

# Erneuerung der Alten Mainzer Tunnel

## Einsatz von CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ als Injektionszement

Von Jürgen Domenig, Innsbruck, und Wolfgang Hemrich, Ulm

### 1 Einleitung

Der Alte Mainzer Tunnel wurde in den Jahren 1881 bis 1884 als durchgängiger zweigleisiger Tunnel mit einer Gesamtlänge von 1.196 m aufgeföhren, vermutlich nach der „Alten Deutschen Kernbauweise“. Die endgültige Sicherung des Bauwerks erfolgte mit einem Sandsteinmauerwerk.

In den 30er-Jahren des 20. Jahrhunderts war der Mittelteil des Tunnels durch die damals betriebsbedingten säurehaltigen Rauchgase dermaßen geschädigt, dass dieser Bereich abgebrochen und offengelegt wurde. Der damals entstandene Einschnitt teilte den Tunnel in zwei Teile: Seitdem bestehen die Alten Mainzer Tunnel aus dem Tunnel Mainz

Hauptbahnhof mit einer Länge von 654 m und dem Tunnel Mainz Süd mit einer Länge von 288 m. Der dazwischen liegende Eisgrubeneinschnitt hat eine Länge von 291 m und eine Tiefe von 27 m. Durch die Tunnel wird der Mainzer Hauptbahnhof mit dem Bahnhof Mainz Römisches Theater verbunden (Bild 1).

Um die Verkehrsanbindung zwischen den Zentren Mainz, Worms und Mannheim/Ludwigshafen verbessern zu können, musste die Verbindung zwischen dem Mainzer Hauptbahnhof und dem Bahnhof Mainz Römisches Theater viergleisig ausgebaut werden. Dazu wurde seit 1998 parallel zu den beiden Alten der zweigleisige Neue Mainzer Tunnel (Bild 1) mit einer Länge von 1.297 m

gebaut, der im Jahr 2003 in Betrieb ging. Im Herbst 2006 begann die Umleitung des gesamten Zugverkehrs auf den Neuen Mainzer Tunnel, da die Alten Mainzer Tunnel auf Grund ihres baulichen Zustands komplett erneuert werden mussten.

### 2 Planung und Ausschreibung

Im Zuge der Erneuerung wurde zur erforderlichen Nachrüstung für den Brand- und Katastrophenschutz eine Aufweitung des Tunnelquerschnitts von 42 m<sup>2</sup> auf 72 m<sup>2</sup> über Schienoberkante durchgeführt (Bild 2). Gleichzeitig erfolgte eine Erhöhung des Gleisabstands von 3,5 m auf das derzeitige Sollmaß von 4,0 m. Die Innenschale wurde in Beton mit hohem Wassereindringwiderstand (WU-Beton) ausgeführt.

Auch die vier Tunnelportale wurden neu gestaltet: Das Westportal des Tunnels Mainz Hauptbahnhof wurde mit einer Sandsteinverkleidung versehen. Dabei wurde die Portalkrone des alten Sandsteinportals in die neue Portalkrone integriert (Bild 3).

Zur Erneuerung der Tunnel gehörten auch neue Kabelkanäle sowie eine Löschwasserleitung, die in den Randwegen des Tunnels einbetoniert wurde. Die Entwässerung des Eisgrubeneinschnitts durch den Tunnel Mainz Hauptbahnhof wurde ebenfalls erneuert, wobei die Entwässerungsleitung in eine hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT) eingebettet wurde. Zur Montage der Oberleitungsmasten wurden in den Innenschalenblöcken Ankerschienen vorgesehen.

Aufgrund der innerstädtischen Lage der Tunnel und der darüber befindlichen Bebauung wurde vom Bauherrn ein setzungsarmer Vortrieb ausgeschrieben.



