

Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 55 (1987)

Artikel: Neue Entwicklungen beim Spritzbeton
Autor: Klapperich, Herbert / Kern, Edgar / Eckardstein, Karl-Ernst v.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-42711>

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: 12.01.2026

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



Neue Entwicklungen beim Spritzbeton

New Developments in Shotcreting

Nouveaux développements dans le béton projeté

Herbert KLAPPERICH

Dr.-Ing.
Knoop Intern.
Paris, Frankreich

Edgar KERN

Dr.-Ing.
Philipp Holzmann AG
Frankfurt, Bundesrep. Deutschland

Karl-Ernst v. ECKARDSTEIN

Ing. (grad.)
F.W. Schwing GmbH
Herne, Bundesrep. Deutschland

G. BRACHER

Dr.
Sika
Zürich, Schweiz

ZUSAMMENFASSUNG

Die Grundphilosophie der modernen Tunnelbauweise besteht im Heranziehen der Tragwirkung des Gebirges. Der Spritzbetonschale zur Sicherung kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu. Beim 'Top-Shot' – Naßspritz verfahren werden hohe Früh- und Endfestigkeiten erzielt. In der Turbo-Injektordüse wird der Beton mit dem Erstarrungsbeschleuniger auf Aluminatbasis homogen vermischt. Der Beitrag präsentiert die Grundlagen und berichtet über Erfahrungen aus Tunnelprojekten mit großen Querschnitten.

SUMMARY

Modern tunnelling methods are based on the philosophy that the rock with its cover of immediate shotcrete support is enabled to become self-supporting. Whenever the wet shotcreting method 'Top-Shot' is adopted, constant high early and final strengths are achieved. The concrete is mixed homogeneously in the turbo injection nozzle with an accelerating agent based on aluminate. This paper presents results and discusses experiences made in tunnel projects with large tunnel cross sections.

RÉSUMÉ

Les méthodes modernes de construction de tunnel tiennent compte de la charge portante de la roche. La méthode de projection par voie humide garantit des résistances initiales et finales élevées. Le béton d'un calibre maximum de 16 mm est refoulé par une pompe jusqu'au turbo-injecteur où il se mélange avec l'accélérateur de prise à base d'aluminate. Cet article présente les principes de la méthode et les expériences dans des projets de tunnels.



1. N Ö T - GEBIRGSSCHONENDER TUNNELBAU

Die 'Neue Österreichische Tunnelbauweise' wurde in den Jahren 1957 bis 1965 entwickelt — zunächst für Tunnelbauten in Fels. Sie ist mit den Namen Rabcewicz und Müller (1) eng verbunden. Die Grundphilosophie beruht auf dem Heranziehen der Tragwirkung des Gebirges mit der Erzielung eines Optimums an Sicherheit und Wirtschaftlichkeit. Hierbei kommt der Steuerung der Gebirgsdeformationen (Hereinwandern des Gebirges gegen den Hohlraum) eine große Bedeutung zu. Konstruktionselemente hierfür sind die Spritzbetonschale, das Setzen von Ankern und Ausbaubögen. Der Faktor Zeit ist wesentlich für die Ausbildung der 'Sicherungsfunktion' vor allem im Hinblick auf den Ausbauwiderstand durch die Spritzbeton - Aufbringung. Diese erfolgt in direktem Anschluß an die Ausbrucharbeiten (Teilausbruch oder Vollausbuch des Tunnelquerschnittes mit unterschiedlichen Vortriebsraten — beides in Abhängigkeit von den Gebirgsverhältnissen).

Die Spritzbetonschale (Stärke 15 bis 30 cm; konstruktiv bewehrt mit Bewehrungsmatten) als Außenhaut des Tunnelkörpers gewährleistet eine enge Verbindung mit dem anstehenden Gebirge (Versiegeln). Besonders bei schlechten Gebirgsverhältnissen fällt ihr in der Funktion der Deformationsbegrenzung des den Hohlraum umgebenden Gebirges eine Tragwirkung (Ausbauwiderstand) zu (2). Hierzu ist eine hohe, gleichmäßige Betonqualität, d.h. vor allem eine hohe Frühfestigkeit des Betons gefordert. Im folgenden wird über Neuentwicklungen beim Naß - Spritzverfahren in den Bereichen der Maschinenteknik (Top - Shot System) und der Betontechnologie (Erstarrungsbeschleuniger auf Aluminatbasis) berichtet und Baustellenerfahrungen ausgewertet.

