

Albrecht Enzenberg und Roland Murr

**Sanierung Innkanal 2003 – Beton****DI Albrecht Enzenberg**

Porr Technobau München GmbH

**DI Roland Murr**Verbundplan, Prüf- und Messtechnik GmbH,  
Materialversuchsanstalt Strass i. Zillertal  
ARGE Sanierung Innkanal, Mühldorf (D)**Aufgabenstellung**

Die rund 40° geneigten und 16 bis 18 m langen Kanalwände und ein Teil der Sohle waren mit Beton der Güte B 25 und den besonderen Eigenschaften der Wasserundurchlässigkeit und Frostbeständigkeit zu belegen. Als konstruktive untere Grenze hinsichtlich der technischen Dichtheit galt eine Schalendicke von 15 cm unbewehrten Betons mit Scheinfugen.

**Lösung**

Verschiedene Lösungsansätze wurden bereits in der Angebotsphase diskutiert und untersucht, ein ähnliches, bereits ausgeführtes Projekt wurde analysiert.

Da das Risiko insgesamt sehr groß war, entschloss sich die ARGE nach Erhalt des Auftrages dazu, drei Berater für die Biontechnologie beizuziehen. Es konnten dafür Prof. Springenschmid von der TU München, Prof. Lukas von der TU Innsbruck und Dr. Huber gewonnen werden.

**Vorversuche**

In Vorversuchen der MVA Strass wurden aus drei geeigneten Zementsorten und Zusatzmittelkombinationen vier verschiedener Hersteller optimierte Betonrezepturen ausgearbeitet. In einem Großversuch wurden

drei ausgewählte Betonzusammensetzungen mit unterschiedlichen Zementmengen und verschiedenen Sieblinien erprobt. Alle drei Varianten ergaben mit der angewendeten Maschinentechologie eine zufriedenstellende Einbaufähigkeit. Gleichfalls waren sowohl die Betonoberflächen als auch die Festbetoneigenschaften entsprechend.

Ähnliche Vorversuche wurden auch für Nassspritzbeton im Dichtstromverfahren durchgeführt.

**Betonkonzept**

Aufgrund der Laborergebnisse und der Erkenntnisse der Großversuche erstellte man ein Betonkonzept, das für den Böschungsbeton Rezepturen mit und ohne Flugasche vorsah, und zwar sowohl für den Fertiger als auch für den Spritzbeton. Anpassungen an die örtlichen Baustellengegebenheiten wurden berücksichtigt. Die Eignungsprüfung für den Nachweis der Einhaltung der geforderten Betoneigenschaften wurde mit Bindemittelmengen am unteren Ende der Skala durchgeführt. Weiters wurden im Betonkonzept die technische Ausstattung der Mischanlagen, die Bedingungen an der Einbaustelle, der Qualitätsnachweis mit der Anzahl der Frischbeton- und Festbetonprüfungen, die Bauwerkprüfungen sowie die Nachbehandlung festgelegt. Mit diesem Konzept, bei dem man besonderes

Augenmerk auf die Frischbetonprüfung legte (was sofortiges Reagieren ermöglichte), war den Ausführenden vor Ort ein wichtiges Instrument zum Erreichen einer hohen Betonqualität in die Hand gegeben. Unter diesen Voraussetzungen erteilte der Auftraggeber dem Betonkonzept seine Zustimmung.

**Durchführung**

Der Massenbeton wurde in zwei mobilen Baustellenanlagen BHS Duomix 250 erzeugt. Die Anlagen verfügten über eine Mikroprozessorsteuerung und Feuchtesonden. Zum Einsatz kamen der Zement CEM II/B-S 32, 5 R, Steinkohlenflugasche, Luftporen- und Fließmittel. Die Betonzuschlagstoffe kamen aus örtlichen Vorkommen. Der Transport zur Einbaustelle erfolgte per Lkw.

**Umsetzung des Betonkonzepts**

Die in diesem Beitrag vorgestellte Betonart „Böschungsbeton – Fertigereinbau“ bildete mit etwa 110.000 m<sup>3</sup> den Hauptanteil des eingebauten Betons. Die geforderte Betonbeschaffenheit und die Rahmenbedingungen des Bauwerks mit geometrischen Abmessungen und der vorliegenden Infrastruktur ließen, wie bereits in den Vorversuchen ersichtlich, nur ein eng zu definierendes Spektrum an Frischbetoneigenschaften zu: Der Betontransport in Mulden-

