.
- l Schiefermergel.
- m Basalinschiefer.
- n Pyritmergel.
- o Kalkmergel.
- p Cimbrum oder Belemnitenkalk.
- q Sandmergel mit Knauern.
- r Graphitenkalk.
- s Bonebed.

Keuper.

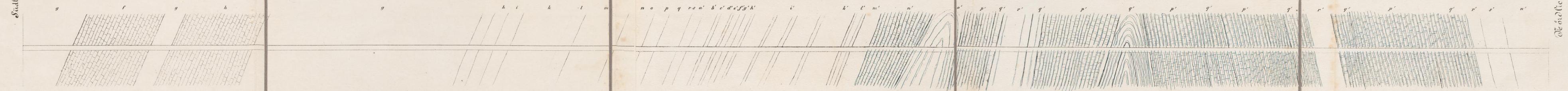
- a' Grüner Keupermergel.
- b' Dunter Keupermergel.
- c' Bunte Sandstein.
- d' Weichselmergel.
- e' Schwarzer Thon.
- f' Grüne und violette Sandmergel.
- g' Braune und dunkel-sandige Keuperthon.
- h' Grauer Keupermergel.
- i' Lettenkohle mit eingelagerten Dolomitblöcken.
- k' Lettenkohlemergel.
- l' Lettenkohle.

Muschelkalk.

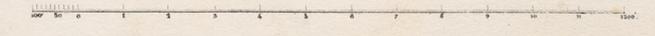
- m' Oberer Dolomit.
- n' Oberer Plattenkalk, Muschelkalk u. Friedrichs Hagen.
- o' Mittlerer Dolomit.
- p' Unterer Plattenkalk.
- q' Unterer Dolomit.
- r' Oberer Salzthon.
- s' Anhydrit u. Gyps.
- t' Anhydritmergelgebilde.
- u' Unterer Salzthon.



2
Horizontalschnitt auf der Schwellenhöhe.



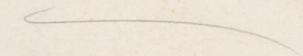
Maasstab 1:2500.



Südliche Mündung.

Nördliche Mündung.

So belassen



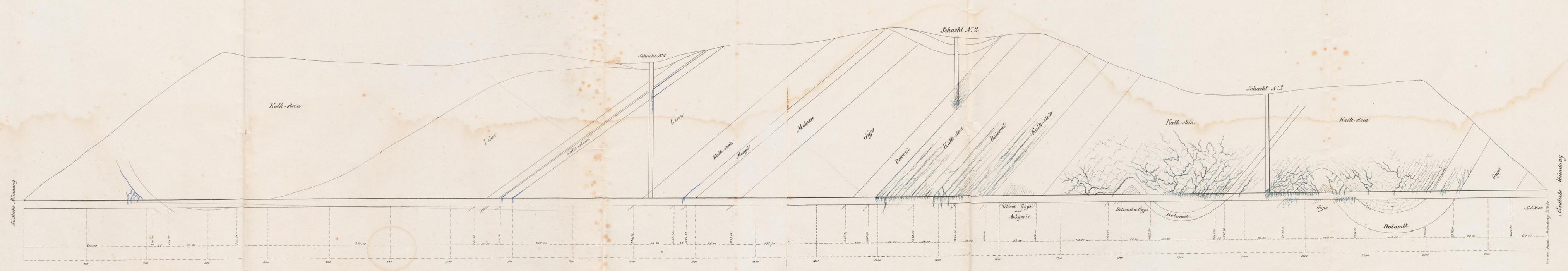
Schneidmühl Urteil

N^o 4



Profil des Kauensteintunnels

nach Watson.



