

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 102 (1984)
Heft: 49: Zur Eröffnung des Loppertunnels - N8

Artikel: Spezielle Sicherungsmassnahmen beim Bau
Autor: Gugger, Beat
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-75583>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

Spezielle Sicherungsmassnahmen beim Bau

Von Beat Gugger, Locarno

Der Loppertunnel liegt auf der Nordseite in einer Gehängeschuttzone. In ihr musste auf einer Länge von 260 m im Haupttunnel Richtung Luzern und von 230 m im Anschlussstunnel Richtung Gotthard ein Querschnitt von 102 m² bzw. 87 m² ausgebrochen werden. Die Überdeckung beträgt anfänglich etwa 120 m, abnehmend auf Null bei den Nordportalen. Die Gehängeschuttzone besteht aus kohäsionslosen Lockergesteinen mit Bergsturzböcken. Der Blockanteil grösser 0,5 m Durchmesser beträgt rund 18%, wobei aber einzelne Blöcke das ganze Ausbruchprofil abdecken. Die Hohlräume sind nur zum Teil mit feinmaterialreichen, jedoch nicht bindigen Einschwemmungen gefüllt. Daraus ergibt sich, zusammen mit der fehlenden Kohäsion, eine lockere Lagerung mit rolligem Verhalten, was beim Ausbruch zu Niederbrüchen führte.

Ausbruchvorgang

Eine Vorverfestigung der Lockergesteine mittels Injektionen von der Oberfläche aus konnte wegen der grossen Überlagerung nur beim Nordportal des Haupttunnels ausgeführt werden. Für das Auffahren der rolligen, kohäsionslosen Lockergesteine wurde daher die

«deutsche Bauweise» gewählt (Bild 1). Zuerst sind die oberen Sohlstollen auf die ganze Länge der Lockergesteinsstrecke mit Marciavantivortrieb ausgebrochen und anschliessend auf Etappenlängen von 30 m–50 m der Aussenring erstellt worden. Dies erfolgte mit dem Unterfahren der oberen Sohlstollen ebenfalls im Marciavantivortrieb, mit anschliessendem Betonieren der Widerlager und der Paramente, mit dem Ausbrechen der Kalotte mittels Messervortrieb und nachfolgendem Betonieren des Gewölbes sowie als letztem Arbeitsgang mit dem Abtrag des Kerns und dem Einziehen des Sohlgewölbes.

Das abschnittsweise Erstellen des Aussenrings wurde gewählt, um die Deformationen und Setzungen möglichst minimal zu halten. Durch den geschlagenen Marciavantivortrieb sowie durch die Niederbrüche in den oberen Sohlstollen wurde das Ausbruchmaterial entlang den Abwicklungsflächen zusätzlich aufgelockert. Bei jedem Regenwetter wurde das in den Hohlräumen vorhandene Feinmaterial aus- und weitergeschwemmt, so dass die grossen Blöcke mit der Zeit als Einzellasten auf den Stahleinbau drückten und entsprechende Deformationen bewirkten. Infolge der notwendigen parallelen Führung des Haupt- und Anschlussstunnels

mit einem Abstand von nur 9 m beeinflussten sich die aufgelockerten Bereiche der einzelnen Röhren gegenseitig. Dies führte zu entsprechend grossen Auflasten auf die kernseitigen Paramente und damit zu entsprechenden Deformationen und Setzungen.

Injektionen zur Hangstabilisierung

Als erste Injektionsarbeit wurde beim Nordportal des Haupttunnels die Hangschulter von der Oberfläche aus mit Zementinjektionen stabilisiert. Die Überdeckung des Tunnelgewölbes betrug in diesem Bereich weniger als 6 m. In einem Raster von 2×1,75 m wurden verrohrte Bohrungen Ø 86 mm mit einer Länge bis 11 m abgeteufelt. In diese Verrohrungen sind Kunststoffmanschettenrohre Ø 1,5" eingeführt worden, die alle 0,33 m Austrittsöffnungen für das Injektionsgut aufwiesen. Mit einer speziellen Injektionslanze wurde nun bei jeder Austrittsöffnung die vorgesehene Injektionsmenge eingepresst (Bild 2). Die Zementsuspension war mit einem W/Z-Faktor von 1,95–2, mit Bentonit von rund 20% und mit Silikat-Wasserglas von 4–8% des Zementgewichtes hergestellt. In einer ersten Phase wurde ein äusserer Abdichtungsschirm erstellt, in dem die Randinjektionsrohre als vertikaler Abschluss sowie die untersten Austrittsöffnungen der übrigen Injektionsrohre als horizontaler Abschluss injiziert wurden.

