
NASSSPRITZEN AUF VEREISTEM UNTERGRUND AM BEISPIEL DER U-BAHN-STATION PARISER PLATZ, BERLIN

WET-MIX SHOTCRETE APPLICATION ON FROZEN SUBSTRATE AT THE METRO - STATION PARISER PLATZ, BERLIN

Dipl.-Ing. Veit **Reinstadler**, MAPEI SpA, Underground Technology Team, Mailand, Italien
Dipl.-Ing. Andreas **Poitz**, MAPEI GmbH, Underground Technology Team, Erlenbach,
Deutschland

Ein Beispiel für die Leistungsfähigkeit von Betonzusatzmitteln ist die derzeit im Bau befindliche U-Bahn-Station Pariser Platz in Berlin. Dieses Projekt stellt ein dichtes Geflecht aus technischen, ordnungsrechtlichen sowie logistischen Randbedingungen und Zwängen dar. Größtenteils musste bergmännisch mit Vereisung gearbeitet werden und eine Belieferung mit Transportbeton schied aus.

Die gewählte Lösung beinhaltet einen Nassspritzbeton aus einer vorkonfektionierten Trockenmischung. Dies ermöglicht die Lagerung in nur einem Silo und die unabhängige flexible Herstellung in einer kleinen stationären Mischanlage.

Durch die Abstimmung von Hochleistungsverflüssiger und Erstarrungsbeschleuniger konnte eine Versorgung der Baustelle mit Nassspritzbeton als vorkonfektioniertem Trockenbaustoff unter den schwierigen Bedingungen der Vereisung realisiert werden.

The metro-station Pariser Platz in the city centre of Berlin, actually under construction, is a good example to demonstrate the performance of concrete admixtures. This project is characterized by a fine meshwork of technical, municipal and logistical basic conditions and restrictions. Mainly, the construction had to be carried out by tunnelling using the mining method on a frozen substrate and the supply of ready-mixed concrete was impossible.

The chosen solution is a wet-mix shotcrete using a pre-fabricated dry-concrete-mixture. This guarantees the storage of the concrete in only one silo and allows the autarkic and flexible production of the mix in a small stationary mixing unit.

By tuning of the high-performance-superplasticizer and the shotcrete-accelerator the supply of the job-site with wet-mix shotcrete, as pre-fabricated dry-mix, could be realized also under the difficult conditions of frozen substrate.

1. Einleitung

Die U-Bahn-Station „Brandenburger Tor“, im Zentrum Berlins am Pariser Platz gelegen, wird 2009 ihren Betrieb als Bestandteil der Linie U55 aufnehmen. Eigentlich ist die Erstellung einer U-Bahn-Station, als Standardmaßnahme des Tiefbaus, keiner besonderen Erwähnung wert. Eine Reihe ausführungstechnischer Besonderheiten, die sich aus der geschichtsträchtigen und gegenwartspolitisch bedeutenden Lage des Bauwerkes sowie den Besonderheiten des Berliner Baugrunds ergeben, verlangen diesem Objekt jedoch eine besondere Aufmerksamkeit ab.

Der Standort des U-Bahnhofs, mit seiner unmittelbaren Nähe zum Brandenburger Tor, umrahmt von Fernsehstudios, Botschaften und dem Hotel Adlon, eine der ersten Hoteladressen Berlins, ist durch großes Verkehrsaufkommen, besondere ordnungsrechtliche Regelungen und häufige polizeiliche Sondereinsätze gekennzeichnet. Den täglichen Strömen von Besuchern aus aller Welt Berlins historische Gebäude und Plätze möglichst ohne Beeinträchtigungen zugänglich zu machen, genießt hier höchste Priorität. Ausnahmen bilden lediglich temporäre Absperrmaßnahmen, die beim Eintreffen prominenter Gäste aus Unterhaltung, Sport und Politik notwendig werden.

Eine Baustelle hat sich hier unterzuordnen!

Die sich ergebenden ordnungsrechtlichen Restriktionen sind ebenso einfach wie kurz formulierbar. „Möglichst wenig auffallen“.

