

Neue Betondecken für umweltgerechte Stromerzeugung

Herausforderungen bei der Instandsetzung des Innkanals

Von Klaus Felsch, Schelklingen, und Martin Erbinger, München

1 Geschichte

Die Geschichte des Innkanals zwischen dem Einlaufbauwerk am Innknick bei Jettenbach/Gars (**Bild 1**) und dem Wasserschloss bei Mühldorf bzw. Töging (**Bild 2**) begann 1919. Zwischen 4.000 und 7.000 Arbeitskräfte und 43 Dampfbagger (**Bild 3**) schufen in dreijähriger Arbeit das rund 20 km lange Bauwerk, das zunächst ein Gleichstromkraftwerk für die Aluminiumwerke mit Wasser ver-

sorgen sollte. Zusammen mit dem Einlaufbauwerk sowie dem Wasserschloss und dem Kraftwerk selbst stellte diese Baustelle damals die größte europäische Baustelle überhaupt dar, bei der 14 Mio. m³ Erde bewegt und 360.000 m³ Beton eingebaut wurden.

Der Kanal wurde erst drei Mal vollständig entleert: Die erste Sanierung bei abgelassenem Kanal fand 1946

statt, wobei es hier aber primär um die Beseitigung von Kriegsschäden ging. Vierzig Jahre später – 1986 – wurde die Sohle des Kanals teilweise instand gesetzt und 2003 kam es wieder zu einem vollständigen Ablassen des Kanals; diesmal, um die Flanken wie auch die zahlreichen Brückenbauwerke (**Bild 4**) instand zu setzen. Auch ein Teil der Sohle vor allem im Einlaufbereich (**Bild 5**) stand zur Erneuerung an. Ziel der Instandsetzung war sowohl die Wiederherstellung der Dichtigkeit des Bauwerks als auch ein so genannter Fallhöhengewinn von rund einem Meter, d.h., der hydraulische Widerstand des Bauwerks sollte wesentlich verringert werden. Der erfolgreiche Abschluss der Instandsetzungsarbeiten bedeutet für den jetzigen Betreiber, die E.ON AG (nach Innwerk AG bzw. der in der E.ON auf-



Bild 1: Wehranlage Jettenbach



Bild 2: Wasserschloss und Krafthaus Töging



Bild 3: Betonierarbeiten im Kanal 1920



Bild 4: Böschung, Sohle und Brücken vor der Instandsetzung



Bild 5: Erneuerung der Sohlen im Einlaufbereich



Bild 7: Innkanal Töging



Bild 8: Wasserschloss und Krafthaus

gegangenen Bayernwerk AG), eine Verlängerung der Betriebserlaubnis für weitere 25 Jahre. Heute gehen rund 570 GWh elektrischer Leistung pro Jahr ins Netz.

2 Der Innkanal

Der Innkanal (Bild 6) besteht aus der Wehranlage und dem Einlaufbauwerk in Jettenbach, dem 20 km langen Triebwasserkanal (Bild 7) und dem Kraftwerk (Bild 8) in Töging.

Der Triebwasserkanal ist als Trapezgerinne mit einem Gefälle von 6 m auf der Gesamtlänge von 20 km ausgebaut. Die Sohlbreite verjüngt sich von 33 m bei einer Böschungshöhe von 8 m auf 8 m bei einer Böschungshöhe von 12 m in der Nähe des Kraftwerks bei gleich bleibender Böschungsneigung von 40° (Bild 9). Aufgrund des Gefälles und der Kanalgeometrie ergibt sich eine sehr große Fließgeschwindigkeit von 2 m/s bis 3 m/s, die vergleichsweise große Erosionsraten zur Folge hat und weder das Fahren auf noch das Schwimmen im Kanal erlaubt.