2. NASSPRITZVERFAHREN

2.1 Naßspritzsystem 'Top — Shot', Schwing

Seit zwei Jahrzehnten werden Betonpumpen verstärkt im Baugeschehen eingesetzt und maschinentechnisch stetig weiterentwickelt (3). Beim 'Top — Shot' Naßspritzsystem wird der Ausgangsbeton mit Mischfahrzeugen vom Betonwerk übernommen mit einer Konsistenz von 30 bis 40 cm. Vor der Übergabe an die Betonpumpe wird der steifplastische Beton durch Zugabe eines Fließmittels in eine fließfähige Konsistenz gebracht. Dies ist erforderlich, da von der Betonpumpe nur ein fließfähiger Beton über die dünnen, sich von 150 auf 50 mm verengenden Leitungen zur Mischkammer der Spritzbetonanlage gepumpt werden kann. Der Mischkammer wird neben dem Beton über den Kompressor Druckluft und über eine Dosierpumpe Beschleuniger zugeführt. Von der Mischkammer wird die eigentliche Aufgabe des Naßspritzens übernommen, d.h. den gerade fließfähig gemachten Beton so schnell zum Erstarren zu bringen, daß er auch bei großer Spritzleistung in dicker Schicht 'Überkopf' sicher aufgetragen werden kann. Daraus ergeben sich drei wesentliche Anforderungen an den Mischvorgang, die mit Hilfe der Mischkammer und der dort zugeschalteten Turboinjektordüse erfüllt werden (Bild 1):

1. Gleichmäßiges Verteilen des BE unter den Beton durch verwirbeln
2. Herstellung des Übergangs von im Dichtstrom angepumpten Pumpbeton zum im Luftstrom (Dünnstrom) geförderten Spritzbeton
3. Erzielen einer guten Haftung und Verdichtung des Spritzbetons durch eine hohe Anwurfgeschwindigkeit

Mit Hilfe der Turboinjektordüse wird der über die Dosierpumpe zugeführte BE von der Druckluft aufgenommen und zerstäubt. Der nun mit BE angereicherte Strom der Druckluft reißt den in die Mischkammer eintretenden Pumpbeton auf. Durch die dabei entstehende Turbulenz wird der Beton mit den Partikeln des BE verwirbelt. Der Spritzbeton wird nun im Dünnstrom durch den Mischschlauch gefördert. Auf dieser relativ langen Mischstrecke werden die Reaktionspartner von BE und Zement zusammengeführt. Gleichzeitig wird der Spritzbeton durch die Treibluft gebündelt und auf die Auftragsfläche gespritzt.

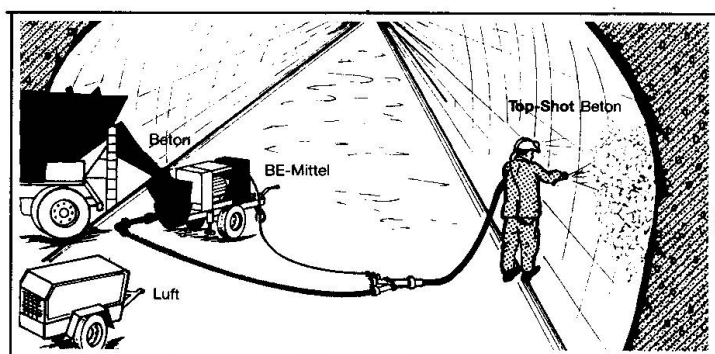


Bild 1

2.2 Erstarrungsbeschleuniger auf Aluminatbasis

Die betonchemischen Vorgänge bei Zusatz des Erstarrungsbeschleunigers lassen sich auf eine Reaktion zwischen Zement und Zusatzmittel reduzieren. Wesentlich hierbei ist die Reaktion bei der Hydratation des Portlandzementes. Flüssige, chemische Erstarrungsbeschleuniger haben gegenüber pulverförmigen verschiedene Vorteile. Das für das Erstarrungsverhalten verantwortliche C_3A (Tricalciumaluminat) im Zement reagiert mit dem im Zement enthaltenen Gips. Durch die Zugabe von Aluminat wird diese Reaktion, welche zu Ettringit führt, so stark beschleunigt, daß ein sofortiges Erstarren eintritt. In den unten aufgeführten Spritzbetonarbeiten wurde Sigunit 61 (BE) eingesetzt.