Bild 1: Lageplan der beiden Alten und des Neuen Mainzer Tunnels

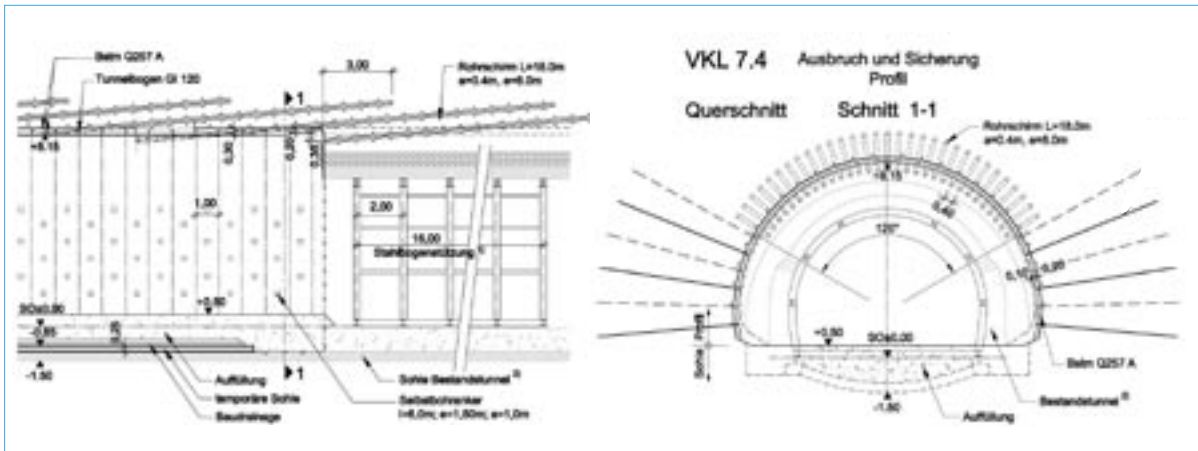


Bild 2: Ausbau für die Vortriebsklasse 7.4 im Längsschnitt (linker Bildteil) und im Querschnitt (rechter Bildteil)

Zuerst musste die so genannte Hinterpackung – lose Steine, mit denen man den Hohlraum zwischen dem Sandsteinmauerwerk und dem Gebirge verfüllt hatte – verpresst werden. Damit die spätere Lösbarkeit des Gebirges gewährleistet war, wurde hierfür ein Dämmverwendet.

Noch aus der Zeit der Dampflokomotiven hatten die beiden Tunnel

drei Rauchabzugsschächte, die jedoch nicht mehr in Betrieb waren und deshalb verfüllt werden mussten. Zwei Schächte waren von Ober- tage zugänglich und konnten mit Beton verfüllt werden. Der dritte Schacht konnte nur von Untertage angebohrt und mit Zementsuspension verpresst werden.

Für den eigentlichen Vortrieb wurden neun verschiedene Ausbruchs-

klassen definiert. Die Unterschiede der einzelnen Klassen waren hauptsächlich durch die Änderung der vorauseilenden Sicherung geprägt. Alle Vortriebsklassen waren mit einer Abschlagslänge von 1,0 m fixiert. Das Sandsteinmauerwerk musste bei jedem Abschlag vorge-schnitten werden und der bestehende Tunnel wurde im direkten Aus-bruchsbereich durch einen Wanderbogen gestützt. Als voraueilende Sicherung waren Selbstbohrspieße, Dielen und Rohrschirme vorgesehen. Um die Setzungen zu minimieren, wurde in jeder Klasse ein schneller Sohlschluss mittels Kalottensohle ausgeschrieben.

In den Bereichen mit sehr setzungsempfindlicher Bebauung an der Oberfläche waren zusätzliche Maßnahmen zur Gebirgsstabilisierung von Ober- tage aus vorgesehen. Im Bereich eines bestehenden Hotels und angrenzender Bebauung waren Hebungsinjektionen (Bild 4) von Schächten aus geplant. Diese sollten dem Gebirge zuerst eine Vorspannung geben und dadurch Setzungen minimieren. Nach dem Vortrieb hätten eventuelle Setzungen mittels einer gezielten Hebungsinjektion ausgeglichen werden können.



