Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 54-55 (1986-1987)
Heft: 22

Artikel: Horizontales Jet Grounding im Tunnelbau
Autor: Meyer, Bruno
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153713

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: 06.08.2025

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

CEMENTBULLETIN

OKTOBER 1987 JAHRGANG 55 NUMMER 22

Horizontales Jet Grouting im Tunnelbau

Jet Grouting als Bauhilfsmassnahme. Anwendungsbeispiel bei der Zürcher S-Bahn. Vorteile des Verfahrens.

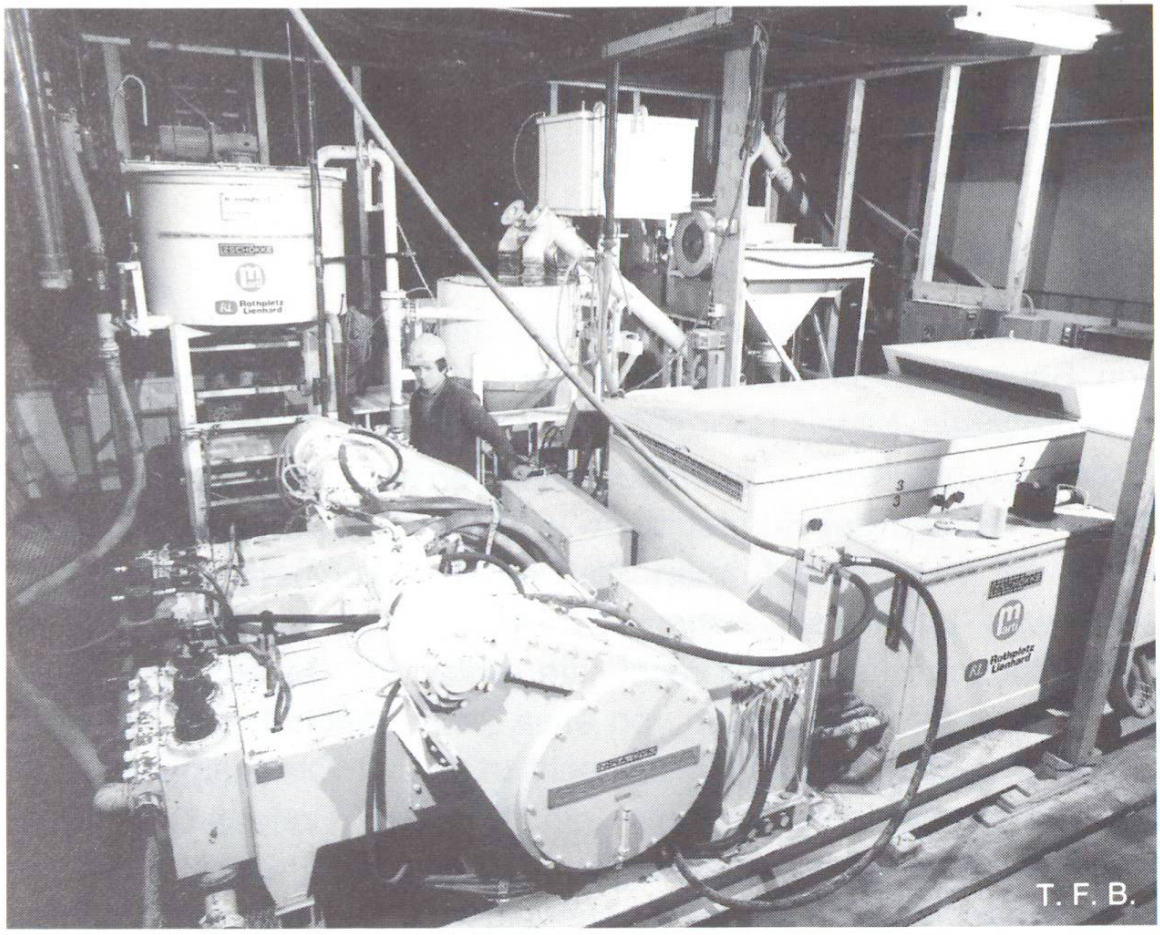
Trotz felsigem Gebirgsuntergrund führen schweizerische Tunnelbauten streckenweise durch Lockergestein, sei es nur in den Portalzonen oder über längere Abschnitte. Meist trifft man dort auf stark wechselnde, mit Felsblöcken durchsetzte Schichten, die den mechanisierten Vortrieb behindern. Nachstehend wird ein Bauverfahren mit einer neuen Bauhilfsmassnahme beschrieben und anhand eines ausgeführten Beispiels erläutert.

Was ist Jet Grouting?

Jet Grouting ist ein Verfahren der Fundationstechnik zur Herstellung von Säulen, Scheiben, Wänden oder Gewölben im anstehenden Lockergestein. Mittels Bohrgerät (Abb. 1) wird ein Bohrloch von etwa 10 cm Durchmesser vorgetrieben, evtl. verrohrt und laufend gespült. Nach Erreichen der Bohrlochtiefe wird die Spülleitung in der Bohrkrone mit einer eingeführten Stahlkugel verschlossen. Anschliessend wird unter sehr hohem Druck von 400 bis 800 bar eine Zementsuspension eingepresst, die hinter der Bohrkrone (Abb. 3) durch mehrere feine Düsen von etwa 2 mm Durchmesser mit einer Geschwindigkeit von bis 200 m/s seitlich austritt. Die Suspension hat ein Wasser-Zement-Verhältnis von 1:1. Das Bohrgestänge wird langsam drehend zurückgezogen, damit die Düsenstrahlen das umliegende Lockermaterial zerschneiden und aufwirbeln können.