Bild 1. Profil in den Lockergesteinen

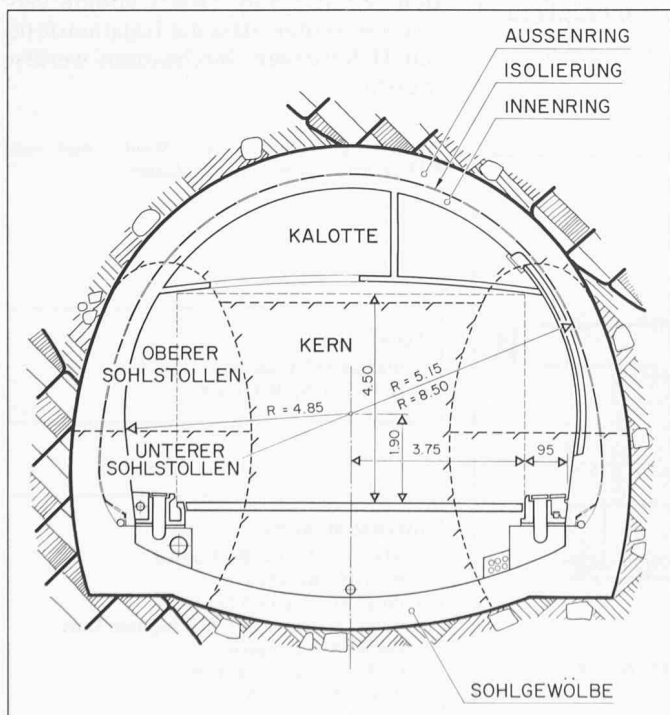
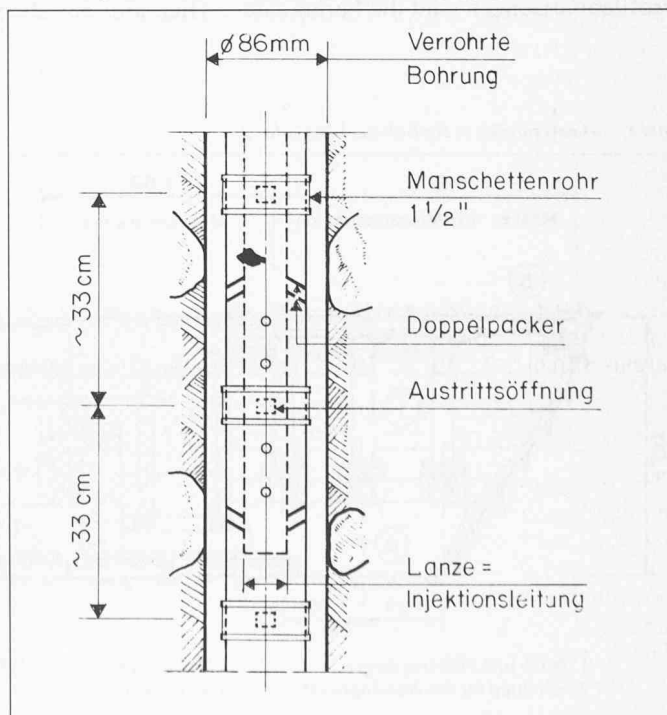


Bild 2. Injektionslanze mit Manschettenrohr und Doppelpacker



Diese erste Phase ist mit einem geringen Injektionsdruck ausgeführt worden, damit das Injektionsgut nicht zu stark verlaufen konnte. Der verbliebene Kern konnte dann mit erhöhtem Druck ausinjiziert werden. Die Injektionsdrücke wurden kontinuierlich graphisch aufgezeichnet und die Injektionsmengen mit einem Zählwerk festgehalten. Wurde kein genügender Druckanstieg festgestellt, konnte dank der verwendeten Manschettenrohre und der Injektionslanze mit Doppelpackern jede Austrittsöffnung der Injektionsrohre nachinjiziert werden.