2.3 Baustellenerfahrungen

Auf den Tunnelbaustellen der Deutschen Bundesbahn wird in großem Umfang das Naßspritzverfahren angewendet. Beim 8 km langen Dietershantunnel wurde trocken und naß gespritzt und so ein direkter, langfristiger Vergleich beider Spritztechniken ermöglicht. Obwohl das Naßspritzen mit Dichtstromförderung im Gegensatz zum Trockenspritzen noch am Anfang seiner Entwicklung steht, schnitt es bei diesem Vergleich günstig ab (4). Die weiteren Entwicklungsbemühungen an dieser Spritztechnik galten dem Ersatz von Wasserglas durch ein besseres Mittel. Bei umfangreichen Spritzversuchen mit verschiedenen Zement – Beschleuniger – Kombinationen erwiesen sich weiterentwickelte Aluminatbeschleuniger dem Wasserglas überlegen.

Aufgrund dieser Erfahrungen und erfolgreichen Eignungsprüfungen auf Baustellen wurde von der Philipp Holzmann AG beim Bau des Heilsbergtunnels das Naßspritzverfahren mit Aluminatbeschleuniger angewandt (Arbeitsgemeinschaft mit Rothpletz, Lienhard, Schweiz). Der Heilsbergtunnel entsteht im Zuge des Neubaus der Autobahn A81 von Singen in Richtung Schaffhausen, Schweiz. Er wird aus zwei Röhren mit je zwei Fahrbahnen von etwa 478 bzw. 448m Länge gebildet. Für den Rohbau, der Ende 1985 begann, wurde eine Bauzeit von 24 Monaten veranschlagt. Der Vortrieb erfolgt in der NÖT mit Spritzbeton als Sicherungsmaßnahme. Die Überdeckung des Tunnels ist mit 7 bis 20 m sehr gering.

Der Ausbruch des Tunnelquerschnittes wird in zwei Bauphasen vorgenommen:

1. Kalottenvortrieb auf ganzer Tunnellänge mit temporärer Sohlsicherung. Die mittlere Vortriebsleistung beträgt pro Tag 4 bis 5 m bei einer Abschlagslänge von 90 cm.
2. Strossenvortrieb mit schnellem Ringschluß mittels ausgerundetem Sohlgewölbe.

Die Herstellungsphase des Naßspritzverfahrens für den Spritzbeton B 25 ist gekennzeichnet durch die Zugabe:

- a) eines Fließmittels ($10 \text{ cm}^3/\text{kg}$ Zement, $a = 46 - 52 \text{ cm}$) zum angefahrenen Transportbeton und
- b) des Erstarrungsbeschleunigers ($30 \text{ cm}^3/\text{kg}$ Zement, Aluminat) an der Spritzdüse.

Die hiermit erreichten Beton-Eigenschaften (schnelles Erstarren und Erhärten) werden unter Einhalten der Prüfrichtlinien für Betonzusatzmittel (DIN 1045) mit $50 \text{ cm}^3/\text{kg}$ Zement im Gegensatz zur Wasserglas-Zugabe problemlos erreicht. Im Mittel waren $30 \text{ cm}^3/\text{kg}$ Zement erforderlich.

Hinweise für die Reaktivität der angewendeten Zement – Beschleuniger – Kombination ergibt der modifizierte Vicat – Versuch. Bild 2 zeigt das Ergebnis dieser Prüfung. Die günstigste Wirkung wird danach bei einer Zugabemenge von $35 \text{ cm}^3/\text{kg}$ Zement erreicht. Bei höheren Zugabemengen nimmt die beschleunigende Wirkung wieder ab.

Untersuchungen über den Einfluß niedriger Außentemperaturen auf die Wirksamkeit des Aluminatbeschleunigers zeigten, daß Frosttemperaturen bis zu -20°C ohne nachteilige Folgen blieben.

Die günstigen rheologischen Eigenschaften des frischen Spritzbetons zeichnen sich durch große Dichte, homogenen Aufbau und hohe Frühfestigkeiten und gleichbleibenden hohen E – Modul aus. Güteprüfungen des erhärteten Spritzbetons mit einem Zementgehalt von 350 kg/m^3 ergaben Druckfestigkeiten im Mittel von 33 N/mm^2 (geforderte Nennfestigkeit: 20 N/mm^2), siehe Bild 3. Die statistische Auswertung ergab eine Standardabweichung von $6,3 \text{ N/mm}^2$ für den Ausgangsbeton und den Spritzbeton.

