

# Die Bedeutung des Bausystems bei der Ausführung von Eisenbahntunneln

Autor(en): **Andreae, C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **75/76 (1920)**

Heft 3

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-36407>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

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

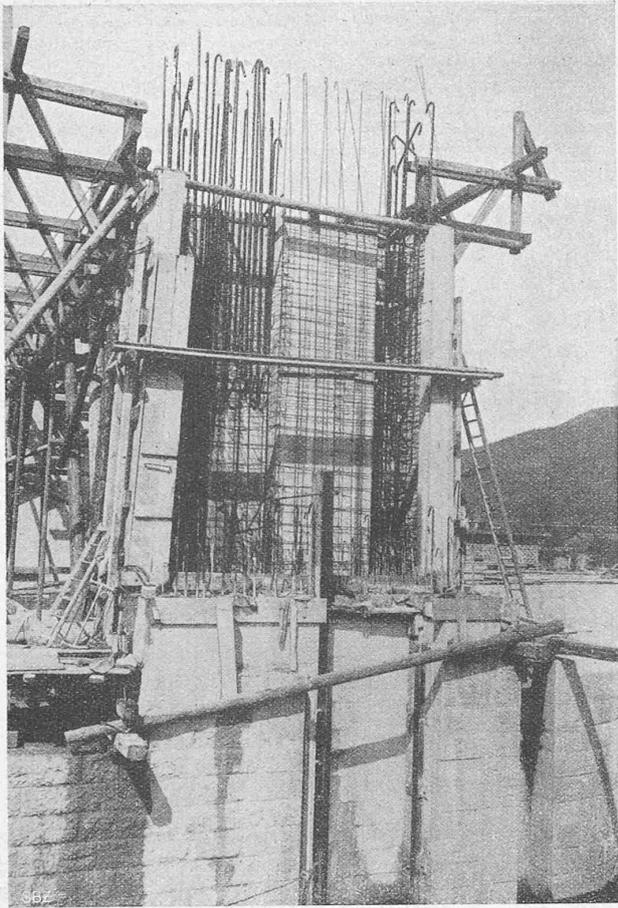


Abb. 24. Armierung der Pendelstütze auf Pfeiler II (9. VI. 1915).

fundiert sind, von diesem durch Vertikalfugen getrennt. Im Treppenvorbau rechts befindet sich die Transformatorstation für den Kraftbedarf am Stauwehr und in jenem links ein Magazin und Aufenthaltsraum für das Wehrpersonal.

Der ganze Wehrsteg ist in roher, sauberer Schalung betoniert worden, ohne dass die Sichtflächen besonders bearbeitet worden wären. (Forts. folgt.)

### Die Bedeutung des Bausystems bei der Ausführung von Eisenbahntunneln.

Von Ingenieur C. Andrae, Zürich.

Die Länge unserer schweizerischen Eisenbahntunnel beträgt 282 km, ihre Baukosten rund 440 Millionen. Unser gesamtes Eisenbahnnetz hatte Ende 1916 eine Baulänge von 5188 km, seine Anlagekosten betragen 2301 Millionen, wovon 1708 Millionen auf Bahnanlage und feste Einrichtungen entfallen. Es liegen somit 5,4 % der Bahnlänge in Tunneln und 19,1 % der Anlagekosten, bzw. 25,8 % der Ausgaben für Bahnanlage und feste Einrichtungen betreffen die Tunnelbauten.