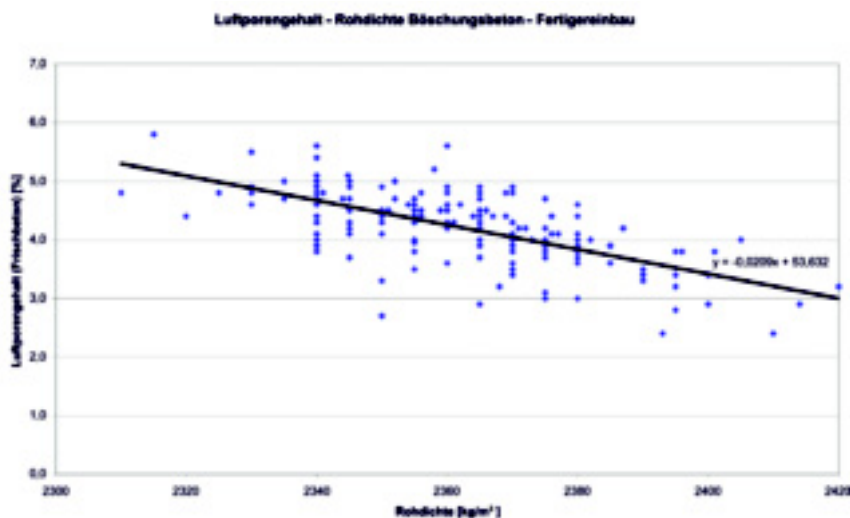


Abb. A.1.1.: Zusammenhang Luftporengehalt und Rohdichte des Frischbetons der Betonsorte „Böschungsbeton – Fertigerreinbau“ während des Bauvorhabens Sanierung Innkanal  
alle Grafiken: Murr

kippern, die Betonaufgabe mittels Bagger und der Einbau mittels Fertiger machten keine Pumpfähigkeit des Betons erforderlich. Eine weiche Konsistenz des Betons hätte ein Abfließen desselben an den steilen Böschungswänden verursacht. Gute Verarbeitbarkeit sowie die Forderung nach Wasserundurchlässigkeit und Frostbeständigkeit definierten die erforderliche Mindestbindemittelmenge. Die Umsetzung des Anforderungsprofils erfolgte durch ein von der ausführenden ARGE sich selbst auferlegtes und durch den Bauherrn genehmigtes Betonkonzept, das sich in der Phase der Bauausführung im Wesentlichen auf folgende Punkte konzentrierte:

- Strenge (ganzheitliche), regelmäßige, mehrmals täglich zu erfolgende Überwachung des Betons an der Einbaustelle. Die Frischbetonprüfung wurde als ganz wesentlicher Punkt der Qualitätssicherung erachtet. Die Möglichkeit rasch auf Unstimmigkeiten reagieren zu können, ist der maßgebliche Vorteil einer hohen Frischbetonprüfungsdichte.
- Umfassende Prüfung der geforderten Festbetoneigenschaften an Bohrkernprobekörpern. Die Probekörper wurden aus der ersten Produktionswoche gezogen und unter Einhaltung der Prüffristen einer raschest möglichen Festbetonprüfung unterzogen.

– Regelmäßige Überprüfung der Einhaltung der geforderten Kriterien bei der Betonherstellung in den Betonmischwerken und stichprobenartige Fremdüberwachung der Eigenkontrolle der Betonwerke.

Die Verwirklichung des Betonkonzeptes mit seiner Forderung nach einer hohen Prüfungsdichte war bei der enormen Einbauleistung nur durch ein stationäres Prüflabor vor Ort möglich.

### Frischbetonkennwerte

Für die Betonsorte „Böschungsbeton – Fertigerreinbau“ wurden im Rahmen von 175 kompletten Frischbetonprüfungen folgende Kennwerte ermittelt:

Abbildung A.1.1. stellt den für diese Betonsorte anhand von Frischbetonprüfungen ermittelten Zusammenhang zwischen Rohdichte und Luftporengehalt im Frischbeton

dar. Es ließ sich für die zu verwendende Betonsorte aufgrund der hohen Prüfungsdichte ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Luftporen und Rohdichte feststellen. Abweichungen konnten sofort erkannt und durch eine erneute Bestimmung verifiziert werden. Durch einen Mindestgehalt von über 2,5 Prozent an Feinluft im Festbeton wird der Frostwiderstand des Betons deutlich erhöht.

