
Wienerwaldtunnel - Herstellung von Nass-Spritzbeton im MIC-System

WIENERWALDTUNNEL - PRODUCTION OF WET-MIX SHOTCRETE IN THE MIC-SYSTEM

ANDREAS RATH, JOHANNES HORVATH

Der Ostabschnitt des 13,35 km langen Wienerwaldtunnels wird konventionell mit der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode (NATM) aufgeföhren. Die Sicherung des Ausbruchs erfolgt hierbei klassisch mit Spritzbeton gemäß der Richtlinie-Spritzbeton der ÖVBB.

Wöhrend der knapp dreijöhrigen Vortriebszeit werden etwa 75.000 m³ Spritzbeton produziert. Das Mischen des Spritzbetons erfolgt als Besonderheit durch eine speziell daföhren im Tunnel errichtete MIC- Anlage. Lediglich die Beschickung des Zuschlagssilos erfolgt von der Oberflöhche. Um ein Entmischen der Zuschlagsfraktionen infolge der gröhßeren Schütthöhe zu verhindern, war es notwendig spezielle Maßnahmen hierfür zu setzen. Des Weiteren hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Trommeln der Fahrmischer zu adaptieren um eine optimale Durchmischung des Spritzbetons zu gewöhrenleisten. Die Föhderung des Nass-Mischgutes erfolgt im Dichtstromverfahren über Strecken bis zu 200 m.

Dieser Bericht gibt einen Überblick über die innovative Anwendung von Spritzbeton aus der MIC- Anlage und zeigt die logistischen, betontechnologischen und maschinentechnischen Löhungen auf, die notwendig waren um eine effiziente und ökonomische Verarbeitung von Nass-Spritzbeton zu ermöhglichen.

The eastern section of the "Wienerwald-Tunnel" with its length of 13.35 km is build conventionally with the New Austrian Tunnel Method (NATM). The primary support was done traditionally by shotcrete according to the guideline - Sprayed Concrete – of the Austrian Concrete Society. During tunnelling about 75.000 m³ shotcrete have to be produced within three years. For the mixing of the sprayed concrete, a MIC-System (mixed-in-car) was installed in the tunnel. Charging of the containers for the aggregates and the binder is done from ground level. To guarantee an uniform aggregate distribution in spite of the greater high of fall, a special procedure had to be developed. Furthermore an adaptation of the truck-mixers had to be done to obtain a better quality of the shotcrete. The maximum length of concrete delivery was about 200 m.

This report gives an overview of the necessary arrangements to guarantee an efficient and economical handling of the shotcrete process on this site.

1. Einleitung

Der ca. 13,35 km lange Wienerwaldtunnel ist wesentlicher Bestandteil der Neubaustrecke Wien - St.

Pölten und verbindet den Lainzer Tunnel am westlichen Stadtrand von Wien (Hadersdorf-Weidlingau) mit dem Tullnerfeld (Chorherrn). Die Rohbauarbeiten werden zwischen Juli 2004 und August 2009 in

