

Geschichte der Spritzbetonbauweise, Teil II

Meilensteine der Entwicklung bis 1960

Prof. Dr. K. Kovári

Der 2. Teil des Beitrags (Teil I siehe Tunnel 1/2002) beleuchtet den Ursprung und die Entwicklung der Technologie des Stahlausbaus und der Spritzbetonschale. Technische Erfindungen, wachsende Einsicht in die Wirkungsweise sowie wirtschaftliche Gesichtspunkte verhalfen diesen Stützmitteln in kombinierter Anwendung mit der Ankerung (siehe Teil III) bereits in der Mitte des letzten Jahrhunderts zum Durchbruch. Sie schufen damit die Grundlagen der eigentlichen Spritzbetonbauweise.

Einführung

Wie im Teil I dieses Beitrags erwähnt, war der konventionelle Tunnelbau bis in die 50er-Jahre weltweit im Wesentlichen von der Zimmerung beherrscht. Nur allmählich setzten zunächst der Stahleinbau, dann die Verwendung von Spritzbeton, später die Ankerung und schliesslich die systematische Kombination dieser Stützmittel auf breiter Front ein. Zur richtigen Einschätzung der Bedeutung dieser Entwicklung muss man sich als Erstes die zahlreichen Nachteile der Zimmerung vergegenwärtigen (Bild 1):

Prof. Dr. Kalman Kovári,
ETH-Hönggerberg, Zürich/CH

- Behinderung der Arbeiten für Ausbruch und Schutterung, da das eingebaute „Holztragwerk“ oft bis zu 60 % der Ausbruchfläche einnehmen konnte und so einer Mechanisierung der Arbeit mit größeren Geräten im Wege stand,
- Mehrausbruch, der durch die provisorische Stützung mit Holz nötig wurde (Bild 2),
- die Schwierigkeit, ein in Quer- und Längsrichtung stabiles und ausreichend steifes System aus Holz zu erstellen,
- geringe Möglichkeiten für eine Anpassung der Zimmerung an geologisch bedingte Überprofile (Niederbruch, Karst),

Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass bereits Simms (1844) die Maxime formuliert hat, „so wenig wie

History of the Sprayed Concrete Lining Method, Part II

Milestones up to the 1960s

Prof. Dr. K. Kovári

The second part of this contribution (Part I was published in Tunnel 1/2002) throws light on the origin and development of the technology of the steel lining and the sprayed concrete lining. Technical innovations, a growing insight into the mode of action, as well as economic factors helped these tunnel support methods in combination with rock anchors (see Part III) to gain acceptance as far back as the middle of the last century. They provided the basis for the sprayed concrete lining method (SCL method).

Introduction

As mentioned in Part I, conventional tunnelling worldwide was virtually dominated by timbering until the 1950s. Only gradually were steel supports, then shotcrete, followed by anchors and, finally, the systematic combination of these support measures on a broad scale, introduced. A proper understanding of this development necessitates, first of all, the enumeration of the many disadvantages of timbering (Fig. 1):

- obstruction of excavation and mucking activities, as the timber structure would often involve up to 60% of the cross-section, thus impeding the mechanization of excavation using large machines,

- over-excavation made necessary because of the timbering (Fig. 2),
- the difficulty of constructing a sufficiently stable and stiff system, both transversally and longitudinally, out of timber,
- limited possibilities for adjustments to the timbering in the case of geologically induced overbreaks (cave-in, karst),

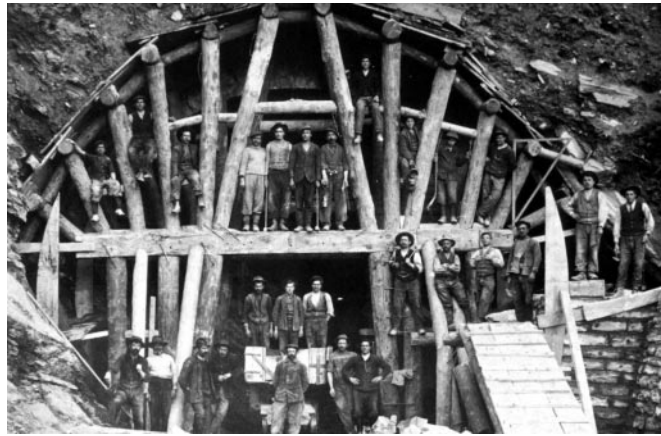
Therefore, it is not surprising that Simms, as early as 1844, strongly advocated the use of “as little as possible” timber. A true remedy would only be afforded by new support measures – steel ribs,

Prof. Dr. Kalman Kovári,
ETH-Hönggerberg, Zürich/CH

möglich“ Holz einzubauen. Eigentliche Abhilfe boten nur die neuen Stützmittel, nämlich Stahlbögen, Spritzbeton und Anker, deren Entwicklung kurz nachgezeichnet werden soll.

