

Stabilisierungskonzept im Habsburgtunnel: erfolgreiche Injektionsarbeiten beim Bau des N3-Habsburgtunnels

Autor(en): **Matter, J. / Waldmeyer, J.-P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **113 (1995)**

Heft 8

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78672>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

ASIC-Artikelreihe: Neuzzeitliche Aufgaben
 J. Matter, Zürich, und J.-P. Waldmeyer, Renens

Stabilisierungskonzept im Habsburgtunnel

Erfolgreiche Injektionsarbeiten beim Bau des N3-Habsburgtunnels

Bis zu 7 m mächtige, kohäsionslose Sandschichten und rollige Kies-Sand-Schichten führten beim Schildvortrieb in der Oströhre des Habsburgtunnels zu Niederbrüchen bis 600 m³. Um weitere Schwierigkeiten zu vermeiden, wurde der Baugrund in der Weströhre aus einem Vorstollen auf einer Länge von rund 370 m erfolgreich verfestigt. Das optimale Injektionsmittel wurde in ausgedehnten Vorversuchen bestimmt.

Der Bau des Habsburgtunnels hat mehr Schwierigkeiten bereitet, als man im voraus annehmen musste. Für die Lockergesteinsstrecke nach der Felszone wurde gemäss Amtsvorschlag ein Schildvortrieb mit Brustverbau und Bauhilfemassnahmen (Injektionen) ausgeführt. Nach zahlreichen kleineren und grösseren Niederbrüchen (10 bis 600 m³) in stark sandigen und rolligen Zonen der Oströhre wurde beschlossen, in beiden Tunnels einen Vorstollen zu erstellen, bis standfesteres Material angetroffen wird.

Der Habsburgtunnel

Der Habsburgtunnel führt vom Aaretal auf die rund 70 m höher gelegene Ebene von Scherz-Lupfig hinauf. Er weist 2 Röhren mit je 2 Fahrbahnen von 7,75 m Breite und einem Gefälle bzw. einer Steigung von rund 3% auf. Die Länge der Tunnelröhren beträgt je ca. 1500 m. Davon wurden 2x400 m im Tagbau und 2x1100 m im Bergbau erstellt. Bild 1 zeigt das überhöhte Längenprofil der Tunnelstrecke.

Von den Tunnelröhren von rund 3080 m (1530 m+1550 m) Gesamtlänge verlaufen 2780 m oder 90% im Lockergestein (Hochterrassenschotter) und 300 m oder 10% im Fels. Beim Lockergestein handelt es sich um vorbelastete, nicht bindige Kiese und Sande.

Injektionen aus dem Vorstollen

Aus dem Vorstollen der Oströhre heraus waren Injektionen mit PU-Schaum und Kunstharz mittels Injektionslanzen durchgeführt worden. Beim Vortrieb mit dem Schild musste man jedoch feststellen, dass das Injektionsmaterial in den kritischen sandigen Zonen wenig bis gar nicht wirksam war. Für die Weströhre wurde deshalb nach neuen Lösungen gesucht.

In-situ-Versuche in der Weströhre

Vorgehen und Versuche

Damit eine möglichst erfolgreiche Lösung gefunden werden konnte, wurde

geplant, in-situ-Versuche mit 2 Injektionsfirmen durchzuführen. Die Qualität der zu erwartenden Resultate konnte so vor Ort überprüft werden. Um ein möglichst breites Spektrum sowie den neuesten Stand der Injektionstechnik zu erhalten, wurden vom Projektverfasser 4 weltweit tätige Injektionsfirmen eingeladen, zum ausgeschriebenen Injektionskonzept und zum vorgesehenen Versuchsprogramm Lösungsvorschläge auszuarbeiten. Ziel des ausgeschriebenen Injektionskonzeptes war, ein stabiles Gewölbe ausserhalb der Schildschneide zu erzeugen, in dessen Schutz der Schildvortrieb ohne grössere Niederbrüche abgewickelt werden konnte.

Durchführung der Versuche

Aufgrund der Offerten wurden 2 Firmen mit je 2 Produkten in je 2 Baugrundarten ausgewählt.

