

2021

Ernst & Sohn Special

April 2021, S. 5-7
A 61029

Sonderdruck

Spezialfälle und Sonderlösungen



Baugrundvereisungen im Tunnel- und Spezialtiefbau

Baugrundvereisungen im Tunnel- und Spezialtiefbau

Seit dem 4. Dezember 2020 ist mit der Freigabe des Lückenschlusses zwischen dem Brandenburger Tor und dem Alexanderplatz die Linie U5 in Berlin zwischen dem Hauptbahnhof und Hönow durchgängig befahrbar. Eine bautechnische Herausforderung stellte dabei die Haltestelle Museumsinsel dar. Die Lage unmittelbar unter dem Spreekanal erforderte einen bergmännischen Vortrieb im Schutze einer Bodenvereisung.

Im gesamten Streckenverlauf stehen überwiegend sandige und kiesige Böden bei einem hohen Grundwasserstand an. Während bei den Haltestellen Unter den Linden sowie Rotes Rathaus einschließlich des Gleiswechsels am Marx-Engels-Forum eine offene Bauweise möglich war, liegt die Haltestelle Museumsinsel unter dem Spreekanal und war daher von der Oberfläche aus nicht vollständig erreichbar. Nach Errichtung der Schlitzwandbaugruben an den Kopfenden wurde der Bereich des künftigen Bahnhofs zunächst von der Tunnelvortriebsmaschine durchfahren. Anschließend erfolgte der Aushub der Zugangsbauwerke, zwischen denen aus 95 je 105 Meter lange, horizontalen Vereisungsbohrungen hergestellt wurden. Diese wurden schließlich mit einer -35 °C kalten Sole beaufschlagt. Etwa 60 Tage später war der umliegende Boden soweit gefroren, dass die Tübbinge im Schutze des nun gefrorenen Bodens abgebrochen und der Tunnel zum Bau der Innenschale auf das Profil des endgültigen Bahnhofsquerschnitts aufgeweitet werden konnte. Rund 2000 Temperaturmessfühler haben den Frostkörper während der Vortriebsarbeiten dauerhaft überwacht. Mitte Juli 2019 war der Rohbau soweit abgeschlossen und die Vereisung konnte abgestellt werden. Damit reihte sich der Bahnhof Museumsinsel neben der ebenfalls an der U5 liegenden Haltestelle Brandenburger Tor, der U-Bahnstation Heinrich-Heine-Allee in Düsseldorf sowie dem Tiefbahnhof des Leipziger Hauptbahnhofs in die Liste großer Infrastrukturmaßnahmen in Deutschland ein, die auf Grund ihrer komplexen, innerstädtischen Randbedingungen nur mit dem Verfahren der Baugrundvereisung realisiert werden konnten. Bei den vorgenannten Projekten konnten sich die Bauherren dabei auf die Expertise von CDM Smith verlassen, denn unsere Spezialisten verfügen über eine einzigartige Fachkenntnis und Erfahrung aus weltweit über 150 erfolgreich realisierten Bodenvereisungsprojekten.

Das Verfahren der Baugrundvereisung

Das Verfahren der Baugrundvereisung ist keinesfalls neu. Das erste Patent geht auf Herrmann Poetsch aus dem Jahr 1883 zurück und stammt aus dem Bergbau, um die Schächte durch die oberen, grundwasserführenden Schichten abteufen und vor dem anstehenden Wasser- und Gebirgsdruck bis zum Einbau der endgültigen Sicherung temporär sichern zu können. Aus dem Bergbau ist die Baugrundvereisung auch heute immer noch nicht wegzudenken.

Mit den immer komplexeren, innerstädtischen Bauaufgaben hat sich die Baugrundvereisung inzwischen auch zu einer bewehrten Methode im Tunnel- und Spezialtiefbau entwickelt, um auf sichere Weise wassergesättigte Lockergesteinsböden stabilisieren zu können. Zudem ist das



Bild 1. Marmaray-Projekt, Istanbul. Bodenvereisung zur Abdichtung eines havarierten Dichtblockes bei der Einfahrt der Tunnelvortriebsmaschine

Verfahren sehr umweltschonend, da keine Stoffe in den Baugrund eingebracht werden, sondern das vorhandene Wasser zeitweise in einen anderen Aggregatzustand versetzt wird.

Neben dem bereits erwähnten Beispiel des klassischen Tunnelvortriebs werden oftmals Baugrundvereisungen im Anschlussbereich von Neu- an Bestandsbauten ausgeführt. Weiterhin hat sich die Baugrundvereisung seit dem 2003 eröffneten Westerscheldetunnel zur Standardmethode zum Bau von Querschlägen etabliert. Die hier von CDM Smith gesammelte Erfahrung in Planung, Bau und Überwachung konnten unsere Experten in mehr als 20 weiteren Tunnelbauprojekten weltweit einfließen lassen.