Abb. 1 Kalottenvortrieb im Lockergestein. Installation der Bohrmaschine für das Jet Grouting.

Abb. 2 Versorgungszentrale. Aufbereitung der Zementsuspension; Hochdruckpumpe.



3

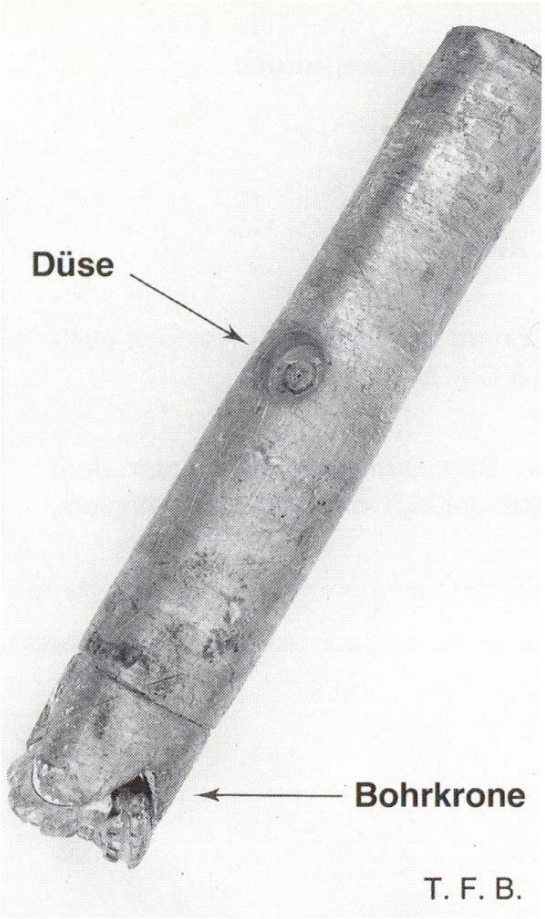


Abb. 3 Bohrkrone und Düse. Der Düsenstrahl tritt senkrecht zur Bohrrichtung aus.

Dadurch entsteht ein Gemisch von Zementsuspension und Bodenmaterial, das zu Mörtel bzw. Beton erhärtet (Abb. 10). Rund um das ursprüngliche Bohrloch bildet sich eine Säule (Abb. 9), die man durch benachbarte Bohrungen zu Wänden bzw. Gewölben erweitern kann. Eher schwierig wäre das Einlegen eines Armierungskorbes, so dass die entstehenden Tragkörper für Biegebeanspruchung nur beschränkt geeignet sind.

Je nach Ausrüstung kann vertikal, geneigt, horizontal oder leicht steigend gebohrt werden. Die Genauigkeiten entsprechen dem Stand der Bohrtechnik, so dass die Abweichungen in Grenzen von ± 1% der Bohrlochtiefe gehalten werden können. Durch Ändern des Arbeitsdruckes sowie der Rückzugs- und Drehgeschwindigkeit kann der Wirkungsbereich den wechselnden Bodenverhältnissen angepasst werden. Trifft man auf Findlinge, so ist die Bohrung besonders sorgfältig durchzuführen, um Abweichungen des Gestänges zu vermeiden. Beim anschliessenden Herstellen der Säule kann der Findling durch sorgfältiges Arbeiten ins Tragwerk eingebunden werden.

Zur Ausrüstung für das Jet Grouting gehören ausser einem Bohrgerät mit beweglicher Lafette die Zuleitungen und eine Versorgungszentrale (Abb. 2). Letztere kann stationär betrieben werden und besteht aus Zementsilo, Schnecke, Mischer für kolloidales Mischgut, Mischpumpe sowie Vorsilo mit Rührwerk zur Verhinderung von

Absetzungen. Je nach Umständen ist noch ein aufwendiges Reinigungsverfahren für den Materialrückfluss (Bohrschlamm sowie Bodenmaterial und Zement) erforderlich.
Jet Grouting hat durch seinen hohen Arbeitsdruck einen mechanischen Abbau des Lockergesteins in kontrollierbarem Umkreis zur Folge. Dadurch unterscheidet es sich von Bodeninjektionen. Dort folgt der Zementleim dem geringsten Widerstand und verfüllt die umliegenden Hohlräume je nach der Durchlässigkeit der entsprechenden Schicht.

Anwendung im Tunnelbau

Jet Grouting dient als Bauhilfsmassnahme zum Auffahren von Tunnelbauten im Lockergestein, d.h. es ermöglicht die eigentlichen Bauarbeiten. Früher hatte man dazu die Getriebezimmerung (Marciavanti) angewendet. Mit zunehmender Mechanisierung wurde diese Methode durch den Lanzen-, Messer- und Schildvortrieb abgelöst, während heute auch das Gefrierverfahren verbreitet ist. Alle Bauhilfsmassnahmen sollen verhindern, dass das Bodenmaterial während des Vortriebs an der Ortsbrust nachrutschen kann. Sie sollen also Mannschaft und Geräte beim Ausbruch schützen und Setzungen des obenliegenden Geländes verhindern. Besonders gefürchtet ist der Tagbruch, wenn die Ortsbrust bei geringer Erdüberdeckung bis an die Oberfläche trichterförmig einzubrechen droht.
Zur Tragwirkung von Tunnelbauten gibt es verschiedene Theorien und entsprechend unterschiedliche Ausführungsvarianten. Im Lokkergestein wird heute meist ein vollständig geschlossener Aussenring als Ausbruchsicherung und nachfolgend ein Innenring als Tunnelverkleidung angeordnet. Beide Ringe sind kraftschlüssig mit dem Lockermaterial verbunden. Nachstehendes Beispiel zeigt ein Bauverfahren, wo das Jet Grouting als Unternehmervariante den Bau des Aussenrings ermöglichte und in der Schweiz erstmals für diese Profilgrösse eingesetzt werden konnte.

