

MAX BÖGL

Fortschritt baut man aus Ideen.

Kolloquium ETH Zürich

Bauhilfsmaßnahmen im Tunnelbau

13.12.2012

Bodenvereisung als temporäre Bauhilfsmaßnahme – Praxisbeispiele

Dipl. Ing. Benno Müller
Leiter Bodengefriertechnik
Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co. KG
München

1. Einleitung
2. Marienplatz, München
3. Schlitzwandbaugruben, Amsterdam
4. Bahnhof Brandenburger Tor, Berlin
5. Wehrhahn-Linie, Düsseldorf
6. Querschlagsvereisung Finnetunnel, Thüringen
7. Resümee

Bodenvereisung als temporäre Bauhilfsmaßnahme – Praxisbeispiele

1. Einleitung

Bodengefriermaßnahmen nehmen in der jüngeren Vergangenheit und in der Projektierung zukünftiger Spezialtiefbau- und Tunnelbaumaßnahme immer mehr Raum ein.

Gestiegene Anforderungen von Bauherren an Bauwerke, Bauaufgaben im innerstädtischen Raum, das Bauen im Bestand, die Umweltbeeinflussung und das Umweltbewusstsein von Bürgern und Behörden zwingen Ausschreibende und Ausführende zu besonderen Baumaßnahmen, die teilweise mit den herkömmlichen Bauverfahren nicht zu lösen sind.

Mit dem Verfahren des Bodengefrierens hat sich eine Technik etabliert, die für die unterschiedlichsten Bauaufgaben genutzt wird. So konzentrieren sich die Anwendungen u. a. auf das temporäre Abdichten von Bauteilen, die Unterfangung von Gebäuden, das Erstellen von Querschlägen bei Tunnelröhren, das Sichern von bergmännischen Vortrieben gegen anstehendes Grundwasser. Dabei können dem gefrorenen Boden neben einer grundwasserabdichtenden auch eine statische Funktion zugewiesen werden.

Das vorherrschende Image des Bodengefrierens als „letzte Lösung“ bei Havarien weicht mehr und mehr dem des planbaren und kalkulierbaren Verfahrens.

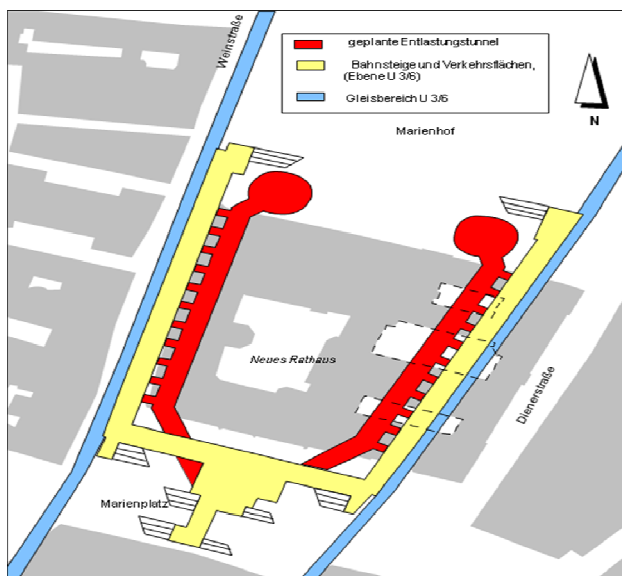
Mit den Kälteträgern flüssiger Stickstoff und Sole stehen bewährte Techniken zur Verfügung, die entsprechend den geometrischen, bauzeitlichen und wirtschaftlichen Randbedingungen zur Anwendung kommen.

Im Folgenden sind Beispiele von Bodengefriermaßnahmen aufgeführt, die große Frostkörper mit langen Bauzeiten bedingen. Daher wurden diese als Solevereisungen ausgeführt.

2. Marienplatz München

Der U-Bahnhof Marienplatz wurde im Jahre 1971 eröffnet. Das anfängliche Fahrgastaufkommen von max. 5.800 Personen stieg bis 1989 auf 21.500 Personen pro Stunde an. Im Rahmen der Infrastrukturmaßnahmen zur Fußballweltmeisterschaft 2006 und dem Stadionneubau Allianz Arena wurde der zentrale U-Bahnhof Marienplatz unter dem Münchner Rathaus durch zwei zusätzliche parallel verlaufende Bahnsteigröhren auf einer Länge von 2 x 100m und mit einem Querschnitt von zusätzlich 50m² erweitert.

