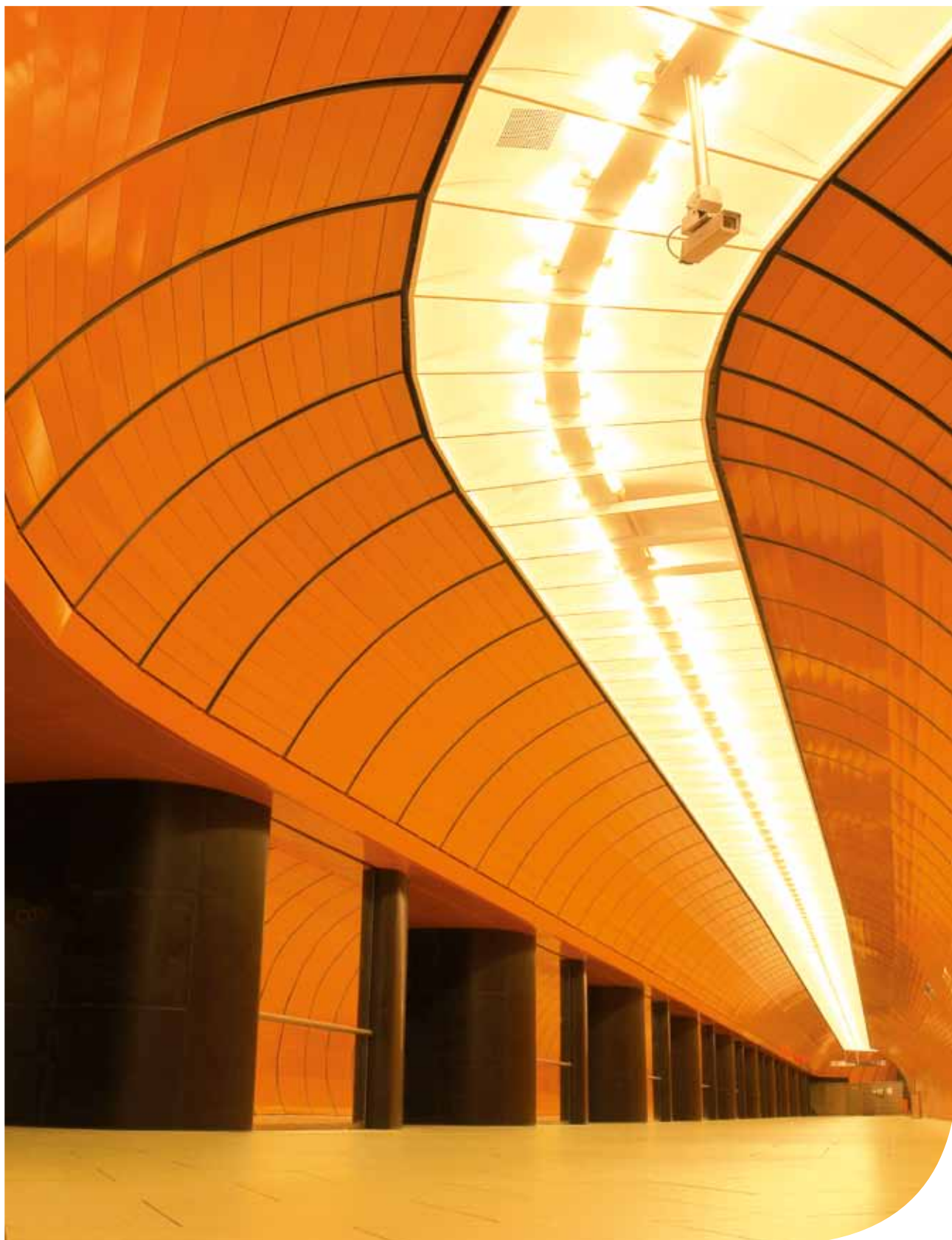