Trotz des grossen Anteils der Tunnel am gesamten schweizerischen Eisenbahnhaushalte war bis jetzt der Tunnelbau vielfach das Stiefkind unserer Ingenieure und Eisenbahnbehörden. Die Folgen sind nicht ausgeblieben. Eine Reihe unserer Tunnel, selbst neue, leiden an Schäden, deren Behebung Millionen kostet, und die zum grossen Teil vermieden oder doch sicher erheblich vermindert worden wären, wenn beim Bau sachgemässer, den *zurzeit bereits bekannten* Anforderungen der Wissenschaft und praktischen Erfahrung entsprechend gebaut worden wäre. Ingenieur F. Rothpletz hat in einem Vortrage vor dem Bernischen Ingenieur- und Architektenverein im Dezember

1917 bereits hierauf hingewiesen.<sup>1)</sup> Er nannte dabei eine Anzahl Fehler und Mängel, an denen unsere Tunnel leiden. Manche rühren von unrichtiger Wahl des Profils, besonders der Profilform her, andere von mangelhafter oder unzweckmässiger Ausführung des Mauerwerkes, vom Belassen von Hohlräumen oder Trockenpackungen hinter dem Mauerwerk usw. Rothpletz gibt Heilmittel an, sowohl vorbeugende zur Vermeidung von Wiederholungen bei Neubauten, wie auch solche zur Beseitigung dieser Schäden in fertigen Tunneln. Er erwähnt aber auch Leiden, deren Ursache in der *Bauweise* zu suchen ist, in der Art und Weise, wie der *Ausbruch* erfolgte. Er weist darauf hin, dass bei vielen Tunnelbauten zu wenig hierauf geachtet wurde und dass sich im allgemeinen die „Bauleitung“ darauf beschränkte, die Qualität des Mauerwerkes zu kontrollieren, dem Ausbruch-Vorgang aber zu wenig Beachtung schenke, während doch gerade die *Abbauweise* einen grossen Einfluss auf die Haltbarkeit des Tunneln habe. Er befindet sich damit im Einklang mit Ingenieur C. J. Wagner, der sich bereits 1905 in der „Schweiz. Bauzeitung“ in diesem

<sup>1)</sup> F. Rothpletz: «Woran leiden unsere Eisenbahntunnel, wie kann abgeholfen, wie vorgebeugt werden?» — Bd. LXXI, S. 69 ff. (vom Febr. 1918).