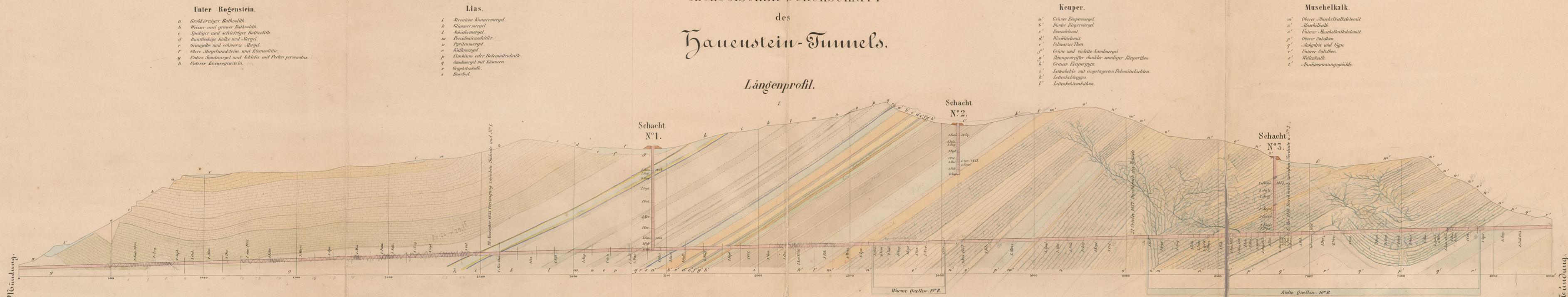
Südliche Abhängung

Südliche Abhängung

Pressel-Kauffmann
Geologischer Durchschnitt
des Hauensteintunnels
1:2500
1872 a

GEOLOGISCHER DURCHSCHNITT des Hauenstein-Tunnels.

Längenprofil.



Unter Rogenstein.

- a Grobkörniger Batholith.
- b Feiner und grauer Batholith.
- c Spaltiger und schieferiger Batholith.
- d kantige Kälke und Mergel.
- e Graugelbe und schwarze Mergel.
- f Oberer Mergelstein und Eisenoolith.
- g Untere Sandmergel und Schiefer mit *Pecten personatus*.
- h Unterer Eisenrogenstein.

Lias.

- i Siretium Käuermergel.
- k Glänzermergel.
- l Schiefermergel.
- m Passionschiefer.
- n Pyritmergel.
- o Kalkmergel.
- p Cimbrium oder Belemnitenkalk.
- q Sandmergel mit Käuern.
- r Graphitkalk.
- s Banchel.

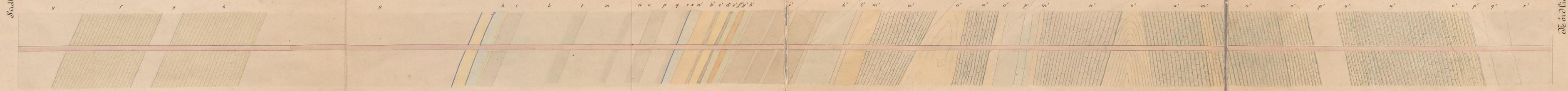
Keuper.

- a' Grauer Keupermergel.
- b' Dunster Keupermergel.
- c' Rosendolomit.
- d' Würfelolomit.
- e' Schwarzer Thon.
- f' Grüne und violette Sandmergel.
- g' Dünngestreifter dunkler sandiger Keuperthon.
- h' Grauer Keupergyps.
- i' Lettenkohle mit eingetragenen Dolomitinschichten.
- k' Lettenkohlegyps.
- l' Lettenkohlethron.

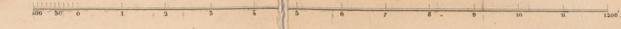
Muschelkalk.

- m' Oberer Muschelkalkdolomit.
- n' Muschelkalk.
- o' Unterer Muschelkalkdolomit.
- p' Oberer Salzkthon.
- q' Anhydrit und Gips.
- r' Unterer Salzkthon.
- s' Wellenkalk.
- t' Ansehensumengebilde.

Horizontalschnitt auf der Schwellenhöhe.



Maßstab 1:2500.



Südliche Mündung.

Nordliche Mündung.

Alter Hauersteinbunzel

altes Profil

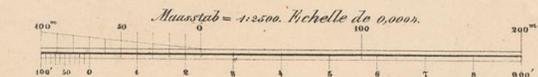
wohl Schiedsgerichtsurteil

Nr 2

Arbeiten d. geol. Expeditions-Kommission
nach J. Tunellen 1858

GEOLOGISCHER DURCHSCHNITT DES HAUENSTEINTUNNELS.