Injektionen während den Vortriebsarbeiten

Zementinjektionen

Zur Verhinderung von weiteren Niederbrüchen beim Auffahren der Kalotte mit Messervortrieb sind verschiedene Ausführungsarten von Zementinjektionen untersucht worden. Ein Injizieren der Kalotte von der Vortriebsbrust aus erwies sich zeitlich und arbeitstechnisch als zu grosse Behinderung. Als einzige Möglichkeit verblieb das Injizieren des Kalottenbereichs aus einem der oberen Sohlstollen. Sämtliche Zementinjektionen sind von der Firma *SIF Renens* ausgeführt worden.

Während dem Ausführen der verrohrten Bohrungen $\varnothing$ 86–100 mm ergaben sich Schwierigkeiten infolge Verklemmen der Bohrgestänge in den einzelnen locker gelagerten Blöcken. Damit die Injektionsrohre nicht verdrückt wurden, waren anstelle von Kunststoffrohren Stahlmanschettenrohre versetzt worden. Bei der Berechnung der Injektionsmenge ist von einem Hohlraumgehalt von 30% ausgegangen worden. Dies genügte jedoch nicht, da sich nach dieser Injektionsphase noch kein Druckanstieg feststellen liess. Erst nach dem Injizieren von weiteren 10 Vol.-% konnte eine teilweise Verfüllung der Hohlräume anhand von Injektionsdrücken von 3–5 bar angenommen werden. Beim Ausbrechen der Kalotte zeigte sich, dass das Injektionsgut trotz Beimischung von 20% Bentonit und 4% Wasserglas-Silikat z.T. bis in den Kernbereich verlaufen war.

Polyurethan-Injektionen

Die vorgenannten Zementinjektionen erwiesen sich als nützlich, allerdings auch als zeitaufwendig und arbeitsintensiv. Die Suche nach einem vortriebsgerechteren Injektionsverfahren blieb lange Zeit erfolglos. Im Frühjahr 1983 wurde mit der Firma *Sika* eine Versuchsserie mit Polyurethan-Hartschaum durchgeführt.

Der Polyurethan-Hartschaum besteht aus 2 flüssigen Komponenten, die im Verhältnis 1:1 gemischt werden. Die Verarbeitungstemperatur soll 20–24 °C betragen, d.h. die Fässer mit den beiden Komponenten mussten vor Injektionsbeginn im Tunnel vorgeheizt werden. Die minimale Untergrundtemperatur durfte nicht < 5 °C sein. Die materialtechnischen Daten lauteten wie folgt:

- Startzeit, d.h. die Zeit ab Mischvorgang bis zum Beginn der Abbindezeit
rund 25–30 sec
- Abbindezeit
100 sec
- Steigzeit, d.h. die Zeit, während der sich der Polyurethan-Schaum noch ausbreitet
rund 2–2½ min
- Raumgewicht
rund 38 kg/m³
- 1 l der gemischten Komponenten ergibt bei freier Schäumung
rund 33 dm³
- Druckfestigkeit
 - frei geschäumt
rund 0,13 N/mm²
 - formgeschäumt
rund 2 N/mm²

In einer ersten Versuchsphase an der Vortriebsbrust wurde durch nachträgliches Freilegen der geschäumten Lanzen das Steigverhalten des PU gemessen und der Lanzenabstand untersucht. Die Injektionen sind mit einer 8-bar-Druckpumpe ausgeführt worden, wobei die beiden Komponenten zur Nutzung der Steigzeit erst kurz vor dem Lanzeneintritt über ein Mischventil zusammengemischt wurden. Nebst variablen Lanzenabständen sind auch verschiedene Lochanordnungen an den Lanzen untersucht worden. Bereits die ersten Resultate zeigten, dass für den Lanzenabstand vorwiegend die Startzeit des PU-Schaumes und die Materialauflockerung massgebend sind.

