Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 74 (1956)
Heft: 9

Artikel: Gebirgsdruck und Tunnelbau
Autor: Andreae, C.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-62582

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 04.12.2025

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

stungen der Pumpen z. T erheblich kleiner als diejenigen der daneben aufgestellten Turbinengruppen. Mit der Entwicklung des Speicherpumpenbaues ergab sich die Möglichkeit, die zweite elektrische Maschine zu sparen, indem man den vorhandenen Synchron-Generator als Synchron-Motor verwendete. Die Aufnahmeleistung der Pumpen konnte deshalb jeweils fast an die Abgabeleistung der Turbinen herangebracht werden. Es gelang auf diese Weise, die Erstellungskosten von Speicherkraftwerken erheblich zu senken, weshalb ihre Zahl stets zunahm. Mit der Verwendung der gleichen elektrischen Synchron-Maschine stellten sich jedoch verschiedene konstruktive und betriebliche Probleme ein: Da ein Synchron-Motor nicht ohne weiteres anläuft, müssen entweder auf der elektrischen Seite besondere Vorkehren getroffen werden, oder es ist die Gruppe mit andern Mitteln, z. B. mit der Hauptturbine hochzufahren und ans Netz zu legen. Gelegentlich werden auch besondere Anwurf-Turbinen verwendet, die meist als Freistrahl-Turbinen ausgebildet sind (Bild 12). Besondere Dispositionen können aber auch heute noch dazu führen, dass getrennte Pumpengruppen grosser Leistung aufgestellt werden [40].

Schluss folgt

Gebirgsdruck und Tunnelbau

DK 624.191:622.831

Von Prof. Dr. **C. Andreae**, Zollikon bei Zürich

Fortsetzung von S. 110

Vortrag im Rahmen des Fortbildungskurses der ETH und G. E. P., gehalten am 19. Oktober 1955

3. Die klassischen Bauweisen

Wenn die Verankerung in plastischen Zonen sich nicht bewähren sollte (was zu befürchten ist), so müsste, besonders bei grossen Querschnitten wie die von Eisenbahn- und Strassentunneln, wenn die betreffende Strecke so lang ist, dass sich der kostspielige und zeitraubende Wechsel der Methode lohnt, zu einer der klassischen Bauweisen mit Richtstollen und stufenweisem Vollausbruch übergegangen werden. Das wird auch der Fall sein, wenn der Stollen oder Tunnel lockeres Gebirge anfährt. So musste auch im Stollen Isère-Arc auf einer Länge von etwa 1 km in Myloniten ein Richtstollen vorgetrieben werden. Ungefähr 400 m dieser Strecke wurden hierauf belgisch abgebaut. Dabei erhielt der Richtstollen den ungewöhnlich grossen Querschnitt von 14 m², um das Rollmaterial für die Förderung, die sich auf einem Geleise von 1 m Spur abspielte, durchzulassen. Das bildet eine Schwierigkeit, an die jeweilen schon bei Aufstellen des Bauprogrammes gedacht werden muss. Wo die Verhältnisse einen kleinern Querschnitt des Richtstollens erfordern, muss allenfalls die Spur gewechselt und das Fördergut umgeladen werden, was organisatorisch und wirtschaftlich ein Nachteil ist [8, 23].

Die Zeit der klassischen Bauweisen ist also auch im Bau grosser Tunnel noch nicht vorbei. Sie kommen eventuell im plastischen Bereich des echten Gebirgsdruckes in Betracht, jedenfalls aber in längern Strecken mit Lockerungs- oder Schwelldruck. In Tunneln, die zu kurz sind, um den Einsatz der grossen, teuren Apparatur des Vollvortriebes zu rechtfertigen, ergeben sie sich sowieso.