Zürcher S-Bahn: Baulos 5.05 des Zürichbergtunnels

Grundriss und geologisches Längenprofil sind in Abb. 4 dargestellt. Der Vortrieb führt vom Startschacht St. Antoniuskirche, der im Festgestein liegt, in zwei Einspurröhren durch Zonen von Moräne und Seeablagerungen zum Bahnhof Stadelhofen, wo er in schleifendem Schnitt auf eine bestehende Gleisanlage trifft. Ausbruch- und Vortriebsart sind in Abb. 5 aufgezeichnet. Trotz geringer Überdeckung

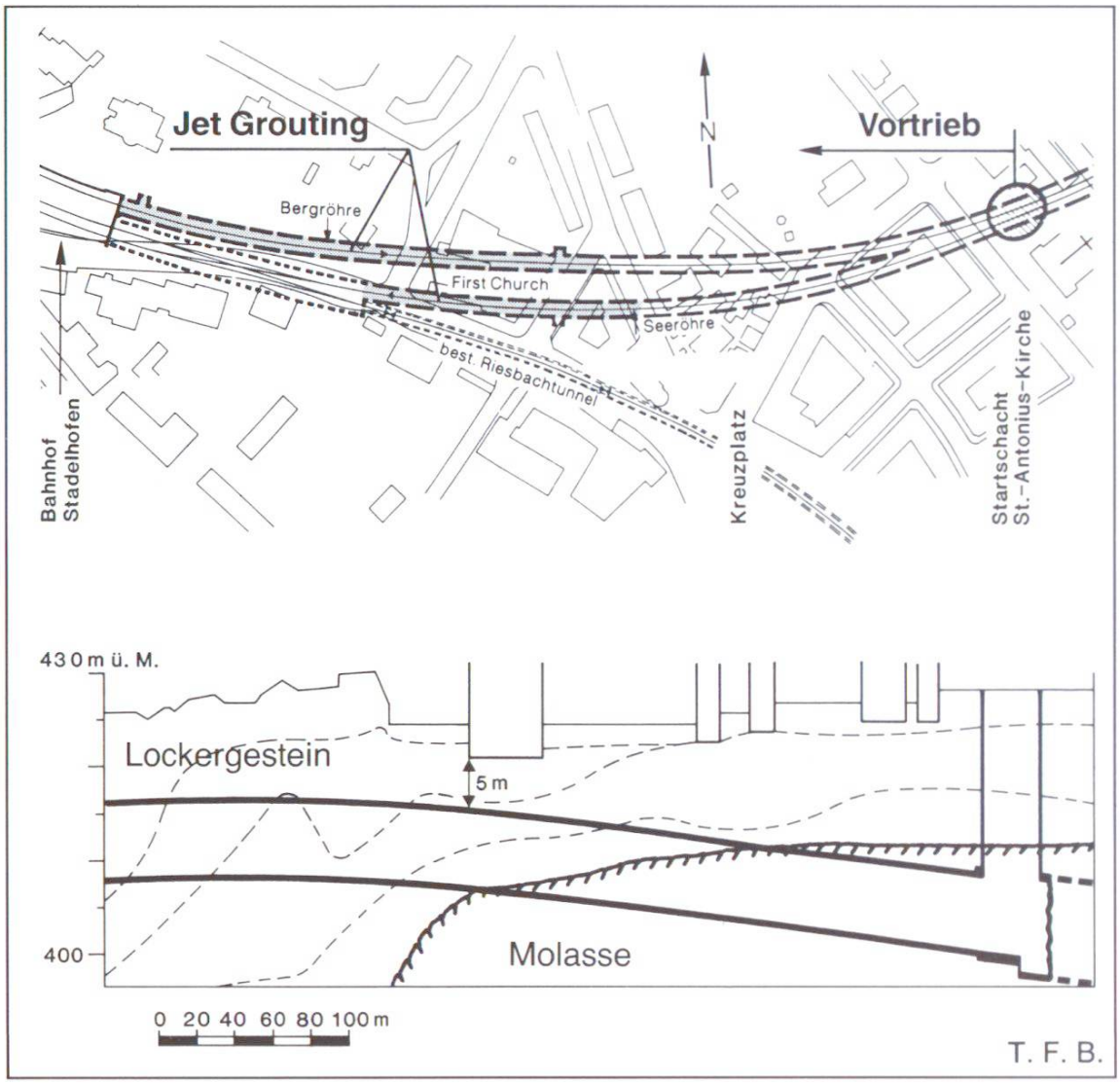
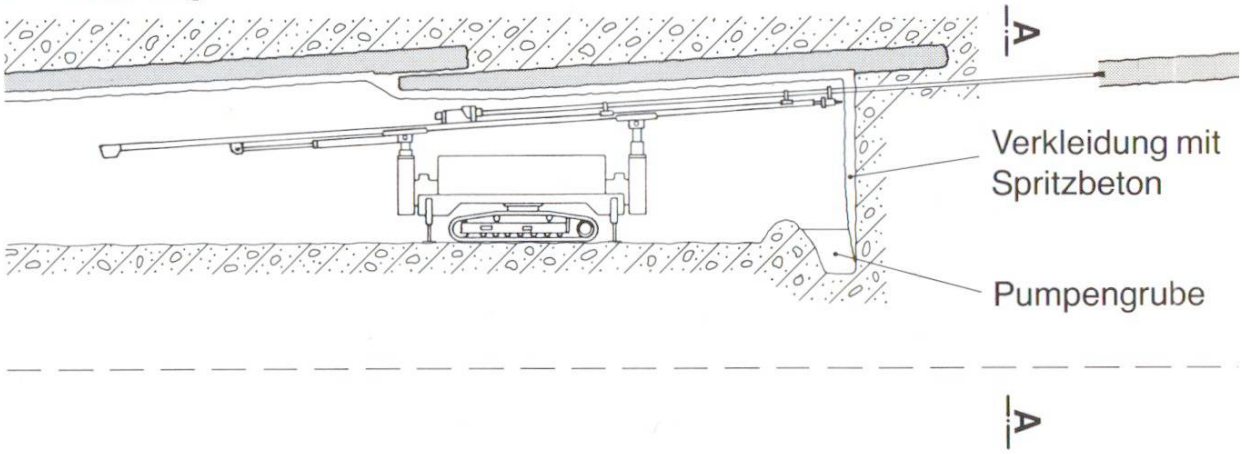