Bild 6: Verlauf des Innkanals Töging mit Einlaufbauwerk und Wasserschloss

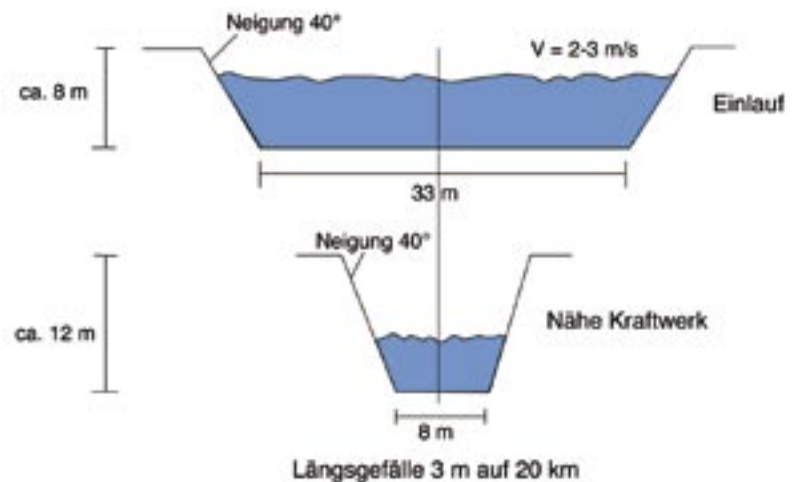


Bild 9: Querschnitt des Innkanals

3 Instandsetzung

Im Rahmen der auf etwa 46 Mio. € angesetzten Baumaßnahme sollten in nur fünf Monaten von Mai bis September 2003 mit einem enormen Geräteeinsatz (Tafel 1) insgesamt 19 Brücken instand gesetzt, eine Bootseinsatzstelle neu gebaut (Bild 10) und in etwa drei Monaten rund 142.000 m³ Beton auf 565.000 m² Böschungen und 86.000 m² Sohlfläche des Triebwasserkanals eingebaut werden (Tafel 2). Der Altbestand – soweit vorhanden ebenfalls Beton – war dabei möglichst schonend vorzubereiten.

Am 25. Januar 2003 erhielt eine Arbeitsgemeinschaft von der E.ON Wasserkraft GmbH in Landshut den Pauschalauftrag für dieses funktional ausgeschriebene Projekt.

3.1 Abstau und Vorbereitung

Dem Abstau, der am 26. Mai 2003 begann, folgte die Reinigung, händisch, maschinell oder mittels Hochdruckwasserstrahl (Bild 11). Größere Fehlstellen und nicht standfeste Bereiche wurden mit rund 5.000 m³ Nassspritzbeton im Dünnstromverfahren überzogen (Bild 12). In den vom Grundwasser am stärksten betroffenen Bereichen wurden Böschungsfuß-Drainagen verlegt,

Tafel 1: Einsatz technischer Geräte

Gerät	Anzahl	Bauteil
Mischanlagen	2	für alle
Fertiger		
SP 500	2	Böschungsfuß
SP 1600	1	Sohle
Brückenfertiger FCX	3	Böschung
Minigleitschalungsfertiger	1	Berme
Handeinbaufertiger	2	Böschung
Baggereinbaubohle	2	Böschung
Nassspritzbetoneinbaugerät (Dünnstrom)	3	Böschung
Materialtransport		
Muldenkipper	> 30	Sohle
Fahrmischer	20	Böschung
Pumpen	3	Böschung

in die das Wasser unter einer Noppenfolie drucklos abfließen konnte. In Dammbereichen wurde auf ausdrücklichen Wunsch des Bauherrn auf Längsdrainagen verzichtet und nur mit Pumpensämpfen gearbeitet.

3.2 Ablauf und Ausführung

Das Ablassen sowie die Restentleerung erfolgten unter Zuhilfenahme zweier kleinerer Dämme bei km 6 und km 10,5. Neben Pumpstationen (Bild 13) sorgten rund 1.500 alte freigelegte sowie 1.500 neu ge-

Tafel 2: Eingebaute Betonmengen

Beton	Menge
Böschungsbeton	
Fertiger	114.000 m ³
Handeinbau	6.000 m ³
Sohlebeton	
Fertiger	12.000 m ³
Handeinbau	3.000 m ³
Spritzbeton	5.000 m ³



Bild 10: Neubau der Bootseinsatzstelle



Bild 11: Reinigung der Böschung mit Hochdruckwasserstrahl



Bild 12: Vorbereitung der Böschung durch Fehlstellenausbesserung mit Nassspritzbeton



Bild 13: Eine der Pumpstationen zum Entleeren des Kanals

schaffene Ablassöffnungen für den Wasseraustritt. Dies war nicht überall möglich, denn teilweise stand das Grundwasser mehr als 5 m über der Sohle an.