Bei normalen Querschnitten, also bei Eisenbahn- oder Strassentunneln oder bei Wasserstollen von ähnlichem Quer-

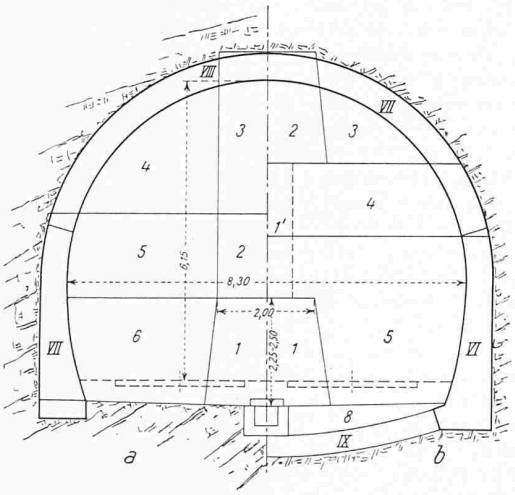

Bild 12 (links). Schema der österreichischen Bauweise

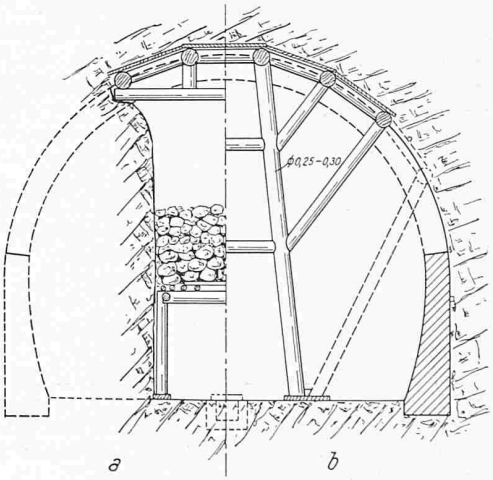

Bild 13 (rechts). Oesterr. Bauweise mit Langständereinbau

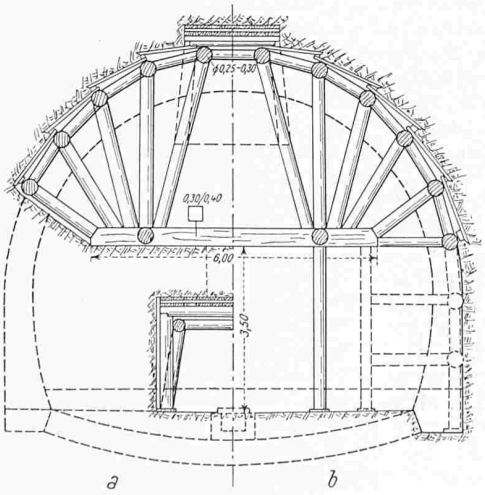

Bild 14 (links). Oesterreichische Bauweise mit Schwelleneinbau

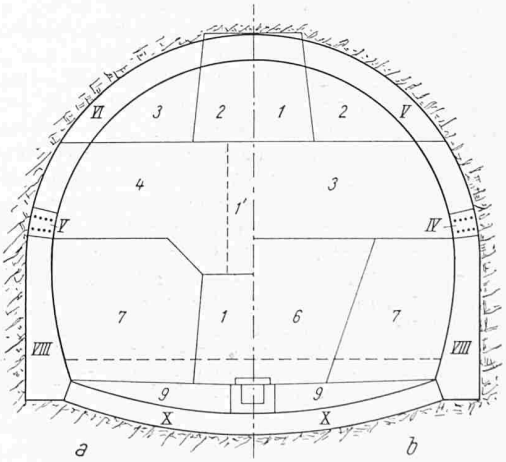

Bild 15 (rechts). Schema der Belgischen Bauweise

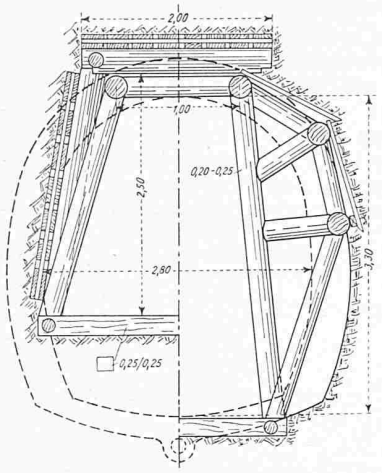

Bild 16. Schema für einen kleinen Stollenquerschnitt (Mörel)