Um den Straßen- und Publikumsverkehr rund um das Brandenburger Tor aufrechtzuerhalten, muss die Baustelle auf minimale Abmessungen beschränkt bleiben und ihre Geometrie den vorhandenen Bebauungen sowie Straßenführungen angepasst werden.

Einflüsse der Baustelle auf ihre Umgebung wie Verkehr, Lärm, Schmutz und Staubentwicklungen, mussten durch technische und organisatorische Maßnahmen auf ein absolutes Minimum reduziert werden. Auch für die Planung der Baustellenversorgung ergaben sich Besonderheiten. So waren etwa Unstetigkeiten bei Baustoffanlieferungen durch jederzeit mögliche Sperrungen von Zufahrtsstraßen im Zuge polizeilicher Sicherheitsmaßnahmen im Falle prominenter Gäste der umliegenden Einrichtungen zu berücksichtigen. Das Gesamtkonzept des Bauablaufs musste somit eine immer wiederkehrende, temporäre „Insel-situation“ berücksichtigen und während dieser Phasen ein völlig autonomes Funktionieren gewährleisten.



Bild 1: Baustelle eingepasst in örtliche Bebauung und Straßenführung. Im Falle prominenter Besucher aus Unterhaltung, Sport und Politik dieses zentralen Bereiches Berlins, werden Zufahrtsstraßen aus Sicherheitsgründen vorübergehend gesperrt. (Bild: MAPEI GmbH)

2. Anpassung des Baustellenkonzepts an die Randbedingungen

Aus Gründen der geforderten räumlichen Eingrenzung der Bauaktivitäten an den Oberflächen, schied eine üblicherweise naheliegende Erstellung der etwa 100 m langen U-Bahn-Station in offener Bauweise bereits in den frühen Planungsphasen aus. Ausgehend von einer nur etwa 28 m x 25 m messenden Startbaugrube, die nach der Fertigstellung das Zugangsbauwerk bildet, erfolgt die Realisierung daher in geschlossener Bauweise mittels bergmännischen Vortriebs.

Eine planerische Sonderleistung stellt das Konzept des für die Vortriebsicherung benötigten Spritzbetons dar. Deutlich wird dies, wenn man einmal das gesamte Anforderungsprofil betrachtet, das, unter Berücksichtigung der Baustellenrestriktionen, von diesem Gewerke abgedeckt werden muss:

- a) geringe Staubbelastigung und Reduzierung von Lärm sowie Baustellenverkehr
- b) gleichmäßige Qualität
- c) kontinuierliche Verfügbarkeit des Bereitstellungsgemisches auch bei Straßensperren
- d) eingeschränkte Lagerflächen aufgrund beengter Baustellenverhältnisse

Die grundlegende Umsetzung dieses Anforderungsprofils erfolgte mit einem Nassspritzbeton. Eine gezielte sowie gleichmäßige Produktqualität, der geringere zu erwartende Rückprall und eine reduzierte Staubentwicklung gaben den Ausschlag gegenüber der Trockenspritzvariante.

Als problematisch erwies sich jedoch die Sicherstellung einer kontinuierlichen Verfügbarkeit des Bereitstellungsgemisches. Eine Produktion direkt vor Ort, mit entsprechender Vorhaltung der einzelnen Stoffkomponenten, scheiterte an den beengten Platzverhältnissen. Die Belieferung mittels Fahrmischern über die ortsansässige Transportbetonindustrie schied aufgrund der Unwägbarkeiten des Berliner Straßenverkehrs und der jederzeit möglichen Sperrung von Zufahrtsstraßen aus.

Man entschied sich daher für die Verwendung einer vorgefertigten Trockenmischung, die unter dem begrenzten Raumangebot der Baustelle in einem schlanken Standsilo in ausreichender Menge mit variablen und daher gut kalkulierbaren Umschlagintervallen bevorratet werden konnte.