Die in Abbildung A.1.2. dargestellten, im Zuge der Prüfungen ermittelten Wassergehalte des Frischbetons verdeutlichen die Notwendigkeit laufender Qualitätskontrolle. Wie daraus ersichtlich ist, können durch die hohe Prüfungsdichte zwar Schwankungen des Wassergehaltes nicht verhindert, jedoch bei Feststellung deutlich erhöhter Werte die Einstellungen im Mischwerk mittels sofortiger Korrekturmaßnahmen angepasst werden. Nach der Ermittlung eines deutlich erhöhten

		Mittelwert	Standardabweichung	5 % Fraktile		Vorgabewert
Luftgehalt	%	4,2	0,6	3,2	5,2	3,5–6,0
Gesamtwassergehalt	l/m	153	6,3	–	163,5	155
Rohdichte	kg/m	2.363	19,5	2.331	2.395	–
Frischbetontemperatur	°C	24,3	2,6	–	28,5	27

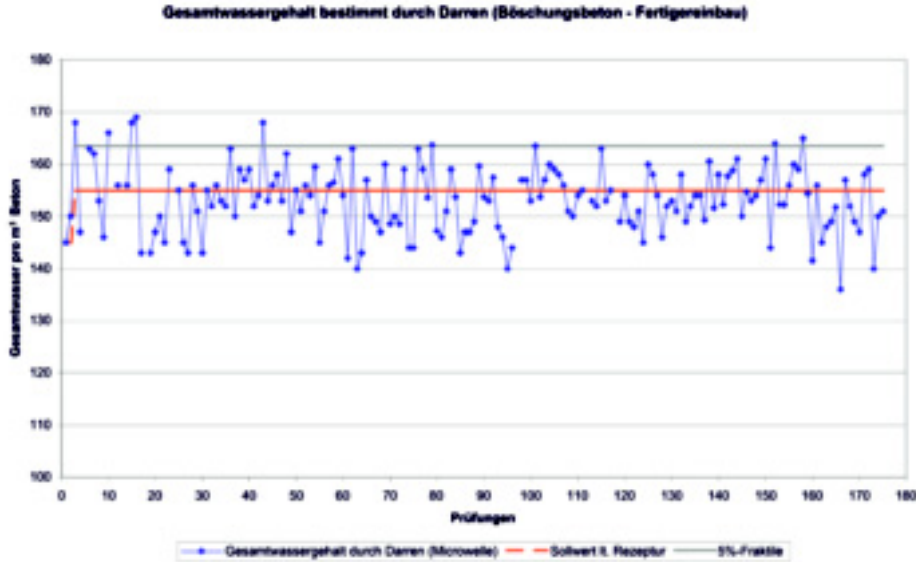


Abb. A.1.2: Bestimmung des Gesamtwassergehaltes der Betonsorte „Böschungsbeton – Fertigerinbau“ während des Bauvorhabens Sanierung Innkanal

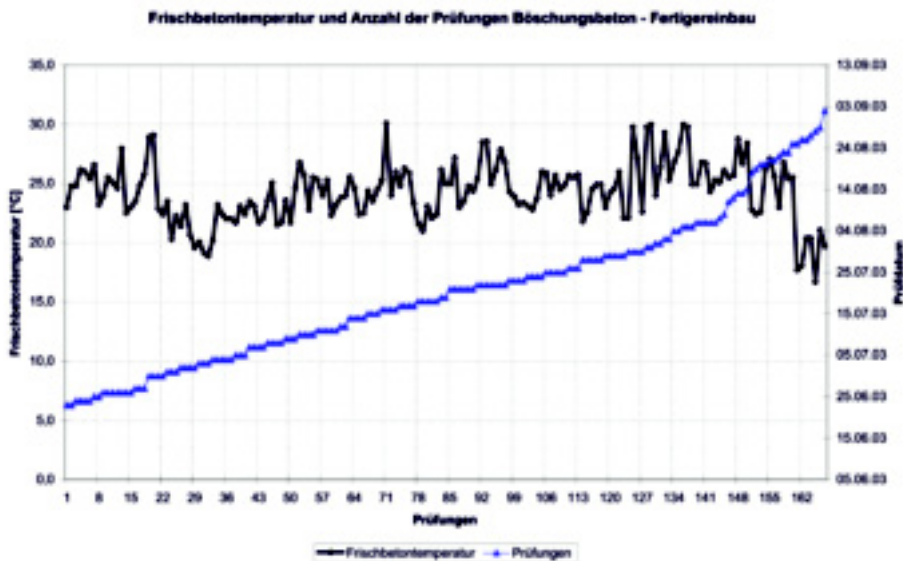


Abb. A.1.3.: Bestimmung der Frischbetontemperatur und Darstellung der Prüfungshäufigkeit der Betonsorte „Böschungsbeton – Fertigerinbau“ während des Bauvorhabens Sanierung Innkanal

Wassergehaltes im Frischbeton wurde bei einer erneuten stichprobenartig durchgeführten Kontrolle ein auf das zur Einhaltung der Festbetoneigenschaften notwendige Maß reduzierter Wassergehalt festgestellt. Die Ursachen stark schwankender Wassergehalte standen dabei meist in Zusammenhang mit der stark schwankenden Gesteinskörnungsfeuchte und den hohen Temperaturen im Jahrhundertsommer 2003.