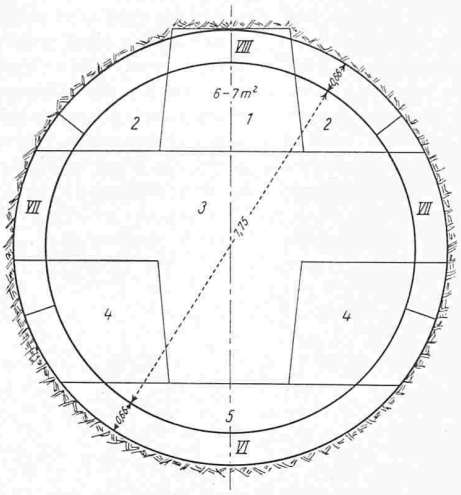

Bild 17. Schema des Stollens von Lavey in Trias

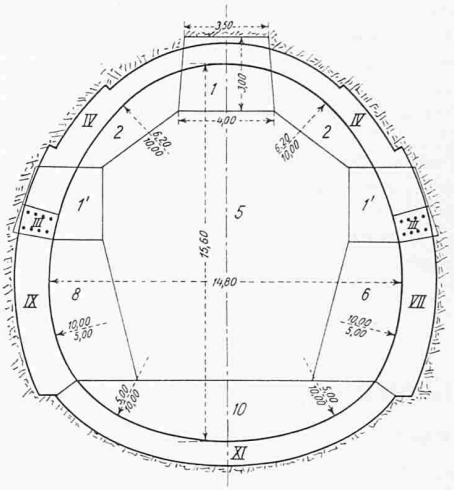

Bild 18. Schema des Bauvorganges bei grossem Querschnitt mit unsicherer First

schnitt, kommen in diesen Fällen heute, je nach den Umständen, nur die österreichische oder die belgische Bauweise in Betracht.

Die *österreichische Bauweise* (Bilder 12, 13, 14) eignet sich besonders bei allgemeinem, von verschiedenen Seiten wirkendem Druck, also bei Schwelldruck und echtem Gebirgsdruck, und bei wechselnden geologischen Verhältnissen. Sie bietet grössere Arbeitsräume, besonders für die Erstellung der Widerlager, so dass im allgemeinen die Arbeit freier und rascher vor sich geht als bei andern Bauweisen. Sie war bei der Erstellung unserer grossen Durchstiche — mit Ausnahme des Gotthardtunnels — die am meisten angewandte Bauweise.

Die *belgische Bauweise* hat ihrerseits den Vorteil, dass die First nur kurze Zeit auf Holz ruht und bald durch das gemauerte oder betonierte Gewölbe gestützt ist. Sie führt am sichersten zum Ziele in allen Fällen, in denen Firstsenkung die grösste Gefahr bedeutet, wogegen sie für Seitendruck empfindlich ist. Sie ist daher nicht zweckmässig in Strecken mit echtem Gebirgsdruck, wohl aber die gegebene Bauweise für Tunnel durch mildes, lockeres Gebirge in geringer Tiefe, wo es wichtig ist, Firstsenkungen zu vermeiden, z. B. unter Ortschaften. So wurden u. a. die beiden Tunnel der verlegten linksufrigen Seelinie der SBB in Zürich, der Ulmberg- und der Wollishofertunnel, belgisch ausgeführt. Der erstere unterfährt bei einer Höchstüberlagerung von 20 m in milder Moräne Häuser, denen nichts geschah. Die Firstsenkungen des Gewölbes waren praktisch null (Bild 15) [22]. Die belgische Bauweise kann auch in Verbindung mit der Methode «Kunz» angewendet werden [24, 25].

Dass bei allen Bauweisen die Verkleidung überall, wo nicht gerade Quellen auftreten, satt angemauert oder anbetoniert sein muss und nicht nur trocken hinterpackt werden darf, ergibt sich sowohl aus statischer Ueberlegung wie auch aus der Erfahrung.