Bild 3: Portalbereich der Alten Mainzer Tunnel

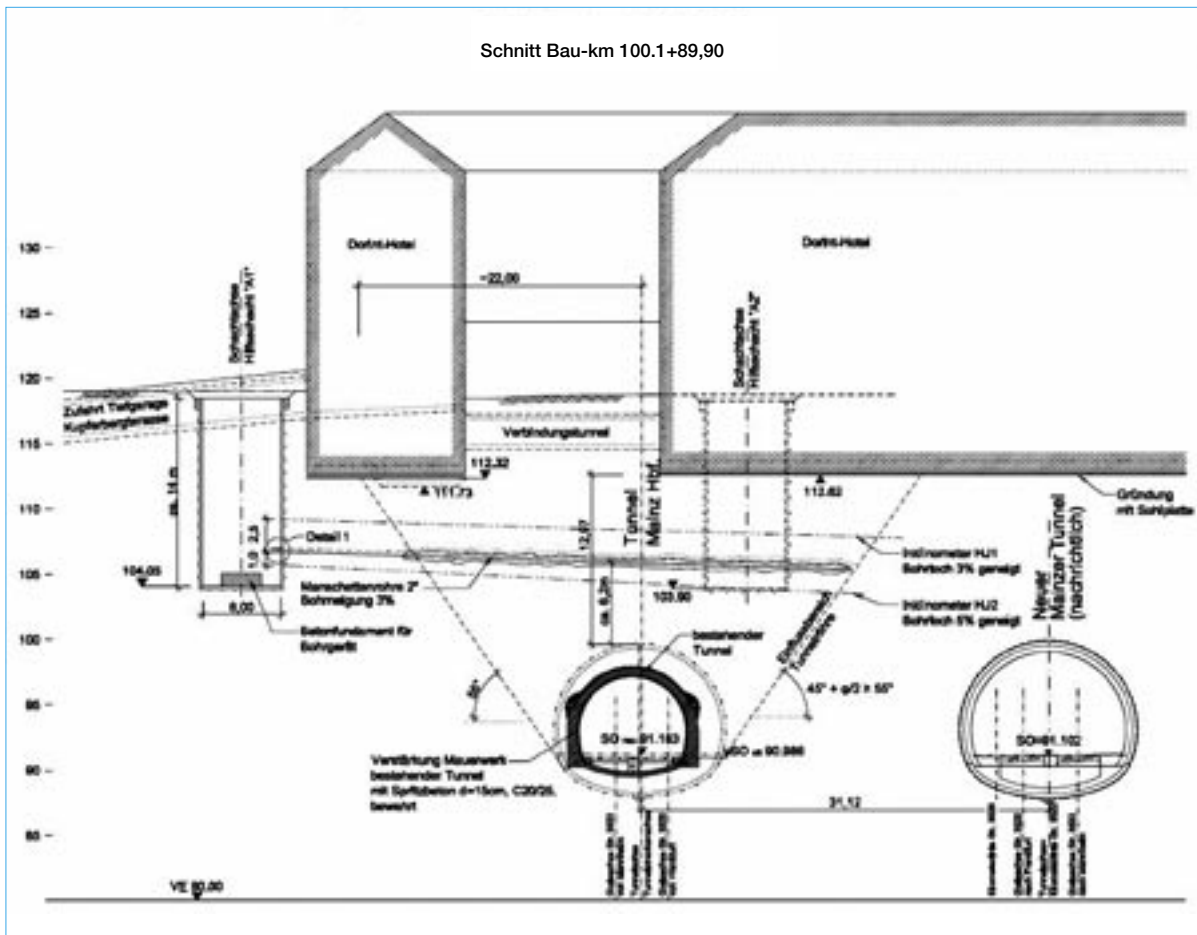


Bild 4: Hebungsinjektionen im Bereich setzungsempfindlicher oberirdischer Bebauungen – Darstellung im Querschnitt

Im Bereich Gautor war zur Setzungsminimierung eine aufgelöste Bohrpfehlwand ausgeschrieben. Diese sollte über die Einspannung den Erd- druck aufnehmen und dadurch die Setzungen an der Oberfläche minimieren.