Stahleinbau

Die Erstanwendung von Stahlprofilen in Kombination mit oder an Stelle der Zimmerung verliert sich im Dunkeln. Im deutschen Bergbau wurden aber bereits seit 1862 alte Eisenbahnschienen an Stelle der Zimmerung angewendet, die zu einer „absoluten Abminderung des Holzverbrauchs“ führten (Anonymus 1866). Den eigentlichen Auftrieb erhielt der Stahleinbau mit dem Aufkommen der ersten Walzwerke zur Mitte des 19. Jahrhunderts. In einer Publikation aus dem Jahre 1869 (Anonymus 1869) liest man, dass „die Anwendung von Eisen als Ersatz des Holzes und der Mauerung in den letzten Jahren an zahlreichen Gruben in Preußen mit den besten Erfolgen versucht wurde, sowohl beim Streckenausbau als auch beim Ausbau größerer Räume“. In druckhaften Strecken kam „eine elliptisch geformte Eisenkonstruktion“ zur Anwendung. Die Verbindung zwischen den Einzelstücken erfolgte durch verschraubte Laschen (Bild 3). Der Zwischenraum zwischen Gebirge und Einbau wurde mittels einer Steinpackung gefüllt. Aus einem anderen Bericht (Anonymus 1869) geht hervor, dass in den Jahren 1863 bis 1867 in mehreren Schächten „Schwimmisandlagen“ durch Stahleinbau gesichert und „der Hohlraum durch eiserne Ringe offen und rund erhalten wurde“. Pfähler (1872) liefert uns detaillierte Anga-



1 Zimmerung auf der Südrampe des Lötschbergtunnels (1908–1913)
1 Timbering at the South ramp of the Lötschberg Tunnel (1908–1913)

ben über wirtschaftliche Vorteile des Stahleinbaus gegenüber der Zimmerung in einem druckhaften Gebirge. „Die Strecke musste in der Sohle und in der Firste gestützt werden, da fortwährend Verschiebungen und Senkungen eintraten, wodurch die Zimmerung aus ihrer ursprünglichen Stellung gerückt, verschoben und wohl auch zerbrochen wurde, sodass immerfort Reparaturen vorgenommen werden mussten.“ Der Autor schließt seine Arbeit mit der Bemerkung: „In den meisten Fällen ist eiserne Zimmerung unter diesen Umständen billiger als Gewölbemauerung und in vielen Fällen billiger als Holzzimmerung.“ Unsere Literaturstudien belegen, dass bis Ende des 19. Jahrhunderts die wichtigsten konstruktiven Probleme des Stahlbaus gelöst wurden und diese Einbauart weltweit – zumindest in druckhaftem Gebirge – die Zimmerung verdrängen konnte (Fayol 1885, Mathet 1888, Köhler 1900).

Ein besonders eindrückliches Beispiel für die frühe Anwendung von Stahlprofilen im Tunnelbau ist die berühmte „Druckstrecke“ des Simplontunnels, welche „die

shotcrete and bolts. Their development is briefly presented in the following.

Steel Supports

It is not exactly clear just when steel profiles were applied in combination with or in place of timbering. In Germany, old steel rails have been used instead of timber supports in mining since 1862, leading to an „absolute reduction of the use of timber“ (anon. 1866). The real impetus for steel support came with the arrival of the first rolling mills in the middle of the 19th century. From a publication dating from 1869 (anon. 1869), it can be seen that „the application of iron for the replacement of timber and arching has been used with great success over the last few years in many excavations in Prussia, for tunnel support as well as for the support of larger openings“. In stretches of squeezing rock an „elliptically-shaped steel construction“ was employed. Fixing together individual pieces was achieved using a screwed connecting loop and the intermediate space between the rock mass and the structure was packed with stones (Fig. 3). From another report (anon.

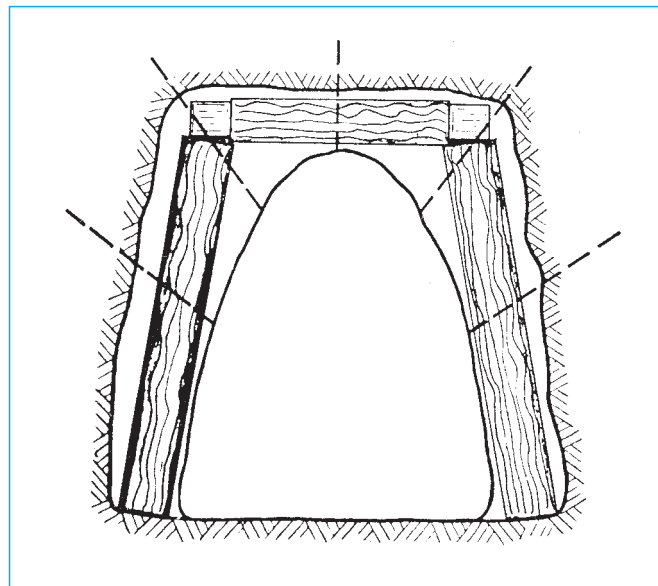
1869), we learn that in the years 1863–67, „quicksand“ could be overcome in several shafts using steel supports: „The opening was kept clear and circular through the use of iron rings“. Pfähler (1872) provides a detailed statement concerning the advantages of steel structures over timbering in a test stretch in squeezing rock: „The stretch had to be supported at the floor and the roof due to continuous displacements and settlements. These caused the timbering to shift, slip and even break to the extent that incessant repairs had to be carried out. The author concludes his work with the remark: „In most cases, under these conditions, iron supports are cheaper for arching and in many cases cheaper even than timbering“. Our investigation of literature reveals that by the end of the 19th century, the basic construction problems using steel supports had been solved and that this support system began to replace timbering worldwide – at least in squeezing rock (Fayol 1885, Mathet 1888, Köhler 1900).