Bei der Wahl der Bauweise muss man sich stets darüber klar sein, woher die grösste Gefahr droht, wie intensiv sie etwa sein könnte und wie ihr am zweckmässigsten begegnet werden könne. Das gilt natürlich nicht nur für Eisenbahntunnel, die nur zwei grundsätzlich verschiedene Querschnitte haben, ein- oder zweispuriges Profil. Das gilt auch für alle Wasserstollen, die Querschnitte von verschiedener Grösse und Form haben können. Dabei kann nicht schematisch die eine oder die andere Normalbauweise angewendet werden, sondern es muss das Bauvorgehen der Ausbruchgrösse und der Ausbruchform angepasst werden.

Wenn es sich um kleine Querschnitte handelt, etwa bis 20 m², in Gebirge, das eine rasche Zimmerung verlangt, so empfiehlt es sich, den Ausbruch oben zu beginnen, mit einem Firststollen, und von oben nach unten abzubauen (Beispiel: Stollen des Kraftwerkes Mörel, 11 m² in Trias, Bild 16). Ueber einem Sohlstollen bleibt unter Umständen kaum genügend Höhe, um bei Ausführung des Vollausbruches den Arbeitern zu gestatten, aufrecht stehend zu arbeiten. Die ganze Arbeit geht sicherer und wirtschaftlicher vor sich, sobald die First gesichert ist. Obschon der Richtstollen in der First lag, wurde im Mörelstollen selbstverständlich zuerst das ganze Profil ausgebrochen und nachher erst die Verkleidung betoniert.

Als im Jahre 1948 der Stollen des Kraftwerkes Lavey, dessen Ausbruchprofil 65 m² betrug, und der im übrigen mit mehr oder weniger Erfolg im Vollvortrieb aufgefahren wurde, auf eine 150 m mächtige Triaspartie stiess, musste der Vollvortrieb dort verlassen und mit einem Firststollen vorgegangen werden, von dem aus der Vollausbruch nach dem Schema von Bild 17 ausgeführt wurde. Zuerst wurde von oben nach unten das ganze Profil ausgehoben, worauf erst, mit dem Sohlgewölbe beginnend, die Betonierung von unten nach oben erfolgte. Das ist zwar ein unorthodoxes Vorgehen, das jedoch hier angezeigt war. Der Firststollen war am Platze, weil in weichem, schwellendem Gebirge das Arbeiten von oben nach unten rascher und sicherer vor sich geht, was in diesem Gebirge bei einem so grossen Querschnitt sehr wichtig war, und das Verkleiden musste von unten nach oben erfolgen, weil in dem weichen, blähenden Gebirge beim belgischen Vorgehen die Gewölbeschenkel, besonders während des Unterfangens für die Widerlager, Seitendruck hätten aufnehmen müssen, dem sie nicht gewachsen gewesen wären, und ferner auch, weil mit Rücksicht auf die Zweckbestimmung des Stollens zuerst ein Stützring aus Kalksandsteinen erstellt werden musste, der sorgfältig mit einer Isolierschicht bedeckt wurde, worauf ein Eisenbetonring zur Aufnahme des Innendruckes eingezogen wurde. Diese Arbeit konnte nur in grossem Raume mit Bewegungsfreiheit einwandfrei und ohne Verschmutzung durch allzunahe Ausbrucharbeiten in dem weichen, gipshaltigen Mergel durchgeführt werden.

Es können auch bei uns gelegentlich recht grosse Querschnitte, sei es für Kavernen oder Kraftwerkstollen, vorkommen. Für solche in mildem Gebirge und unter kleiner Ueberlagerung, wo Firstsenkungen vermieden werden müssen, entspricht ein Vorgehen nach dem in Bild 18 angedeuteten Schema den im Vorangehenden erwähnten, auf Erfahrung beruhenden Grundsätzen sachgemässer Ausführung. Auch da ist die Arbeit oben zu beginnen; denn so lange die First nicht gesichert ist, kann sich allerlei ereignen.