Der Tunnel Mainz Süd quert einzelne Straßen mit einer Überdeckung von nur 2,0 m. Für diesen Bereich waren Dielen als vorausseilende Sicherung ausgeschrieben. Hier sollte die Straße für die Zeit des Unterfahrens bis zum Einbau der Innenschale gesperrt werden.

### 3 Ausführung

Die Leistungen für die Ausführungsplanung und für die Bauausführung wurden im Februar 2007 beauftragt. In diesem Zuge schlug man dem Bauherrn eine modifizierte Ausführung vor, die eine Vorabertüchtigung des Gebirges von Untertage aus vorsah.

Das Konzept, das in allen Punkten angenommen wurde, sah folgende Maßnahmen vor:

- Ertüchtigung des Bestandtunnels mittels Dämmverfüllung der Hinterpackungen

- Herstellung eines Gebirgstragringes durch Injektionsbohranker und gezielte Injektion vom bestehenden Tunnel aus
- Rammspieße als Kopfschutz während des Vortriebs
- Abbruch des Mauerwerks im Bestandstunnel bzw. Ausbruch und Sicherung in 1-m-Schritten
- Anbringen von Ankerplatten an die schon vorab gebohrten und injizierten Injektionsbohranker und Anspannen der Anker
- Endgültiger Ringschluss alle 20 m

Die Packlage (Hinterpackung des Gewölbes) wurde mit Dämmen über Injektionslanzen im Vorfeld verfüllt.