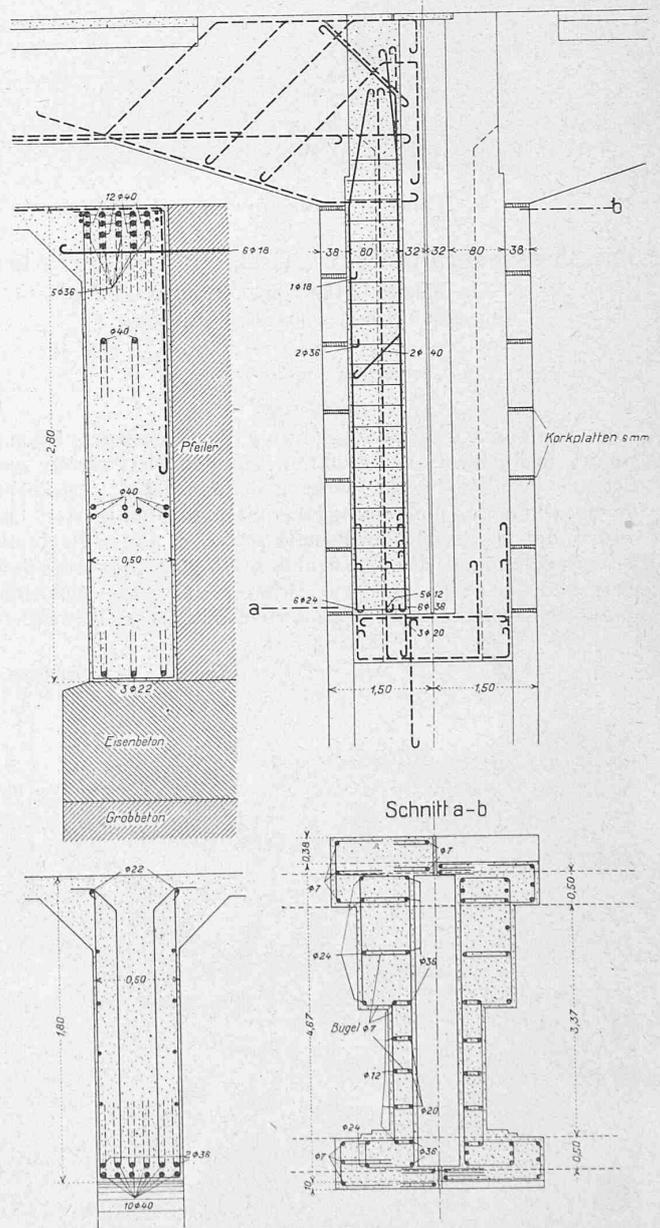


Abb. 22. Links: Dienststeg-Tragbalken-Querschnitte (Auflager bzw. Mitte) 1:40. Rechts: Vertikal- und Horizontalschnitte der Pendelstützen, 1:100.

Sinne äusserte.<sup>2)</sup> In den bisherigen Tunnelausführungen sind, wie er feststellt, vielfach Baumethoden angewendet worden, die nicht zweckmässig waren, und er betrachtet es als *wichtigste Anforderung, dass die Bauweise in kürzester Frist nach Aufschluss des Gebirges zum fertig gemauerten Tunnel führe*, und zwar ist dies besonders wichtig „bei Druckgebirge und Gebirgen, die chemischen Umwandlungen ausgesetzt sind“.

Dieser Satz dürfte heute allgemein anerkannt sein. Er steht in den Vorschriften ausgeführter und auszuführender Tunnel, und doch wird ihm oft nicht nachgelebt. Es soll daher hier darauf etwas näher eingetreten und untersucht werden, wie gegen diesen Grundsatz verstossen wird und welches alsdann die natürlichen Folgen sind.

## I.

Schaffen wir einen Hohlraum in einem Gebirge, dessen Zusammenhang locker ist, sei es als Folge-Erscheinung des Gebirgsdruckes oder der Gebirgsbildung (verdrücktes, verschobenes, zerklüftetes Gestein oder Bergsturz, Bergschutt, Moräne usw.), so haben die Gebirgsteile zunächst am Umfange des Hohlraumes unter dem Einfluss der Schwerkraft das Bestreben, sich in diesen hineinzubewegen. Dies tritt sowohl an der First, wie an Ulmen und Sohle auf, wenn letztgenannte dem durch die Ulmen auf sie übertragenen Drucke ausweicht. Der Stollen oder Tunnel wird so nach einiger Zeit „druckhaft“. Der ursprüngliche Hohlraum wird dabei enger, hinter den bewegten Teilen sind aber neue, kleinere Hohlräume entstanden, der Umfang der gesamten Höhlung ist weiter geworden, grössere Gebirgsteile kommen in Mitleidenschaft und folgen der Bewegung, der Druck wächst immer mehr, wenn der Stollen oder Tunnel lange genug unverkleidet sich selbst überlassen wird. Selbst eine gute Zimmerung kann natürlich auf die Länge nicht genügen, die Druckerhöhung aufzuhalten. Wird aber der Tunnel sofort, bevor sich die zunächst liegenden Gebirgsteile ablösen, solid ausgemauert, dann wird in den meisten Fällen Stillstand eintreten. Die Beanspruchung des Mauerwerkes bleibt eine verhältnismässig geringe und es können, ohne Gefahr für die spätere Standfestigkeit, verhältnis-