Betreffend Gebirgsdruckerfahrungen beim Bau eines Paralleltunnels muss hier auf die Literatur verwiesen werden [8, 27, 28]. Es sei nur erwähnt, dass in einigen kurzen Strecken der Felspfeiler zwischen beiden Tunnelröhren beim Ausbau des zweiten Simplontunnels etwas nachgab, so dass, um den in Betrieb stehenden Tunnel I zu schützen, möglichst rasch die First gestützt werden musste. Es wurde daher da belgisch vorgegangen, bzw. «halbbelgisch», da der Stollen an der dem Tunnel I zugekehrten Seite angelegt war (Bild 19). In Gebirgsdruckstrecken erwies sich der Achsabstand von 17 m als zu klein. Für zwei einspurige Röhren sollte er mindestens 25 m betragen, für zweispurige Röhren etwa 40 bis 50 m.

Auf die bekannte, 50 m lange Druckstrecke der Süd-

seite des Simplontunnels, in der echter Gebirgsdruck mit Lockerungsdruck, Schwelldruck und grosser Feuchtigkeit verbunden auftrat, kann hier nicht eingetreten werden. Ihre Bewältigung in Tunnel I wurde durch *K. Pressel* [26], in Tunnel II durch *F. Rothpletz* [27] beschrieben. Der Vergleich der beiden Vorgänge zeigt wiederum, wie auch da das freiere Vorgehen mit grösseren Räumen und fortlaufender Betriebsweise dem stückweisen mit kleinern Räumen überlegen war. In Tunnel I erforderte der Ausbau dieser Strecke, ohne Richtstollen, einundeinhalb Jahre, in Tunnel II 150 Tage.

Schliesslich noch einige Bemerkungen über die Rolle des *Wassers* und über sog. «Schwimmendes Gebirge». Angeschlagene Quellen haben für den Gebirgsdruck keine Bedeutung, solange das Wasser klar fliesst. Grösste Aufmerksamkeit verlangt aber trüb fliessendes Wasser; denn was es trübt, ist suspendiertes, irgendwo mitgerissenes Gebirgsmaterial. Lässt man es lange so fliessen, so stellt dieses Material ein Volumen dar, das im Gebirge irgendwo fehlt. Es entstehen Hohlräume, die plötzliche Niederbrüche, sogar Tagbrüche zur Folge haben können (Weissensteintunnel unter Gänsbrunnen). Da heisst es in der Regel die Strecke möglichst rasch fertig stellen und den Tunnel gut abdichten [5].

In lockerem Gebirge, in Moräne, Schliesand, Mergel usw. ist das Gebirge gelegentlich mit Wasser gesättigt, wodurch «schwimmendes» Gebirge entsteht, das stark auf den Stolleneinbau drückt oder gar als Schlamm vorzu in den Stollen nachdringt. Da bleibt oft nichts anderes übrig, als Druckluft zu Hilfe zu nehmen. In der Schweiz geschah dies bis jetzt zweimal, in den neunziger Jahren im Emmersbergertunnel der Linie Schaffhausen—Emmishofen *ohne* Schild, und in den Jahren 1923/25 im Sulgenbachstollen in Bern *mit* Schild [29, 30]. Druckluft kann aber nicht in beliebiger Tiefe verwendet werden, denn der Druck sollte 30 m WS nicht wesentlich übersteigen. Um ihn zu bestimmen muss man bedenken, dass er in manchen Fällen dem Druck einer Flüssigkeit zu widerstehen hat, deren spezifisches Gewicht, weil sie mit Gebirgsmaterial vermischt ist, grösser als 1 ist. Wo nun die Tiefe für die Anwendung von Druckluft zu gross ist, kann, wenn die so zu durchfahrende Strecke kurz ist, das Gefrier-, Zementier- oder ein chemisches Verfestigungsverfahren angewendet werden. Diese Verfahren sind jedoch sehr teuer und nicht unbeschränkt anwendbar. Wenn die so zu durchfahrende Strecke aus wirtschaftlichen oder andern Gründen zu lang ist, so bleibt schliesslich als «ultima ratio» nur die Umfahrung der schlechten Strecke durch Trasseverlegung wie seinerzeit beim Lötschbergtunnel [31].