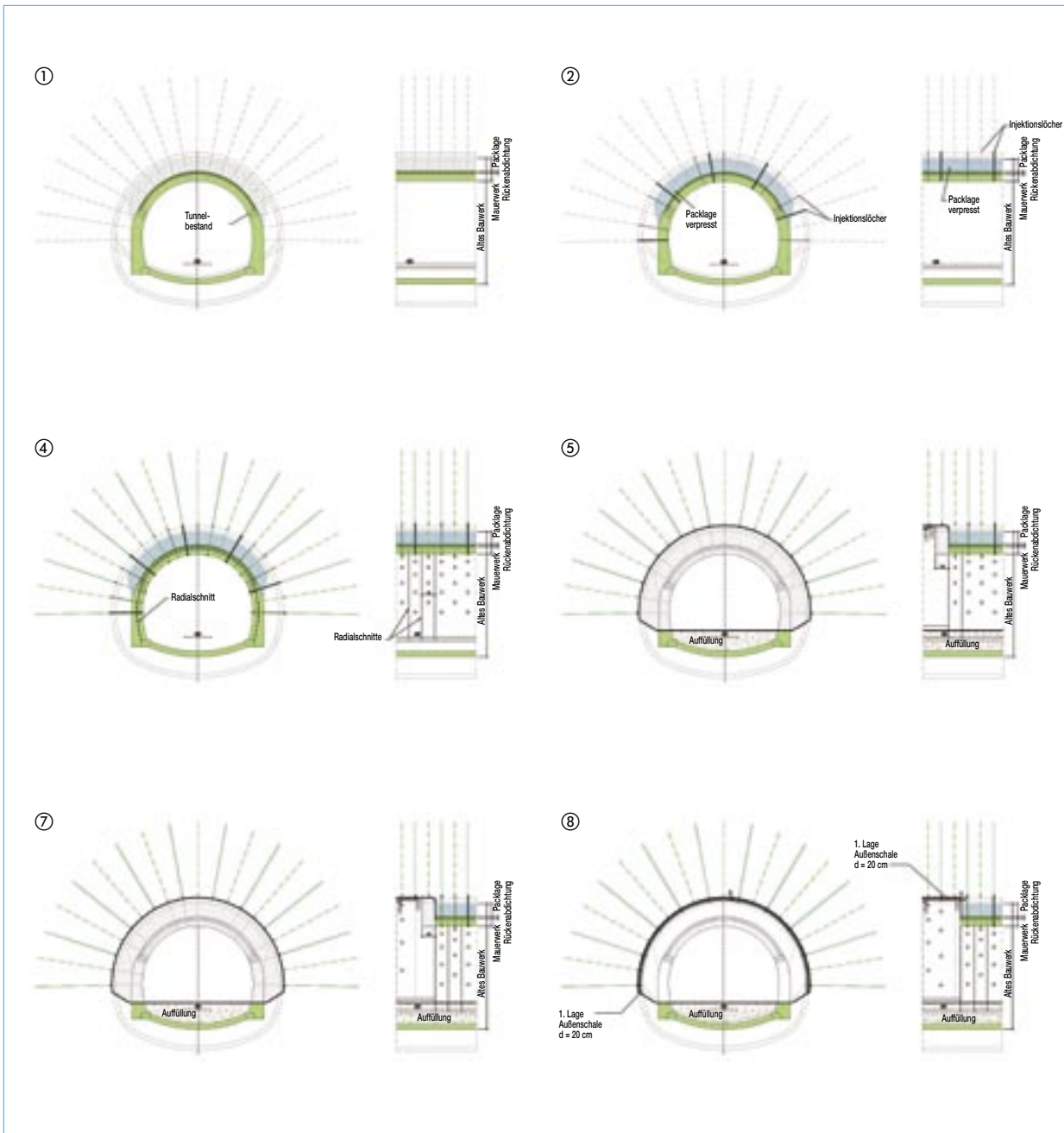


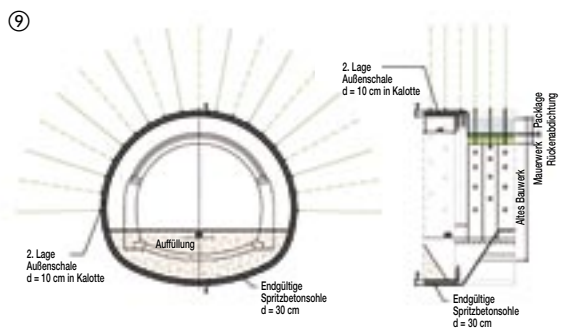
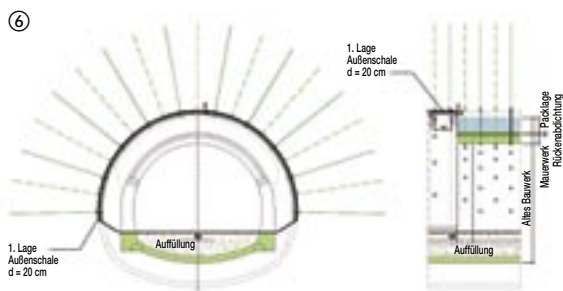
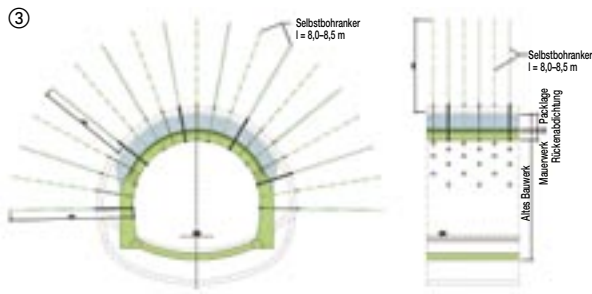
Bild 5: Phasen der Vorabertüchtigung inklusive des Vortriebs (jeweils links im Querschnitt, rechts im Längsschnitt)

Der Dämmer hat den Vorteil einer geringeren Festigkeit und somit leichteren Lösbarkeit gegenüber einer reinen Zementverfüllung. Als die Hinterpackung verfüllt und ausgehärtet war, startete man mit der so genannten „Vorabertüchtigung“

mittels Injektionsbohrankern (Bild 5). Es wurden pro Tunnelmeter 15 jeweils 8,5 m lange Anker gebohrt und anschließend mittels Spezialinjektionsgut verpresst (Bild 6). Dem Zement-Wasser-Gemisch wurde Fließmittel zugegeben, um eine bes-

serere Fließfähigkeit zu erzielen. Somit wurde es möglich, sämtliche Hohlräume im Einflussbereich zu verfüllen. Mit den Ankern und dem komplett verpressten Gebirge konnte ein Gebirgstragring in Form eines langen Tonnengewölbes hergestellt werden.