A particularly impressive example for the early application of steel supports in tunnelling is the famous „pressure zone“ of the Simplon tunnel „which presented the miners with one of the ugliest problems encountered in the history of tunnelling“ (Sandström 1963). Rectangular steel frames with an opening of 2.5 x 2.8 m were used in the main heading (Fig. 4a). The frames were placed one by one, side by side and tied together with longitudinal steel beams. To prevent buckling and twisting of the I-beams, heavy oak timbers were placed between them. In some sections, even these measures were not sufficient, leading to the destruc-

Mineure mit den schlimmsten Problemen konfrontiert hat, denen man in der Geschichte des Tunnelbaus je begegnet war“ (Sandström 1963). Im vorausseilenden Richtstollen wurden dort rechteckförmige Stahlrahmen mit Abmessungen von 2,5 m x 2,8 m verwendet (Bild 4a). Diese Rahmen waren lückenlos Seite an Seite gestellt und miteinander verschraubt. Um Knicken und Ausbeulen der I-Träger zu verhindern, wurden schwere Eichenholzbalken zwischen sie gesetzt. In gewissen Streckenabschnitten waren nicht einmal diese Maßnahmen ausreichend, sodass der Einbau verdrückt wurde (Bild 4b). Schließlich erhielt die „Druckstrecke“ ein 2,5 m dickes gemauertes Sohlgewölbe und ein 1,7 m dickes, ebenfalls gemauertes Gewölbe als endgültigen Ausbau. Der mit der Bauleitung beauftragte Ingenieur Pressel berichtet 1906: „Die in regelmäßigen Perioden bis Ende 1905 vorgenommenen genauen Messungen ließen nicht die geringsten Formänderungen erkennen.“

Der Stahlausbau erfuhr 1932 in konzeptioneller und konstruktiver Hinsicht einen bedeutenden Entwicklungsschub durch die Entwicklung der Toussaint-Heintzmann-Profile und der entsprechenden Gleitanschlüsse (Würker 1934).

Die Profilform mit den „Reibungsglaschen“ (Bild 5) gewährleistet in druckhaftem Gebirge einen konstanten Ausbauwiderstand, selbst bei größerer Konvergenz. Letztere führt gegenüber einem starren Ausbau zur Reduktion des Gebirgsdruckes. Erst dadurch wurde die Industrialisierung des Vortriebes in druckhaftem Gebirge möglich.



2 Lichtraumprofile einer Förderstrecke (Pollish und Breckenridge 1954) bei Ankerung (3 x 2 m) und bei Zimmerung (3,5 m x 3 m)

2 Cross-sections of a haulage road (Pollish and Breckenridge 1954) using rock bolts (3 x 2 m) and timbering (3.5 x 3 m)

Der hohe technologische und wissenschaftliche Stand, den der Tunnelbau mit Stahlausbau bereits in den 40er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts erreicht hat, geht aus dem bekannten Lehrbuch von Proctor und White (1946) hervor, das einen wichtigen Beitrag von Terzaghi enthält.

Spritzbeton

Die Entwicklung der Technologie des Spritzbetons begann mit der Erfindung eines „cement-gun“ genannten Gerätes durch den amerikanischen Tierpräparator C. E. Akeley. Er erhielt 1911 ein Patent (Nr. 991 814) für einen „apparatus for mixing and applying plastic or adhesive materials“. Das Gerät erhielt den Namen „Zementkanone“. Unter den zahlreichen Ingenieuren, die durch ihre Erfindungen die Weiterentwicklung dieser Technologie wesentlich gefördert haben, seien hier insbesondere der Deutsch-

best demonstrated by Proctor and White's famous book (1946) with a major contribution by Terzaghi.

Sprayed Concrete Lining

The development of shotcrete technology started with the invention of the „cement-gun“ by the American taxidermist C.E. Akeley. He obtained a patent (No. 991 814) in 1911 for an „apparatus for mixing and applying plastic or adhesive materials“, which was called a „cement-gun“. Among the numerous engineers who advanced this technological development through further inventions, the German-American, C. Weber, the Swiss, G. Senn and the Dutchman, M.J. Stamm should be mentioned (Teichert 1979). This sprayed mortar was called „gunite“ and later „torcrete“ and since 1921 also „shotcrete“ (Schlüter 1921), thus the operations are referred to as „guniting“, „torcreting“ and „shotcreting“ (Fig. 6).