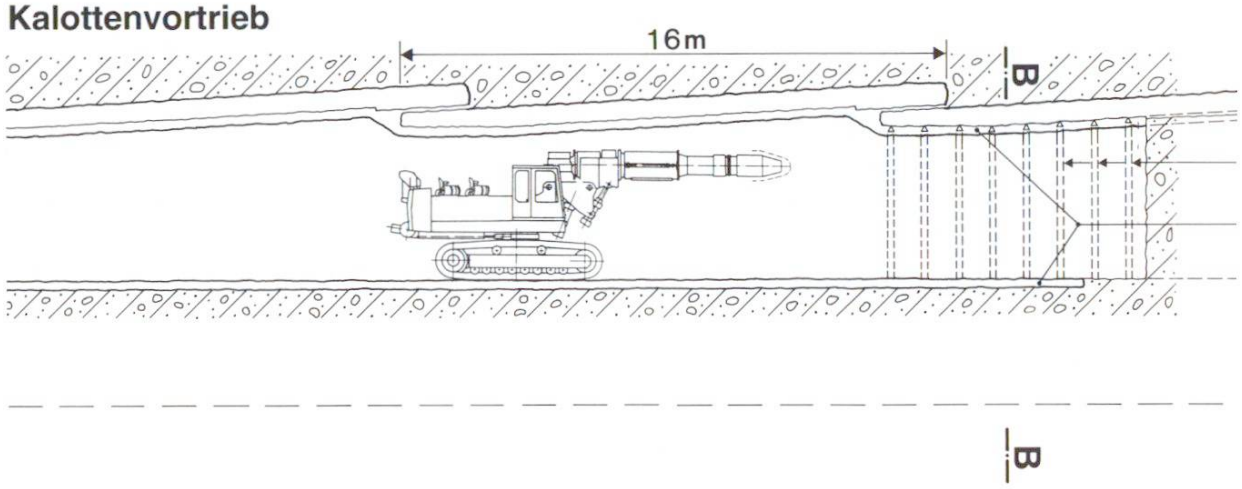
Abb. 4 Zürichbergtunnel der Zürcher S-Bahn, Abzweigung Bahnhof Stadelhofen. Oben: Grundriss der Einspurröhren. Unten: Geologisches Längenprofil (Bergröhre). Der Vortrieb begann im Festgestein der oberen Süsswassermolasse und durchfuhr dann die verschiedenen Moränen und Seeablagerungen. Länge der Abschnitte, die mit Jet Grouting ausgeführt wurden: Bergröhre: 249 m[1], Seeröhre: 145 m[1].

Abb. 5 (rechts) Vortriebsart im Lockergestein (Längs- und Querschnitte). Das Jet Grouting ermöglicht den Kalottenvortrieb zur Erstellung des Aussengewölbes.