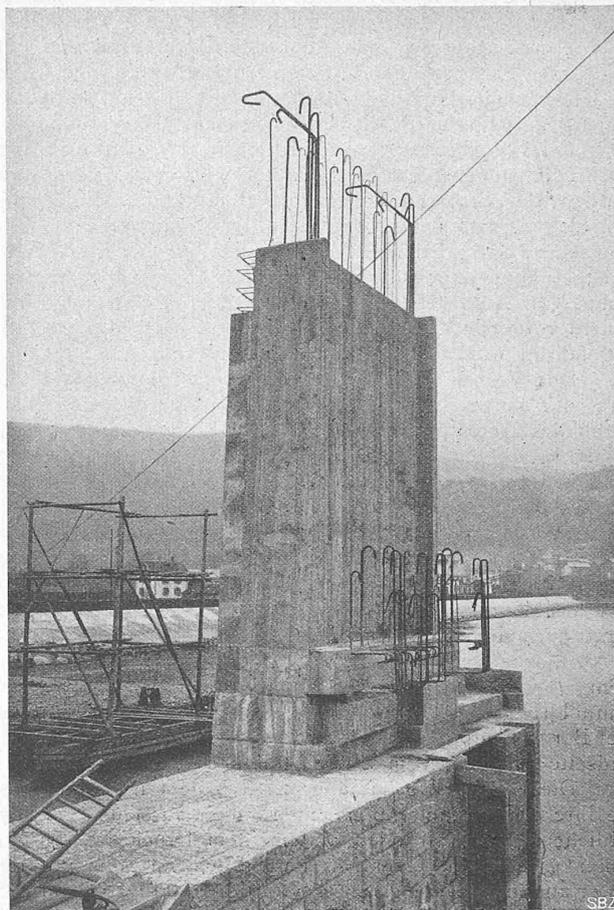


Abb. 23. Pendelstützen auf Pfeiler IV. Links: bis auf Kote 399,20 aufgeführt. Rechts: aus dem festen Pfeilerkopf vortragende Verankerungseisen für die Stütze gegen Oeffnung 4. (23. X. 1915.)

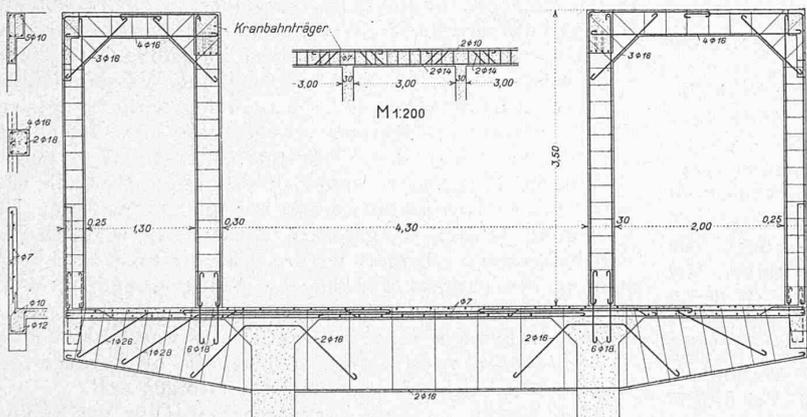


Abb. 25. Eisenbeton-Konstruktion des Dienststeges. — Querschnitt 1 : 80.

mässig leichte Mauerungsprofile angewendet werden, wo sonst stärkere und stärkste kaum mehr genügen und unter dem hohen, mitunter noch zunehmenden Drucke leiden. Dass hierbei ein sattes Anmauern der Verkleidung an das Gebirge Bedingung ist, ist schon längst theoretisch und auf Grund praktischer Erfahrung nachgewiesen und ist durch das Verhalten neuerer Tunnelbauten wieder bestätigt worden.

Nicht nur wo das Gebirge gelockert ist, auch wo Druck durch chemische Veränderungen entstehen kann, muss getrachtet werden, den Einfluss von Luft und Feuchtigkeit auf das blossgelegte Gebirge abzukürzen und dieses baldigt mit Mauerwerk zu schützen.

<sup>2)</sup> Ingenieur C. J. Wagner, Direktor der österr. Staatsbahn, Wien: «Tunnelbau und Gebirgsdruck» in Bd. XLVI, S. 2 ff. (vom Juli 1905)

## II.

Die Wahl des Bausystems muss jedesmal nach den vorliegenden besondern Verhältnissen wohl erwogen werden, der Entscheid darüber hat nach dem oben entwickelten Grundsatz zu erfolgen. Ganz besonders hat ihm aber auch die *Anwendung* des Systems, seine *Durchführung* zu entsprechen. Von den vielen vorgeschlagenen und auch angewandten Systemen haben sich — Spezialfälle ausgenommen — hauptsächlich zwei auf die Dauer eine allgemein verbreitete Anwendung, wenigstens in unserem Lande und in den Nachbarstaaten, durch ihre Zweckmässigkeit sichern können: das sog. „österreichische“ und das „belgische“ System.