Insgesamt 13 aufgeschüttete Rampen (Bild 14) ermöglichten den Zugang bzw. die Zufahrt in den Kanal. Die strikte Einhaltung der Befahrsvorschriften der „Einbahnstraße Kanal“ verhinderte Unfälle in der doch viel befahrenen Baustelle.

Mit dem Ablassen des Kanals begannen die ersten Probleme, die nicht nur mit den über 45.000 m³ zu ent-

fernendem Schlamm und Sedimenten allein beim Wasserschloss zusammenhängen, sondern auch mit den 28 Autos, 10 Motorrädern, unzähligen Fahrrädern und Sonstigem, was sich auf dem Kanalboden befand (Bild 15).

Vor allem im Bereich der Wasserwechselzone waren massive Schäden im Beton vorhanden, in denen sich z.T. bereits Vegetation angesiedelt hatte. Bei einigen Schadstellen verhinderten nur die im verbleibenden Zuschlag abfiltrierten Feinteile unterhalb der Wasserwechselzone größere Undichtigkeiten des Bauwerks.

3.3 Einbau des Betons

Auf den gereinigten und teilweise mit Spritzbeton vorbehandelten alten Betonunterbau wurde in zwei Arbeitsgängen die neue unbewehrte Betondichtung einlagig 18 cm dick (15 cm + 3 cm Vorhaltemaß) aufgebracht. Der Altbeton wurde vorgegast (Bild 16), teilweise wurde eine Haftbrücke aufgetragen.

Im ersten Arbeitsgang wurde ein 5 m breiter Streifen mit angeformtem 20 cm breitem Fuß auf der Kanalsohle eingebaut. Der Fuß überlappt den alten Übergang Wand/Sohle und



Bild 14: Aufschüttung von Zufahrtsrampen



Bild 15: Fundobjekte nach Entleeren des Kanals

stellt die Dichtigkeit des Kanals in diesem Bereich sicher. In diesem unteren Bereich wurde der Beton mit zwei Gleitschalungsfertigern SP 500 Offset eingebaut (Bild 17).

Mit drei so genannten FCX-Böschungsfertigern wurde im nächsten Arbeitsgang die Höhe bis zur Kanalkrone eingebaut (Bild 18); die Böschungslänge betrug 16 m bis 18 m, die Neigung rund 40°. Die mit den Laufwerken befahrene Kanalkrone wurde vorauslaufend ertüchtigt. Die eingesetzten Schrägfertiger waren nach Firmenangaben Unikate.

In der nahe gelegenen Freudlsbergischen Kiesgrube, wo auch eine der Mischanlagen stand, wurde eine 150 m lange Versuchsstrecke (über 1.000 m³ Beton und mehr als



Bild 19: 150 m lange Versuchsstrecke für den FCX-Fertiger in der Kiesgrube

1 Mio. € Kosten!) gebaut, um die neue Technik zu erproben und den Maschinenführern die nötige Vertrautheit mit den neuen Geräten zu vermitteln (Bild 19). Mit den Böschungsfertigern wurden spä-

ter Einbauleistungen von bis zu 4.500 m³ Beton pro Tag erreicht.

Im Nachgang des Betoneinbaus an den Böschungen sowohl mit den Offset- (Bild 20) als auch mit den



Bild 16: Vornässen des Böschungs-Altbetons



Bild 17: Einbau von Böschungsbeton mit angeformtem Fuß auf der Kanalsohle



Bild 18: Betonieren mit einem FCX-Böschungsfertiger



Bild 20: Glätten der Betonflächen nach Einbau mit dem SP 500



Bild 22: Händischer Einbau von Beton bei den Böschungstrepfen



Bild 25: Einbau des Böschungsbetons als Spritzbeton

Flächen keinen Fertigereneinsatz erlaubten, oder etwa bei den zahlreichen Treppen an den Kanalflanken (Bild 22). Zum Einsatz kamen drei Verfahren: Handeinbaufertiger (Bild 23), Baggereinbaubohle (Bild 24) und Spritzbeton (Bild 25).