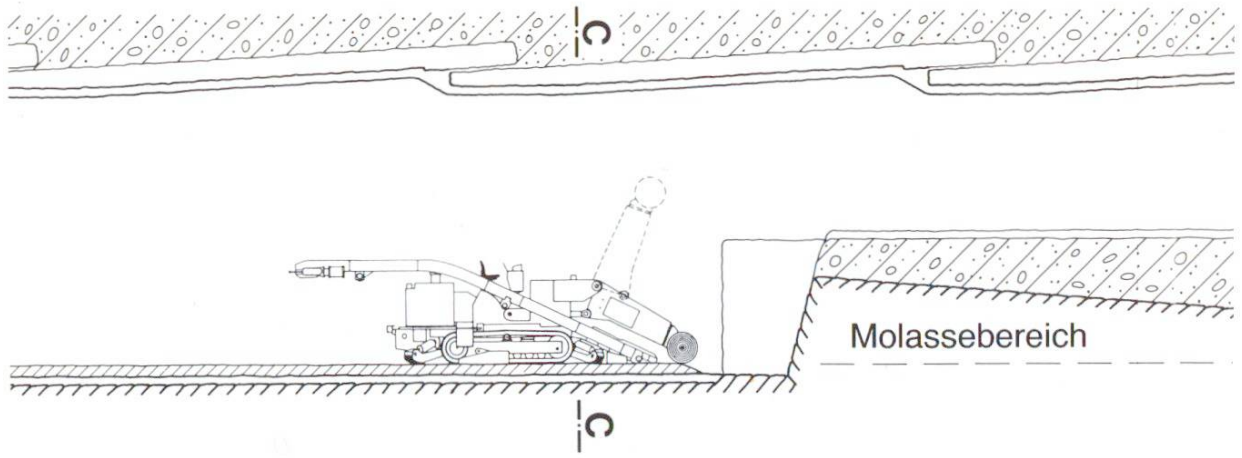
Jet Grouting



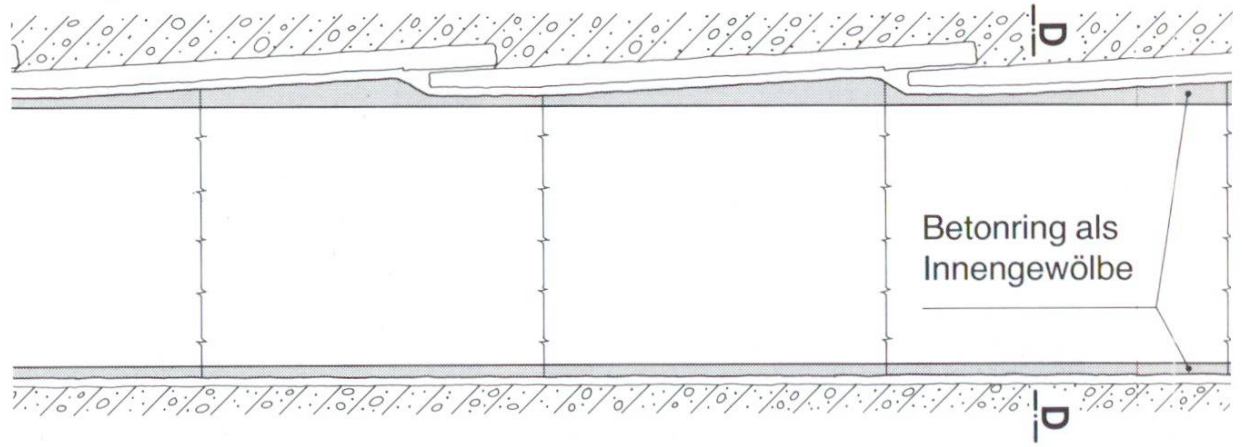
Kalottenvortrieb

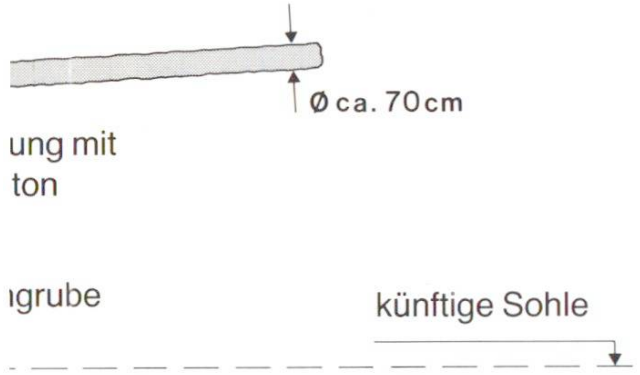


Strossenabbau und Ringschluss

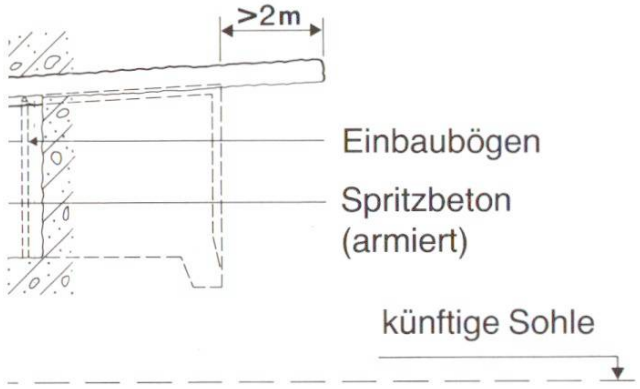


Innengewölbe

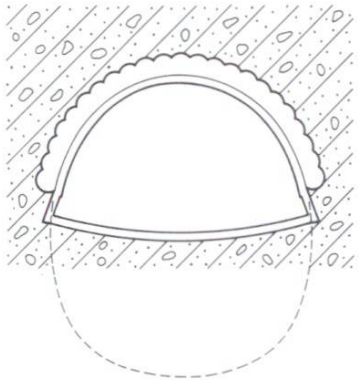


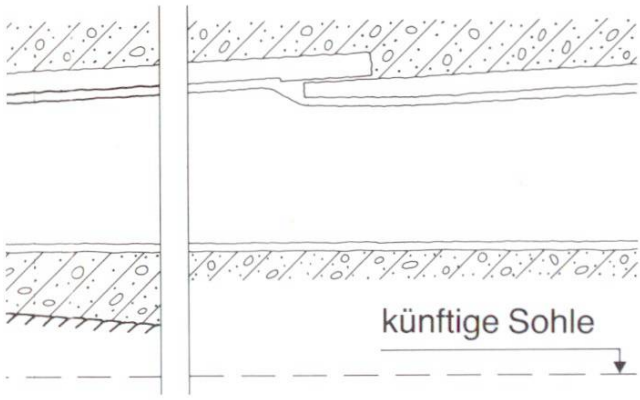


A – A

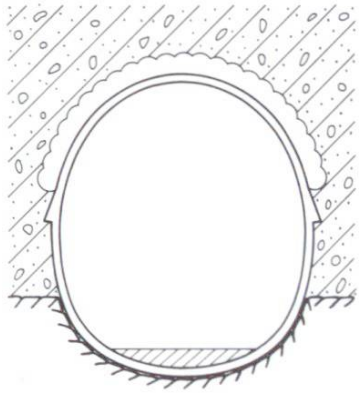


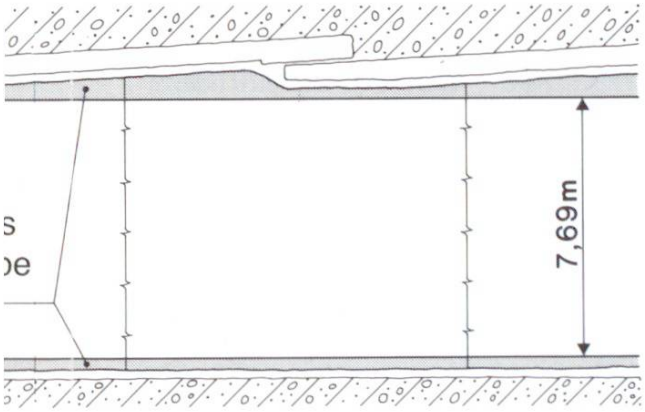
B – B



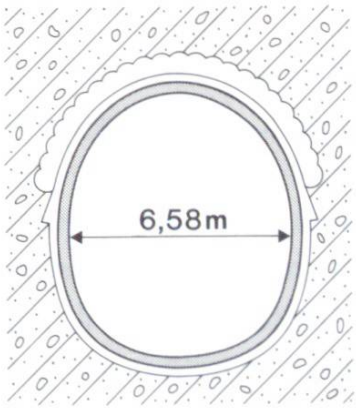


C – C





D – D



T. F. B.

konnte nicht im Tagbau gearbeitet werden. Der Aussenring ist in Spritzbetonbauweise ausgeführt und im Teilausbruch (Kalotte, Strosse) erstellt.

Der Kalottenvortrieb erfolgte in Wochentakten. Mit Hilfe des Jet Grouting wurde im ungestörten Lockergestein zuerst ein Schutzschirm von 16 m Länge erstellt. Dieser Schutzschirm besteht aus aneinandergefügten horizontalen «Jet-Säulen» von 70 cm Durchmesser. Im Minimum genügten 23 Säulen am oberen Drittel des Tunnelprofils. Je nach Bodenverhältnissen konnten seitlich noch weitere Säulen angebracht werden. Anschliessend folgten Ausbruch und Sicherung in Etappen von 1 m Abstand. Dieser Arbeitsgang war der aufwendigere Teil und umfasste Schrämen des Ausbruchprofils, 1. Lage Spritzbeton, Stellen der Einbaubögen (Stahlgitterträger, a = 1 m), Einlegen von Netzarmierung mit 2. Lage Spritzbeton, Anbringen einer durchgehenden Netzarmierung und 3. Lage Spritzbeton (Abb. 6–8). Die endgültige Dicke des Aussenrings betrug mind. 25 cm. In diesem Bauzustand erübrigte sich eine Sicherung der Ortsbrust dank des vorausgehenden Schutzschirms. Das Gewölbe aus horizontalen Säulen hatte hier