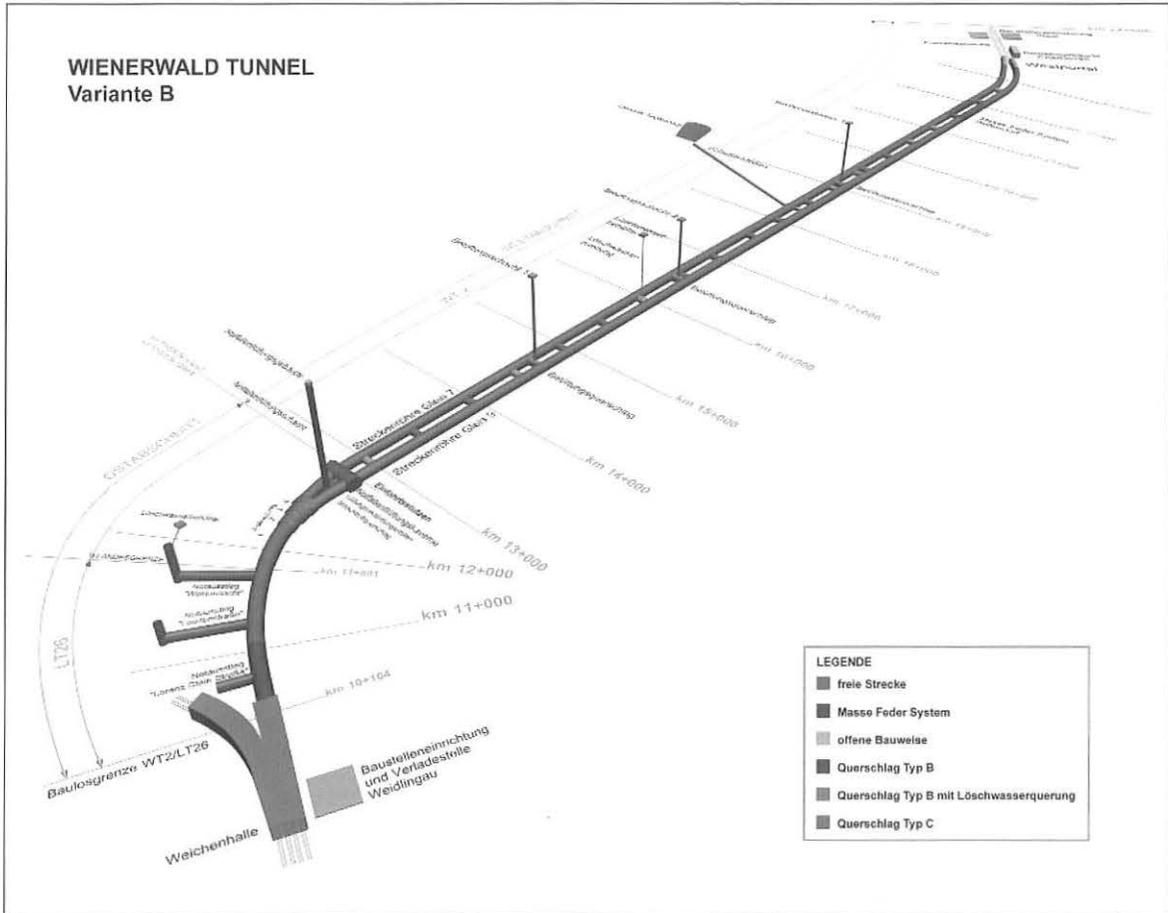


Bild 1: Übersicht Projekt Wienerwaldtunnel

62 Monaten Bauzeit abgewickelt und gliedern sich in vier große unterschiedliche Abschnitte (Bild 1):

- den Abschnitt Ost mit etwa 2,37 km Länge: Die Vortriebsarbeiten erfolgen hier im konventionellen Bagger- und Sprengvortrieb und sind geprägt von zahlreichen Profilwechseln und Sondermaßnahmen;
- den Abschnitt West mit zwei jeweils knapp 11 km langen Einzelröhren, die maschinell mittels zweier Hartgesteins-Schildmaschinen DN 10,68 m aufgeföhren werden und insgesamt 24 konventionell herzustellenden Querschlägen;
- der Deponie und dem Schutterstollen Taglesberg zur Förderung und Deponierung des Ausbruchmaterials an die Oberfläche;
- einem etwa 11 km langen Freilandabschnitt mit Schwerpunkt Erd- und Betonbau.

2. Verfahrenswahl Spritzbetonsystem Vortrieb Ost: Mixed-in-Car (MIC)

2.1 Randbedingungen

Die Anforderungen an das Spritzbetonsystem für den konventionellen Vortrieb Ost ergeben sich ei-

nerseits aus vertraglichen Forderungen sowie andererseits aufgrund der örtlichen Gegebenheiten:

- Im Gegensatz zu den anderen Bauabschnitten obliegt die Wahl des Spritzbetonsystems für den Vortrieb Ost nicht dem AN. Der Einsatz von Nassspritzbeton ist vorgeschrieben, ebenso die Vorhaltung eines einsatzbereiten Ersatzsystems.
- Ausschreibungsgemäß werden Spritzbetonqualitäten der Frühfestigkeitsklasse J2 sowie Festigkeiten bis zur Klasse SpC 25/30, auch unter Verwendung von C₃A-freien Zementen, eingesetzt.
- Die Technischen Vertragsbedingungen entsprechen der ÖVBB-Richtlinie Spritzbeton in der Fassung des Arbeitsstandes vom September 2003.
- Aufgrund des definierten hohen Sicherheitsniveaus bei einer Überlagerung von z.T. lediglich 12 m unter Bebauung wurde die Situierung einer Baustellen-Mischanlage in unmittelbarer Portalnähe angestrebt, um die Versorgung mit Nass-Mischgut rund um die Uhr optimiert sicherstellen zu können.
- Gleichzeitig müssen jedoch die vorgegebenen Grenzwerte hinsichtlich Lärm- und Staubentwicklung im dicht besiedelten Gebiet der beengten obertägigen Baustelleneinrichtungsfläche eingehalten werden.