Im Spezialtiefbau kommt das Verfahren auch bei kleineren, unterhalb des Grundwasserspiegels liegenden Maßnahmen zur Anwendung, bei denen beengte Platzverhältnisse vorliegen und der Zugang von der Oberfläche beschränkt ist. So haben unsere Ingenieure zum Beispiel eine Bergebaugrube für einen unterhalb eines Bauwerkes im Grundwasser liegenden Blindgänger mit Frostwänden geplant.

Bei Havariefällen stellt sich die Flexibilität des Verfahrens unter Beweis. Der Einsatz reicht hier von der kurzfristigen Abdichtung von Schlitzwandfugen bis hin zur Bergung ganzer Tunnelbohrmaschinen. So konnte zum Beispiel im Schutze einer von CDM Smith geplanten Bodenvereisung die nach einem Verbruch verschüttete Tunnelbohrmaschine für die Linie 3 der Metro Kairo wieder geborgen und der beschädigte Tunnelabschnitt saniert werden.

Prinzip der Bodenvereisung

Das Prinzip der Bodenvereisung funktioniert ähnlich wie ein Tiefkühlschrank: Doppelwandige Rohre, sogenannte Gefrierlanzen, werden in den Boden eingebracht, durch die ein Kälte-träger strömt. Eine Pumpe fördert den Kälte-träger durch das innere Rohr nach unten, der über den

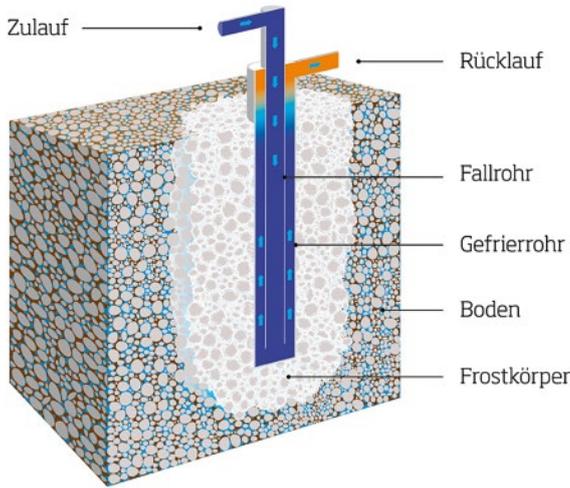


Bild 2. Prinzip der Bodenvereisung

äußeren Bereich zurückfließt und dabei dem umgebenden Boden Wärme entzieht. Auf diese Weise entstehen um die Gefrierlanzen zylinderförmige Frostkörper, die sich mit fortschreitender Gefrierzeit vergrößern und zu einem massiven Frostkörper zusammenwachsen. Diese Frostkörper stabilisieren den Baugrund so lange, bis das Bauwerk die Lasten aufnehmen kann.

Sole oder Stickstoff

Je nach Rahmenbedingungen werden zwei unterschiedliche Verfahren eingesetzt. Wird der Frostkörper über einen langen Zeitraum benötigt, kommt eine spezielle Salzlösung (Sole) als Kälteträger zum Einsatz, die Temperaturen von bis zu -35 °C erreicht. Muss es dagegen schnell gehen, wird mit flüssigem Stickstoff gekühlt. Dieser ist bei der Einleitung -196 °C kalt und kann höhere Grundwasserfließgeschwindigkeiten beherrschen als eine Solereisung. Nachteil ist jedoch, dass der flüssige Stickstoff auf dem Weg durch die Gefrierrohre verdampft und daher kontinuierlich nachgeliefert werden muss. Über längere Zeiträume ist dieses Verfahren daher sehr teuer. Je nach Maßnahme können daher auch beide Verfahren miteinander kombiniert werden.

Von der Idee zur Ausführung

Zu Beginn einer Vereisungsmaßnahme steht zunächst eine Machbarkeitsstudie. Dank unserer Erfahrung sind die Experten von CDM Smith auch ohne Laborversuche in der Lage, die Ausführbarkeit einer Vereisungsmaßnahme einschließlich der erforderlichen Zusatzmaßnahmen zu bewerten und die Dauer der Maßnahme sowie der Kosten zutreffend zu schätzen.

Um in unserem Frostlabor eine hohe Qualität der Ergebnisse zu gewährleisten, entwickelt CDM Smith mit dem Bauherrn ein Erkundungsprogramm, welches in die ohnehin durchzuführende Baugrunderkundung integriert werden kann. Somit können häufig Kosten für eine zweite Erkundungskampagne gespart werden.

Ausgehend von den Laborergebnissen werden im Rahmen der Entwurfsplanung die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten der Böden bestimmt und der erforderliche Frostkörper nachgewiesen.