Das *österreichische System*, bei dem vom Sohlenstollen aus mittels Aufbrüchen zu einem Firststollen, allgemeiner jetzt aber mittels Firstschlitz, das ganze Profil ausgebrochen wird, worauf die Mauerung von der Sohle aus beginnt, weist namhafte Vorteile auf. Es ermöglicht eine geschlossene Zimmerung des ganzen Profiles, wobei der Druck in rationeller Weise auf alle stützenden Hölzer übertragen und verteilt wird. Es eignet sich infolgedessen gut bei allgemeinem, von allen Seiten wirkendem Druck, bei Seiten- und schieferm Lehnendruck, ist daher wechselnden Verhältnissen gewachsen und hat infolgedessen einen Vorsprung vor andern, weil bei seiner Anwendung ein Wechsel des Systems am wenigsten häufig Platz zu greifen hat. Dies ist sowohl wirtschaftlich wichtig wie auch tunnelbautechnisch, weil, namentlich bei nicht genau bekannten geologischen Ver-

hältnissen, ein solcher Wechsel leicht zu spät vorgenommen wird. Auch die Mauerung wird zweckmässig ausgeführt; stets etwas schwierig auszuführende Unterfangungen entfallen, das Firstgewölbe ruht von Anfang an auf den festen Widerlagern und wird dadurch instand gesetzt, auch ungünstig gerichteten Beanspruchungen zu widerstehen.

Beim *belgischen System* wird nach erfolgtem Kalotten-Ausbruch zunächst das Firstgewölbe gemauert; dann erst werden die Strossen ausgebrochen und die Widerlager eingezogen, wobei das Gewölbe unterfangen werden muss. Logischerweise wird hier der Richtstollen ein Firststollen sein; es kann aber auch Sohlenstollen angewendet werden, wobei von Aufbrüchen aus als zweiter Stollen ein Firststollen vorgetrieben oder auch die First mittels Firstschlitz angefahren wird (Mont Cenis, Mont d'Or u. a.).

Der Vorteil dieser Bauweise liegt darin, dass die First nur kurze Zeit auf der Zimmerung ruht und bald durch das Gewölbe gestützt wird. Das System entspricht daher in vorzüglicher Weise unsern erwähnten Anforderungen bei Tunneln, in denen es besonders darauf ankommt, die First rasch zu sichern, also bei solchen unter geringer Ueberlagerung, bei denen Firstdruck vorherrscht und wo Tagbrüche vermieden werden müssen, z. B. unter Ortschaften.<sup>1)</sup> Vorausgesetzt, dass die Strossen standfest sind und den Kämpfern gegenüber sicheres Auflager bieten, kann auch in tiefern Tunneln mit Erfolg so verfahren werden, wenn es darauf ankommt, die Kalotte möglichst wenig lang unverkleidet zu lassen. So wurden im Simplontunnel II mehrere gebräuche Strecken der Nordseite, sowie die Bergschlagpartie und andere druckhafte Stellen der Südseite belgisch, vom Sohlenstollen aus, ausgebaut.

Diese Bauweise hat aber auch bedeutende Nachteile, die ihre Anwendung in manchen Fällen ausschliessen. Bei seitlichem (Lehnen-) oder allgemeinem Druck ist ein Zusammengehen der Kämpfer, namentlich im Momente der Unterfangung, kaum ganz zu vermeiden. In solchem Gebirge fehlt auch meist die sichere Unterlage für die Kämpfer, sodass bei starkem Drucke Senkungen und Deformationen des Gewölbes leicht eintreten. Als Beispiel sei der Seviestein-Tunnel II der Südrampe der Lötschbergbahn erwähnt.<sup>2)</sup> Die Unterfangung muss in eigentlichen Druckstrecken mittels Abschachtungen erfolgen (Beispiel: Druckstrecken des Gotthardtunnels). In diesen Fällen entspricht das System nicht unserer Anforderung rascher Ausmauerung.