Die Injektionsversuche wurden in den zusammen mit dem Geologen bestimmten Tunnelabschnitten sowie den vorgegebenen Injektionsflächen durchgeführt (Bild 2). Die Versuchsinjektionen fanden im Juli/August 1991 statt und wurden während der gesamten Dauer vom Projektverfasser begleitet.

Auswertung der Versuche

Nachdem die beiden Firmen ihre Versuchsprogramme gemäss Tabelle 1 im Vorstollen abgeschlossen und die Installati-

Firma	Produkt	Baugrund	
		Sand	Kiessand
SIF-GROUTBOR	Silikat-Gel	x	
	Micron S	x	x
Keller	Soilfrac	x	x
	Monosol	x	

Tabelle 1. Versuchsprogramme und Injektionsgüter

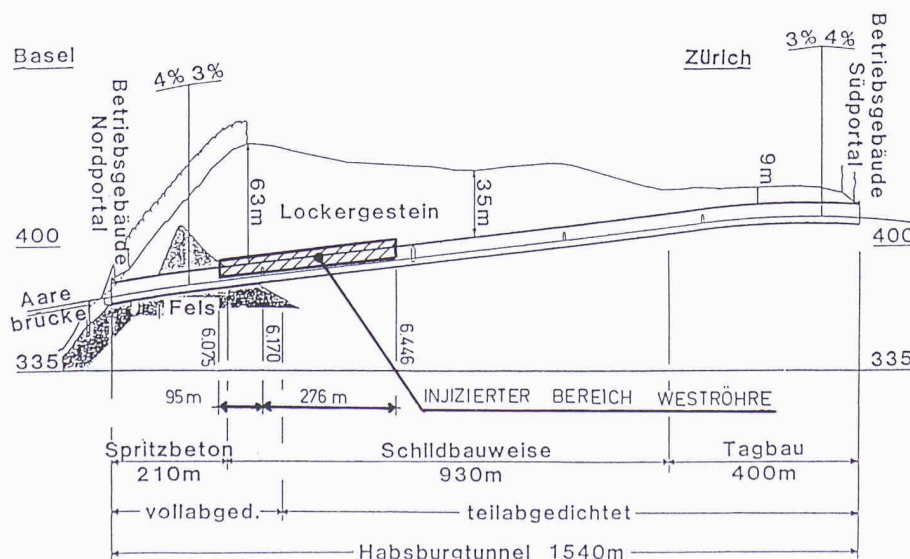


Bild 1. Überhöhtes Längenprofil des Habsburgtunnels

onen weggeräumt hatten, wurden die injizierten Zonen seitlich und im First mittels Sondierschlitzen freigelegt (Bild 3).

Für die Beurteilung wurden folgende Kriterien gewählt:

- Ausdehnung der injizierten Fläche,
- Festigkeit des injizierten Baugrundes,
- Umweltverträglichkeit der verwendeten Materialien.

Beim Ausbruch der Sondierschlitze (rechtwinklig zum Vorstollen) wurde die Verteilung des Injektionsgutes ca. alle Meter fotografiert und aufgezeichnet (Bild 4). Aus Umweltschutzgründen schieden die Silikatgel-Injektionen aus, obwohl sie relativ gute Resultate zeigten. Von den restlichen 3 Verfahren schnitt das Produkt Micron S eindeutig am besten ab. Die erreichte Festigkeit, sowohl im Sand als auch im Kies, entsprach den verlangten Anforderungen, und vor allem die Durchträn-

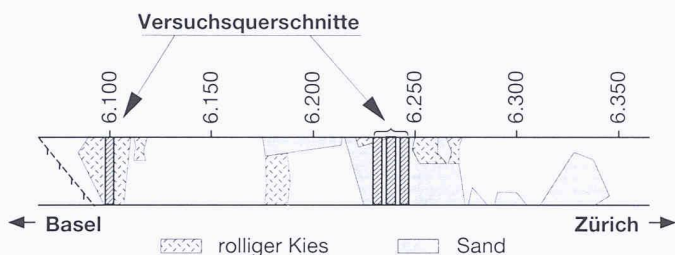


Bild 2.
Geologischer Längsschnitt durch die kritische Zone der Weströhre

kung des umgebenden Baugrundes erfüllte die Erwartungen.