den Zweck, die Arbeitsetappen von 1 m Länge zu ermöglichen und den Gebirgsdruck des Lockermaterials zwischen dem letzten Einbaubogen und der Ortsbrust zu überbrücken. Nach Abschluss der letzten 1-m-Etappe verblieb noch ein Schutzschirm von 2 m Länge im ungestörten Lockermaterial. Für das Jet Grouting des folgenden Wochentakts wurde er mit Spritzbeton geschützt.

Das Aufteilen der Doppelspur in zwei Einspurröhren ermöglichte einen alternierenden Bauablauf: Während in der einen Röhre das Jet-Grouting-Team arbeitete (einschichtig), wurden in der andern Röhre gleichzeitig die Ausbruch- und Sicherungsarbeiten gemacht (zweischichtig). Daraus ergab sich ein regelmässiger Baufortschritt von 14 m Kalottenvortrieb innert 10 Arbeitstagen.

Hinter dem Kalottenvortrieb folgte der Strossenabbau und der Ringschluss des Aussenringes. Der Innenring besteht aus Ortbeton (unarmiert, d = 30 cm) und wurde erst nach dem Durchschlag eingezogen.

Mittels Jet Grouting konnten wechselnde Bodenverhältnisse (Moräne, Lehm, Findlinge) problemlos durchfahren werden. Beim Ausbruch zeigte sich, dass der Boden in der Umgebung der etwa 70 cm dicken Säulen nicht als Lockermaterial ausgehoben, sondern geschrämt werden musste. Dies deutet auf eine bleibende, zusätzliche Verfestigung hin. Der Zementverbrauch betrug 180–250 kg HPC je m^1 Säule (inkl. Anteil im Rückfluss).

Während des Jet-Vorganges beobachtete die Bauleitung die kritischen Messpunkte an der Geländeoberfläche. Befürchtet wurden

Abb. 6 Ortsbrust im Lockergestein, durch Schutzschirm gesichert. Einbau des Aussengewölbes in Etappen von 1 m.

Abb. 7 Einbaubögen und Spritzbeton (armiert).