Über eine kleine stationäre Mischeinheit erfolgte dann, ausschließlich durch Zugabe von Wasser, die Herstellung des nassen Bereitstellungsgemisches, das zunächst per Radlader, später mittels Dichtstromförderung dem Spritzmobil zugeführt wurde.

Somit ergab sich letztendlich ein Konzept, das die wesentlichen Vorteile des Trocken- und Nassspritzens in sich vereint. Ein vorkonfektionierter Trockenbeton, der vor seiner Anwendung vor Ort portionsweise angemischt und dann im Nassspritzverfahren verarbeitet werden kann.

In dieser Weise konnte das gesamte Anforderungsprofil abgedeckt werden. Spritzbeton, der, unabhängig von äußeren Einflüssen, in maßgeschneiderter Qualität jederzeit und in praktisch jeder Menge verfügbar ist, und ein Konzept, das Auswirkungen durch Lärm, Staub und Verkehr auf ein Minimum reduziert.



Bild 2: Silo für Trockenbeton mit unterhalb angeordneter Mischeinheit (Bild: ARGE U55)

3. Baustofftechnologische Umsetzung des gewählten Konzepts

Die aus baustofftechnologischer Sicht wichtigste Voraussetzung zur Realisierung des geplanten Konzepts für den Spritzbeton, ist ein Fließmittel, das über ein sehr breites Eigenschafts- und Wirkungsspektrum verfügt. Stellt man zur Veranschaulichung dieses Sachverhaltes sämtliche Funktionen zusammen, die das Fließmittel erfüllen bzw. beeinflussen muss, wird auch noch einmal die Komplexität des Prozesses deutlich.

- a) Das Produkt muss als Pulver vorliegen, um in der Trockenbaustoffvorfertigung einsetzbar zu sein. In dieser Eigenschaft muss es außerdem absolut agglomeratfrei sein, damit sein homogenes Einmischen in den Trockenbeton gewährleistet ist.
- b) Da beim Chargenweisen Herausziehen von Trockengemischen aus einem Standsilos Entmischungseffekte nie völlig ausgeschlossen werden können, muss das Fließmittel entsprechende Rezepturschwankungen „abfedern“ und der Herstellung des Bereitstellungsgemisches somit eine genügend große Robustheit verleihen.
- c) Um die Produktionsleistung der aus Platzgründen nur kleinvolumig ($0,75 \text{ m}^3$) gewählten Mischeinheit der Vortriebgeschwindigkeit anzupassen, sind kurze Mischzeiten von deutlich unter 60 Sekunden erforderlich. Diese sind nur mit einem Fließmittel realisierbar, das seine dispergierende Wirkung sehr schnell entfaltet.
- d) Selbstverständlich muss das zum Einsatz gelangende Fließmittel, als Basiseigenschaft, eine hohe Wassereinsparung ermöglichen, um grundlegende betontechnologische Anforderungen im Sinne der angestrebten Betonqualitäten zu erfüllen.
- e) Parallel zu seiner „Verflüssigung bzw. Wassereinsparung“, muss das Fließmittel auch eine stabilisierende Wirkung auf den Beton ausüben. Im vorliegenden Fall war zu-

nächst der Transport des Bereitstellungsgemisches zum Spritzmobil mittels Radlader vorgesehen. Um Entmischungen und Inhomogenitäten durch diesen relativ „unruhigen“ Transport (Bild 3), bei gleichzeitig sehr weicher Konsistenz (F 5), auszuschließen, ist eine Konsistenzstabilisierende Wirkung unerlässlich. Obendrein müssen die genannten Leistungsparameter durch das gewählte Fließmittel auch noch ausreichend lange aufrechterhalten bleiben, um Unwägbarkeiten im Arbeitsablauf Rechnung zu tragen.

- f) Schließlich muss noch die „Chemie“ des Betons, und damit in erster Linie die des zum Einsatz gelangenden Fließmittels, auch auf die Reaktivität des später zugesetzten Spritzbetonbeschleunigers abgestimmt sein. In diesem Zusammenhang war noch eine weitere markante, objektspezifische Besonderheit zu berücksichtigen, auf die später eingegangen wird.