Die Ausdehnung des injizierten Bereiches wurde durch Besprühen der Bodenoberfläche mit einer Phenolphthalein-Lösung (Rotfärbung) sichtbar gemacht.

Vergabe der Hauptinjektionsarbeiten

Während der Auswertung der Versuche offerierten die zwei am Versuch beteiligten Firmen den gesamten Umfang der Hauptinjektionen aufgrund von Vorgaben des Projektverfassers. Dadurch erhielt der Bauherr alle massgebenden Grundlagen wie Qualität, Kosten, Termine, um rechtzeitig entscheiden zu können. Der Projektverfasser empfahl dem Bauherrn, die Verfestigung des Baugrundes der Weströhre mit dem Produkt Micron S durchzuführen, wobei die überzeugenden Resultate aus den Vorversuchen ausschlaggebend waren.

Konzept der Stabilisierungsmassnahmen

Ziel der Injektionen

Um ein stabiles Gewölbe über dem Tunnel-Ausbruch zu erzeugen, mussten 3 verschiedene Ziele angestrebt werden.

- Verfüllen der Hohlräume, die während der Herstellung des Vorstollens, vorwiegend im First, entstanden sind.

- Wiederverdichten der aufgelockerten Zonen infolge Vortrieb des Vorstollens in den schluffigen, sandigen und kiesigen Bereichen.

- Und als Hauptziel das Konsolidieren der Sand- und sandigen Kiesschichten, insbesondere wo diese Schichten rollig waren und zum Teil schon bei der Ausführung des Vorstollens zu Einbrüchen führten.

Injektionsbereiche, Bohranordnung

Der Projektverfasser hat die 370 m lange Tunnelstrecke, welche mit Injektionen zu konsolidieren war, in 8 Zonen aufgeteilt entsprechend den Bodenerkundungen, die bei der Herstellung des Vorstollens aufgeschlossen wurden (Bild 5).

Die bereits für die Vorversuche gewählte Anordnung der Injektionsbohrung wurde bestätigt und beibehalten, wobei in einem Fächer maximal 11 radiale Bohrungen in der oberen Hälfte des Tunnelquerschnittes angeordnet wurden und die 10 Bohrungen der benachbarten Fächer winkelhalbierend lagen (Bilder 3 und 6).

Der Abstand der Bohrungen am Schildschneidenrand betrug in Ringrichtung 1,5 m und die Dicke des theoretisch

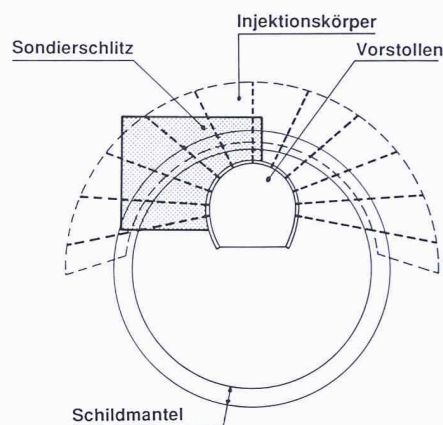


Bild 3.
Radiales Injektionskonzept aus dem Vorstollen (Bereich Kies-Sand)

konsolidierten Gewölbes 2,5 m, wovon 2 m ausserhalb der Schneide lagen. Um der Eindringungstiefe des Injektionsgutes Rechnung zu tragen und eine genügende Durchtränkung zu erreichen, wurde der Abstand der Fächer in den sandigen Kiesen und schluffigen Bereichen in Längsrichtung auf 1,5 m und in den Sandbereichen auf 1 m festgelegt. Die 2340 Bohrungen wiesen eine Totallänge von 10 260 m auf.