In 1914, the United States Bureau of Mines began to replace timbering with shotcrete in the Bruceton experimental mine (Rice 1918). „The cement-gun method was tried and found to be such an advantage that now mine guns have been purchased by the Anaconda Company. (...) The finished work shows that the mixture of sand and cement has been shot into every crack and fold of the rock until it can hardly be distinguished from the rock itself.“ And „it may be found necessary to use a reinforcing wire mesh in the gunite...“. Furthermore, it is stressed „how much safer is a smooth, concrete lining as compared with timbering. By a thin coating of cement it is possible that the heavy ex-

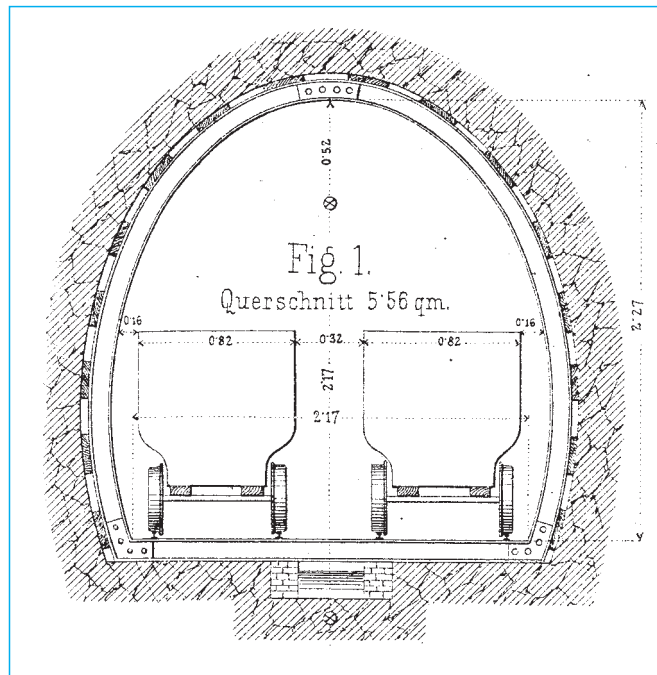
Geschichte der Spritzbetonbauweise, Teil II

History of the Sprayed Concrete Lining Method, P. II

Amerikaner C. Weber, der Schweizer G. Senn und der Niederländer M. J. Stamm erwähnt (Teichert 1979). Der von Akeley eingeführte „Spritzmörtel“ wurde kurz als „Gunit“, später als „Torkret“ und seit 1921 auch als „Spritzbeton“ (Schlüter 1921) bezeichnet. Die Anwendung nannte man sinngemäß „Gunitierung“, „Torkretierung“ oder eben „Beton-spritzen“ (Bild 6).

Bereits im Jahre 1914 begann das United States Bureau of Mines, im Versuchsbergwerk Bruceton die Zimmerung durch eine Spritzbetonschale zu ersetzen (Rice 1918). „Das Zementkanonen-Verfahren wurde erprobt und als so nützlich befunden, dass es jetzt von der Firma Anaconda Bergbau-Pistolen gekauft wurde. (...) Wie die ausgeführten Arbeiten zeigen, kann die Mischung von Sand und Zement in jeden Riss und jede Faltung des Felsens eingespritzt werden, sodass man sie kaum vom Fels selbst unterscheiden kann. (...) Es kann nützlich sein, eine Netzbewehrung im Gunit zu verwenden.“ Im Weiteren wird noch betont, „wie viel sicherer eine glatte Betonverkleidung im Vergleich zur Zimmerung ist. Mithilfe einer dünnen Zementversiegelung ist es in vielen Fällen möglich, die hohen Kosten der Zimmerung zu vermeiden“.

Gemäß einem Bericht (Knox und Potter 1920) wurde im Columnet & Heckla Conglomerate Bergwerk in einer Tiefe von 1500 m eine Förderstrecke auf einer Länge von 2,7 km gunitiert: „Nicht ein einziges Stück Holz wird in irgendeinem Teil der fertig gestellten Strecke zum Zwecke der Stützung des lockeren Gebirges verwendet. Die größten Skeptiker unter



3 Streckenausbau mit Stahlbogen und Brettverzug (Schneider 1880)

3 Steel ribs and wooden planks in a drift (Schneider 1880)

uns haben Gunit bei diesen Verhältnissen mit Begeisterung verwendet.“ Er ist verhältnismässig billig, feuerfest, einfach reparierbar und in gewissen Fällen erstaunlich wirksam.“