- Aufgrund der erforderlichen Leistungen und der Installation eines Vortriebes im "Inselbetrieb" muss die Förderung im Dichtstromverfahren umgesetzt werden können.

2.2 Umsetzung

Durch Auftraggeber und ausführende Arbeitsgemeinschaft wurde gemeinsam eine untertägige Installation der gesamten Baustelleneinrichtung (ausgenommen Baubüros) umgesetzt. Dies beinhaltet auch die Errichtung einer unterirdischen Mischanlage für die Herstellung des Nass-Mischgutes. Gewählt wurde eine Anlage nach dem System Mixed-in-Car (MIC). In Österreich liegen diesbezüglich Erfahrungen von bisher zwei abgeschlossenen Projekten mit Förderung im Dünnstromverfahren vor.

Die Besonderheit liegt im Wesentlichen darin, dass der Mischvorgang anstatt in einem Zwangsmischer nach der Eindosierung der Ausgangsstoffe direkt im Fahrmischer erfolgt. Durch die Anlagenkonzeption ist ein automatischer Betrieb ohne Mischmeister möglich. Für den Vortrieb kann rund um die Uhr Nass-Mischgut verzögerungsfrei abgerufen und bereitgestellt werden. Da Hersteller und Verwender ident sind, entfallen beispielsweise die Kommunikationswege bei Bestellungen, kurzfristig erforderlichen Anpassungen bzw. allfälligen Qualitätsproblemen.

2.3 Anlagen- und Systembeschreibung

Die installierte MIC-Anlage besteht aus folgenden Einzelkomponenten (Bild 2):

- Aufnahmebunker für Gesteinskörnungen mit einem Nutzinhalt von 450 to. Die Beschickung erfolgt per LkW über einen abdeckbaren Gitterrost von der Oberfläche (Bild 3). Der Bunker ist in einem nicht ausgebauten etwa 12 m tiefen Notausstieg situiert und demnach allseitig geschlossen.

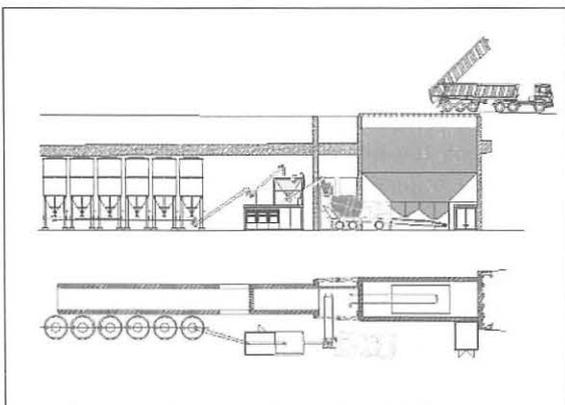


Bild 2: Situierung MIC-Anlage UT

- Förderband vom Bunker-Abzug zur Übergabestation mit Mikrowellensonde zur Bestimmung der Eigenfeuchtigkeit und integrierter Rollenbandwaage zur Bestimmung der Einwaage der Gesteinskörnungen.
- Bindemittelsilos (6 Stk. á 25 to) mit Förderschnecken und Bindemittelwaage inklusive Zwischensilo zur Verwiegung der gesamten vorgesehenen Menge für eine Charge.
- Zusatzmitteltanks für Fließmittel und Verzögerer mit automatischer Dosiereinrichtung.
- Wasserzähler mit elektronischem Durchflussmesser.
- Übergabestation zur Eindosierung der Ausgangsstoffe in den Fahrmischer (Bild 4). Aufgrund der untertägigen Installation wurde die Übergabestation ebenso wie die Filter der Zementsilos an eine zentrale Entstaubungsanlage angeschlossen.
- Kabine mit Anlagensteuerung. Hier finden die Rezeptspeicherungen und der Ausdruck sämtlicher Protokolle statt.
- Für den Winterbetrieb wurden eine Wasserheizung sowie im Aufgabebunker der Gesteinskörnungen elektrische Heizlatten installiert.