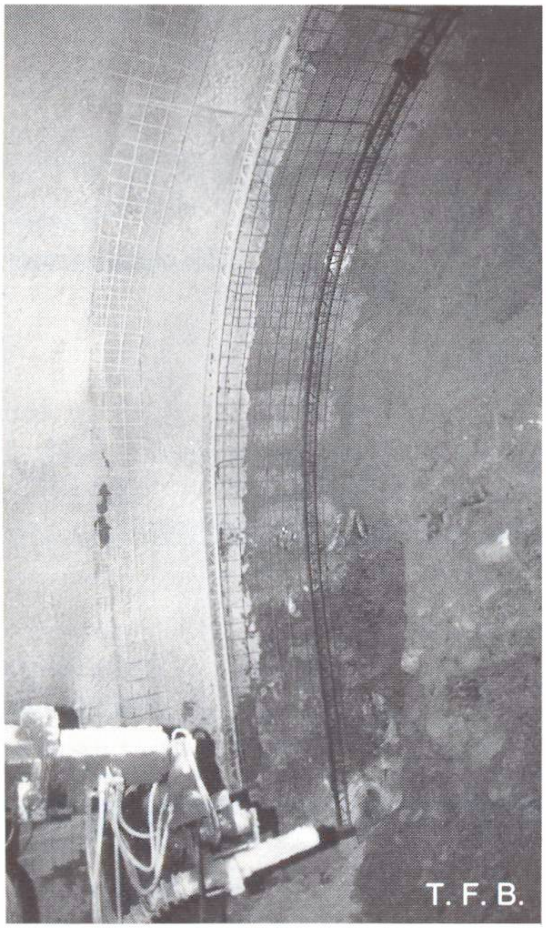


Abb. 8 Geschrämtes Ausbruchprofil.
Deutlich sichtbar sind die hellen Jet-Säulen.

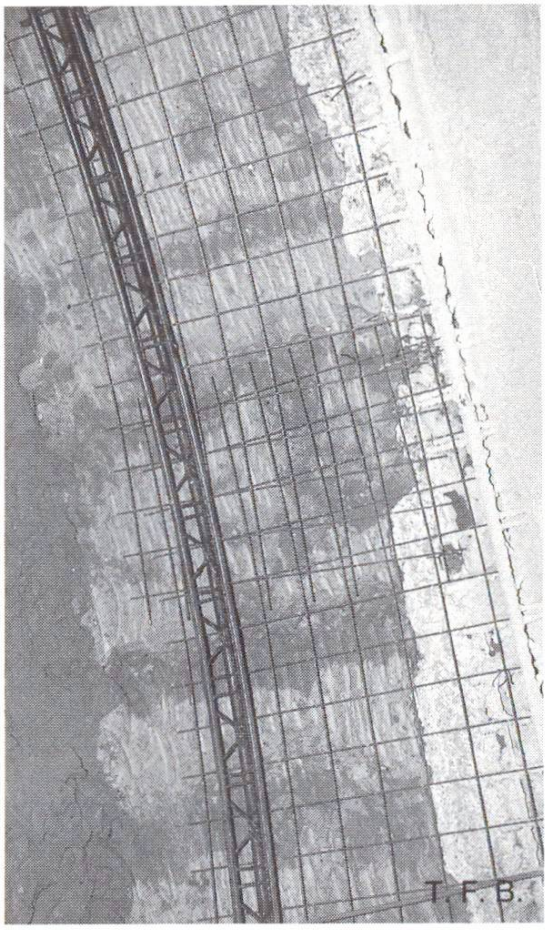
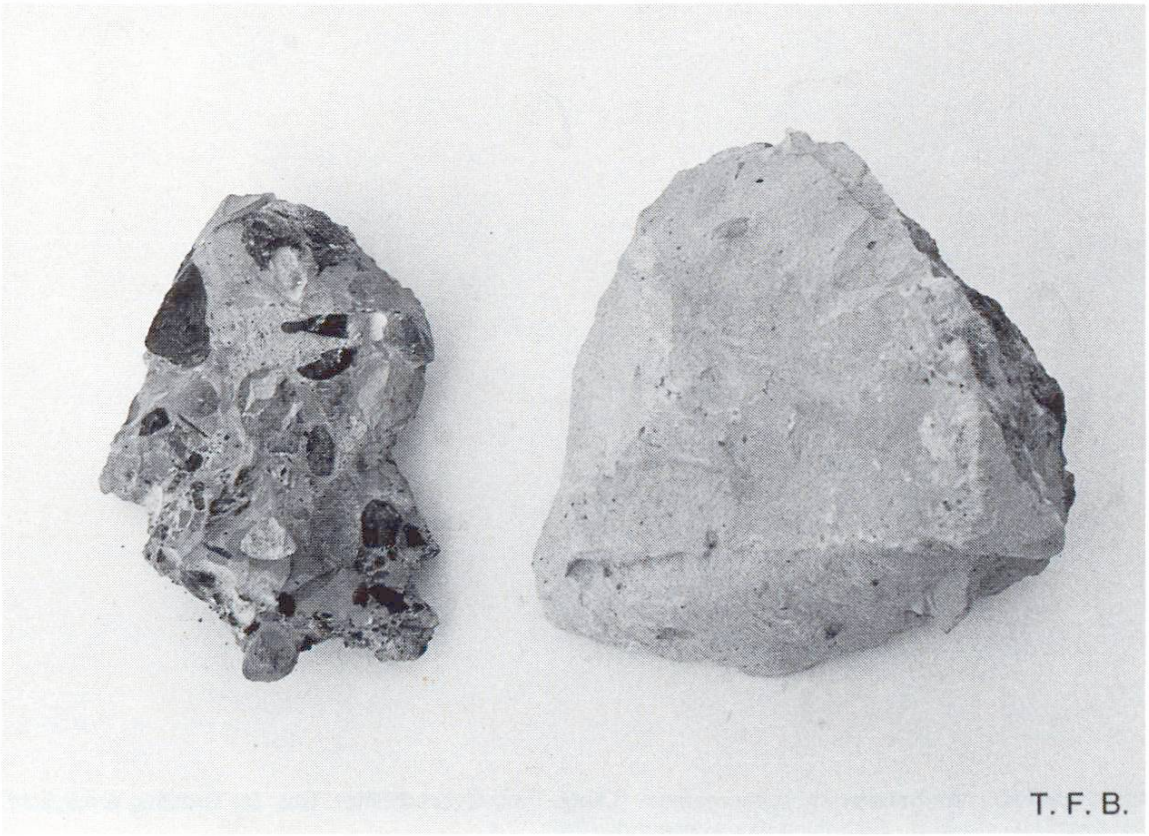