Die Ausschreibung 2002 zur Erweiterung der beiden Bahnsteige durch die Hauptabteilung U-Bahnbau des Baureferates der Landeshauptstadt München sah zwei bergmännische Vortriebe parallel zu den bestehenden Röhren vor. Jeweils 11 Durchbrüche sollten die Neubauten mit dem Bestandsbauwerken verbinden. Die Vortriebsarbeiten waren aus zwei Startschächten vorgesehen, die für die spätere Nutzung als Notausstiege ausgebaut werden sollten. In einem Sondervorschlag der Firma Max Bögl wurden für die bergmännischen Vortriebe als wesentlicher Punkt Vereisungskappen zur Firstsicherung und eine Restwasserhaltung vorgeschlagen.



Dabei wurden die oberen tertiären wasserführenden Sande sowie Mergelschichten im Kalottenbereich der späteren Tunnel gefroren und damit für den Tunnelvortrieb wasserdicht abgesperrt. Das Grundwasser in den tieferen Sandlagen wurde mit 12 Brunnen (im gesamten Bereich Marienhof abgesenkt, so dass mit einem atmosphärischen Spritzbetonvortrieb die beiden 90 m langen Tunnelröhren aufgeföhren werden konnten. Das Grundwasser-Absenkziel wurde mit ca. 24 Pegeln überwacht.

Die 654 Bohrungen gegen drückendes Wasser für die Gefrierrohre erfolgten aus 2 Pilotstollen heraus, die oberhalb der aufzuföhrenden Tunnel angeordnet waren. Die Pilotstollen wurden unter Druckluft mit einem Haubenschild als Rohrvortrieb DN2000 von den Startschächten aus hergestellt. Die gesamte Maßnahme wurde durch ein umfangreiches Messprogramm begleitet, da sichergestellt werden musste, dass das unmittelbar darüber befindliche historische Rathaus durch die Bahnsteigerweiterung keine Schäden davonträgt.

Insgesamt wurde durch Solevereisung ein Frostkörper mit einem Vereisungsvolumen von ca. 5000 m³ hergestellt, der sowohl eine statische als auch eine wasserdichtende Funktion hatte.

Die Durchführung der Vortriebsarbeiten erfolgte in Spritzbetonbauweise als Bagger- / Fräsvortrieb. Im Anschluss an die Vortriebe wurden die Arbeiten an den Durchbrüchen zu den bestehenden Bahnsteigen durchgeführt.

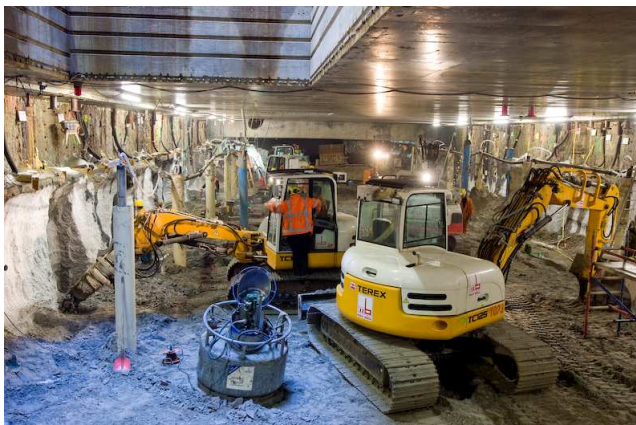
Sämtliche Arbeiten wurden unter laufendem Betrieb des bestehenden U-Bahnhofes durchgeführt. Die Lage im Zentrum Münchens erforderte eine aufwändige Baustellenlogistik zur Ver- und Entsorgung.

Die Inbetriebnahme erfolgte im Jahr 2007.