Injektionsmethode

Injektion von Lockergestein

Die effizienteste Methode zur Behandlung von Lockergestein ist die Injektion über Manschettenrohre. Lockergesteine sind in der Regel heterogen, sowohl in der Kornverteilung (Bild 5) als auch in der Lagerungsdichte und in der Durchlässigkeit. Um die feinsten Böden zu verfestigen oder abzudichten, müssen zunächst die umliegenden offenen und weniger dicht gelagerten Böden behandelt werden. Erst dann können immer feinere Böden mit stark eindringungsfähigen Injektionsgütern verpresst werden.

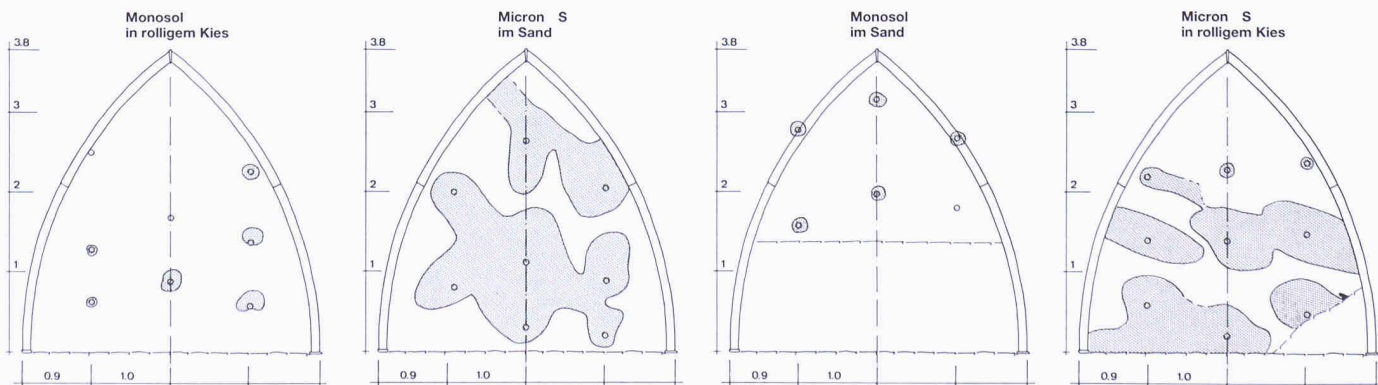


Bild 4.
Vergleich zwischen Micron S und Monosol in

sandigem und rolligem Baugrund (Sondierschlitz)

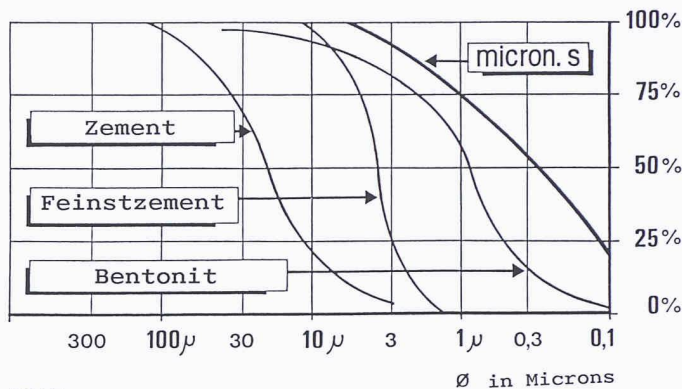
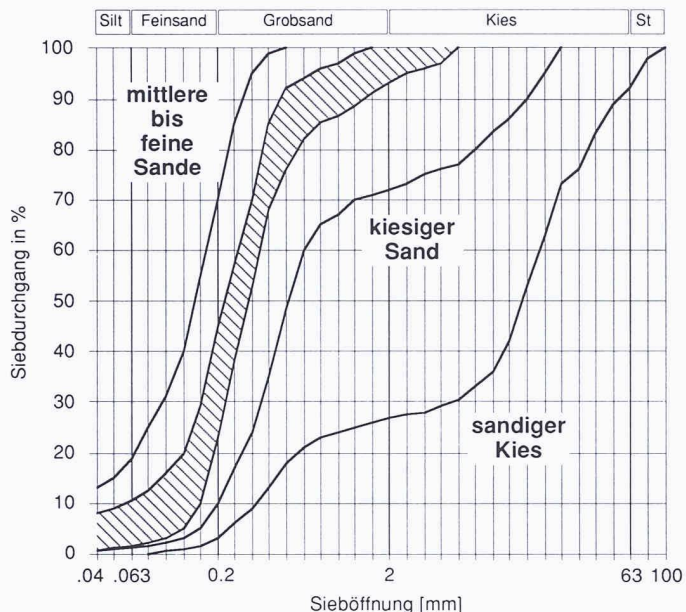