Ein weiterer Nachteil liegt darin, dass, sobald der Druck des Gewölbes auf die frisch gemauerten Widerlager übertragen wird, eine Setzung stattfindet. Durch korrekte Ausführung kann diese allerdings auf ein Minimum reduziert werden, sodass die ganze Setzung von Gewölbe und Widerlager kleiner ist als die Kompression des Einbaues österreichischer Zimmerung bei starkem Firstdruck. Die Kämpfer dürfen nicht, wie früher allgemein üblich, auf hölzerne Bohlen oder Balken abgesetzt werden; an deren Stelle treten armierte Betonschwellen von 20 bis 30 cm Höhe. Durch *sattes Anmauern* wird auch eine Senkung des Gewölbes unter dem Eigengewicht meist verhindert, und bis der Firstdruck zur Geltung kommt, hat der Mörtel der Widerlager schon eine gewisse Festigkeit erlangt. Dieser Nachteil ist daher nicht so schlimm, wie vielfach angenommen wird. Der Unterfangungs-Anschlussfuge ist natürlich die nötige Aufmerksamkeit zu widmen.

In ganz besondern Fällen ist mit den gewöhnlichen Bauweisen nicht auszukommen. In sehr stark drückendem Gebirge kann es nötig werden, um das Gebirge nicht in Bewegung kommen zu lassen, vorerst nur kleine Hohlräume zu schaffen, sie sofort auszumauern und so Stützpunkte für das weitere Vorgehen zu schaffen. Es sind das die Widerlager oder vorerst noch die Sohle, nachher das Gewölbe. Erst zuletzt wird im Schutze der Mauerung der Kern ausgebrochen. Um dies zu erreichen, muss der Aus-

bruch der einzelnen Teile in Stollen *parallel zur Tunnelrichtung* ausgeführt werden (wie beim alten sogen. „deutschen“ Bausystem). So wird der geringste Hohlraum geschaffen, das Gebirge am wenigsten gestört und kann die Mauerung erstellt werden, bevor schädliche Lockerungen stattfinden.<sup>1)</sup> Wollte man die Widerlager durch querschlägiges Vorgehen von Sohlenstollen aus erstellen, so würde mehr Ausbruch ausgeführt, als für die Ausführung der Mauerung absolut nötig; die zu stützende Stollendecke würde bis an die Widerlager verbreitert, was in gebräuchl. bzw. rolligem Material zu Druckauslösungen führen müsste. Durch solches Vorgehen würde gerade das bewirkt, was man mit dem teuren Verfahren vermeiden will.

Solche besondere Bauvorgänge sind nur in ganz besondern Fällen zweckmässig, bei sehr starkem, rasch eintretendem Drucke, also in sehr rolligem, plastischem Gebirge unter verhältnismässig hoher Ueberlagerung. In den meisten Fällen wird man mit einer der beiden beschriebenen gewöhnlicheren Bauweisen sicherer zum Ziele kommen, da sie bei richtiger Ausführung rascher zum fertig gemauerten Tunnel führen.<sup>2)</sup>