Bild 3: Per Radlader zum Spritzmobil transportiertes Bereitstellungsgemisch. Der Beton bietet sich trotz „unruhigem“ Transport mittels Radlader homogen dar. Keine Entmischungen infolge großer Fallhöhe. (Bild: MAPEI GmbH)

Die Festlegung des Fließmittels erfolgte empirisch über sorgfältig ausgewählte Wirksamkeits- und Verträglichkeitsuntersuchungen. Als am besten geeignet erwies sich hierbei ein durch Sprühtrocknung gewonnenes Fließmittel auf Acrylpolymerbasis.

Neben einer hohen Wassereinsparung zugunsten eines W/Z-Wertes von ca. 0,5, ermöglicht das ausgewählte Produkt sehr kurze Mischzeiten von ca. 45 Sekunden. Sein breites Wirkungsspektrum in Bezug auf das rheologische Verhalten des Frischbetons federt Konsistenzschwankungen durch unvermeidbare Entmischungseffekte im Trockenbeton bei niedrigem Füllstand im Silo ab und verleiht dem Anmischvorgang somit die angestrebte Robustheit. Außerdem sorgt es in Verbindung mit dem verwendeten Zement für eine Forcierung der Entwicklung der Frühfestigkeiten.

4. Abstimmung für den Spritzauftrag auf gefrorenem Untergrund

Die größte Herausforderung für die gesamte Baumaßnahme und insbesondere auch für den Spritzbeton, stellen die Grundwasserverhältnisse im Zentrum Berlins dar.

Das Grundwasser reicht hier bis ca. 2 m unter die Erdoberfläche. Da Grundwasserabsenkungen als flankierende Maßnahmen aus Gründen des Umweltschutzes und der Gefährdung der umgebenden Bebauung in Berlin nicht erlaubt sind, blieb hier nur die Erstellung des gut 20 m tiefen Bauwerkes unter einer grundwasserdichten, unterirdischen Abschirmung.

Hierzu wurde zunächst eine Startgrube, die später als Zugangsbauwerk dient, mittels Schlitzwänden und HDI – Sohle als wasserdichter Trog hergestellt. Von dieser Startgrube ausgehend, erfolgte dann der bergmännische Vortrieb des eigentlichen U-Bahnhofes im Schutze eines entsprechend der Baukörpergeometrie angeordneten, ca. 3 m mächtigen Eispanzers.

Zur Gefrierung des Bodens wurden 30 Microtunnel mit einem Durchmesser von 1,6 m längs des späteren U-Bahnhofs in den Boden getrieben. In diese Microtunnel wurden jeweils 4 Gefrierrohre eingebaut und verdämmt. Eine -38°C kalte Salzlösung, erzeugt von speziell konzipierten Kälteaggregaten, durchströmte die Gefrierrohre und entzog so dem Boden seine Energie. Die Vereisung unterteilte sich in 2 Abschnitte. Umschlossen von 14 Microtunneln erfolgte zunächst das Auffahren des Mittelstollens. Nach dessen Herstellung wurden die restlichen Microtunnel aktiviert und die beiden seitlichen Stollen aufgefahren.

Die gefrorenen Oberflächen und der Umstand, dass mit dem Ausbruch des Tunnelgewölbes der Eisschutzpanzer zu schmelzen beginnt, verlangten dem Spritzbeton Höchstleistungen ab. Die angestrebten Frühfestigkeiten orientierten sich an der Klasse J2. Aufgrund der außergewöhnlichen Randbedingungen wurde jedoch lediglich eine Festigkeit von 9 N/mm^2 nach 12 Stunden vertraglich vereinbart.