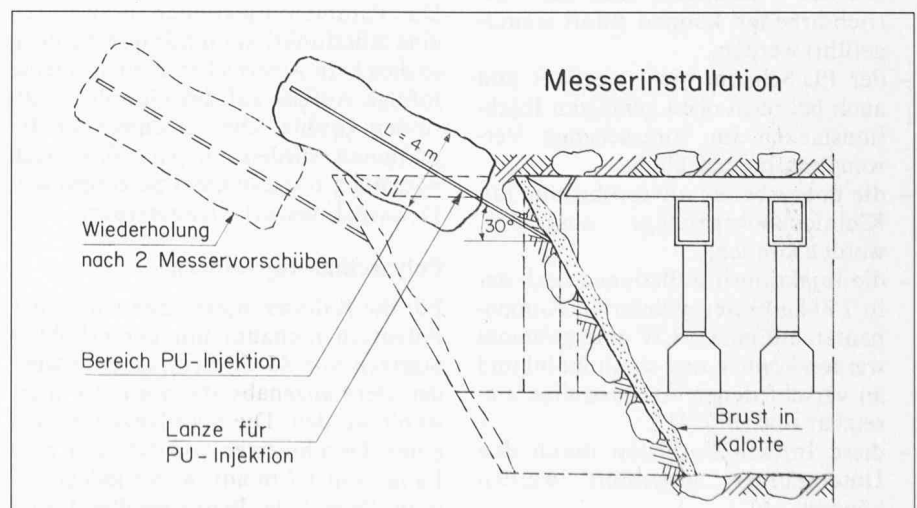
Eine weitere Versuchsreihe galt der Festlegung der Menge PU pro Lanze. Nebst Versuchen vor Ort wurden ebenfalls mehrere Kisten von 1 m³ Inhalt mit Lockergestein aus dem Vortrieb ge-

füllt, verschlossen und mit zentrisch versetzten Lanzen ausinjiziert. Nach dem Ausschalen der Probekörper konnte festgestellt werden, dass mit 20 kg PU-Schaum rund die Hälfte des Lockergesteins verfestigt war, bei 30 kg etwa zwei Drittel und bei 40 kg etwa 90%. Eine vollständige Verfestigung von 1 m³ Lockergestein ergab sich bei 50 kg PU. Gleichzeitig konnte beobachtet werden, dass eine grössere Menge von PU nicht eine entsprechend grössere Ausbreitung ergibt, sondern vor allem eine grössere Stauchung des sich ausdehnenden Schaums und damit eine bessere und regelmässige Verfüllung sämtlicher Hohlräume sowie eine erhöhte Druckfestigkeit.

Unter Berücksichtigung der praktischen Versuche wurde für die am Lopper angetroffenen Lockergesteine folgende Ausführungsart festgelegt:

Lanzendurchmesser ¾", Lanzenabstand 0,6–0,8 m. Lanzenlänge 4 m mit Rundlöchern nur auf den vordersten 3 m und eine mittlere Injektionsmenge von 30 kg PU pro Lanze. Die 4-m-Injektionslanzen wurden, damit die Injektionsarbeiten immer nach zwei Messervorschüben während dem Betonieren des Kalottengewölbes durchgeführt werden konnten, in Abhängigkeit der Länge des Messervortriebs gewählt (Bild 3). Um ein Austreten des Injektionsgutes zu verhindern, musste im Bereich der Lanzen die Vortriebsbrust bis unter die Messer eingespritzt werden. Für die unter 30° geneigten Injektionslanzen sind mit Handbohrsäulen Bohrlöcher $\varnothing$ 32–38 mm ausgeführt worden. Die Stahllanzen mussten unmittelbar danach eingeschlagen werden, z.T. mit etwelchen Schwierigkeiten, da die Bohrlöcher im rolligen Lockergestein einfielen. Anschliessend wurden die auf einem LW installierten Injektionseinrichtungen rund 20 m