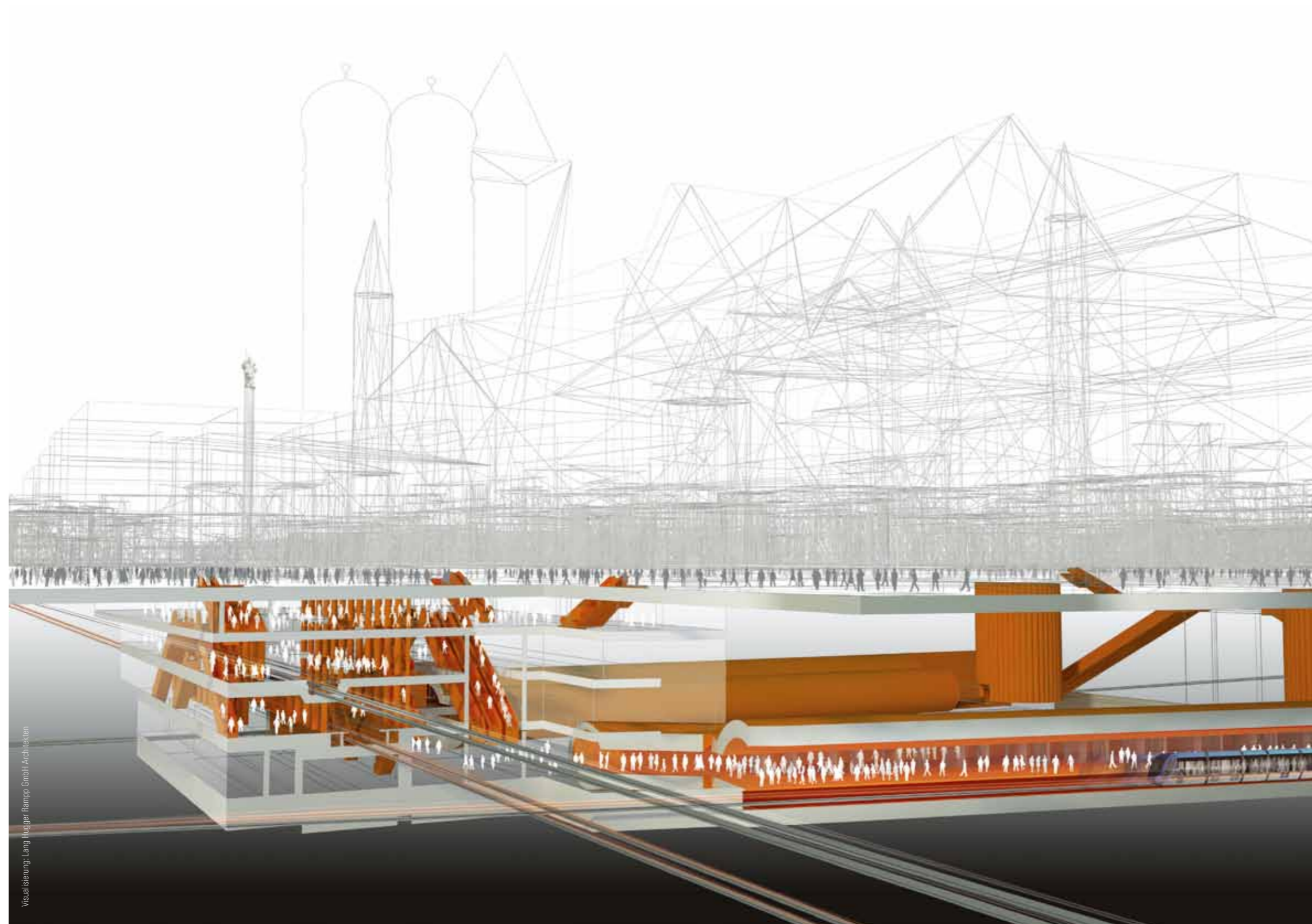