Abb. 9 Teil einer Jet-Säule. Zur Überprüfung der Materialeigenschaften wurde in der Ortsbrust eine Probesäule hergestellt und dann ausgegraben.

Abb. 10 Zwei Probestücke aus unterschiedlichem Lockergestein, das mit Jet Grouting vermörtelt wurde. Links: Moräne. Rechts: Seeablagerung.



vor allem Hebungen infolge des hohen Arbeitsdrucks. Durch minutiöse Überwachung konnten Setzungen und Hebungen in Grenzen gehalten und sogar eliminiert werden. Minimal waren auch die Nachsetzungen infolge Strossenabbaus und Ringschlusses.
Mit Hilfe der gewonnenen Erfahrungen konnten die letzten Etappen im Bereich des Riesbachtunnels ohne Beeinträchtigung des fahrplanmässigen Zugsverkehrs und ohne Schäden am gemauerten Tunnelgewölbe ausgeführt werden. Als zusätzliche Sicherheitsmassnahme wurde das Jet Grouting neben dem Riesbachtunnel dauernd überwacht. Das Überwachungspersonal befand sich im bestehenden Tunnel und stand in ständigem Telefonkontakt mit der Ausführungsequipe.

Vorteile des Jet Grouting für Tunnelbauten im Lockergestein

Bezüglich *Baugrund* hat das Jet Grouting folgende Vorteile: Mit dieser Bauhilfsmassnahme können nahezu alle Lockergesteine durchfahren werden. Findlinge und Felsblöcke bilden keine nennenswerten Hindernisse, sofern die Geräte mit genügend Kenntnis der Bohrtechnik bedient werden. Durch Steuerung des Arbeitsablaufs ist der Wirkungskreis des Jet Grouting kontrollierbar. Hebungen und Setzungen lassen sich in Grenzen halten. Die erhärteten Säulen verbleiben im Boden und bilden eine dauernde Verfestigung in unmittelbarer Nähe des Tunnelgewölbes. Sie sind ein guter Haftgrund für ein aufzubringendes Spritzbetongewölbe. Gegen Gebirgswasser wirken sie abdichtend. Für Grossprofile im Grundwasser kann allerdings auf eine Wasserhaltung nicht verzichtet werden.
Bezüglich *Bauverfahren* ist das Jet Grouting nicht an ein Kreisprofil gebunden. Es bringt einen fortlaufenden Aufschluss der kommenden Tunnelmeter. Bei örtlichen Störungen ermöglicht es, zusätzliche Unterfangungen oder Widerlager für das Gewölbe bzw. für die Ortsbrust einzubauen. Die Installationen an der Ortsbrust sind frei beweglich und erlauben das rasche Umstellen der Methode, d. h. die Anpassung an wechselnde Bodenverhältnisse. So lohnt sich ihr Antransport auch für kürzere Tunnelabschnitte im Lockergestein. Baufortschritt und Kosten sind mit den andern Bauhilfsmassnahmen vergleichbar und haben dem Jet Grouting zum Einsatz verholfen.

Bruno Meyer

Zürcher S-Bahn: Bau der Einspurröhren im Zürichbergtunnel

Bauherr
Schweiz. Bundesbahnen, Kreis III, Zürich

Projekt und Bauleitung
Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Zürich

Bauausführung
Arbeitsgemeinschaft Baulos 5.05: AG Conrad Zschokke, AG Heinrich Hatt-Haller, Marti AG und Rothpletz, Lienhard & Cie. AG

Jet Grouting
Ausführung durch die oben genannten Bauunternehmungen unter dem Namen ATJ (Arbeitsgemeinschaft Tunnel-Jetting) mit Sitz bei Rothpletz, Lienhard & Cie. AG, Aarau

Bildhinweis

Abb. 1, 2, 6, 7, 8, 9: Rothpletz, Lienhard & Cie. AG, Aarau
Abb. 3, 5, 10: TFB Wildegg
Abb. 4: Arbeitsgemeinschaft Baulos 5.05, Zürich

TFB

Zu jeder weiteren Auskunft steht zur Verfügung die
TECHNISCHE FORSCHUNGS- UND BERATUNGSSTELLE
DER SCHWEIZERISCHEN ZEMENTINDUSTRIE
5103 Wildegg Postfach Telefon 064 53 17 71