Für die Scheinfugen wurden unterschiedliche Abstände zwischen 4 m und 8 m erprobt. Über weite Strecken schnitt man die Fugen im Abstand von 5 m ein (Bild 26). Dichtungsmaterial wurde nicht verwendet, man setzte auf die Dichtungswirkung von im Schlitz/Riss abfiltrierendem Feinmaterial.

Für das Instandsetzen eines 3 km langen Sohlenabschnitts wurde ein üblicher Autobahnfertiger SP 1.600 mit 10 m Arbeitsbreite eingesetzt,

FCX-Böschungsfertigern waren bis zu fünf Mann erforderlich, um die Betonflächen händisch zu glätten (Bild 21).

Unter Brücken bzw. anderweitig schlecht zugänglichen Stellen wurden rund 90.000 m² Betonfläche von Hand eingebaut, insbesondere in den Bereichen, in denen die alten



Bild 21: Glätten der Betonflächen nach Einbau mit dem FCX-Fertiger



Bild 23: Einbau des Böschungsbetons mit Handeinbaufertiger, Feldbreite 3 m



Bild 24: Einbau des Böschungsbetons mit Bagger und Rüttelbohle, Feldbreite 3 m



Bild 26: Schneiden der Scheinfugen an der Kanalböschung im Abstand von 5 m

Tafel 3: Einbauarten und technische Geräte für die verschiedenen Betone

Beton	Verarbeitung	Einbaurichtung
Böschungsbeton (Fertiger)	FCX1, FCX 2, FCX 3	kontinuierlich in Böschungsrichtung, Streifenbreite 3,30 m
	SP 500 M, SP 500 Ö	parallel zur Böschungsrichtung Streifenhöhe 4,0 m
Böschungsbeton (händisch)	Handfertiger Bagger + Rüttelbohle	Lücken mit Feldbreite 3 m Lückenfüllung mit Streifen 3 m
Sohlenbeton/ Fertiger händisch	SP 1600 M	Horizontaleinbau
	händische Verdichtung	parallel zur Böschung
Spritzbeton	Dünnstromverfahren Rotormaschine	parallel zur Böschungsrichtung

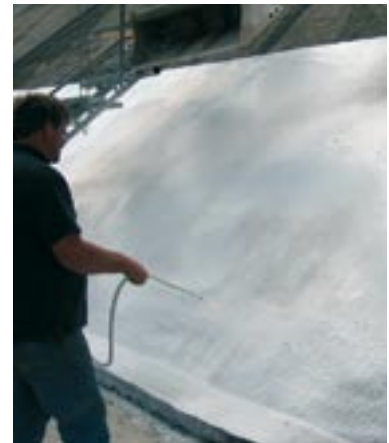


Bild 28: Händischer zweilagiger Auftrag des Nachbehandlungsmittels

mit dem in zwei Wochen etwa 15.000 m³ Beton eingebaut wurden (Bild 27). In Tafel 3 sind die Einbauarten und die technischen Geräte für die verschiedenen Betone

für Böschung und Sohle zusammengestellt.

Die Nachbehandlung erfolgte aufgrund der hohen Lufttemperatur

von über 40 °C im Kanal mit weiß pigmentiertem Nachbehandlungsmittel, das zweilagig durch Vor- und Nachsprühen aufgetragen wurde: an den kleinen Offset-Fertigern händisch



Bild 27: Einbau des Sohlebetons mit einem üblichen Straßenfertiger mit 10 m Arbeitsbreite



Bild 29: Aufsprühen des weiß pigmentierten Nachbehandlungsmittels über Nachläufer an den FCX-Fertigern

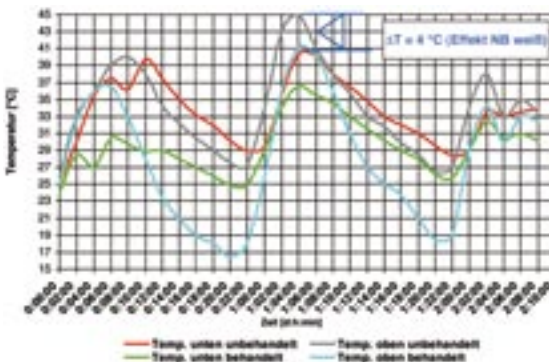


Bild 30: Temperaturmessungen beim Einsatz von Nachbehandlungsmittel mit und ohne Weißwert