Bild 3. PU-Injektionen während Vortrieb



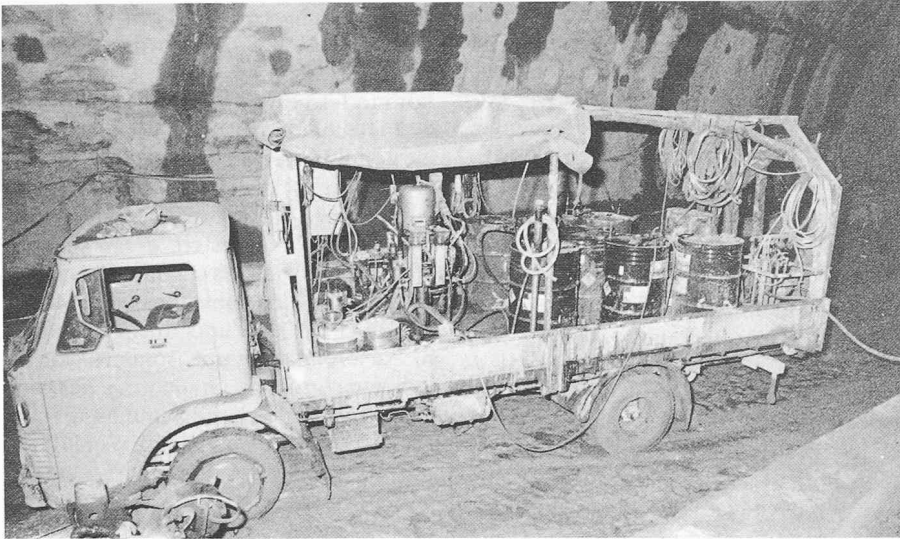


Bild 4. Mobile PU-Injektionsanlage

hinter der Tunnelbrust vorbereitet. Das Injizieren der i.M. 16 versetzten Lanzen pro Querschnitt dauerte ungefähr 40–60 Minuten. Bereits unmittelbar nach Abschluss der Injektionsarbeiten war der PU-Schaum soweit ausgehärtet, dass mit den Vortriebsarbeiten wieder begonnen werden konnte.

Das vorgenannte Konzept erwies sich als vortriebsgerecht und konnte für die noch auszuführenden Ausbrucharbeiten in der Kalotte beibehalten werden. Eine Verbesserung wurde nur noch erreicht, nachdem die Startzeit des PU-Hartschaums auf etwa 45–50 Sekunden erhöht werden konnte. Damit konnte bei einem vorgegebenen Lanzenabstand von 0,8 m bei 30 kg PU pro Lanze und einem Hohlraumanteil von 30–40% eine Ausbreitung von mind. 0,4 m erreicht werden.

Als besonders vortriebsgerecht erwies sich das System, weil:

- die Reaktionszeit des PU nur wenige Minuten beträgt; eine Verfestigung des Lockergesteins ist daher unmittelbar nach Abschluss der Injektionsarbeiten vorhanden, und die Vortriebsarbeiten können sofort weitergeführt werden,
- der PU-Schaum nicht wegläuft und auch bei nach oben geneigten Injektionslanzen im vorgesehenen Verwendungsbereich bleibt,
- die Bohrarbeiten unverroht und mit Kleinlochbohrgestänge ausgeführt werden können,
- die Injektionsinstallationen inkl. der in 250-kg-Fässer gelieferten Komponenten auf einem LW untergebracht werden können und somit mobil und an verschiedenen Arbeitsstellen einsetzbar sind (Bild 4),
- diese Injektionsarbeiten durch den Unternehmer ausgeführt werden können.