Abbildung A.1.3. gibt Aufschluss über die bei der in großen Mengen (bis zu 1.300 m³/Tag

und Mischwerk) anfallenden Betonsorte „Böschungsbeton – Fertigerinbau“ ermittelten Frischbetontemperaturen an der Einbaustelle. Zwar wurde vor allem im Monat August die kritische Grenze von 30° C erreicht, doch konnte aufgrund der ausgewogenen Betonrezeptur mit gut harmonisierenden Zusatzmitteln trotzdem ein durchgehender Einbau sichergestellt werden.

Bei Temperaturmessungen mittels eines Mehrkanaltemperaturaufzeichnungsgerätes wurden bei einer Einbautemperatur von

28° C im Böschungsbeton an der sonnenzugewandten Kanalseite direkt unter der freien Betonoberfläche Extremwerte von 41° C gemessen. Diese Maximaltemperaturen waren – bestätigt durch Temperaturmessungen an sonnenabgewandten Flächen – jedoch nicht durch die Hydrationswärme des Zementes im Beton, sondern durch die Sonneneinstrahlung und die hohe Lufttemperatur bedingt.

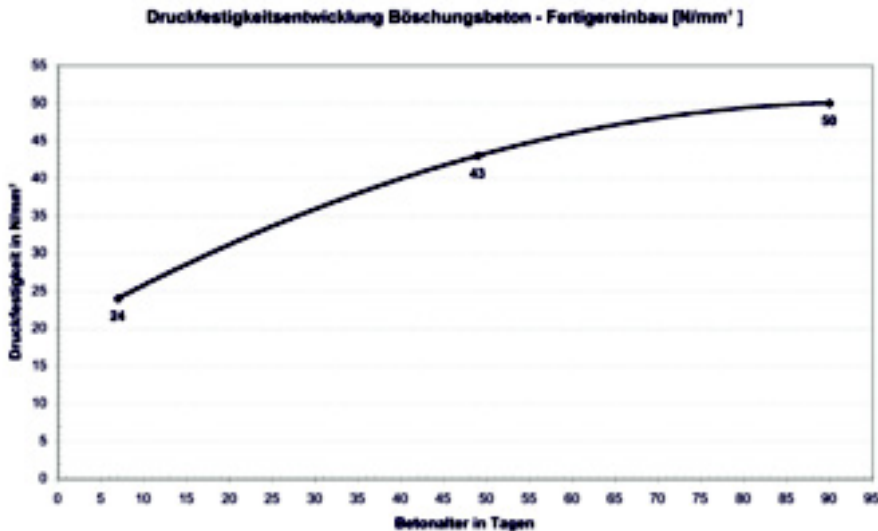


Abb. A.1.4.: Darstellung der Festigkeitsentwicklung der Betonsorte „Böschungsbeton – Fertigereinbau“ während des Bauvorhabens Sanierung Innkanal



Mit dem „Handeinbaufertiger“ wurden die primären Pilgerschritte ausgeführt. Der Beton wird eingebracht und mit einer Schnecke vor der Rüttelbohle gleichmäßig verteilt. Umgesetzt wird der Rahmen mittels Autokran.  
Foto: M. Müller

### Festbetonkennwerte

Die Prüfung der Festbetoneigenschaften überwiegend an Bohrkernproben aus dem Bauwerk entnommen (siehe Tabelle unten), brachte durchwegs deutlich über den Anforderungen liegende Ergebnisse. Die Druckfestigkeitsentwicklung des „Böschungsbetons – Fertigereinbaues“ ist auf Abbildung A.1.4. dargestellt.

### Schlussbemerkungen

Mit diesem Beitrag soll ein Einblick in ein sehr interessantes und überaus erfolgreich abgewickelter Projekt ermöglicht werden. Den Kosten für die umfassenden Voruntersuchungen, für die Ausarbeitung eines ausgewogenen Betonkonzeptes und die Vorhaltung eines Baustellenlabors steht die Garantie für Qualitätssicherung, eine sofortige Problemerkennung und Lösung direkt

vor Ort gegenüber. Bereits im Baustellenablauf rechneten sich diese Kosten zu jedem Zeitpunkt. Durch zahlreiche, durchwegs positive Prüfungsergebnisse konnte das Bauvorhaben mit einem vom Auftraggeber anerkannten, technisch hohen Standard erfolgreich, rasch und termingerecht abgeschlossen werden.

Betondruckfestigkeit:	24 N/mm (7d), 43 N/mm (49d), 50 N/mm (90d)
Wassereindringtiefe, im Mittel:	17,3 mm (28d)
Luftporengehalt im Festboden, im Mittel:	3,5 %
Abstandsfaktor, im Mittel:	0,18 mm