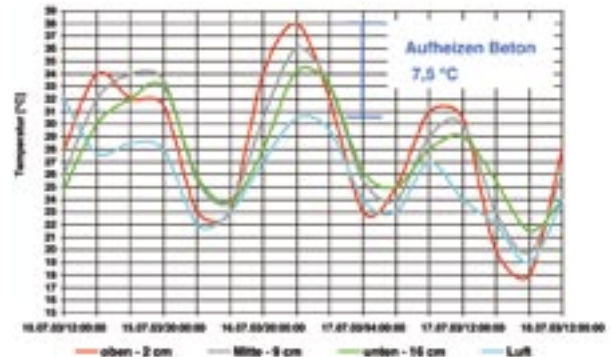


Bild 31: Temperaturmessungen am nachbehandelten Böschungsbeton

disch (Bild 28) und an den FCX-Böschungfertigern (Bild 29) und den Sohlffertigern maschinell über Nachläufer. Durch die Pigmentierung der Nachbehandlungsmittel konnte eine etwa 5 K geringere Oberflächentemperatur erreicht werden als mit unpigmentierten Nachbehandlungsmitteln (Bild 30).

4 Beton

Für den Beton wurde ein Portlandhüttenzement CEM II/B-S 32,5 R gewählt, der insbesondere beim Betonieren in den Sommermonaten deutliche Vorteile hatte. Die wesentlichen Eigenschaften enthält **Tafel 4**.

Die Lufttemperaturen betrug teilweise über 35 °C und erzeugten bei den schräg geneigten Arbeitsflächen auf der Betonoberfläche Tempera-

Tafel 4: Einige wesentliche Eigenschaften des Portlandhüttenzements CEM II/B-S 32,5 R (nach DIN EN 196, Mittelwerte)

Spezifische Oberfläche (nach Blaine)	cm ² /g	3.800
Wasseranspruch	%	28,8
Erstarrungsbeginn	min	237
Druckfestigkeit nach		
2 Tagen	N/mm ²	17
7 Tagen	N/mm ²	34
28 Tagen	N/mm ²	51

turen bis über 50 °C. (Daher musste häufig nachts betoniert werden.) Trotz dieser Temperaturen konnten die Temperaturdifferenzen durch den Einsatz des Portlandhüttenzements CEM II/B-S 32,5 R mit < 4 °C über den Betonquerschnitt niedrig gehalten werden (Bild 31), wodurch die Rissneigung gering war. Kleinere Risse konnten zwar festgestellt wer-

den; diese hätten aber auch durch den Einbau (Luftzug auf der Frischbetonoberfläche durch den Fertiger) entstanden sein können.

Die für die Böschung und für die Sohle verwendeten Betone mit unterschiedlichen Zusammensetzungen zeigt **Tafel 5**. Die Betone mussten einen hohen Frostwiderstand und eine

Tafel 5: Zusammensetzung des Böschungs- und des Sohlebetons

		Böschungsbeton	Sohlenbeton
Betonfestigkeitsklasse		B25	B25
besondere Eigenschaften		Wasserundurchlässigkeit, Sichtbeton	Wasserundurchlässigkeit
Konsistenz		KP	KP
Zementart und Festigkeitsklasse		CEM II/B-S 32,5 R	CEM II/B-S 32,5 R
Zementgehalt	kg/m ³	255	220
Wassergehalt	kg/m ³	155	139
w/z _{aq} (k = 0,4)		0,55	0,60
Gesteinskörnung		örtlich anstehende Sande und Kiese	örtlich anstehende Sande und Kiese
Vorkommen			
Sand 0/4	%	44	44
Kies 4/8	%	13	13
Kies 8/16	%	25	25
Kies 16/32	%	18	18
Zusatzstoff		Steinkohlenflugasche	Steinkohlenflugasche
Art			
Gehalt	kg/m ³	70	40
Zusatzmittel		FM, LP	FM, LP
Art			
Gehalt	kg/m ³	variabel, in Abhängigkeit der Temperatur	variabel, in Abhängigkeit der Temperatur