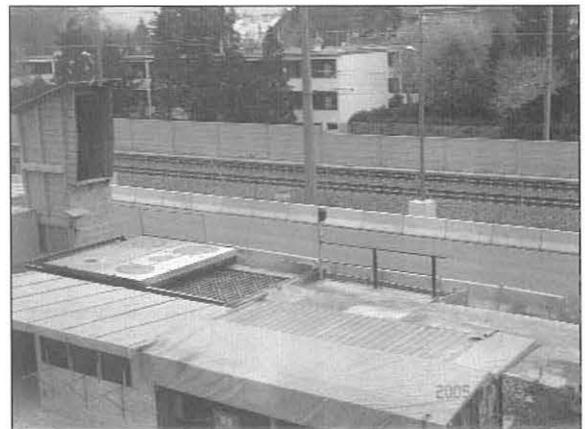


Bild 3: Beschickung Gesteinskörnungen

Die Bedienung der Anlage erfolgt durch das Vortriebspersonal mittels einer an der Außenseite der Steuerkabine angebrachten Bedienoberfläche. Nach Eingabe von Rezeptur, Chargengröße und Kennung des Mischfahrzeuges wird der durchgehend automatisierte Befüll- und Mischvorgang gestartet.

Die Gesteinskörnungen werden aus dem Aufnahmebunker gleichmäßig über zwei Rüttelrinnen auf das Befüllförderband abgezogen. Synchron dazu wird das Bindemittel im eingestellten Mischungsverhältnis auf die vom Förderband kommenden Gesteinskörnungen dosiert. Die nach Abzug der gemessenen Eigenfeuchtigkeit errechnete Zugabewassermenge wird gemeinsam mit der verwogenen

Zusatzmittelmenge in den Fahrmischer eingepumpt. Bei Beendigung des Dosiervorganges beginnt die Mischzeit, die einer festgelegten Umdrehungszahl der Fahrmischertrommel bei vorgegebener Umdrehungsgeschwindigkeit entspricht (mind. 12 U/min). Diese Umdrehungszahl ist ein fester Bestandteil der mikroprozessorgesteuerten MIC-Station und wird je Fahrmischer im Rahmen einer Mischwerkzeugsüberprüfung ermittelt. Die elektronische Erfassung und Protokollierung erfolgt mittels Lichtsensor und an den Mischertrommeln befestigten Reflektoren. Nach Erreichen der erforderlichen Umdrehungszahl wird der Fahrmischer mittels Ampel und Hupe zur Abfahrt freigegeben. Eine vorzeitige Beendigung des Mischvorganges an der MIC-Station wird als Fehlermeldung protokolliert und am Chargenprotokoll ausgewiesen.



Bild 4: Anlagenkomponenten unter Tage

Als Fahrmischer werden 6 m³-Transportmischfahrzeuge eingesetzt. Der maximale Füllgrad wurde im Rahmen der Erstprüfungen mit etwa 85 % (5 m³) festgelegt.

3. Spritzbetonförderung und -applikation

Die Spritzbetonförderung erfolgt nach der Übergabe aus den Fahrmischern im Gegensatz zu den bisherigen Einsätzen von fahrzeuggemischtem Nass-Mischgut im Dichtstromverfahren. Ausschlaggebend für diese Systementscheidung sind:

- Höhere Spritzleistung. Als Betonspritzsystem werden Manipulatoren mit Kolbenpumpe, Typ Meyco Potenza, eingesetzt (Bild 5). Die Spritzleistungen liegen im Bereich von 15-18 m³/Std bei Rückprallwerten zwischen 10 und 15 %.
- Bedingt durch den gleichzeitigen Vortrieb von Kalotte und nachlaufender Strosse/Sohle ("Inselvortrieb") muss das Nassmischgut für die Kalotte über den Höhensprung Kalotte/Strosse und etwa 120 m Länge gefördert werden. Die Umsetzung erfolgt mittels Tunnelmastpumpe und Förderleitung DN 150 (Bild 6).



Bild 5: Spritzmanipulator



Bild 6: Überpumpen Inselvortrieb

Die bei der Nass-Mischgutherstellung im MIC-Verfahren und der gegebenen Anlagenkonfiguration systembedingt auftretenden Schwankungen der Konsistenz und der Sieblinie verdeutlichen die höhere Empfindlichkeit der Dichtstromförderung, werden jedoch mit geeigneten Rezepteneinstellungen und Qualitätssicherungsmaßnahmen beherrscht.