Bild 7. Kornverteilungen von Zement, Feinstzement, Bentonit und Micron S

Bild 5. Kornverteilung der Habsburger Hochterrassenschotter

Hauptanteil des Sandes

Eine Behandlung von Lockergestein benötigt daher eine mehrfache Injektion in 2, 3 oder 4 Phasen, wobei eine Bohrung mehrere Zonen durchfahren kann, die verschieden behandelt werden müssen. Um ein zeitraubendes und teures Wiederaufbohren zu verhindern, wurden die Injektionsbohrungen mit Manschettenrohren ausgerüstet, welche mehrfache Injektionen ermöglichen.

Abwicklung der Injektionsarbeiten

Zum Erreichen der beim Habsburgtunnel gesetzten Ziele mussten verschiedene Injektionsphasen durchgeführt werden.

Die Zahlen in Klammern beziehen sich auf Bild 6:

- Verfüllinjektionen zum Füllen der Hohlräume zwischen Verzugsblechen und Baugrund (2) mit Mörtel,
- Verdichtungsinjektionen des aufgelockerten Bodens zwischen Stollen und Injektionskörper (4) mit Bentonit-Zement,
- Begrenzungsinjektionen, Schaffung einer Barriere zur Verhinderung des Rückfließens des Injektionsmaterials (7) mit Bentonit-Zement,

Behandlung des Injektionskörpers, Hauptinjektion zur Verfestigung des lockeren Baugrundes (8 bis 10) mit Micron S.

Injektionsgüter

Im folgenden wird nur auf das Injektionsgut Micron S (Patent Bachy) eingegangen, da die anderen als bekannt vorausgesetzt werden. Micron S ist zur Verpressung von feinporigen Böden entwickelt worden, und zwar sowohl für Abdichtungen als auch für Verfestigungen. Im Gegensatz zum Silikatgel (Lösung), ist Micron S eine Aufschwemmung von mineralischen Stoffen mit erheblich feineren Partikeln als beispielsweise Bentonit-Zement.

Micron S besteht im wesentlichen aus einer Aufschwemmung von Silizium-Rauch und micronisiertem Kalk in Wasser. Das Größtkorn dieser beiden Stoffe ist heute für Injektionszwecke im Micron-Bereich. In Bild 7 sind zum Vergleich die Kornverteilungen von Zement, Feinstzement, Bentonit und Micron S aufgezeichnet.

Obwohl Micron S eine Aufschwemmung ist, geht bezüglich der Injizierbarkeit der Lockergesteine beim Durchlässigkeitsfaktor nur eine Zehnerpotenz gegenüber der Silikatgel-Lösung verloren. Bild 8 zeigt für Lockergestein die Anwendungsbereiche der verschiedenen Injektionsgüter in Funktion der Durchlässigkeit.

Das Verhältnis Feststoffanteil pro m³ Injektionsgut zur Druckfestigkeit nach 28 Tagen ist ebenfalls sehr zum Vorteil vom Micron S. Bild 9 gibt eine Zusammenfassung in der Micron S mit Schlacken- und Portlandzement verglichen wird.