Bild 32: Entnahme von Bohrkernen aus dem Böschungsbeton

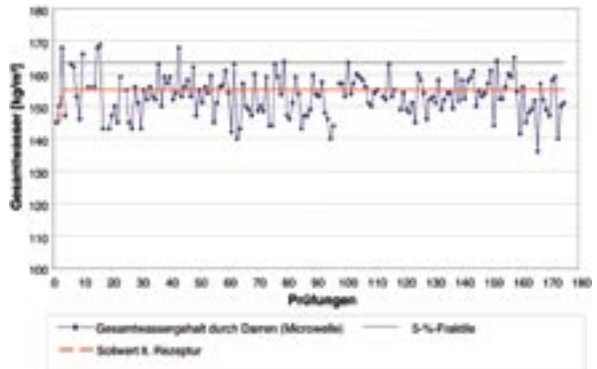


Bild 33: Durch Darren bestimmter Gesamtwassergehalt des Böschungsbetons (Fertigereinbau)

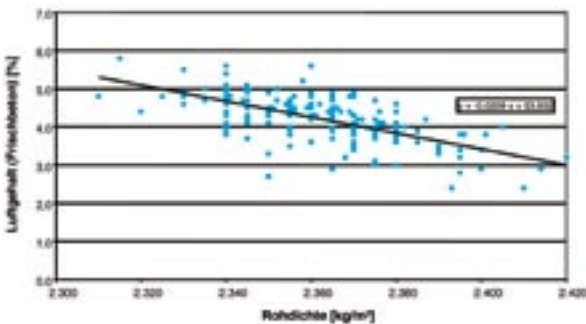


Bild 34: Luftgehalt und Rohdichte des Böschungsbetons (Fertigereinbau)

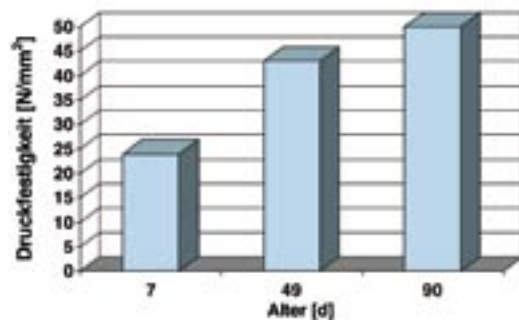


Bild 35: Druckfestigkeit von Bohrkernen aus dem Böschungsbeton in unterschiedlichem Alter

geringe Wassereindringtiefe (wu-Beton) aufweisen. Von der Norm abweichende Eigenschaften wurden mit dem Auftraggeber vorab abgeklärt und waren, da keine tragenden Bauteile erstellt wurden, für ein mängelfreies Bauwerk nicht von Bedeutung.

Alle wesentlichen Eigenschaften wurden regelmäßig am Frisch- und Festbeton geprüft. Die Druckfestigkeiten im Alter von 7, 49 und 90 Tagen wurden an Bohrkernen geprüft, die aus den Böschungen entnommen wurden (Bild 32).

Insgesamt wurden 275 Prüfungen an Frischbeton und 177 Festigkeitsbestimmungen an Bohrkernen durchgeführt. Die Ergebnisse der Prüfungen für den Wassergehalt des Böschungsbetons, seinen Luftgehalt

und seine Rohdichte sind in den Bildern 33 und 34 dargestellt, einige statistische Kennwerte enthält Tafel 6. Die Bohrkerndruckfestigkeiten nach 7, 49 und 90 Tagen zeigt Bild 35. Die Wassereindringtiefe betrug im Mittel 17,3 mm.

5 Logistik

Die Anlieferung der insgesamt benötigten 40.000 t Zement (alle 2 Tage etwa 800 t bis 1.000 t Zement) und der insgesamt 15.000 t Steinkohlenflugasche erfolgte per Bahn (Bild 36). Bis zur Mischanlage in der Kiesgrube (Bild 19) und zu einer zweiten Mischanlage nahe des Einlaufbauwerks wurde der Zement mit Silozügen gefahren. Der Tagesbedarf an Gesteinskörnung betrug etwa 3.000 t. Die Mischanlage im Stein-