4. Auswahl der Ausgangsstoffe, Rezepturen

Im Rahmen von Vorversuchen gemäß ÖVBB-Richtlinie Spritzbeton, Pkt. 12.1.12 wurde die Eignung und Verträglichkeit der Ausgangsstoffe im Vorfeld labortechnisch überprüft. Diese Ergebnisse sind bekanntlich nur eingeschränkt direkt auf die Baustellenbedingungen übertragbar. Dieser Effekt wurde durch höhere Streuung der Mischwirkung und damit der Frischbetonkennwerte bei fahrzeuggemischtem Nass-Mischgut noch verstärkt (Bilder 7 und 8). Für die Auswahl der Ausgangsstoffe sowie Entscheidungsfindungen im Rahmen von Rezeptoptimierungen waren zahlreiche Baustellenversuche und auch subjektive Eindrücke im Betrieb maßgebend.

Für die Herstellung von 1 m³ Nass-Mischgut für SpC 25/30/II/J2/XC3 wurde folgendes Ausgangsrezept gewählt:

Gesteinskörnung:	1750 kg Dolomit KK 0/8
CEM II/A-S 42,5 R bzw.:	420 kg (Winter: 440 kg)
CEM I 42,5 R / C ₃ A-frei	
Fließmittel:	ca. 5 kg (1,2 % v. BM)
Gesamtwasser:	180 l (Gemeinde Wien)

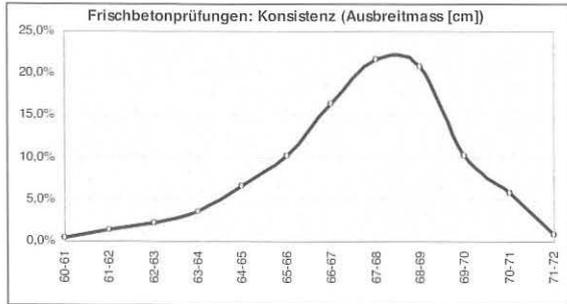


Bild 7: Häufigkeitsdiagramm Konsistenz (Ausbreitmaß)

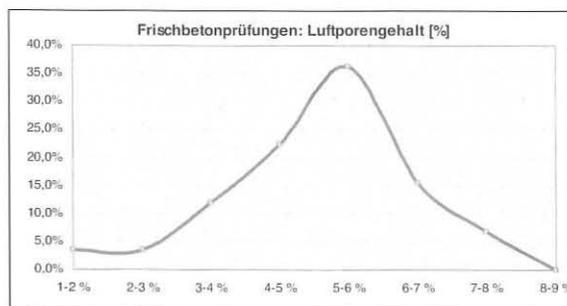


Bild 8: Häufigkeitsdiagramm Luftporengehalt

Die Beschleunigerdosierung beträgt im Mittel etwa 7,5 % vom Bindemittel. Damit werden die erforderlichen Frühfestigkeiten (Bild 9) und Endfestigkeiten (im Mittel über 45 N/mm²) sicher eingehalten. Ebenso kann die verarbeitungstechnisch zielführende Konsistenzklasse F66 mit Ausbreitmaßen zwischen 65 und 70 cm über die erforderliche Verarbeitungsdauer sichergestellt werden.

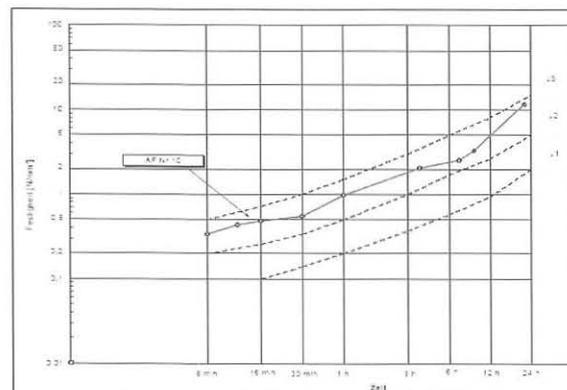


Bild 9: Verlauf Frühfestigkeit

5. Problemstellungen und Optimierungen

5.1 Aufnahdebunker

Die maximale theoretische Schütthöhe im Aufnahdebunker beträgt knapp 9 Meter. Um Entmischungstendenzen hinten zu halten wurde eine enge Bandbreite der Eigenfeuchte der Gesteinskörnungen fixiert sowie der Entleerungsgrad mit etwa 2/3 fixiert. Zusätzlich wurden an der Bunkerkonstruktion Schalungsrüttler und über den Abzugsöffnungen je ein Kieshut installiert.