**Bild Arbeitsschritt**

- ① Ausgangssituation
- ② Bohren der Injektionslöcher, Verpressen der Packlage
- ③ Bohren der Selbstbohranker, Setzen der Ankerplatten und Vorspannen der Anker
- ④ Herstellen der Radialschnitte (t = 40 cm)
- ⑤ Entfernen des letzten IBO-Stücks bis zur Muffe im letzten Feld, Abbruch des bestehenden Tunnels auf 1,0 m Länge, Ausbruch des neuen Tunnels auf 1,0 m Länge
- ⑥ Verlängern der Ankerstäbe, Einbau der 1. Lage Außenschale (d = 20 cm) auf 1,0 m Länge, Einbau der Ankerköpfe und Vorspannen der Anker
- ⑦ Herstellen der Radialschnitte (t = 40 cm), Abbruch des bestehenden Tunnels auf 1,0 m Länge, Ausbruch des neuen Tunnels auf 1,0 m Länge
- ⑧ Verlängern der Ankerstäbe, Einbau der 1. Lage Außenschale (d = 20 cm) auf 1,0 m Länge, Einbau der Ankerköpfe und Vorspannen der Anker
- ⑨ Einbau der 2. Lage Außenschale in Kalotte (d = 10 cm) auf 20 m Länge, Einbau der Spritzbetonsohle auf 20 m Länge

Dieser Gebirgstraging verursachte nur geringe Setzungen an der Oberfläche. Ebenso ermöglichte er eine Einsparung des ausgeschriebenen Wanderbogens zur Stabilisierung des Bestandstunnels in der Vortriebsphase. Darüber hinaus konnte auf

die vorausseilende Sicherung mittels Rohrschirm und Injektionsschirmen verzichtet werden. Lediglich Rammspieße wurden als Kopfschutz während des Öffnens der Ortsbrust eingebracht. Nach der Erstsicherung des Gebirges wurde der Bogen ge-

stellt und die erste Lage Spritzbeton aufgetragen. Der Bogen konnte aufgrund der Vorverfestigung als 3-Gurt-Gitterbogen ausgeführt werden. Da die Anker schon im Vorfeld gebohrt und injiziert wurden, entfiel das Ankern während des Vortriebs



Bild 6: Einbringen der Anker und Verpressen des bestehenden Gewölbes



Bild 7: Ankerlage im Bereich des Vortriebs

(Bild 7). Die vorhandenen Anker mussten lediglich gekürzt und die Ankerplatte versetzt und angespannt werden. Im Anschluss wurde die zweite Lage Spritzbeton aufgebracht. Bevor das Sandsteingewölbe abgebrochen wurde, musste das Mauerwerk eingeschnitten werden. So konnte jeweils exakt ein Abschlag mit 1,0 m geöffnet werden. Zum leichteren Lösen des Mauerwerks wurde – wie bei Abbrucharbeiten von Gebäuden – eine Abbruchzange verwendet (Bild 8). Mit diesem Verfahren konnte in der Kalotte eine maximale Vortriebsgeschwindigkeit von sieben Abschlägen (7 m) pro Tag erreicht werden.

#### 4 Zusammensetzung und Einbringen der Injektions-suspension

Um die optimale Zusammensetzung der Suspension für die Gebirgsverfüllung zu erproben, wurden vom Baustoffhersteller gemeinsam mit dem ausführenden Unternehmen im Vorfeld entsprechende Laborversuche durchgeführt.