Die Ausdrücke „Torkretbauweise“ und „Spritzbetonmethode“ wurden bereits in den 20er-Jahren verwendet. Man hat die Möglichkeiten des Spritzbetons weltweit sehr schnell erkannt und auch rege genutzt, wobei eine erste Anwendung im Tunnel- und Schachtbau sogar bereits vor 1920 stattfand. Es waren H. Schlüter (1920) und K.E. Hilgard (1921), die als Erste in Europa über diese neue Technologie ausführlich berichtet haben. Von Hilgard erfährt man unter anderem, dass zu dieser Zeit zwei Druckstollen in der Schweiz mit bewehrtem Spritzbeton verkleidet waren. Auch Rekonstruktionsarbeiten in älteren Eisenbahntunneln wurden mithilfe

of timbering in many cases may be avoided.“

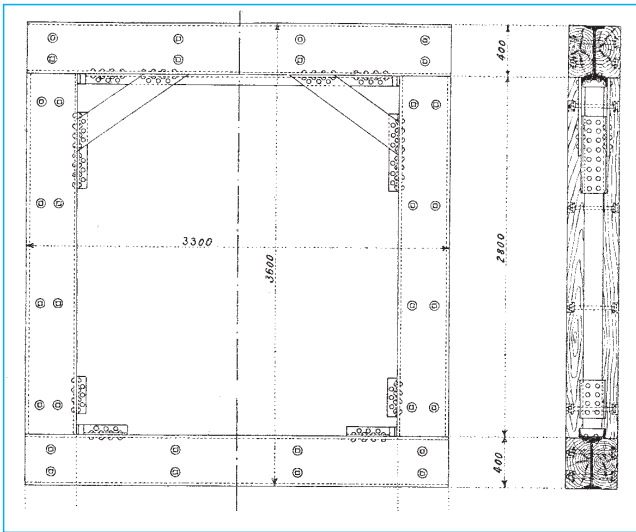
From a report (Knox and Potter 1920) we learnt that in the Calumnet & Hecla Conglomerate mine a transportation route at a depth of over 1,500 m gunitied along a stretch of 2.7 km, that “there’s not a single stick of timber being used in any part of the completed portion for the purpose of supporting loose ground. The most sceptical of us have become enthusiasts in the use of gunite under these conditions... It’s relatively inexpensive, fireproof, easily repaired, and astonishingly effective in certain instances.“

The terms “torcrete method” and “shotcrete method” appeared for the first time in the 1920s. The possibilities for the application of shotcrete were recognised and utilised very rapidly by the technical world. The first application in tunnel and shaft construction was in fact carried out before 1920.

H. Schlüter (1920) and K.E. Hilgard (1921) were the first in Europe to report on this new technology. From Hilgard, it is learned that in this period two waterway tunnels were lined with reinforced shotcrete in Switzerland. Furthermore, repair work in older railway tunnels was carried out with shotcrete. In 1922, a 6 km long waterway tunnel for the Heimbach power station was lined with shotcrete for the first time in Germany in 1922 (Fraenkel 1922). According to Schlüter (1921): “It is a distinct advantage to be able to carry out excavation and torcreting simultaneously. How fast the sprayed concrete stuck to the rock after torcreting was to be seen, once blasting operations were resumed shortly after the torcreting procedure. However, only when the torcreted layer was 4 days old did rupture occur entirely in the rock during blasting. The concrete layer did not disengage itself from the rock face.” The article closes with the sentence “It is to be hoped that this new construction method will enable the construction of hydro-electric power plants to be carried out more rapidly and more economically.” This is the first time that the term “construction method” relating to sprayed concrete lining was used.

Various hypotheses explaining how shotcrete works in tunnel construction appeared relatively early on (Tübben 1923): “The described success of the procedure seems bewildering at first glance, however, the explanation is extraordinarily simple in my opinion. While reinforced concrete is composed of a firm, stiff mass within, shotcrete forms only a very thin skin, which to some extent is elastic like rubber. That an

Geschichte der Spritzbetonbauweise, Teil II History of the Sprayed Concrete Lining Method, P. II



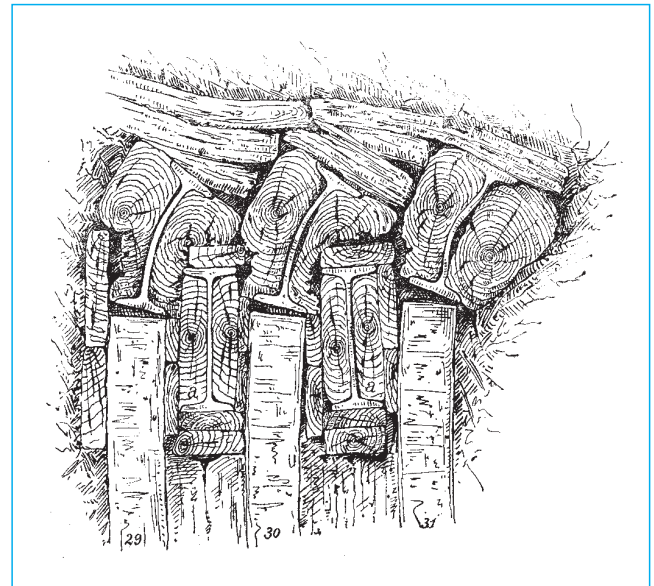
4a Simplon-Tunnel: Stahlrahmen mit Holzbalken in der „Druckstrecke“