bruch verfügte über je zwei 3-m³-Mischer. Wegen der einzuhaltenden Mischzeit von 45 s (LP-Beton!) waren jedoch anstatt der Nennleistung von 200 m³/h nur zwischen 120 m³/h und 140 m³/h möglich. Der überwiegend mit abgedeckten Muldenfahrzeugen zu bis zu 12 parallelen Einbaustellen transportierte Frischbeton, die Zementsilozüge und die weiteren Baustellenfahrzeuge verursachten einen beträchtlichen Lkw-Mehrverkehr von rund 600 Fahrten/Tag auf der ohnehin viel befahrenen Spange. Dort waren immerhin 20 Fahrmischer, 30 Kipper und 2 bis 3 Betonpumpen im Dauereinsatz. Ein ausgeklügelter Verkehrswegeplan, Einbahnverkehr im Kanal und strikte Verkehrsdisziplin sorgten dafür, dass alle zeitlichen Vorgaben eingehalten wurden und es zu keinem Verkehrsunfall kam.

Tafel 6: Statistische Kennwerte einiger Frisch- und Festbetoneigenschaften des Böschungs- und des Sohlebetons

Beton	Eigenschaft		Statistische Kennwerte		
			Mittelwert	Standardabweichung	5%-Fraktile / 95%-Fraktile
Böschung	Wassergehalt	kg/m ³	153	6,3	- / 163,5
	Luftgehalt	%	4,2	0,6	3,2 / 5,2
	Frischbetonrohddichte	kg/m ³	2.363	19,5	2.331 / 2.395
	Frischbetontemperatur	°C	24,3	2,6	- / 28,5
	28-Tage-Druckfestigkeit	N/mm ²	-	-	-
	Wassereindringtiefe	mm	17,3	-	-
Sohle	Wassergehalt	kg/m ³	141	5,8	- / 150
	Luftgehalt	%	2,9	0,7	1,7 / 4,1
	Frischbetonrohddichte	kg/m ³	2.414	24	2.374 / 2.453
	Frischbetontemperatur	°C	25,9	1,3	- / 28,0
	28-Tage-Druckfestigkeit	N/mm ²	42,0	-	-
	Wassereindringtiefe	mm	25,5	-	-

6 Schlussbemerkung

Die Bauleitung wurde aufgrund der mit dem Pauschalvertrag übernommenen Risiken, wie z.B. Boden-, Wetter- und Auf-/Abstaurisiko, planerisch ständig gefordert.

Gab es Anfang August noch einen zeitlichen Rückstand des Baufortschritts, konnte aufgrund der guten Kapazitätsplanung in Verbindung mit dem außergewöhnlich guten Wetter die Flutung doch termingerecht Mitte September 2003 eingeleitet werden, nachdem auch die Verbau- und Verklammerungsmaß-

nahmen speziell am Einlauf abgeschlossen waren. Aufgrund der großen Temperaturunterschiede in den Betonbauteilen vor der Befüllung und nach der Befüllung mit dem 8 °C kalten Innwasser öffneten sich noch einige versteckte kleine Risse. Aufgrund der geringen Verschmutzung des Inns wurde Anfang November durch gezielte Zugaben von dispergiertem Bentonit bzw. ausgebaggertem Feinschlamm das Zusetzen von Fehlstellen beschleunigt.

Sowohl der noch vorhandene helle Nachbehandlungsfilm als auch der zementbedingte helle Beton lassen

die aufgrund des niedrigen Wasserstands sichtbaren Böschungen fast weiß erscheinen.

In den kommenden Jahren stehen ähnliche Projekte wie z.B. die Instandsetzung des Alzkanals oder des Isar-Kanals an. Es wäre wünschenswert, wenn dabei auf den hier gemachten guten Erfahrungen aufgebaut und Betone vergleichbarer Zusammensetzung eingebaut würden.

Bilder von den Autoren und mit freundlicher Genehmigung von der ARGE Innkanalanisierung und der Firma Berger Bau GmbH Passau.



Bild 36: Umladen des angelieferten Zements in Silofahrzeuge

Bauschild

Bauherr	e.on Wasserkraft GmbH
Projektierung	Ingenieurgemeinschaft Verbundplan GmbH / e.on Engineering GmbH
Bauausführung	ARGE e.on Innkanal, Landshut PORR Technobau München (Technische Geschäftsführung) ALPINE Bau Bilfinger Berger