Dazu wurden verschiedene Bindemittel und Fließmittel auf ihr Injektionsverhalten untersucht (Bild 9). Neben zwei Zementen kamen auch zwei verschiedene Fließmittel zum Einsatz. Es wurden Suspensionen hergestellt,

die mit einem Druck von 2 bar in zwei mit verschiedenen Sanden gefüllte, durchsichtige Zylindern gepresst wurden. Die beiden Sande hatten die Kornfraktionen 0/1,8 mm und 0,6/1,2 mm. Aus der Eindringtiefe (Tafel 1) ließen sich sehr gut Aussagen auf die Stabilität und das Fließverhalten der Suspensionen ableiten.

Bei der Durchführung der Versuche zeigte sich die Kombination des Zements CEM II/ B-M (S-LL) 32,5 R-AZ mit dem Fließmittel ACE 30 (Versuch 4 in Tafel 1) als die technisch beste Lösung. Es handelt sich hierbei um einen Portlandkompositzement, der neben Portlandklinker noch Kalk-



Bild 8: Vortrieb mittels Bagger



Bild 9: Versuchsdurchführung zum Injektionsverhalten des Zements CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ mit 2 % ACE 30

Tafel 1: Zusammensetzung der Injektionsbaustoffe und Ergebnisse der Eignungsprüfungen

Versuch			1	2	3	4
Zement			CEM I 42,5 R		CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ	
w/z			0,5	0,5	0,5	0,5
FM			2 % ACE 30	1 % Glenium Sky 505	1 % Glenium Sky 505	2 % ACE 30
Eindringtiefe	grober Sand	cm	100	20	100	100
	feiner Sand	cm	6	12	34	100

stein und Hüttensand als weitere Hauptbestandteile enthält. Der Zement zeichnet sich aufgrund seiner Zusammensetzung und des Herstellverfahrens (getrenntes Mahlen des Hüttensands) durch ein gut abgestuftes Kornband und damit sehr guten Frischbetoneigenschaften bzw. – im vorliegenden Fall – sehr guten Suspensionseigenschaften aus.

Für die Ausführung der Injektionen wurde das bestehende Sandsteinmauerwerk in ein Rastersystem unterteilt (Bild 10). Damit konnte jederzeit eine Zuordnung der Injektionsmenge zum vorhandenen Gebirge vorgenommen und der Zustand des Gebirges eingeschätzt werden.

Die Bereitstellung der Suspension erfolgte mit einem Chargenmischer vor Ort (Bild 11). Der Injektionszement CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ wurde in Baustellensilos gelagert. Die Misch-

anlage befand sich zwischen den beiden Tunnelabschnitten. Von der Mischanlage wurde die Suspension dann zu den Vorratsbehältern der einzelnen Pumpstationen gepumpt.

## 5 Zusammenfassung

Aufgrund der durchgeführten Vorabertüchtigung des bauausführenden Unternehmens konnte das Setzungsverhalten an der Oberfläche der Tunnelbaustellen ohne Beeinträchtigung der Bewohner minimiert werden. Alle notwendigen Arbeiten zur Sicherung der Gebäude, mit Aus-

nahme der Beweissicherungen und der Vermessungsarbeiten, wurden von Untertage aus durchgeführt. Es mussten keine Schächte für die Hebungsinjektionen im bewohnten Bereich an der Oberfläche gebaut werden und es kam zu keiner Lärmbelästigung durch Arbeiten Obertage. Dabei erwies sich der Portlandkompositzement CEM II/B-M (S-LL) 32,5 R-AZ als sehr gut geeignetes Bindemittel für die Herstellung der Suspension zur Vorabertüchtigung der bestehenden Tunnel. Die Wiederaufnahme des Zugbetriebs durch die beiden erneuerten Alten Mainzer Tunnel ist für Ende 2010 geplant.

## Bauschild

Bauherr	DB Netz AG, vertreten durch die DB Projektbau GmbH
Ausführungsplanung und Ausführung	Beton- und Monierbau Innsbruck GmbH
Baustoffhersteller	Schwenk Zement KG



Bild 10: Raster der Anker im bestehenden Sandsteingewölbe



Bild 11: Baustellenmischanlage zur Suspensionsherstellung