4a Simplon Tunnel: Steel frames with wooden beams in the “pressure zone”

fe des Spritzbetons ausgeführt. In Deutschland hat man Spritzbeton das erste Mal im Jahre 1922 im 6 km langen Wasserstollen des Heimbach-Kraftwerkes verwendet (Fraenkel 1922). Schlüter (1921) berichtet: „Ein besonderer Vorteil der Arbeiten besteht in der Möglichkeit, Vortrieb und Torkretieren gleichzeitig auszuführen. Wie fest der angebläsene Überzug an dem Bunt sandstein hält, hat eine nach der Torkretierung vorgenommene Nachsprengung gezeigt. Obwohl die Torkretschicht erst 4 Tage alt war, erfolgte der Bruch beim Sprengen restlos im Gestein. An keiner Stelle hat sich die Betonschicht vom Fels gelöst.“ Die Arbeit schließt mit dem Satz „Es ist zu hoffen, dass die neue Bauweise dazu beiträgt, den Ausbau der Wasserkräfte zu beschleunigen und zu verbilligen.“ Hierbei tritt erstmals in der Fachliteratur der Ausdruck „neue Bauweise“ im Zusammenhang mit Spritzbeton in Erscheinung.

Sehr früh schon begegnen wir verschiedenen Hypothe-

sen zur Erklärung der Wirkungsweise des Spritzbetons im Tunnelbau (Tübben 1923). „Die geschilderten Erfolge des Torkretverfahrens erscheinen im ersten Augenblick verblüffend, jedoch ist die Erklärung dafür meiner Meinung nach außerordentlich einfach. Während Eisenbeton immer eine feste, starre Masse darstellt, bildet der Spritzbeton beim Torkretverfahren nur eine ganz dünne Haut, die gewissermaßen elastisch wie Gummi ist. Dass aber ein elastischer Körper verhältnismäßig stärkere Beanspruchungen aushalten kann als ein starrer, bedarf keines Nachweises.“ Im Jahre 1925 erschienen in Deutschland zwei ausführliche Monografien über die Anwendung von Spritzbeton, insbesondere im Tunnel- und Bergbau (Szilard 1925, Meyer 1925). Meyer berichtet, dass der Spritzbeton „zur Aufnahme von Gebirgsdruck oder wenigstens zur Verhinderung des Steinfallens“ verwendbar ist. In dieser Arbeit wird das erste Mal von einer zum Ring geschlossenen bewehrten



4b Simplon-Tunnel: Verdrückter Stahlausbau (Pressel 1906)

4b Simplon Tunnel: Failed steel frames (Pressel 1906)

elastic body can withstand proportionally higher loading than a rigid one is obvious“. In 1925, two different and exhaustive monographs were published concerning the application of shotcrete in construction and especially in mining and tunnelling (Szilard 1925, Meyer 1925). Meyer reports that with torcretting, it is possible to “take up ground pressure or at least hinder rock fall using this support measure“. In this work, a concrete lining closed to a full ring in squeezing rock was reported on for the first time.

In order to illustrate the widespread use of shotcrete in the 1920s, we refer to an article in the “Neue Zürcher Zeitung“ (anon. 1926). Under the headline “Shotcrete or torcrete procedure“, among other things, it was stated that “especially for the construction of pressure tunnels, the method has already proven itself. The tunnel lining is generally made up of two rings: an outer tamped concrete ring and an inner, reinforced ring. Because of the very close-meshed reinforcing net of the

latter, the concrete placement using pneumatic methods represents a substantial operational and economic improvement.“ This statement confirms the use of a double sheet lining concept in the 1920s.

If one casts a quick look at developments on the North American continent, then first of all the McIntyre mine in Ontario, Canada, has to be mentioned, in which “guniting of rock surface has been standard practice for several years“ (Keeley 1934, anon. 1957). “By adaptation of this process mining problems connected with scaling and loose ground have been completely solved. (...) The arch-supporting effect and the shearing strength of the concrete are considerable.“ The replacement of timbering by guniting leads to 50 per cent savings. One of the outstanding features of this is the early application of rock bolts, wire mesh and gunite as temporary support in difficult ground conditions (depth over 1,500 m).

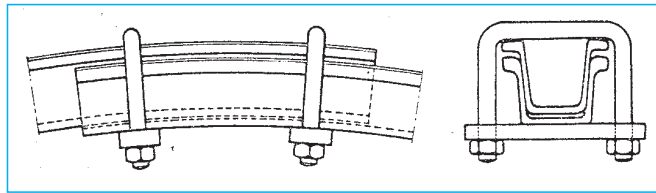
Our next example is the 45.8 km long Hetch Hetchy

Geschichte der Spritzbetonbauweise, Teil II History of the Sprayed Concrete Lining Method, P. II

Spritzbetonschale in druckhaftem Gebirge berichtet.