Natürlich kommt es im Tunnel- und Stollenbau nicht auf das Bauprogramm allein an, sondern auch auf die Ausführung, also, wie immer, auf die ausführenden Menschen. Die Arbeit muss fliessend und entschlossen durchgeführt werden und womöglich durch Leute mit bergmännischem Empfinden. Wie der Arzt aus äussern Anzeichen auf den innern Zustand des Menschen und auf Erkrankungsgefahr schliessen kann, so muss auch der Tunnelingenieur drohende Gleichgewichtsstörungen, die Gebirgsdruck auslösen können, dem Gebirge ansehen, bevor sie zur Wirkung gelangen, und er muss seine Baumethoden so wählen und den Verhältnissen anpassen, dass möglichst wenig schädliche Kräfte ausgelöst werden. Schon vor mehr als 80 Jahren hat Altmeister *Rziha* den Satz geprägt, dass es die grösste Kunst im Tunnelbau sei, grossen Gebirgsdruck fernzuhalten [32]. Um das zu erreichen, darf, wie der Arzt, der Ingenieur nicht *gegen*, er muss *mit* der Natur arbeiten.

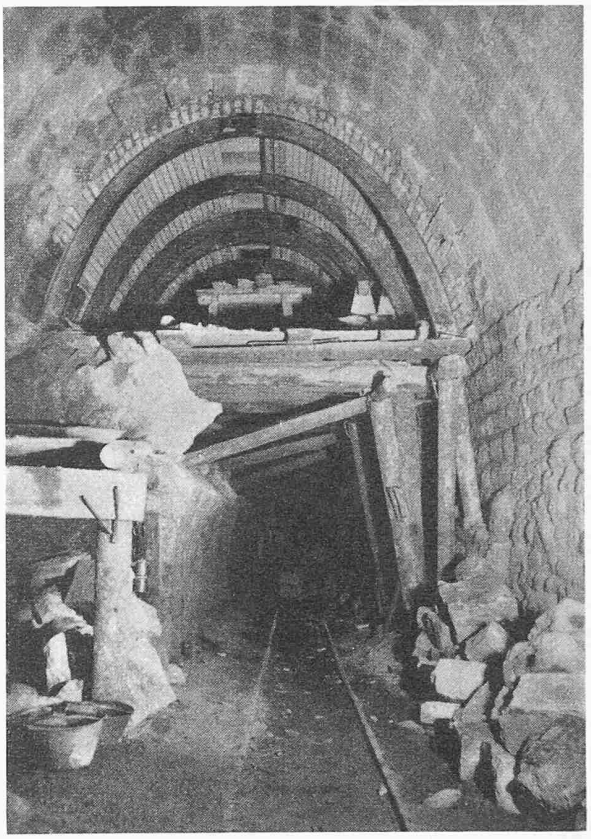

Bild 19 Simplontunnel II. Halbbelgischer Bauvorgang bei Firstdruck

Literaturverzeichnis

[1] *Wilh. Ritter:* Die Statik der Tunnelgewölbe, Julius Springer, Berlin 1879.

[2] *A. Bierbaumer:* Die Dimensionierung des Tunnelmauerwerkes, Wilh. Engelmann, Leipzig und Berlin 1913.

[3] *O. Kommerell:* Statische Berechnung von Tunnelmauerwerk, 2. Aufl., Wilh. Ernst, Berlin 1940.

[4] *R. V. Proctor* and *T. L. White:* Rock tunnelling with steel supports, with an introduction to tunnel geology, by Karl Terzaghi, Youngstown, Ohio 1946. — *Redlich-Terzaghi-Kampe:* Ingenieurgeologie, Julius Springer, Berlin 1929.