Bohrkernfestigkeiten in Abhängigkeit vom Alter sind in Bild 4 dargestellt. Nach 12 h wurde bereits eine Druckfestigkeit von 18 N/mm^2 erreicht (gefordert waren 5 N/mm^2).

Ein Vergleich der Festigkeitsentwicklung verschiedener Spritzverfahren und Erstarrungsbeschleuniger zeigt Bild 5, (Ausgangsbeton: Würfeldruckfestigkeit), (4, 5).



Wirkung der Zugabemenge an Aluminat-BE auf das Erstarren von Zementleim

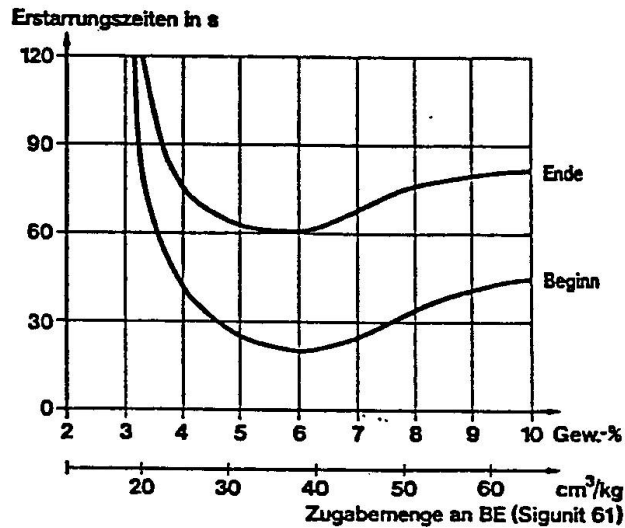


Bild 2

Druckfestigkeit der Bohrkerne beim Heilsbergtunnel aus der Spritzbetonschale

Prüfalter zwischen 28 und 84 Tagen
Druckfestigkeit in N/mm²

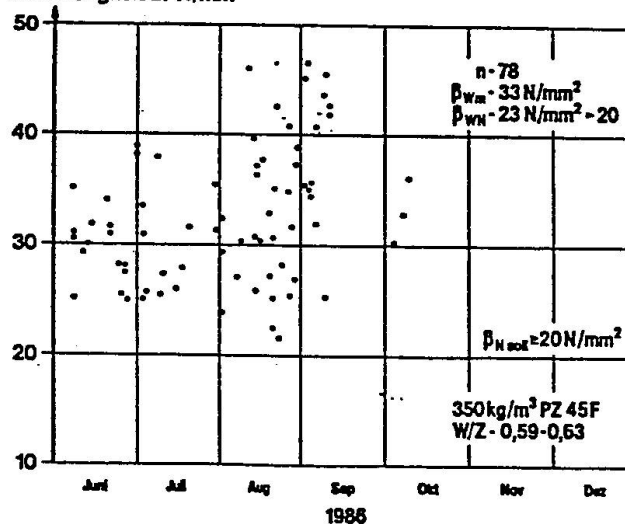


Bild 3

Druckfestigkeit der Bohrkerne beim Heilsbergtunnel

aus der Spritzbetonschale ●
aus den Spritzbetonplatten ○

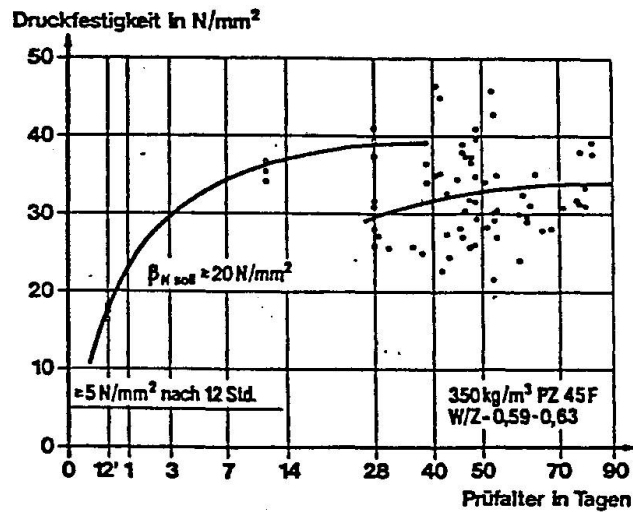


Bild 4

Festigkeitsentwicklung der Spritzbetone

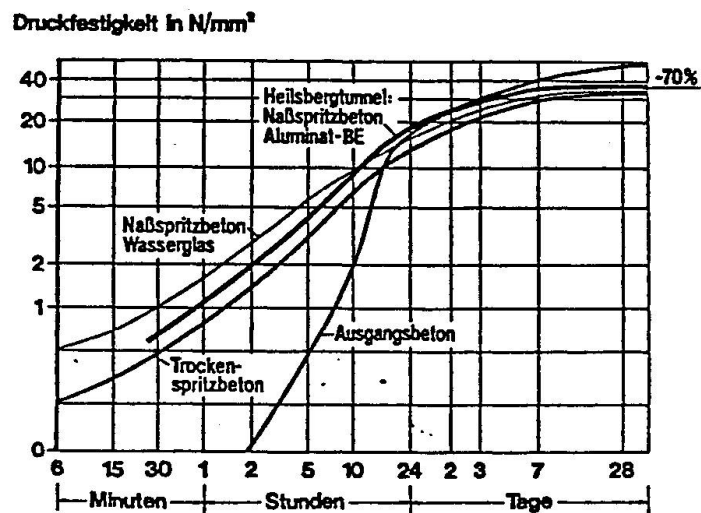


Bild 5



Das Verformungsverhalten des Spritzbetons am Heilsbergtunnel (E – Modul , Spannungsdehnungslinien , Kriechen und Schwinden) wurde ausgiebig untersucht und verglichen. Bild 6 zeigt beispielhaft die Spannungsdehnungslinien , die bei konstanter Belastungsgeschwindigkeit von $0,2 \text{ N/mm}^2$ je Sekunde an Bohrkernen ermittelt wurden.