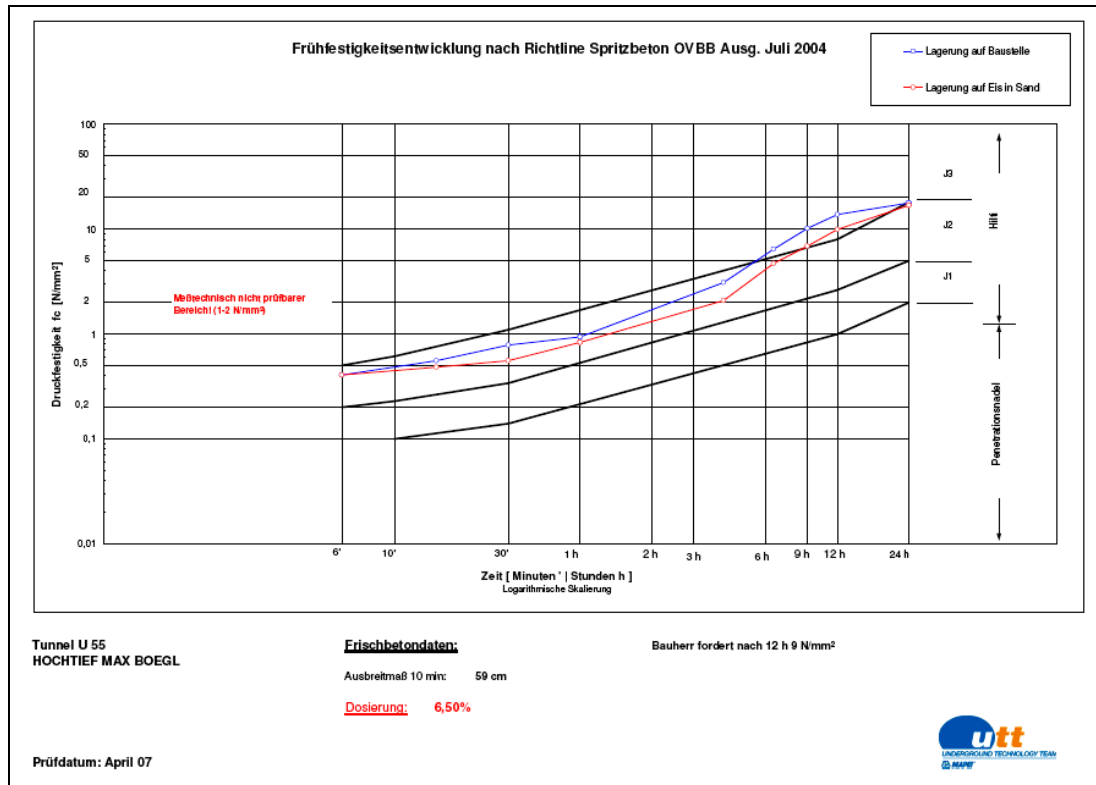
Um diese Anforderung unter den gegebenen Umständen zu erreichen, war eine optimale Abstimmung aller Stoffkomponenten (insbesondere Bindemittel, Fließmittel und Erstarrungsbeschleuniger) erforderlich. Obgleich hierbei natürlich die Forcierung der Festigkeitsentwicklung im Vordergrund stand, durften applikationstechnische Parameter nicht außer Acht gelassen werden.

So muss das mit dem Erstarrungsbeschleuniger versehene Gemisch beim Auftreffen des Spritzstrahls auf den Untergrund noch für einen kurzen Augenblick plastisch bleiben. Nur so ist sichergestellt, dass sich der Beton auch noch über den Untergrund „treiben“ lässt und diesen somit gut benetzen kann, was der Adhäsion des frisch aufgetragenen Materials am Untergrund zugute kommt. Auch für das sichere Umschließen der Bewehrung ist eine kurze Phase plastischer Konsistenz beim Auftreffen des Spritzstrahls wichtig, bevor sich dann die Wirkung des Erstarrungsbeschleunigers vollständig entfaltet.

Um diese zum Teil diametralen Verhaltensmuster im Spritzgut zu vereinen, waren umfangreiche Justierungsmaßnahmen zur Festlegung einer geeigneten Rezeptur notwendig.