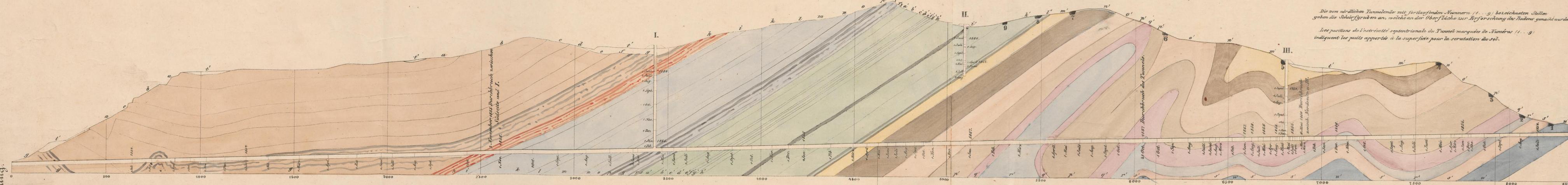
COUPE GÉOLOGIQUE DU SOUTERRAIN DU HAUENSTEIN.



- Unter Rogenstein. Oolithe inferieure.**
- a Grobkörniger Batholith.
 - b Weißer und grauer Batholith.
 - c Spätiger und schiefriger Batholith.
 - d Bruchstückige Kalke und Mergel.
 - e Braugelbe und schwarze Mergel.
 - f Obere Marlsandsteine und Bleenoolithe.
 - g Untere Sandmergel und Schiefer mit Pectenporond.
 - h Unterer Eisenstein.
- Lias.**
- a Oolith-bathonne à gros grain.
 - b d' d' grise et blanchâtre.
 - c d' d' grise et schisteuse.
 - d Calcaires bigarrés avec marnes.
 - e Marnes gris-jaunâtres et noires.
 - f Marlsandstone supérieur avec oolithes ferrugineuses.
 - g Marnes du Marlsandstone inférieur.
 - h Oolithe ferrugineuse inférieure.
- i Strontion Kreuermergel.
 - k Glimmermergel.
 - l Schiefermergel.
 - m Porridomenschiefer.
 - n Pyritmergel.
 - o Kalkmergel.
 - p Gimbium oder Bolemnitenkalk.
 - q Sandmergel mit Kreuerm.
 - r Grypsitenkalk.
 - s Bonebed.

- i Marnes à sphaérites stratifiées.
- k Marnes micacées.
- l Marnes schistées.
- m Schistes porridomies.
- n Marnes à pyrites.
- o Marnes calcaires.
- p Calcaires à gryphea cimbium et bolemnites.
- q Marnes sablonneuses à sphaérites.
- r Calcaire à gryphea arques.
- s Argil du bonebed.

- Keuper.**
- a' Grüner Keupermergel.
 - b' Brauner Keupermergel.
 - c' Rosadolomit.
 - d' Würtsöldolomit.
 - e' Schwarzer Thon.
 - f' Grüne und violette Sandmergel.
 - g' Düngestricher dunkler sandiger Keuperthon.
 - h' Brauner Keupergyps.
 - i' Tollenkühle mit eingetragten Dolomitstrichen.
 - k' Tollenkühlegyp.
 - l' Tollenkühleakalithon.
- Muschelkalk. Calcaire conchylien.**
- a' Marnes keuperiennes verte de pomme.
 - b' d' d' roses.
 - c' Dolomites roses.
 - d' Dolomites castigues.
 - e' Argil noir avec gypses keuperiennes.
 - f' Marnes sablonneuses roses et violettes.
 - g' Argile keuperienne sombre et sablonneuse.
 - h' Gypse keuperien impar.
 - i' Lignite avec des schistes de dolomie.
 - k' Gypse du lignite.
 - l' Argiles salifères du lignite.
- m' Oberer Dolomit.
 - n' Oberer Plattenkalk. Auscöthalk von Friedrichshall.
 - o' Mittlerer Dolomit.
 - p' Unterer Plattenkalk.
 - q' Oberer Dolomit.
 - r' Oberer Salzthon.
 - s' Anhydrit und Gyps.
 - t' Anschwemmungsgebilde.
 - u' Unterer Salzthon.
- m' Dolomites conchyliennes supérieures.
 - n' Dalles supérieures. Calcaire de Erckershall.
 - o' Dolomites conchyliennes moyennes.
 - p' Dalles inférieures.
 - q' Dolomites conchyliennes inférieures.
 - r' Argiles salifères supérieures.
 - s' Anhydrite et Gypse.
 - t' Terrain détritique et d'alluvion.
 - u' Argiles salifères inférieures.



Südliche Steigung.

Nördliche Steigung.

W. Tunellen