5.2 Gesteinskörnungen

Bei der Dichtstromförderung des Nass-Mischgutes mit Kantkorn 0/8 im zulässigen Schwankungsbereich der Sieblinie ergeben sich Pumpendrucke von bis zu 150 bar. Durch die Beigabe von 5-6 % Rundkorn 0/1 werden die Förderdrücke auf den Normalbereich von etwa 70 bar reduziert. Der für die Pumpbarkeit wesentliche Bereich der Sieblinie zwischen 0,25 mm und 0,50 mm kann dadurch auch gezielt eingestellt werden. Um Entmischungen bei unterschiedlichen Eigenfeuchtigkeiten zu vermeiden, wird für die Herstellung der eingesetzten zentralgemischten Gesteinskörnungen ofentrockenes Rundkorn eingesetzt.

5.3 Erstprüfungen

Für Erstprüfungen von Spritzbetonrezepturen gilt Tabelle 11/2 der Richtlinie Spritzbeton. Eine zusätzliche Problematik ergibt sich jedoch bei Spritzbeton für die Bewertung des rückgerechneten Bindemittelgehalts aus dem ermittelten Luftgehalt am Frischbeton. Der applizierte Spritzbeton zeigt einen konstanten Luftgehalt im Bereich von etwa 3 % und damit deutlich weniger Luft als der geprüfte Frischbeton, der erhöhten Schwankungen unterworfen ist. Um nun dieser Gegebenheit praxisnahe zu begegnen, wurde bei diesem Projekt zur Sicherstellung der Gleichmäßigkeit der Spritzbetonqualität im Rahmen der Erstprüfungen ein definiertes Mischungsverhältnis vorgegeben. Diese Methode ist zielführend, da der Nachweis aus den absoluten Einwaagen gemäß ÖN 4710-1 bei Spritzbeton nicht eindeutig ist.

5.4 Verarbeitung

Die mögliche Verarbeitungsdauer des Nass-Mischgutes beträgt im Regelfall zwei bis drei Stunden. Für die Dichtstromförderung mit Leitungslängen zufolge des Inselvortriebes von etwa 120 m ist dies nicht ausreichend, da ansonsten die Pumpen und Förder-

leitungen nach beinahe jedem Einsatz leergefahren werden müssten. Die Verarbeitungszeit wird daher durch den Einsatz von verzögertem Spritzbeton auf bis zu sechs bis sieben Stunden erhöht (Bild 10). Der Aufwand für Restbetone und Reinigungsarbeiten kann dadurch wieder auf ein Normalmaß reduziert werden.

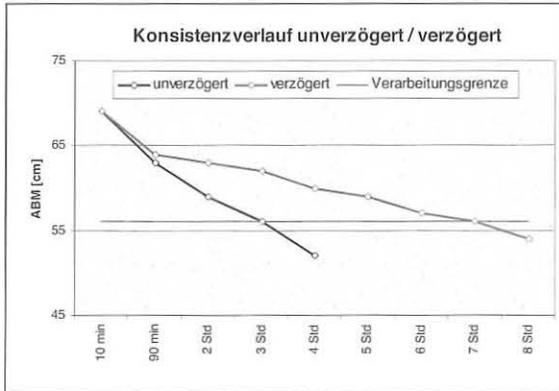


Bild 10: Verarbeitungszeit Nass-Mischgut

6. Qualitätssicherungsmaßnahmen

6.1 QM-System

Für die Herstellung des Spritzbetons im MIC-Verfahren sowie die Ausführung der Spritzbetonarbeiten wurde ein QM-Plan entsprechend den Empfehlungen der ÖVBB-Richtlinie Spritzbeton, Pkt. 13, erstellt, der u.a. folgenden Besonderheiten Rechnung trägt:

- Die ausführende Arbeitsgemeinschaft ist Betreiber der Mischanlage und für alle sich daraus ergebenden Überprüfungen verantwortlich.
- Das Baustellenpersonal fungiert als Bedienpersonal der MIC-Station. Neben der klaren Regelung der Zuständigkeiten sind intensiverte betontechnologische Einschulungen erforderlich.
- Die Verantwortlichkeiten sowie Dokumentationen bei Prüfdurchführung und Prüfmittelüberwachung zwischen den zahlreichen Hierarchien von Auftragnehmer, Prüfanstalten und Auftraggeber werden eindeutig geregelt.