[5] *L. v. Rabzewicz:* Gebirgsdruck und Tunnelbau, Springer-Verlag, Wien 1944.

[6] *Olivier Martin* et *M. Kobilinsky:* L'exécution d'un grand souterrain pour l'aménagement hydroélectrique d'Isère - Arc, la Technique moderne, Construction, avril 1955. — *M. Kobilinsky:* Der Durchstich Isère - Arc des Kraftwerkes Randens, SBZ 1955, S. 798 ff.

[7] *K. Brandau:* Das Problem des Baues langer, tiefliegender Alpentunnel und die Erfahrungen beim Bau des Simplontunnels, SBZ Bd. 54 (1909), S. 75 ff. — Der Einfluss des Gebirgsdruckes auf einen tief im Erdinnern liegenden Tunnel, Bd. 59 (1912) S. 277.

[8] *C. Andreae:* Der Bau langer, tiefliegender Gebirgstunnel, Julius Springer, Berlin 1926. — Les grands souterrains transalpins, Leemann-Verlag, Zürich 1948. — Gebirgsdruckerfahrungen und Baumethoden im schweizerischen Tunnelbau, Internat. Fachtagung für Gebirgsdruckfragen im Bergbau und Tunnelbau, Leoben 1950, Urban-Verlag, Wien 1950. — Besondere geologische Verhältnisse im Alpen- und Juragebiet, in *K. H. Fraenkel:* Handbuch für Sprengarbeiten, Stockholm 1952.

[9] *Alb. Heim:* Mechanismus der Gebirgsbildung, Basel 1878. — Tunnelbau und Gebirgsdruck, Vierteljahrschrift der Naturf. Gesellschaft Zürich, Geolog. Nachlese Nr. 14, 1905. — Nochmals über Tunnelbau und Gebirgsdruck und über Gesteinsumformung bei der Gebirgsbildung, Geolog. Nachlese Nr. 19, 1908. — Zu Schmidts Simplongeologie, Ecl. Geol. Helv. Vol. X, 1908. — Letzte Bemerkungen zur «Simplongeologie», Ecl. Geol. Helv. Vol. X, 1908. — Zur Frage der Gebirgs- und Gesteinsfestigkeit, SBZ Bd. 59 (1912), S. 107.

[10] *C. Schmidt:* Die Geologie des Simplontunnels, Rektoratsprogramm der Universität Basel 1906/07. — Bemerkungen zur «Simplongeologie», Ecl. Geol. Helv. Vol. X, 1908.

[11] *E. Wiesmann:* Ein Beitrag zur Frage der Gebirgs- und Gesteinsfestigkeit, SBZ Bd. 53 (1909), S. 163. — Ueber Gebirgsdruck, SBZ Bd. 60 (1912), S. 87 ff. — Ueber Stabilität von Tunnelmauerwerk, SBZ Bd. 64 (1914), S. 27 ff.

[12] *C. J. Wagner:* Tunnelbau und Gebirgsdruck, SBZ Bd. 46 (1905), S. 2 ff.

[13] *E. v. Willmann:* Ueber einige Gebirsdruckerscheinungen in ihren Beziehungen zum Tunnelbau, Wilh. Engelmann, Leipzig 1911.

[14] *v. Karman:* Festigkeitsversuche unter allseitigem Druck, Berlin 1912. — *Considère:* Influence des pressions latérales sur la résistance des solides à l'écrasement, «Ann. des Ponts et Chaussées» 1904. — Résistance à la compression du béton armé, «Génie Civil» 1902/03.

[15] *R. Maillart:* De la construction de galeries sous pression intérieure, «Bull. Techn. de la Suisse Romande» 1922. — Ueber Gebirgsdruck, SBZ Bd. 68 (1923), S. 168.

[16] *J. Schmid:* Statische Grenzprobleme in kreisförmig durchörtertem Gebirge (Diss. ETH), Julius Springer, Berlin 1926.

Schluss des Literaturverzeichnisses S. 134