U-Bahn Marienplatz München, Bahnsteigerweiterung
Vortrieb unter Eis





Marienplatz

Der U-Bahn Marienplatz ist der mit Abstand am stärksten frequentierte Knotenpunkt im Münchner Schnellbahnnetz. Die Umsteigemöglichkeit zwischen U3/U6 und den auf der Stammstrecke verkehrenden S-Bahnlinien sowie die Lage mitten im Herzen der Stadt sorgen für ein enormes Fahrgastaufkommen. Nachdem im Jahr 2001 der Beschluss gefasst wurde, in Fröttmaning ein neues Fußballstadion zu errichten, das über die U-Bahnlinie 6 an die Innenstadt angebunden werden sollte, stand fest: Rechtzeitig vor der Fußballweltmeisterschaft 2006 in Deutschland musste der U-Bahn Marienplatz, der längst an seine Kapazitätsgrenzen gelangt war, deutlich erweitert werden.

Ziel war es, eine wirksame Entflechtung der Fahrgastströme zu erreichen. Als Resultat der Prüfung unterschiedlicher Konzepte kristallisierte sich eine Lösung heraus, bei der zwei parallel zu den Bahnsteigen verlaufende und mit diesen durch jeweils elf galerieartige Durchbrüche verbundene Entlastungstunnel die Bahnsteigfläche nahezu verdoppeln sollten. Die Baumaßnahme bedeutete, nur etwa zehn Meter unterhalb des Münchner Rathauses in den Baugrund einzugreifen. Die sensible historische Bausubstanz durfte keinesfalls durch Setzungsunverträglichkeiten in Mitleidenschaft gezogen werden. Zur Ausführung kam ein Vortriebsverfahren mit Hilfe von Teilbodenvereisung, die den vorgesehenen Eingriff im Baugrund deutlich minimierte und zudem erhebliche Vorteile bot bei der sicherheitstechnischen Risikobetrachtung.

SSF Ingenieure zeichnete für die durchgängige Ausführungsplanung dieses als Nebenangebot eingebrachten Vorschlags verantwortlich und wurde für die Erweiterung des U-Bahn Marienplatz 2005 mit dem Ingenieurpreis der Bayerischen Ingenieurkammer-Bau ausgezeichnet.

Der Baugrund

Zuoberst stehen sandige Fein- und Grobkiese an. Ein geschlossener Grundwasserhorizont fehlt, es musste lediglich mit einzelnen Quartärwässern aufgrund versickernder Niederschläge gerechnet werden. In den darunter liegenden Tonen und Schluffen sind zwei Grundwasser stauende Schichten aus Fein- und Mittelsanden mit Mächtigkeiten von 7,5 m bis 12 m eingelagert. Sie führen Grundwasser, das teils unter sehr hohem Druck steht („gespanntes Wasser“). Nicht einfach war, die Relikte der ersten U-Bahn-Baumaßnahmen der Jahre 1966 bis 1970 in den Griff zu bekommen. Etliche Absenkbrunnen und Grundwasserpegel wurden damals nicht nach dem heute aktuellen Stand der Technik rückgebaut und waren nicht mehr eindeutig lokalisierbar.

Der Bauablauf

Hinter dem Rathaus entstanden zwei ovale Startschächte: Jeweils zwei überschneidende Bohrpfähle mit 1,2 m Durchmesser, die bis zu 30 Meter tief reichten und auf Höhe der Tunnelanstiche mit einem zusätzlichen Ring aus Stahlbeton gegen den anstehenden Erd- druck ausgesteift wurden. Anschließend wurden zwei Pilotstollen für die Bodenvereisung hergestellt. Diese rund hundert Meter langen Stollen hatten einen Innendurchmesser von zwei Metern und bestanden aus vorgefertigten Stahlbetonringen, die nacheinander vom Startschacht aus ins Erdreich gepresst wurden. Die Arbeitskammer der Abbaumaschine im Kopf des Vortriebs stand unter Luftüberdruck, um das im verlaufenden Sandhorizont befindliche Grundwasser mit 2 bis 5 Meter Mächtigkeit fern zu halten.

Die Bodenvereisung

Ursprünglich war die Erweiterung des U-Bahnhofs mittels konventionellem bergmännischen Vortrieb mit Grundwasserabsenkung geplant. Dabei sollte der Baugrund durch zahlreiche Horizontalbrunnen entwässert werden. Die durch diese Methode entstandenen Bodensenkungen hätten durch umfangreiche Hebungsinjektionen (compensation grouting) ausgeglichen werden müssen.