Die geringe Dosierung von 120 kg Feststoff pro m³, die normalerweise für Verfe-

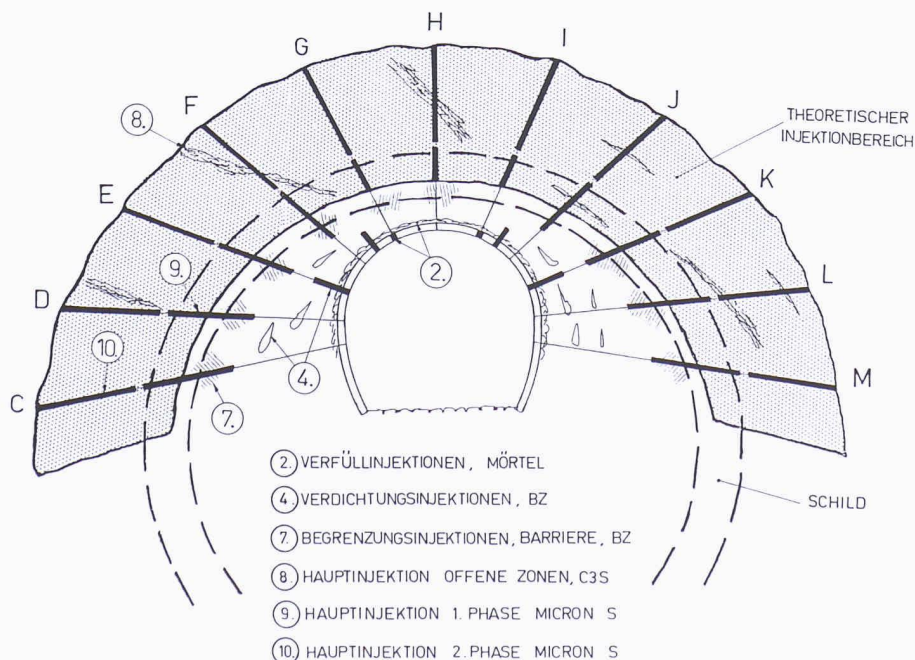


Bild 6. Abwicklung der Injektionsarbeiten

Injektionsgut	Verfestigung (V)		Anwendungsbereich						
	Wasserabdichtung (W)		10E-7	10E-6	10E-5	10E-4	10E-3	10E-2	10E-1
Zement		V							
Bentonit-Zement		W,V							
Injektionsgut mit Steinmehl, Schaumzement		W,V							
Zement-Mischungen mit erhöhtem Eindringungsvermögen		W,V							
Mineralische Feinstpartikel MICRON S		W,V							
Silikat	Verfestigung	konzentrierte Gels							
		gering viskose Gels							
Gel	Wasserabdichtung	konzentrierte Gels							
		stark verdünnte Gels							
Kunstharz	auf acrylischer Basis								
	auf phenolischer Basis								
	Polyurethan (Schaum)								
Bodeneigenschaften		Durchlässigkeit K in (m/s)	10E-7	10E-6	10E-5	10E-4	10E-3	10E-2	10E-1
			.Vorbelastete, grobkörnige alluviale Böden .Feinkörnige Böden (Sande u. Kiese, Sande, siltige Sande)				.Grobkörnige Böden .Brekziöse Ablag. .Grobkörnige alluv. Böden .offene Porositäten		

stigungsinjektionen gewählt wird, erklärt auch teilweise das gute Eindringungsvermögen und den günstigen Preis dieses Injektionsgutes.

Proben aus dem verfestigten Baugrund des Habsburgtunnels ergaben mittlere Druckfestigkeiten von 1,5 N/mm² in den sandigen Kiesen und 2,5 N/mm² in den Sanden, was für die Aushubarbeiten problemlos war.

Computergesteuerte Injektionen

Die grosse Anzahl der Injektionsphasen, die Vielzahl von Injektionsgütern und die riesige Anzahl von zu verpressenden Manschetten, hier mehr als 40000, hätten

ohne EDV-Unterstützung kaum beherrscht werden können.

Das angewandte Konzept erlaubte eine genaue Einhaltung der vorgegebenen Werte von Druck und Menge, indem der Computer selbständig die ferngesteuerten Injektionspumpen steuerte. Zudem zeigte die grafische Auswertung diejenigen Bereiche, welche nachinjiziert werden mussten oder wo Zusatzbehandlungen notwendig waren. Nicht zuletzt konnten die gemessenen Mengen direkt als Grundlage für die Abrechnung ausgedruckt werden.