Konsolidierungsinjektionen nach Abschluss der Vortriebsarbeiten

Nachdem der Aussenring erstellt war, wurden vor dem Applizieren der Isolationsfolie noch verschiedene Konsolidierungsinjektionen ausgeführt. Zur Anwendung kamen PU-Injektionen und Zementinjektionen. Die PU-Injektionen hatten die Aufgabe, das zwischen den Blöcken noch vorhandene Feinmaterial zu binden und ein Ausschwemmen zu verunmöglichen. So soll verhindert werden, dass sich die grösseren Blöcke mit der Zeit weiter bewegen und direkt auf dem Aussenring aufliegen. Die Zementinjektionen unter den Widerlagern verfestigten das Lockergestein und stoppten somit weitere Setzungen. Ebenfalls Zementinjektionen wurden im aufgelockerten Kern zwischen dem Haupt- und Anschlusstunnel sowie hinter den Paramenten vorgenommen. Die Kerninjektionen dienten zur Verfestigung des stark aufgelockerten Bereichs und damit zur Verhinderung von zusätzlichen Auflasten auf die kernseitigen Paramente. Die Paramentinjektionen bezweckten eine Stützfunktion im Kämpferbereich, so dass kein Ausweichen der Paramente infolge Auflast auf das Gewölbe stattfinden konnte. Die verschiedenen Injektionen wurden nur partiell, je nach vorgängig festgestelltem Setzungs- und Deformationsverlauf, ausgeführt.

Polyurethan-Injektionen

Für die Kalotteninjektionen wurde der Polyurethanschaum mit der erhöhten Startzeit von 45–50 Sekunden verwendet. Der Lanzenabstand war mit 1 m gewählt worden. Die Stahllanzen wiesen einen Durchmesser von $\frac{3}{4}$ " und eine Länge von 1,7 m auf, wobei jedoch 0,5 m im Bereich des Betongewölbes liegen

und somit ein Injektionsschirm von 1,2 m errichtet wurde. Im Mittel sind pro Lanze 20 kg PU-Schaum verpresst worden. Waren jedoch bei den Bohrarbeiten für das Versetzen der Lanzen grössere Hohlräume festgestellt worden, wurde das in Bohrprotokollen festgehalten und die entsprechenden Lanzen mit 30 bis 35 kg PU injiziert.

Als nachteilig erwies sich das Abtrennen der Lanzenenden nach erfolgter Injektion. Die beim Verbrennen des in der Lanze erhärteten Schaumes entstehenden giftigen Gase mussten abgesaugt werden. Das Abtrennen mit einer Trennscheibe erwies sich als ungeeignet.

Zementinjektionen

Bei den während den Ausbrucharbeiten ausgeführten Zementinjektionen musste festgestellt werden, dass das Injektionsgut trotz Beimischung von 4–8% Silikat-Wasserglas teilweise verlaufen war. Daher musste die Silikatzugabe bis auf 20% erhöht werden. Dies bedingt aber das sogenannte Zweikomponenten-Verfahren, da die verdickte Zementsuspension nicht mehr über längere Zuleitungen gefördert werden kann. Die Zementsuspension mit dem Bentonit und das Silikat werden in separaten Zuleitungen gefördert und erst kurz vor der Injektionslanze über einen Mischkopf zusammengefügt. Der Abstand des Mischkopfes zur Injektionslanze und die Injektionsgeschwindigkeit müssen so gewählt werden, dass genügend Reaktionszeit zur Verdickung der Zementsuspension durch das Silikat vorhanden ist.

Bei den Fundamentinjektionen wurde ein Raster von 2 m gewählt mit 3 Lanzenreihen, die gegenseitig versetzt angeordnet worden sind. Die unten geschlossene Stahllanze $\varnothing 2"$ war mit Rundlöchern versehen und ragte ungefähr 2,5 m unter das Widerlager. Die mittlere Injektionsreihe war mit Manschettenrohren bestückt (analog den Injektionen beim Nordportal). Dies ermöglichte in einer ersten Phase das Injizieren der beiden äusseren Injektionsreihen sowie des untersten Teils der mittleren Injektionsreihe mit einer dickflüssigen Mischung mit 12–16% Silikat. Der verbleibende Kernanteil konnte dann in einer späteren Phase mit dünnflüssigerem Injektionsgut (4% Silikat) ausinjiziert werden, so dass Gewähr bestand, dass sämtliche Hohlräume verfüllt wurden.