Die empirischen Untersuchungen hierzu begannen mit Orientierungsversuchen am Leim, die Informationen über das Erstarrungsverhalten des Bindemittels in Kombination mit unterschiedlichen Varianten an Fließmitteln und Erstarrungsbeschleunigern erbrachten. Anschließend Versuche an entsprechenden Mörtelgemischen lieferten Anhaltswerte für die Festigkeitsentwicklung in den ersten Stunden.

Aus diesen Untersuchungen heraus favorisierte Rezepturen wurden dann in größerem Maßstab im Versuchsstand des Trockenbaustoffherstellers durch Spritzproben einer weiteren Selektion unterzogen, bevor die aussichtsreichsten Gemische in „1:1-Versuchen“ vor Ort getestet wurden. Hierzu wurde am Objekt eigens eine Spitzschalung vorbereitet, durch die separat aus dem örtlichen Vereisungssystem abgezweigte Kühlschlangen geleitet wurden. Ein wassergesättigtes Sand-Kiesgemisch simulierte den Untergrund.



*Bild 4: Überprüfung Frühfestigkeitsentwicklung auf der Baustelle
(Bild: Rombold & Gfröhner GmbH)*

Die Veröffentlichung näherer Details zur letztendlich eingesetzten Spritzbetonrezeptur ist angesichts des erheblichen, notwendigen Entwicklungsaufwands zur Anpassung an die außergewöhnlichen Randbedingungen, seitens des Trockenbaustoffherstellers verständlicherweise nicht erwünscht.

In der Zeit von April 2007 bis März 2008 erfolgte das Auffahren des ca. 100 m langen U-Bahnhofs in 2 Abschnitten. Zunächst wurde der Mittelstollen komplett aufgefahren, und anschließend die beiden Seitenstollen. Zur Sicherung der Vortriebe war eine ca. 35 cm starke Spritzbetonschale erforderlich, deren Einbau auf dem vereisten Untergrund problemlos realisiert werden konnte. Der anfängliche Transport des Bereitstellungsgemisches mittels Radlader wurde später, zur Anpassung der Spritzleistung, auf eine Dichtstromförderung umgestellt.

Der zum Einsatz gelangte alkalifreie Spritzbetonbeschleuniger erlaubte zur Erfüllung der geforderten Festigkeitsentwicklung eine angesichts der Randbedingungen erfreuliche Dosierung von durchschnittlich 7%. Die Überprüfungen der Frühfestigkeiten mithilfe des Setzbolzenverfahrens und die Festigkeitsentwicklung anhand von Bohrkernen, bestätigten die Einhaltung der jeweiligen Anforderungen.