3. Schlitzwandbaugruben Amsterdam

Im Zuge des Neubaus der Metrolinie vom Amsterdamer Norden in den Süden werden die U-Bahn Stationen Rokin, Vijzelgracht und Ceintuurbaan in Schlitzwand-Deckelbauweise erstellt. Die Bahnhöfe liegen inmitten der Altstadt und reichen teilweise bis auf wenige Dezimeter an die denkmalgeschützten Häuser heran. Die Baumaßnahme einschließlich der maschinellen Schildvortriebsstrecke von ca. 9,7 km ist in der Bevölkerung umstritten und wird auch von der Presse kritisch beleuchtet.

Bei den Aushubarbeiten unter dem Deckel kam es im Jahre 2009 auf der Station Vijzelgracht zu einer Versackung an einem auf Holzpfählen gegründeten Haus. Als Grund stellte sich eine Undichtigkeit an einer Schlitzwandfuge heraus. Die Bauarbeiten wurden daraufhin an den Stationen Rokin und Vijzelgracht eingestellt.



Nach umfangreichen Variantenuntersuchungen für zusätzliche und ergänzende Sicherungsmaßnahmen während des Aushubs wurde entschieden, die kompletten Schlitzwandfugen der Baugruben Vijzelgracht und Rokin mit Frostkörpern auf den Baugruben Innenseite zu sichern.

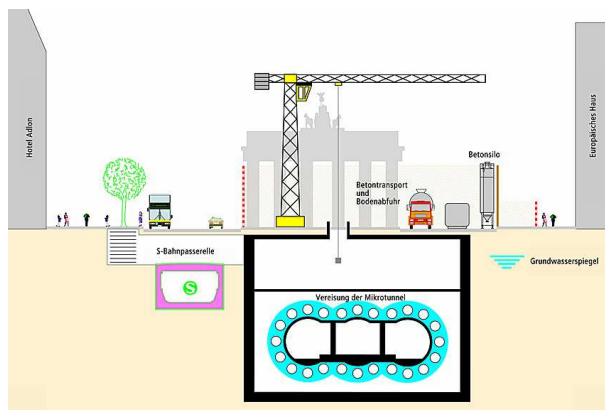
Für den Auftraggeber stand eine Risikominimierung an oberster Stelle.

Bei Bauwerkslängen von 250 m mussten mit mehr als 200 Gefrierrohren pro Station umfangreiche Kubaturen aufgefroren und im Zuge des fortschreitenden Aushubs phasenweise abgebrochen werden.

Durch ein mit dem Bauherrn detailliert abgestimmtes Messprogramm konnte für die Aushubarbeiten ein hohes Sicherheitsniveau geschaffen werden und die gestellte Aufgabe erfolgreich durchgeführt werden.

4. Bahnhof Brandenburger Tor Berlin

Der Bahnhof „Brandenburger Tor“ wurde als ein Teilstück der U-Bahn-Linie U5 erstellt und bildet bis zur Herstellung des Lückenschlusses zum Alexanderplatz, die sich derzeit im Bau befindet, die Endhaltestelle für die Linie U55-Shuttle zum Hauptbahnhof Berlin



Zum damaligen Zeitpunkt enden die beiden mittels TVM aufgefahrene Röhren der Linie U5 ausgehend vom U-Bahnhof „Hauptbahnhof“ blind in einem HDI-Block östlich des Brandenburger Tores. An dieser Stelle wurde direkt vor dem Hotel „Adlon“ und der ungarischen Botschaft parallel zum bestehenden S-Bahnhof „Unter den Linden“ das neue Bahnhofsbauwerk bestehend aus 2 Aufgangsbauwerken und einem ca. 90m langen Bahnsteig angeschlossen.

Die beiden knapp 20m tiefen Baugruben für die Aufgangsbauwerke wurden in offener Bauweise errichtet. Sie wurden von Schlitzwänden und Bohrpfehlen umschlossen, durch eine tief liegende HDI-Sohle abgedichtet und sukzessive, dem Aushub folgend, mittels Stahlbeton- bzw. Stahlträgern ausgesteift.

Die innerstädtische Lage und die für Berlin typischen Untergrundverhältnisse aus oberen



Tal- und Schmelzwassersanden in Kombination mit einem Grundwasserspiegel bis 2m unter GOK erforderten für den ca. 90 m langen bergmännischen Vortrieb als temporäre Sicherungsmaßnahme eine Solevereisung.