Um die weit verbreitete Anwendung des Spritzbetons im Tunnel- und Stollenbau in den 20er-Jahren zu illustrieren, verweisen wir hier noch auf einen Aufsatz in der „Neue Zürcher Zeitung“ (Anonymous 1926) mit dem Titel „Das Spritzbeton- oder Torkretverfahren“. Es wird unter anderem vermerkt, dass sich „vor allem im Druckstollenbau das Verfahren schon verschiedentlich bewährt hat. Die Stollenauskleidung besteht sehr häufig aus zwei Ringen, einem äußeren Stampfbetonring und einem inneren, armierten Ring. Das meist sehr enge Bewehrungsnetz des Letzteren macht ein einwandfreies Stampfen von Hand fast unmöglich. Hier bedeutet also das Aufbringen des Betons auf pneumatischem Weg eine große betriebstechnische und wirtschaftliche Erleichterung“. Es ist dies auch ein Hinweis auf das schon damals verbreitete Ausbaukonzept mit Innen- und Außenschale.

Wirft man einen kurzen Blick auf den nordamerikanischen Kontinent, so muss zunächst das Bergwerk McIntyre in Ontario, Kanada, erwähnt werden, in welchem „Gunitierung seit mehreren Jahren als Standard-Praxis gilt“ (Keeley 1934, Anonymous 1957). „Dank der Anwendung dieses Verfahrens wurden die Probleme des Bergbaus im Zusammenhang mit Ablösungen und nachbrüchigem Gebirge vollständig gelöst. (...) Der Effekt der Gewölbestützung und die Scherfestigkeit des Betons sind beträchtlich.“ Der Einsatz von Spritzbeton an Stelle der Zimmerung ergab eine Kosteneinsparung von 50 %. Ein herausragender Aspekt



5 Toussaint-Heintzmann-Profil mit Gleitanschluss (Fröhlich 1948)
5 Sliding connection of Toussaint-Heintzmann (Fröhlich 1948)

dieses Fallbeispiels ist der kombinierte Einsatz von Felsankern, Netzen und Spritzbeton als zeitweilige Sicherung unter schwierigen Bedingungen (Überlagerungshöhe 1500 m).

Unser nächstes Beispiel ist der 45,8 km lange Hetch-Hetchy-Trinkwasserstollen in Kalifornien. „Die Schwierigkeiten im Zusammenhang mit Gebirgsverformungen haben zu intensivem Unterhalt und zum zweimaligen oder manchmal sogar dreimaligen Auswechseln der Zimmerung geführt. Um Abhilfe zu schaffen, wurde eine kreisförmige Außenschale aus pneumatisch gespritztem Beton (Gunit) überall dort versucht, wo die Verhältnisse am schwierigsten waren. Der Erfolg dieser Technik war bestechend. (...) Kosteneinsparungen ergaben sich einerseits

water supply tunnel in California. „Difficulties with moving ground resulted in excessive maintenance and in replacing the timbering twice and sometimes three times. To effect some relief from this condition, a circular sub-lining of pneumatically sprayed concrete (gunitite) was tried where conditions were most severe. Success in the use of this method was great. (...) Savings effected in eliminating re-timbering, re-excavation and in

durch die Vermeidung eines Auswechselns der Zimmerung sowie eines Nachnehmens des verformten Profils, andererseits auf Grund der Verringerung von Unterhaltsarbeiten. Die Methode wurde nun in allen Einzelheiten ausgearbeitet und in verschiedenen Abbaufrenten

reducing track maintenance suggested the possibility of using this lining to eliminate timbering altogether. The method has now been worked out in detail and has been used with marked success for thousands of feet at several of the headings“ (anon. 1933). Convergence measurements were taken in studies of rock pressure to be resisted (anon. 1931).

It should be mentioned that a „Handbook on Cement Gun Work“ was published in 1934 in London (anon. 1934). We will come back to address the further developments of shotcrete in tunnelling and mining after the Second World War in Part III.

Bibliography: see German original



für tausende von Fuß mit bemerkenswertem Erfolg angewendet“ (Anonymous 1933). Zur genaueren Untersuchung der Äußerungen des Gebirgsdruckes wurden Konvergenzmessungen durchgeführt (Anonymous 1931).

Es sei noch erwähnt, dass 1934 in London ein „Handbook on Cement Gun Work“ erschien (Anonymous 1934). Wir kommen im Teil III dieses Beitrages noch auf die Anwendung von Spritzbeton nach dem Zweiten Weltkrieg im Tunnel- und Bergbau zurück.