Für die Paramentinjektionen wurden PU- und Zementinjektionen kombiniert angewendet. Am Paramentfuss war im Abstand von 1 m jeweils eine 2-m-Lanze mit 40 kg PU injiziert worden. Dies diente als Dichtungsschirm

für die nachfolgenden Zementinjektionen und verhinderte ein Weglaufen der Zementmischung. Im Kämpferbereich ist auch alle Meter eine 2 m lange Lanze versetzt und mit 2 m³ Injektionsgut verpresst worden. Von den 2 m³ Injektionsgut wurde zuerst ein Anteil von 1,2 m³ mit 4% Silikatzugabe eingebracht mit der Absicht, dass das Material nach unten bis zum Dichtungsschirm aus PU verläuft. Die restlichen 0,8 m³ wurden in einem zweiten Schritt mit 12–16% Silikat als dickflüssiges Mischgut injiziert, so dass im Kämpferbereich eine gute Verfestigung erreicht und dadurch eine Ausweichen der Paramente verhindert werden konnte.

Als aufwendig erwiesen sich die Kerninjektionen zwischen den 9 m auseinander liegenden Tunnelröhren. Bei den ausgeführten Bohrarbeiten zeigte sich, dass nach 5 m Bohrlänge auch bei verrohrten Bohrungen sehr grosse Schwierigkeiten auftraten. Gewählt wurden daher Injektionslanzen von 3 m und 5 m Länge in einem Abstand von 2 m.

In einem ersten Arbeitsgang sind die 3 m-Lanzen mit 20 m³ Injektionsgut und im Mittel 12% Silikat injiziert worden. Geplant war damit eine Verfüllung und Verfestigung der Hohlräume direkt hinter dem Parament. Bei den 5-m-Lanzen, in einem zweiten späteren Arbeitsgang verpresst, wurden 20 m³ einer dünnflüssigeren Mischung mit 4% Silikat verwendet. Über den bereits verfüllten Bereich sollte das Injektionsgut bis zur daneben liegenden Tunnelröhre verlaufen. Mit Injektionsaustritten bei Betonierfugen konnte dies auch festgestellt werden. Konnte bei den einzelnen Injektionslanzen nach Verpressung von 20 m³ Injektionsgut noch kein Druckanstieg auf 12 bar registriert werden, so wurden nochmals zusätzlich 10 m³ nachinjiziert. Der maximale Druck war jedoch auf 20 bar limitiert (Bild 5).