Hierzu wurden aus den beiden Baugruben insgesamt 30 Microtunnels aus Stahlrohren mit einem Durchmesser von 1.500mm vorgepresst. Als Vortriebsmaschinen wurden zeitgleich

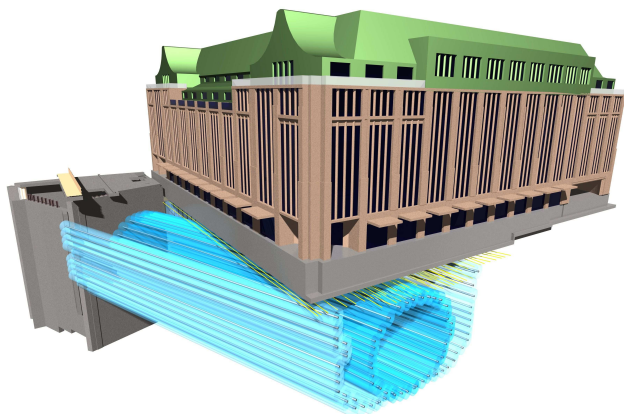
zwei Hydroschilde eingesetzt. Die Microtunnels wurden anschließend mit Vereisungsrohren bestückt, und mit Dämmen und teilweise mit Wasser verfüllt.

Der Bahnsteigbereich war in drei parallel zueinander liegende Stollen aufgeteilt. Nach Herstellung des vollständigen, umlaufenden Frostkörpers erfolgten der Vortrieb des Mittelstollens und der Einbau der Stützen sowie der Innenschale in Sohle und Firste. Daran anschließend wurden die beiden Seitenstollen aufgefahren und mit einer Innenschale aus WU-Beton ausgekleidet. Die Stollenvortriebe mit Querschnittflächen zwischen 50 und 85m² erfolgen im Vollausschub mit kurz vorausseilender Kalotte mittels Tunnelbagger.

Die Inbetriebnahme des Bahnhofes und damit auch der Linie U55-Shuttle erfolgte im Jahr 2007.

5. Wehrhahn-Linie, Düsseldorf

Im Zuge des U-Bahnbaus der Wehrhahn-Linie in Düsseldorf erfolgt derzeit unmittelbar unterhalb der Fundamente des denkmalgeschützten Kaufhauses „Kaufhofs an der Kö“ der Neubau des Bahnhofs Heinrich-Heine Allee in bergmännischer Bauweise. Dabei wird eine ca. 75 m lange Vortriebsstrecke im Schutze einer Solevereisung aufgefahren. Für das Herstellen des Frostkörpers und das Einbringen der notwendigen Gefrierrohre wurden gesteuerte horizontale Bohrungen aus einer Schlitzwandbaugrube ausgeführt.



Da Setzungen und Stützenneigungen der Jugendstilfassade nur in sehr engen Grenzen toleriert werden, sind unmittelbar unter der Kaufhofgründung und oberhalb der oberen Gefrierrohrbohrungen 72 m lange Injektionsrohre angeordnet. Erwartete Setzung und Stützenneigungen, die durch den Tunnelvortrieb auftreten, werden durch gezielte Vorhebungen im Vorfeld kompensieren.

Die Frostkörperherstellung vollzieht sich in mehreren Abschnitten, da sich die Firste planmäßig im nicht wassergesättigten Boden befindet. Zunächst wird ein U-förmiger Frostkörper erstellt, der mit den Schlitzwänden der Start- und Zielwände eine wasserdichte Wanne ausbildet. Nach dem Auffüllen der Wanne erfolgen das Aufgefrieren und das bergmännische Auffahren des Mittelstollens. Die beiden Seitenstollen können nach dem Einbau der Innenschale und den Mittelstützen und dem Aufgefriervorgang aufgefahren werden.

Die Arbeiten werden begleitet durch ein umfangreiches Messprogramm bestehend aus Temperaturmessungen im Frostkörper, Schlauchwaagenmessungen im Erdgeschoss des Warenhauses und Tachymetermessungen an den Kaufhoffassaden.