Literatur

- [1] Anonymous (1866). Über die Resultate umfänglicher Anwendung eisernen Ausbaues mittels alter Eisenbahnschienen bei Werken des Erzeberglichen Steinkohlen-Aktien-Vereins, Jahrbuch für d. Berg- und Hüttenwesen, S. 173.
- [2] Anonymous (1869). Eisen beim Gruben-Ausbau. Glückauf 28.
- [3] Anonymous (1869). Über Schacht-abteufen. Glückauf 31.
- [4] Anonymous (1926). Das Spritzbeton- oder Torkretverfahren. Neue



6 Spritzbetonarbeit im Ulmbergtunnel in Zürich (1927): Umbau eines Bahntunnels in einen Straßentunnel (Foto: D. Prader)

6 Shotcreting at the Ulmberg Tunnel in Zurich, Switzerland (1927): Transformation of a Railway Tunnel into a Road Tunnel (Photo: D. Prader)

Geschichte der Spritzbetonbauweise, Teil II

History of the Sprayed Concrete Lining Method, P. II

- Zürcher Zeitung Nr. 20, 11. August 1926, Blatt 4.
- [5] Anonymous (1931). Hetch Hetchy Tunnel Construction (California). Engineering News Record: 96–100.
- [6] Anonymous (1933). Hazardous Tunneling at Hetch Hetchy (California). Engineering News Record: 701–704.
- [7] Anonymous (1934). Guniting, A Handbook on Cement Gun Work. Issued by The Concrete Proofing Co. Ltd. London.
- [8] Anonymous (1957). Guniting at the McIntyre Porcupine Mines, Limited. Mining in Canada: 349–355.
- [9] Fayol, M. (1885). Note sur les Mouvements de Terrain. Bulletin de la Société de l'Industrie Minière 14: 805–871.
- [10] Fraenkel (1922). Die Torkretarbeiten beim Heimbach-Kraftwerk/Württemberg, Zentralblatt für Wasserbau und Wasserwirtschaft.
- [11] Fröhlich, K. (1948). Die Verbindung stählerner Streckenbögen. Glückauf: 543–555.
- [12] Hilgard, K. E. (1921). Die amerikanische Zementkanone und ihr Anwendungsbereich. Schweiz. Bauzeitung LXXVIII (8): 92–104.
- [13] Keeley, D. E. (1934). Guniting at the McIntyre Mine. The Canadian Institute of Mining and Metallurgy 37.
- [14] Knox, J. and O. Potter (1920). Use of Guniting on the 81st Level, Calumet & Hecla Conglomerate Mine. The M.C.M. Alumnus IX (4): 1–6.
- [15] Köhler, G. (1900). Lehrbuch der Bergbaukunde, Verlag von Wilhelm Engelmann.
- [16] Mathet, M. (1888). Boisage en fer. Compt. rend. soc. ind. min.: 60–62.
- [17] Meyer, A. (1925). Beton und Eisenbeton im Bergbau unter Tage. Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate 73: B243–B307.
- [18] Pfähler (1872). Verbauen mit T-Eisen auf der Grube Altenwald. Preussische Zeitschrift 20: 121–128.
- [19] Polish, L.; Breckenridge, R. N. (1954). Rock Bolting in Metal Mines of the Northwest. Mining Engineering (July): 709–715.
- [20] Pressel, K. (1906). Die Bauarbeiten am Simplontunnel. Schweiz. Bauzeitung XLVII.
- [21] Proctor, R.V., White, Th.L. (1946). Rock Defects and Loads on Tunnel Supports. Rock Tunnelling with Steel Supports. The Youngstown Printing Co.
- [22] Rice, G. S. (1918). Cement Gun in Mining Work – I + II. Engineering and Mining Journal 105(13 + 14).
- [23] Sandström, G. E. (1963). The History of Tunnelling, Underground Workings Through the Ages. London, Barrie and Rockliff.
- [24] Schlüter, H. (1920). Praktische Bedeutung des Torkretbaues und seine Nutzbarmachung für die deutsche Betonindustrie. Zement (19): 229–234.
- [25] Schlüter, H. (1921). Das Beton-Spritzverfahren, Deutsche Bauzeitung, 18. Jhg.
- [26] Schneider, R. (1880). Die Eisenzimmerung im Vergleiche zur Holzzimmerung. Österr. Z. Berg- und Hüttenwesen.
- [27] Simms, F. W. (1844). Practical Tunnelling. London, Messrs. Troughton and Simms.
- [28] Szilard, A. (1925). Das Torkretverfahren und seine technischen Probleme, Julius Springer, Berlin.
- [29] Teichert, P. (1979). Die Geschichte des Spritzbetons. Sonderdruck aus Schweizer Ingenieur und Architekt 47: 1–12
- [30] Tübben, L. (1923). Neuerungen im Feuerschutz beim Grubenbetrieb. Glückauf Februar (8): 190–193.
- [31] Würker, R. (1934). Material, Profil und grundsätzliche konstruktive Maßnahmen beim Streckenausbau mit Stahl. Technische Hochschule zu Aachen. Aachen.