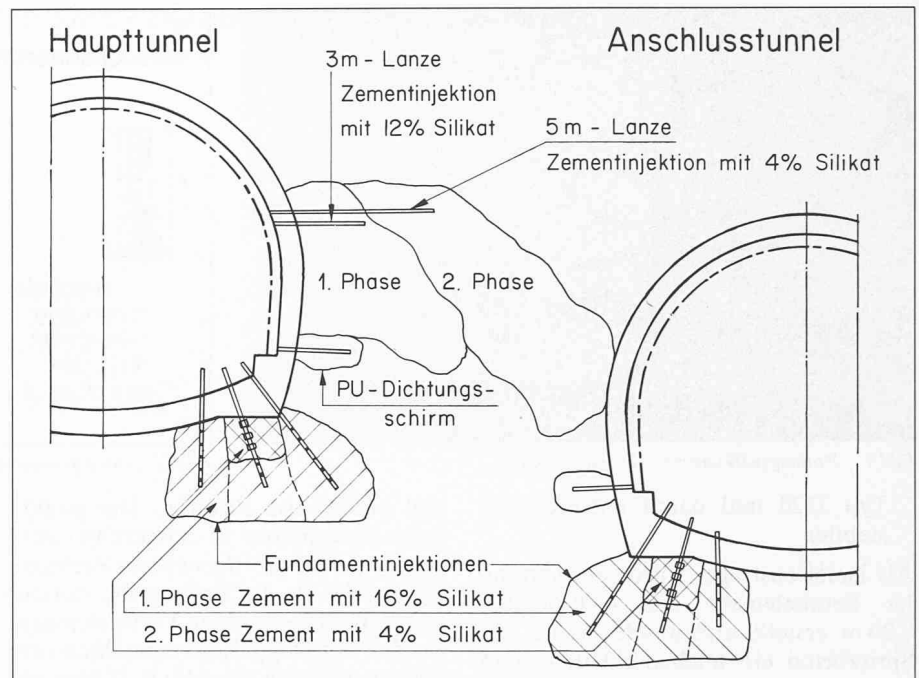


Bild 5. Injektionen zwischen den beiden Tunneln

Zusammenfassung

Am Loppertunnel sind sowohl Polyurethan- wie auch Zementinjektionen ausgeführt worden. Die PU-Injektionen erwiesen sich vorteilhaft im Zusammenhang mit den Vortriebsarbeiten, da die Ausführung sehr rasch und einfach vorgenommen werden konnte und eine sofortige Wirkung vorhanden war. Zudem lief das Injektionsgut nicht weg, was sich vor allem bei nach oben geneigten Injektionen als positiv auswirkte.

Die Zementinjektionen bewährten sich als Konsolidierungsmassnahme. Die Zement-Bentonit-Mischung kann je nach Zugabe von Silikat-Wasserglas mehr oder weniger verdickt werden und somit den verschiedenen Anforderungen angepasst werden. Als Vorteil erwiesen sich die Injektionen mit Man-

schettenrohren, ermöglichten sie doch ein gezieltes Injizieren einzelner Stellen und ein Nachinjizieren von ungenügend verfüllten Bereichen.

Generell kann festgehalten werden, dass in Lockergesteinen umfangreiche Abklärungen und Versuche notwendig sind zur Festlegung der Injektionsmenge und der Zusammensetzung der Injektionsmischung. Wichtig ist ausserdem die dauernde Überwachung der Injektionsarbeiten wie z.B. Injektionsdruck, Menge pro Lanze, Injektionsgeschwindigkeit usw. Bei der Ausführung von Ausbrucharbeiten ist immer zu bedenken, dass trotz Injektionen nicht eine 100prozentige Sicherheit gewährleistet ist, da immer wieder einzelne Stellen ohne Injektionsgut angetroffen werden können.

Adresse des Verfassers: B. Gugger, Bauing. HTL AG Ingenieurbüro Maggia, 6600 Locarno.

Abdichtungsmassnahmen

Von Beat Gugger, Locarno

Die Isolation in einem Tunnel dient zur dauernden Ableitung des anfallenden Berg- und Kluftwassers. In einem Hohlraum soll das Wasser frei abfliessen, so dass sich kein Wasserdruck aufbauen kann. Gleichzeitig kann auch vermieden werden, dass Feuchtstellen an den Tunnelwandungen entstehen. Die Schwierigkeit stellt sich nun beim Herstellen dieses Hohlraumes sowie bei der spätern Erhaltung desselben während dem Betonieren des Innenrings. Die zu wählende Unterlage der Abdichtungs-

bahn trägt einerseits zur Erzielung der Drainagewirkung, andererseits als Schutz vor Beschädigungen der Isolationsfolie durch den unebenen und rauen Untergrund entscheidend zum Funktionieren des Abdichtungssystems bei.

Wahl der Unterlage für die Isolationsfolie

Die bisher oft verwendeten Schaumstoffunterlagen erwiesen sich als ungenügend bezüglich Drainagewirkung,

wurden sie doch beim Betonieren so zusammengedrückt, dass beinahe kein Wasser mehr durchfliessen konnte. Auf der Lopper-Baustelle sind daher vier neuere Produkte verlegt, einbetoniert und auf ihre Drainagewirkung untersucht worden. Die vier ausgewählten Produkte waren:

- Vlies, 500 g/m², rund 5 mm stark, mit sehr feinen Fasern verwoben
- Drainmatte, 750 g/m², rund 10 mm stark, grobfaserig verwoben
- Enkamat Typ 7220, rund 14 mm stark, grobmaschig mit einseitiger feinmaschiger Schutzschicht
- Enkamat Typ 7020, rund 18 mm stark, grobmaschig mit ungefähr doppelter Drahtstärke gegenüber