6. Querschlagsvereisung Finnetunnel, Thüringen

Das Bauvorhaben „Verkehrsprojekt Deutsche Einheit Nr. 8.2“ beinhaltet den Neubau der ICE-Hochgeschwindigkeitsstrecke zwischen Erfurt und Leipzig Halle, in dem der Finnetunnel einen Streckenabschnitt bildet. Er befindet sich ca. 25 km nördlich von Weimar an der Landesgrenze von Thüringen und Sachsen-Anhalt.



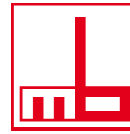
Der 6.970 m lange Tunnel besteht aus zwei, mit Vortriebsmaschinen aufgefahrenen parallelen Einzelröhren. Die Röhren haben einen Innendurchmesser von 9,60 m und sind mit einschaligen Tübbingungen ausgekleidet. Querschläge verbinden die Hauptröhren miteinander. Die jeweils ca. 15 m langen Verbindungsstollen wurden in konventioneller Spritzbetonbauweise hergestellt.

Im Vortriebsquerschnitt von zwei, der insgesamt 16 Querschläge, stehen zwischen intakten Wechselfolgen von Ton- und Sandstein, stark wasserführende, erodierende Sandschichten an. Der Wasserdruck beträgt bis zu 1,4 bar. Um die Erosion der Sande und den damit

einhergehenden Bettungsverlust des Tübbingtunnels zu vermeiden, wurde eine partielle Vereisung der Ausbruchsquerschnitte vorgesehen.



Die geometrischen Randbedingungen erforderten, den Vereisungskörper jeweils von beiden Hauptröhren aus herzustellen. Hierfür wurde in beiden Röhren unabhängige Solegefrierkreisläufe installiert, die parallel beide Querschläge bediente.



Die beengten Platzverhältnisse und der laufende Baustellenverkehr, während der gesamten Bauzeit, erforderten in beiden Haupttunneln verschiedene Baubehelfe. Dazu zählten u. a. zahlreiche Bühnen- und Konsolkonstruktionen zur Aufnahme der Aggregate, Pumpen und Leitungen, sowie diverse Fahrbahnquerungen. Weiterhin mussten einzelne Gefrierrohre, die im Ausbruchsquerschnitt lagen, während des Vortriebs rückgebaut und anschließend wieder in Betrieb genommen werden.

Zur Überwachung der Frostkörper, mit einem Gesamtvolumen von ca. 1.500 m³, wurden insgesamt über 250 Messgeber installiert und laufend ausgewertet. Die Dicke der Frostkörper wurde mit Hilfe von lagevermessenen Temperaturmessrohren überprüft. Mittels Oberflächenmessfühler wurde das Heranreichen des Frostkörpers an den Tübbingtunnel kontrolliert.

7. Resümee

Die Baugrundvereisung wird in unterschiedlichen Bauprojekten als ein planbares und flexibles Verfahren eingesetzt. Dabei hat sich das Verfahren als eine zuverlässige temporäre Bauhilfsmaßnahme bewährt. Entscheidend für die erfolgreiche Realisierung von Bodengefriermaßnahmen sind die Gefrier- und Temperaturmessbohrungen. Hier kommen je nach geometrischen und geologischen Erfordernissen unterschiedliche Techniken zum Einsatz.

Die Einheit aus Bohr-, Gefrier- und Messtechnik gepaart mit Kenntnissen aus der Geologie und Hydrologie bilden den Schlüssel zum erfolgreichen Einsatz der Bodengefrieretechnik.

Literatur:

[1] Müller, B., Selmer K., (2005): Baugrundvereisung am U-Bahnhof in München, Tunnel 1/2005, S. 30 – 36

[2] Bayer, F., Müller, B.; (2008): Baupraktische Erfahrungen eines Vortriebs im Schutze eines umhüllenden Frostkörpers am Beispiel des U-Bahnhofs Brandenburger Tor, Berlin, Geomechanik und Tunnelbau 2008 Heft 5; S. 498 - 503

[3] Müller, B., (2012): Baugrundvereisung am U-Bahnhof in München, Tagungsband Swiss Tunnel Congress 2012, S. 162 – 175