6.2 Prüfplan Konformitätsprüfungen

In Abänderung zu den Tabellen 11/2 der RL Spritzbeton wurde zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer sowie deren spritzbetontechnologischen Beratern ein modifizierter Prüfplan abgestimmt. Die Prüfungen des Nass-Mischgutes sowie der Frühfestigkeitsentwicklung wurden intensiviert, wodurch eine dichtere Qualitätskontrolle zu einem frühen Zeitpunkt möglich ist. Allenfalls erforderliche Qualitäts-

lenkungsmaßnahmen können dadurch zeitgerecht eingeleitet werden. Die Häufigkeiten in Bezug auf die Festbetonprüfungen können dadurch insofern reduziert werden, als dass diese unter gegebenen Voraussetzungen in den zulässigen zeitlichen Intervallen anstatt überlagert mit den Produktions- bzw. Einbaumengen (m^2 und m^3) durchgeführt werden.

6.3 Anlagenüberprüfungen MIC

Die Abnahme der MIC-Station erfolgte gemäß ÖNORM B 4710-1 und wurde durch eine akkreditierte Prüfanstalt zwei Wochen vor Vortriebs- und Produktionsbeginn durchgeführt. Die wiederkehrenden Überprüfungen und Kalibrierungen folgender Anlagenteile erfolgen vertragsgemäß entsprechend ÖVBB-Richtlinie Spritzbeton, Pkt. 11.4 und des Anlagenprüfplanes:

- Zementwaage
- Kieswaage
- Feuchte-Sonde
- Wasser-Waage
- Zusatzmitteldosierung
- Gleichförmigkeitsprüfung Fahrmischer

Die Abnahme und Überprüfung der als Mischwerkzeug dienenden Fahrmischer erfolgt für die vorgegebene Konsistenzklasse durch eine Gleichförmigkeitsprüfung entsprechend ÖNORM B 3303.

Um eine gleichmäßige Mischwirkung und Verarbeitungszeit sicherstellen zu können, ist beim Einsatz der Fahrmischer kontinuierlich auf die Reinheit der Mischertrommel sowie den Verschleiß der Mischwerkzeuge zu achten. Die internen Überprüfungen wurden daher gegenüber dem vertragsgemäßen Prüfplan verdichtet.

6.4 Projektlabor Wienerwaldtunnel

Wie eingangs erwähnt setzt sich das Projekt aus vier Bauabschnitten zusammen. Ein Projekt dieser Dimensionen bedarf neben der eigentlichen Bautätigkeit auch einer Reihe von Prüfaufwendungen. Aus technischen und logistischen Gründen wurde daher ein Projektlabor, zusammengesetzt aus zwei akkreditierten Prüfstellen, vor Ort umgesetzt, um primär eine sofortige Verfügbarkeit zu garantieren und eine zentrale Qualitätsprüfung durchführen zu können. Das Projektlabor versteht sich somit als Schnittstelle zwischen Auftraggeber, örtlicher Bauaufsicht und bauausführender Arbeitsgemeinschaft.

Zum Aufgabenbereich zählen neben Konformitäts- und Identitätsprüfungen die Beratung und die Verwaltung der Prüfdokumente.

7. Zusammenfassung

Abschließend kann nach den nun über einjährigen Erfahrungen mit Produktion und Einsatz von Nass-Mischgut der MIC-Anlage Wienerwaldtunnel Ost resümiert werden, dass die gewählte Anlagenkonzeption inklusive der Dichtstromförderung sowohl technisch als auch baubetrieblich die Bewährungsprobe bestanden hat und die Erwartungen

umgesetzt werden können. Die speziell durch den Inselvortrieb definierten hohen Anforderungen hinsichtlich Manipulation und Förderung können ebenfalls erfüllt werden. Weitere betontechnische Untersuchungen und Optimierungen in den kommenden Vortriebsjahren sollen zusätzliche Erkenntnisse liefern und sicherstellen, dass das unabhängige Ersatzsystem wie bisher nicht aktiviert werden muss.