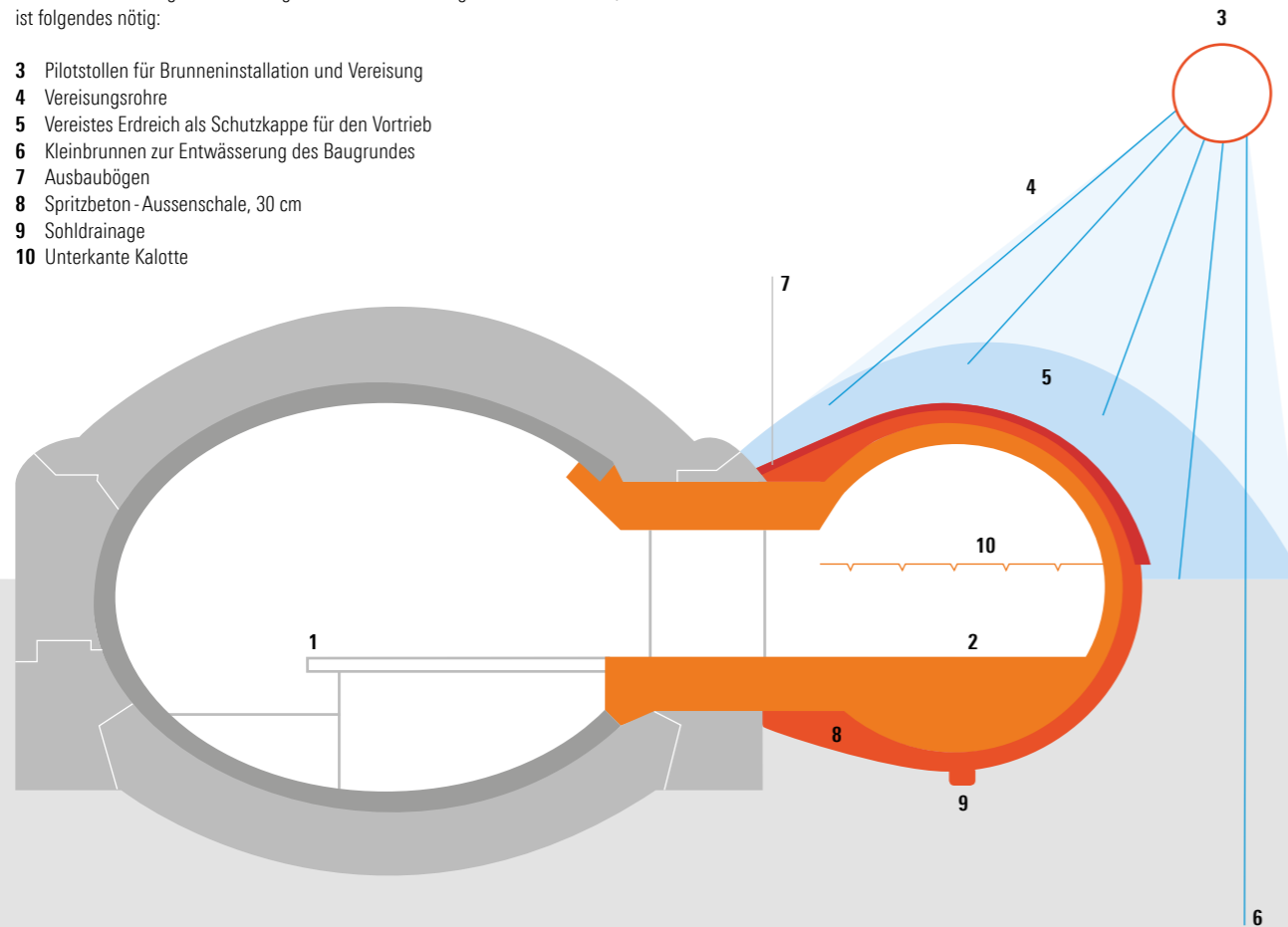
Dem im Rahmen der Angebotsbearbeitung von SSF Ingenieure in Zusammenarbeit mit der Baufirma erarbeiteten Vortriebsverfahren im Schutze einer Vereisung als Alternative zur ausgeschriebenen Methode wurde mit Blick auf wirtschaftliche und technische Verbesserungen der Zuschlag erteilt. Durch Einfrieren des