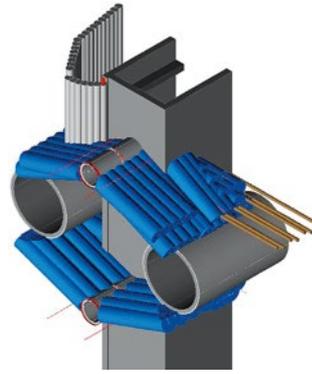


Bild 3. Nord-Süd-Stadtbahn Köln, Haltestelle Severinstraße. 3D-Planung des Frostkörperanschlusses der Tunnelröhren an das Zugangsbauwerk

derliche Frostkörper nachgewiesen. Mit den durchzuführenden, wärmetechnischen Berechnungen können die für den Bauzeitenplan wesentlichen Aufgefrierzeiten ermittelt und die Gefrieranlagen dimensioniert oder der Stickstoffbedarf bestimmt werden. Je nach Anforderungen werden diese Berechnungen zwei- oder dreidimensional durchgeführt. In diesem Zuge sind auch die Auswirkungen der Vereisung auf eventuell im Umfeld liegende Bauwerke zu bewerten.

Im Rahmen der Ausführungsplanung erfolgt eine konkrete Anordnung der Gefrierrohre. Neben den Vorgaben aus der Entwurfsplanung sind bei den oftmals ohnehin begrenzten Platzverhältnissen zusätzlich auch die Bewegungsradien der einzusetzenden Geräte zu beachten. Weitere Einschränkungen ergeben sich aus der Bewehrung der zu durchbohrenden Verbauwände beziehungsweise Tübbinge sowie der Aussteifungen. Dabei offenbaren sich die komplexen Schnittstellen zwischen allen Beteiligten. Durch die interdisziplinäre Arbeitsweise kennen die CDM Smith-Ingenieure die unterschiedlichen Bedürfnisse der Beteiligten und verfügen daher über die Kompetenz, diese Schnittstellen zu managen.

Ein Speziallabor für Frostversuche

Die Planung der Vereisung erfordert detailgenaues Wissen über Eigenschaften und Verhalten gefrorener Böden. Nach Erkundung des Untergrundes, welche zur Gewährleistung der Probenqualität oftmals durch unsere Geologen vor Ort begleitet wird, wird das Verformungsverhalten und die Tragfähigkeit der Böden in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit in unserem CDM-Smith-eigenen Speziallabor in Bochum bestimmt. Die Durchführung der Versuche in Kühlkammern bei bis zu -20 °C erfordert dabei besondere Anforderungen an die Versuchsaufbauten und die Messwerterfassung. Dank unserer über 35-jährigen Erfahrung können wir eine hohe Qualität bei Probenherstellung, Durchführung und Auswertung gewährleisten sowie die Ergebnisse mit unserer international führenden Datenbank plausibilisieren. Dabei ist stets zu bedenken, dass die Festlegung der Kennwerte wesentlich für eine sichere und wirtschaftliche Ausführung der zu planenden Vereisungsmaßnahme ist.

Fachkompetenz vor Ort

Die Bandbreite der Kennwerte des in-situ anstehenden Bodens ist größer als bei anderen Baumaterialien, wie zum



Bild 4. Gefrorener Boden in offenem Querschlag unter 4 bar Wasserdruck unter dem Suez-Kanal, Ägypten (Abbildungen: CDM Smith Consult GmbH)

Beispiel Beton. Trotz bester Planung darf nicht vergessen werden, dass beim Erdaushub ausschließlich der (gefrorene) Boden das schützende Element vor Wasser- und Gebirgsdruck darstellt und ein Versagen fatale Folgen haben würde. Daher ist die Anwendung der Beobachtungsmethode unerlässlich. Hierzu werden die Frostkörper sowie die umliegenden, aussteifenden Bauteile mit Temperatur- und Verformungssensoren ausgestattet sowie laufend online überwacht. Durch das ausgeprägte Kriechverhalten kann somit ein mögliches Versagen des Frostkörpers frühzeitig erkannt werden. Dank der zu erarbeitenden Störfallkataloge wird die Eintrittswahrscheinlichkeit erheblich reduziert. Sollte sich tatsächlich ein Versagen ankündigen, steht dank der zuvor erarbeiteten Havariekonzepte alles bereit, um weiteren Schaden abzuwenden. Der Vorbereitung und Überwachung von Vereisungsmaßnahmen kommt damit eine besondere Verantwortung zuteil. Hierzu begleiten die CDM Smith-Experten die Maßnahmen auch vor Ort und machen eine Vereisungsmaßnahme zu einem sehr sicheren Bauverfahren auch bei komplexesten Randbedingungen.

Weitere Informationen:

CDM Smith Consult GmbH
 Dipl.-Ing. Sven Keßler
 Am Umweltpark 3-5, 44793 Bochum
 Tel. (0234) 68775 526
 sven.kessler@cdmsmith.com
 cdmsmith.com

Nachhaltige Lösungen weltweit



**CDM
Smith®**

listen. think. deliver.

cdmsmith.com

BERATUNG · PLANUNG · BAUBEGLEITUNG · PROJEKTSTEUERUNG