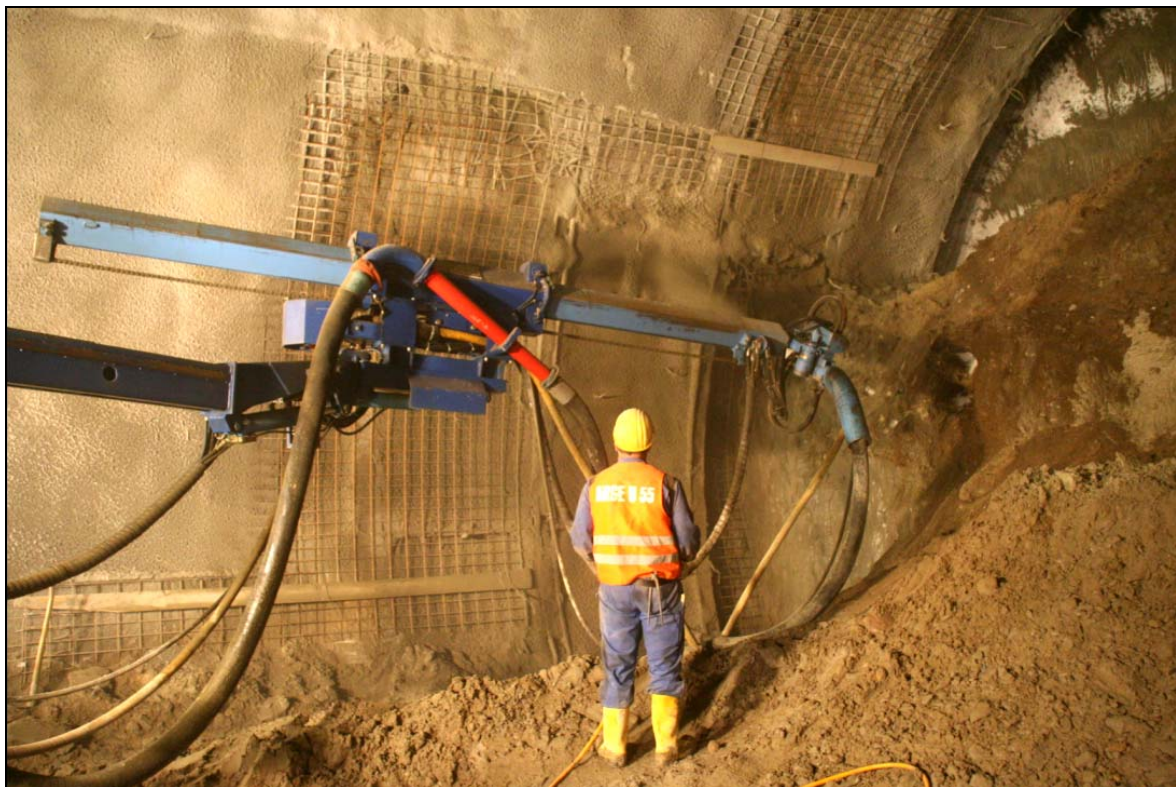


Bild 5: Einspritzen der Bewehrung der zur Vortriebssicherung erforderlichen Spritzbetonschale auf dem vereistem Untergrund (Bild: MAPEI GmbH)



Bild 6: Spritzen auf vereistem Untergrund. Das Spritzbild im Bereich des direkt vor der Ortsbrust eingespritzten Bogens unterstreicht das gute Funktionieren des Spritzbetons auf dem vereisten Untergrund. (Bild: MAPEI GmbH)

5. Zusammenfassung

Das Projekt U-Bahnstation Brandenburger Tor in Berlin ist ein sehr anschauliches Beispiel für den erfolgreichen Umgang mit Restriktionen und besonderen Erschwernissen bei der Abwicklung von Tiefbaumaßnahmen in Ballungsräumen. Die hier erarbeitete Lösung zur Sicherstellung der jederzeitigen Verfügbarkeit von Spritzbeton, weitgehend unabhängig von den vorliegenden äußeren Zwängen und Einflüssen, hat durchaus Vorbildcharakter für zukünftige, vergleichbar gelagerte Bauvorhaben. Auch hinsichtlich der erreichbaren Möglichkeiten bei der nicht alltäglichen Anwendung von Nassspritzbeton auf vereisten Untergründen, ist die beschriebene Maßnahme ein wertvolles Anschauungsobjekt. Deutlich wird aber auch, dass innovative Lösungen im modernen Tunnelbau, neben dem hohen vorbereitenden Versuchs- und Abstimmungsaufwand, ohne die Verfügbarkeit leistungsstarker Beton- und Mörtelzusatzmittel nicht umsetzbar wären.

Die Autoren

Dipl.-Ing. Veit Reinstadler

Von 1998 bis 2002 Verantwortlicher für Beton am Rennsteigtunnel; seit 2002 als UTT-Regionalmanager bei der MAPEI SpA für Mitteleuropa zuständig
v.reinstadler@utt.mapei.com

Dipl.-Ing. Andreas Poitz

Studium des Konstruktiven Ingenieurbaus von 1980 bis 1986 an der Universität Dortmund, anschließend 3 – jährige Tätigkeit im Technischen Büro einer mittelständischen Bauunternehmung, seit 19 Jahren anwendungstechnischer Berater für bauchemische Produkte, seit 1996 für die MAPEI GmbH
a.poitz@mapei.de