### III.

*Die Lage des Richtstollens* ist sehr wichtig und von grossem Einflusse auf das Endergebnis. Bei langen Tunneln muss er stets um ein gewisses Mass den übrigen Arbeiten voreilen. Er stösst *zuerst* auf Schwierigkeiten, die sein Vortreiben aufhalten können. Ist kein Spielraum vorhanden, so werden dadurch auch die hintern Baustellen stillgelegt. Ein kontinuierlicher Arbeitsfortgang ist aber für wirtschaftliche Leistungen Hauptfordernis. Durchfahrt nun der Stollen drückendes Gebirge, so müssen die betreffenden Stellen sofort und in kürzester Frist voll ausgebrochen und ausgemauert werden; andererseits können auch die hintern Arbeiten durch eintretende Schwierigkeiten verzögert werden, während der Vortrieb schon wieder besseres Gebirge auffährt und ungehemmt fortschreitet. In beiden Fällen muss der Vollaussbruch an mehreren Stellen in Angriff genommen werden können, will man mit Ausbruch und Mauerung folgen und die aufgefahrene Strecke nicht etwa immer länger werden lassen, wodurch der Zeitraum zwischen erstem Anfahren und Schluss der Mauerung für bedeutende Strecken in schädlicher Weise verlängert wird. *Dies gestattet nur der Sohlenstollen.* Beim Firststollenbetrieb besteht stets eine Stelle, wo Förderung und Wasserableitung von der Kämpferhöhe auf Planumhöhe herunter verlegt werden müssen. Abgesehen davon, dass dies, namentlich mit Rücksicht auf die Förderung, die Arbeit verteuert, liegt darin ein grosser tunnelbautechnischer Nachteil, weil diese Stelle nicht kontinuierlich verlegt werden kann. Die Verlegung erfolgt in grössern Abständen, wodurch die Arbeitstrecken verlängert werden und die Frist zur Fertigstellung des Tunnels in schädlicher Weise ausgedehnt wird. Es sei hierfür auf den Bau des Gotthardtunnels verwiesen.<sup>3)</sup> *In langen Tunneln ist von vornherein nur der Sohlenstollen als Richtstollen zweckmässig*, gleichgültig ob hernach der Ausbau österreichisch oder belgisch erfolgen soll.

In kurzen Tunneln kommt ebenfalls nur der Sohlenstollen in Frage, sobald österreichisch ausgebaut werden soll; dagegen ist Firststollen hier die logische Konsequenz bei belgischem Ausbau. Hier braucht der Richtstollen nicht vorzueilen. Wo Druck zu gewärtigen ist, wird er nur soweit voraus sein, als zu ungehinderter Arbeit nötig ist. Es hat auch keinen Nachteil, ihn zeitweilig einzustellen, bis die hintern Arbeiten nachgerückt sind. Beim belgischen

<sup>1)</sup> Prof. Dr. K. Pressel, «Bauarbeiten am Simplontunnel», Bd. XLVII, S. 249 (Mai/Juni 1906) und F. Rothpletz, «Der Ausbau der Druckpartie im Simplontunnel II, Km. 4,452 bis 4,504 ab Südportal», Bd. LXV, S. 35 ff. (Januar/Februar 1915).

<sup>2)</sup> Die Spezialfälle ganz besonderer Art, wo Schilde, Druckluft, Gefrierverfahren usw. in Betracht kommen, sind Dinge für sich und sollen hier nicht berücksichtigt werden.

<sup>3)</sup> Biadego, «I grandi trafori alpini» (Turin 1906); M. Wanner, «Der Bau der Gotthardbahn» (Luzern 1882); Dolezalek, «Der Eisenbahntunnel» (Berlin 1919).

<sup>1)</sup> F. Hennings, «Der Emmersberg-Tunnel», Band XXIV, Seite 67 (8. September 1894) und Band XXV, Seite 135 (11. Mai 1895).

<sup>2)</sup> C. Andrae: «Erfahrungen im Lehnenbau an der Südrampe der Lötschbergbahn». Bd. LXVII, S. 267 (3. Juni 1916).

Ausbau führt der Firststollen früher zur fertigen Mauerung; er ist deshalb zweckmässiger.

Wichtig ist aber nicht nur die grundsätzliche Wahl zwischen Sohlen- oder Firststollen, sondern auch die genauere Höhenlage des Richtstollens.