Querschnitt Bahnsteig U3/U6 Richtung Süden

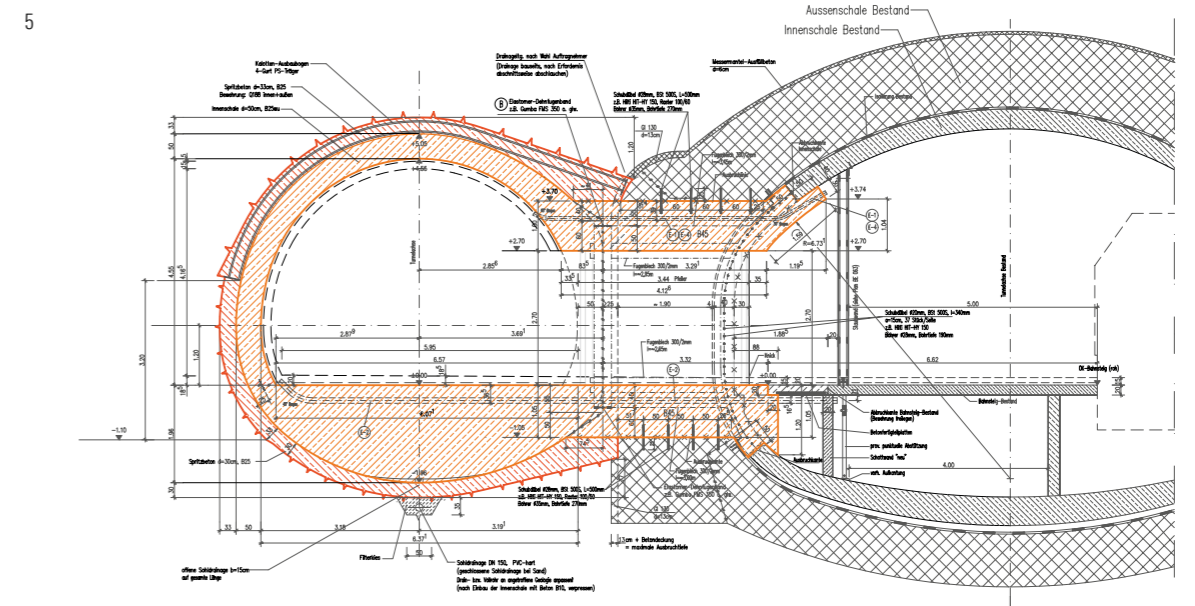
- 1 Bestehender Bahnsteig
- 2 Neuer Bahnsteig im Entlastungstunnel