Bild 10 zeigt das EDV-Konzept (EPICEA) von den Bohrparametern bis zu den grafischen Aufzeichnungen:

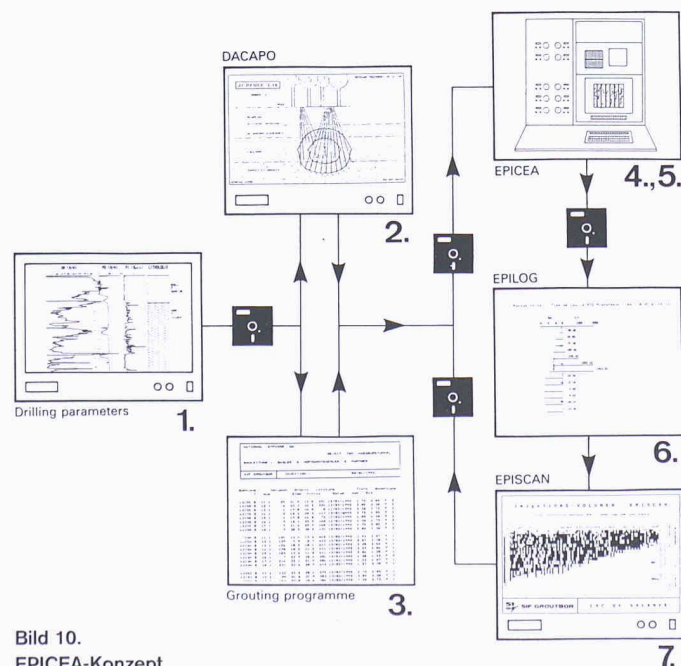


Bild 10. EPICEA-Konzept

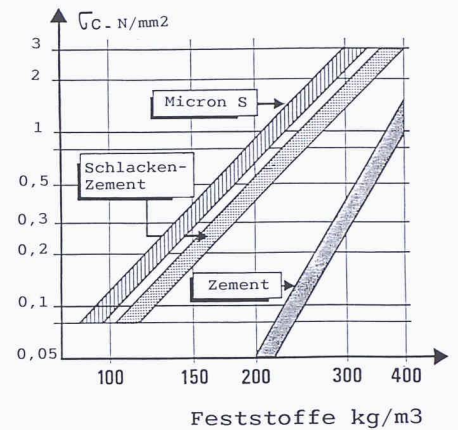


Bild 9. Einaxiale Druckfestigkeit nach 28 Tagen

Bild 8. Anwendungsbereiche der Injektionsgüter

- Element 1: Bodenprofile mit EDV erstellen
- Element 2: Optimale Bohrlochordnung (DACAPO)
- Element 3: Injektionsprogramm
- Element 4: Injektionssteuerung (EPICEA)
- Element 5: Injektionsüberwachung (EPICEA)
- Element 6: Auswertung (EPILOG)
- Element 7: Aufzeichnungen (EPIS-CAN)

Schlussbemerkungen

Für die umfangreichen Injektionsarbeiten in den schwierigen Baugrundverhältnissen des Habsburgtunnels hat sich die Durchführung von in situ Vorversuchen bestens bewährt. Die enge Zusammenarbeit zwischen Projektverfasser, Unternehmer und Bauherr hat zu einem optimalen Ergebnis geführt. Die lückenlose elektronische Steuerung, Überwachung und Auswertung der Injektionsarbeiten ermöglichte zudem eine klare Beurteilung der Qualität sowie fundierte Entscheide.

Während des Schildvortriebs bestätigten sich die guten Versuchsergebnisse, die mit Micron S-Injektionen erzielt worden waren. Die Resultate ermöglichten einen ungestörten, kontinuierlichen Vortrieb ohne weitere Niederbrüche.

Adressen der Verfasser:
J. Matter, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, SIA/ASIC, Forchstrasse 395, 8029 Zürich, und *J.-P. Waldmeyer*, SIF-Grouthor SA, 14, av. du Tir-Fédéral, 1020 Renens.