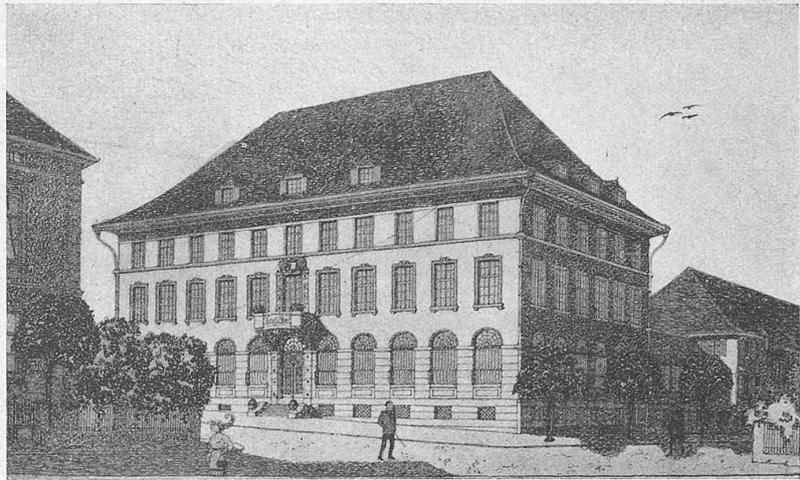
Beim Bau des Gotthardtunnels wurde der Firststollen auf der Nordseite mit Rücksicht auf die Förderung auf Höhe der Gewölbe-Kämpfer angelegt. Das dadurch bedingte Auffirsten ist unwirtschaftlich und, was uns hier mehr interessiert, unzweckmässig, weil es zeitraubend ist und in Druckstrecken nicht gestattet, von vornherein die First durch Kappen und Kronbalken zu stützen. Der Firststollen gehört ganz in die First, und zwar so hoch, dass, selbst bei gelegentlich unvermeidlichen Senkungen, Kalottenausbruch und Gewölbemauerung ohne Auffirsten ausgeführt werden können.

Der Sohlenstollen dagegen gehört mit seiner Sohle auf Planumhöhe, gleichgültig ob Sohlen-Gewölbe vorgesehen ist oder nicht. Die Scheiteltiefe des Sohlengewölbes, wo solches durchwegs angenommen ist, kommt als Stollensohle nicht in Betracht. Vor der fertigen, mit Sohlengewölbe versehenen Strecke würde sich eine Vertiefung befinden, die nicht nur für die Förderung hinderlich wäre, sondern auch für den Wasserabfluss. Auch erhielte die Tunnel-Zimmerung eine unnütze Höhe, was zu stärkern Setzungen Anlass geben würde. Bei österreichischem Abbau müsste erst der Ausbruch für das Sohlengewölbe fertig sein, bevor mit der Mauerung überhaupt begonnen würde.

Beim Bau des Rickentunnels wurde auf 2220 m der Südseite der Stollen mit seiner Sohle 90 cm über Schwellenhöhe = 1,45 m über Planum angelegt; die Widerlager wurden hernach auf dieser Höhe unterfangen. Heute schon leidet dieser Tunnel an den unvermeidlichen Folgen dieses

Wettbewerb für die Thurgauische Kantonalbank in Frauenfeld.

III. Rang. Entwurf Nr. 7. — Verfasser: Arch. Ernst Roseng, Frauenfeld.



Bauvorgehens. So niedere Unterfangungen gut zu mauern ist schwierig.

Ebensovienig ist die Anlage des Stollens auf Schwellenhöhe, d. h. etwa 50 cm über Planum, zweckmässig. Der Absatz, der am Ende der fertigen Tunnelstrecke dadurch entsteht, ist nicht nur für die Förderung oder gegebenenfalls auch für die Wasserableitung hinderlich; er wird unter dem Druck der Zimmerung ausweichen und zu Bewegungen in der First führen. Diese Disposition ist also ebenfalls gefährlich.

Der Sohlenstollen ist auf Planumhöhe zu erstellen, besser noch einige (10 bis 15) cm tiefer, um auch bei kleinern Fehlern oder Hebungen ein stets teures und nicht ungefährliches Nachnehmen der Sohle zu vermeiden. (Schluss folgt.)

III. Rang. Entwurf Nr. 7.  
Verfasser:  
Arch. Ernst Roseng,  
Frauenfeld.

Grundrisse und Schnitt.  
Masstab 1:400.