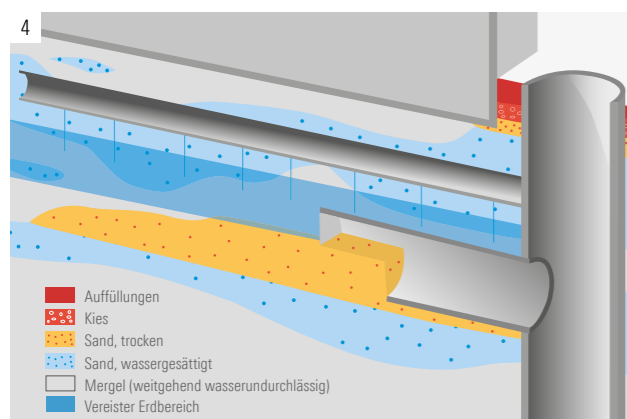
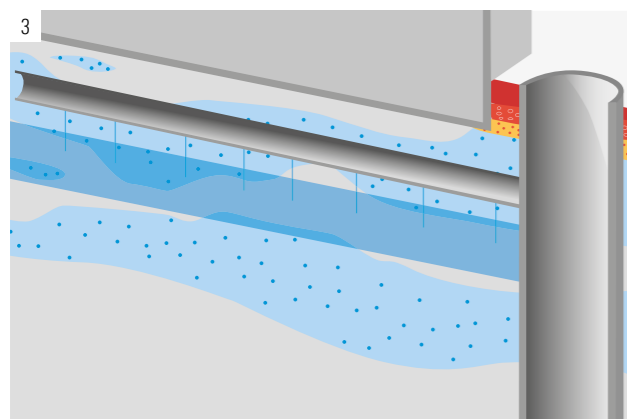
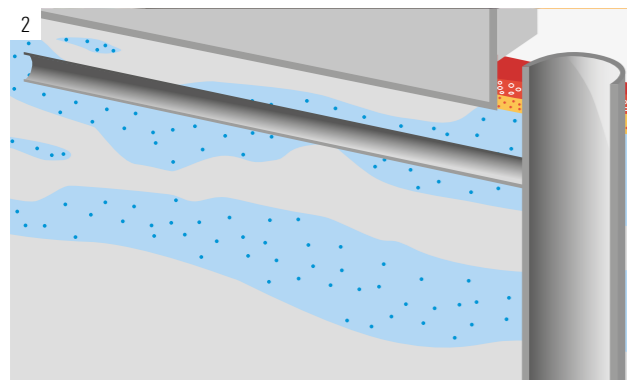
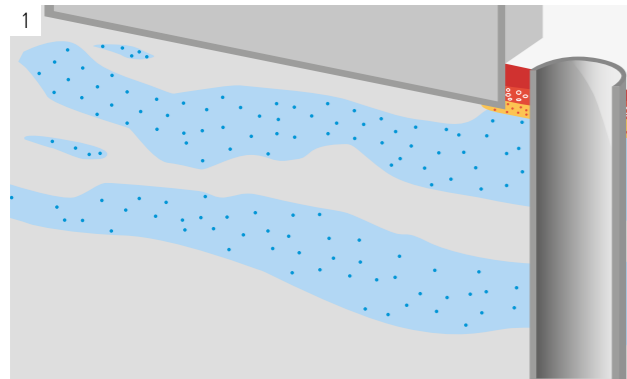
Damit der Entlastungstunnel in bergmännischem Vortrieb gebaut werden kann, ist folgendes nötig:

- 3 Pilotstollen für Brunneninstallation und Vereisung
- 4 Vereisungsrohre
- 5 Vereistes Erdreich als Schutzkappe für den Vortrieb
- 6 Kleinbrunnen zur Entwässerung des Baugrundes
- 7 Ausbaubögen
- 8 Spritzbeton-Aussenschale, 30 cm
- 9 Sohl-Drainage
- 10 Unterkante Kalotte



- 1 Vortrieb der Pilotstollen
- 2+3 Vortrieb Tunnel
- 4 Durchbruch Bestand
- 5 Querschnitt Bahnsteig





- Auffüllungen
- Kies
- Sand, trocken
- Sand, wassergesättigt
- Mergel (weitgehend wasserundurchlässig)
- Vereister Erdbereich

Bodens kann auf die aufwändigen Horizontalbrunnen verzichtet werden. Gleichzeitig erhöht sich die Standfestigkeit des Baugrunds aufgrund der Eisschicht oberhalb der Firne, was den späteren Vortrieb der Bahnsteig-Entlastungstunnel sehr vereinfachte und daneben zu einer erheblichen Risikominimierung bezüglich Setzungen im Bereich der historische Bausubstanz des Rathauses führte. Vom Pilotstollen aus wurden fächerförmig 654 Vereisungsbohrungen mit einem Durchmesser von 88,9 Millimeter und einer Gesamtlänge von knapp 4.000 Metern ausgeführt. Der Boden wurde über zwei Kohlendioxid-Ammoniak-Kälteanlagen von je 275 KW Leistung und einer Kalziumchloridlösung als Kälteträger mit minus 38 Grad intermittierend, jeweils an den Stand des Vortriebs angepasst, vereist. Diese Maßnahme wurde permanent von 180 Temperatursonden überwacht, wodurch eine gezielte Temperatursteuerung zur Vermeidung von größeren „Frosthebungen“ (Wasser dehnt sich beim Gefrieren um bis zu neun Prozent aus) möglich war.