Spannungsdehnungslinien

Belastungsgeschwindigkeit - $0,2 \text{ N/mm}^2$ je s

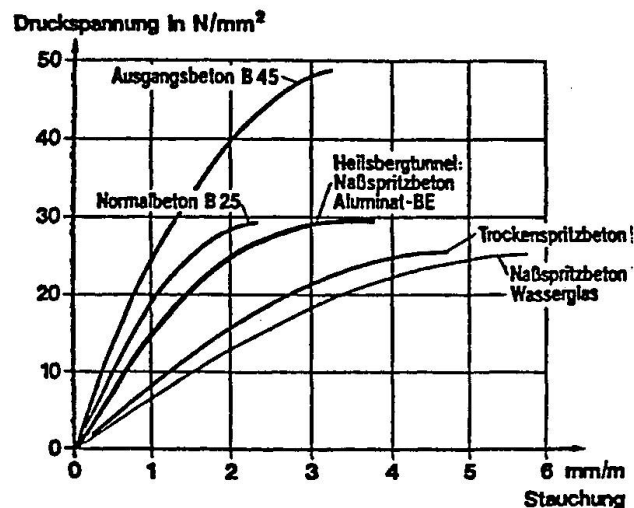


Bild 6

Die am Beispiel des Heilsbergtunnels aufgezeigten Baustellenerfahrungen zeigen die bemerkenswerten technischen und wirtschaftlichen Vorteile wie hohe Betonqualität , gute Dosiergenauigkeit , wenig Rückprall , hohe Wasserundurchlässigkeit und geringe Staubentwicklung bei Anwendung des neuen Naßspritzverfahrens.

BIBLIOGRAPHIE

1. MÜLLER , L. , FECKER , F. , Grundgedanken und Grundsätze der 'Neuen Österreichischen Tunnelbauweise'. Grundlagen u. Anwendung der Felsmechanik , Felsmech. Kolloquium Karlsruhe , Trans. Tech. Publications, 1978
2. KLAPPERICH , H. , Spritzbetontechnik , Neue Entwicklungen. Diskussionsbeitrag 35. Geomechanik - Kolloquium, Salzburg , 1986
3. v. ECKARDSTEIN , K.E. , Pumpbeton und Betonpumpen , F.W. Schwing , Herne , 1983
4. WIND , H. , KERN , E. , Erprobung von Spritzbetontechniken und ihr Einfluß auf den Baufortschritt bei zwei Tunneln der DB — Neubaustrecke Hannover — Würzburg , STUVA - Bericht 30 , Köln , 1985
5. KERN , E. , Naßspritzen mit Aluminatbeschleunigern bei einem Autobahntunnel. Seminar Spritzbeton Technologie , Innsbruck , 1987