Die Entlastungstunnel

Unter dem Eisschirm wurden die beiden Tunnel bergmännisch im Spritzbetonvortrieb hergestellt. Die Geschwindigkeit im zyklischen Vortrieb (Kalotte, Strosse, Sohle) und bei einem Ausbruchquerschnitt von einheitlich 50 Quadratmetern lag bei rund zwei Metern pro 24 Stunden. Eine Besonderheit stellte die tangierende Lage zu den bestehenden Bahnsteigen dar. Um diese anbinden zu können, mussten die im Boden verbliebenen alten stählernen Verbauelemente entfernt werden. Anschließend wurden 15 Zentimeter der bestehenden äußeren Betonschale abgetragen. Spezielle Dübel ermöglichten den Anschluss der Bewehrung an das bestehende Bauwerk. Mit jeweils elf Durchbrüchen wurden die neuen Tunnel an die bestehenden Bahnsteige angebunden. Zwei weitere Durchbrüche waren an den südlichen Stirnseiten herzustellen. Die Herstellung der Durchbrüche an den zweischaligen, 2,5 m starken Stahlbetonschalen der Bestandstunnel erfolgte mit diamantbesetzten Seilsägen und im Hinblick auf statische Gesichtspunkte in mehreren Einzelschritten. Die ausgesägten Betonklötze wogen rd. 40 Tonnen. Sie wurden über spezielle Hydraulikvorrichtungen in den Entlastungstunnel gezogen, dort zerkleinert und über den Startschacht entsorgt.

- 1 Herstellung der beiden Startschächte
- 2 Vortrieb der Pilotstollen
- 3 Bodenvereisung, Grundwasserentspannung
- 4 Tunnelvortrieb

Wasserdichte Anschlüsse und Innenschale

Da die Bahnsteige voll im Grundwasser liegen, wurde der Anschluss zwischen Neubau und Bestand wasserdicht ausgeführt. Die Spritzbetonaußenschale wurde durch eine 50 Zentimeter dicke wasserundurchlässige Innenschale aus Stahlbeton vervollständigt. Alle Baumaßnahmen wurden bei laufendem U-Bahn-Betrieb durchgeführt. Für die Fahrgäste gab es während der gesamten Zeit der Herstellung beider Entlastungstunnel nahezu keine Beeinträchtigungen. Lediglich in der Phase des Durchbruchs zum Bahnsteig musste eine Verschmälerung des Bahnsteigs und der Verbindungsgänge in Kauf genommen werden.

Daten Marienplatz

Bauherr	Landeshauptstadt München, Baureferat, U-Bahn-Bau
Tunnellänge	103 m / 95 m
Ausbruchquerschnitt	50 m ²
Bauzeit	2003 – 2006
Bauart	Bergmännischer Tunnel mit Querschlägen zum Bestand, Herstellung mit Hilfe von Pilotstollen, Baugrundvereisung und Grundwasserentspannung
SSF Ingenieure	Nebenangebot, Ausführungsplanung



Bei unverändertem Grundriss ergaben sich im Zuge der europäischen Ausschreibung folgende Modifikationen, aufgrund eines Nebenangebot von SSF Ingenieure:

- ovale Startschächte
- zusätzliche Pilotstollen für gezielte Vereisungen des Baugrundes über der jeweiligen Tunnelfirst
- Baugrundvereisung und Entspannung des zweiten Grundwasserstockwerkes

Entlastungstunnel	
Bestehende Bahnsteige und Wege zur S-Bahn und Oberfläche	
Gleise U3 / U6	
Startschacht mit Pilotstollen für den bergmännischen Vortrieb	
Verbindung zur S-Bahn	

SSF Ingenieure AG
Beratende Ingenieure im Bauwesen

München
Berlin
Halle
Köln

www.ssf-ing.de