

WASSERBAU

Michael Noritzsch und Helmut Rehm

## Sanierung eines Kraftwerkskanals bei Teilabstau mit Betonmatten

Im Herbst 2009 wurde an einem Teilstück des Mittleren Isarkanals die Erneuerung der Kanalauskleidung bei betriebsbedingtem Teilabstau und verminderter Fließgeschwindigkeit erfolgreich ausgeführt. Zum Einsatz kam eine zweilagige Schalungsmatte aus hochreißfestem Gewebe mit textilen Abstandshaltern, die nach ihrer Verlegung im Kanalquerschnitt vollflächig mit Beton ausgepresst wurde. Es entstand eine neue 5 100 m<sup>2</sup> große, 10 cm dicke Kanalauskleidung aus hochwertigem Beton, die mit einer Betondruckfestigkeitsklasse C25/30 und einem Durchlässigkeitsbeiwert  $k < 1 \cdot 10^{-12}$  m/s die Anforderungen an eine zeitgemäße, dauerhafte Fließgerinneauskleidung erfüllt. Der vollflächige Betoneinbau unter Wasser im Schutze einer geotextilen Schalungsmatte ermöglicht eine Betonage, die qualitativ einem Ortbetoneinbau bei Kanaltrockenlegung entspricht. Aus der durchgeführten Baumaßnahme lässt sich ableiten, dass eine derartige Auskleidung auch unter Vollstau mit angepasster Fließgeschwindigkeit hergestellt werden kann.

### 1 Allgemeines und bestehende Verhältnisse

Am Mittleren-Isar-Kanal der E.ON Wasserkraft GmbH (EWK) wurden seit 1997 bereits zahlreiche Sanierungen der aus 5 Haltungen bestehenden Anlage (Inbetriebnahme 1925) durchgeführt. Im Zuge der Sanierungen der alten Kanalauskleidung der Haltungen 2 und 3 in 2009 wur-

de auch ein zum Teil stark geschädigter Einschnittsbereich in der Haltung 1 erstmals mit Betonmatten instand gesetzt. Aufgrund noch ausstehender Sanierungsmaßnahmen, die unter Wasser nahezu bei Vollstau und reduziertem Kanaldurchfluss geplant sind, war diese Maßnahme auch ein wichtiger Test im Hinblick auf die Ausführbarkeit und Qualität von Unterwassereinbaumethoden. Maßgebend

für die Durchflussreduzierung ist dabei eine maximale Fließgeschwindigkeit von 0,4 bis 0,5 m/s, da Arbeiten mit Tauchern durchgeführt werden müssen.

Die vorhandene Kanalauskleidung wurde in den 20er Jahren des vorigen Jahrhunderts in Betonbauweise und in der Böschung mit dem sog. „Kopperhofer'schen Apparat“ hergestellt (Bild 1).

Beton Schäden gab es vorrangig im Sohlenbereich (Beton örtlich nicht mehr vorhanden) sowie bei Fugen und im Wasserwechselbereich (Bild 2). Im Grundwasserabflussbereich wurden größere Schäden bzw. Gefügestörungen am Beton festgestellt als im Bereich ohne Grundwasser.

Während der Bauarbeiten musste ein eingeschränkter Kanaldurchfluss in Kauf genommen werden, da bedingt durch die gleichzeitig laufenden Baumaßnahmen in den Haltungen 2 und 3 ein trockener Kanal benötigt wurde und deswegen anfallendes Wasser aus Bächen in Haltung 1 im sogenannten Rückwärtsbetrieb zurück in die Isar geleitet werden musste.

Während der Sanierungsmaßnahmen betrug der Wasserstand im Kanal ca. 3,75 m (bei Kraftwerksbetrieb ca. 7,50 m) und bei Maximalabfluss war eine Fließgeschwindigkeit von bis zu 0,40 m/s zu berücksichtigen.

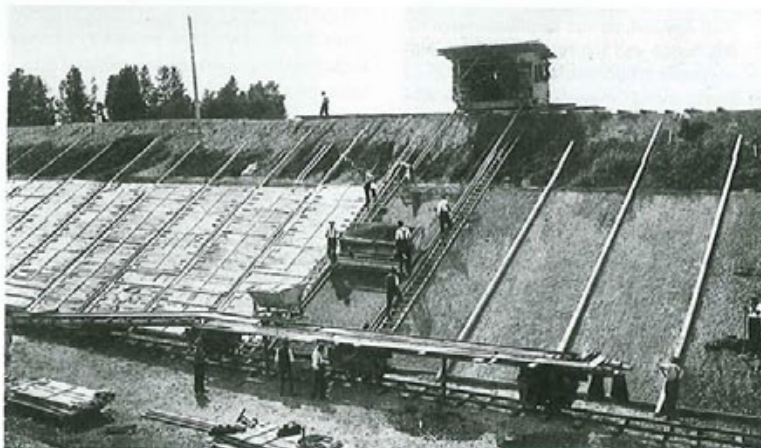


Abb. 20. Betonierung der Böschungsbekleidung mit dem Kopperhofer'schen Apparat.

Bild 1: Betoneinbau mit dem „Kopperhofer'schen Apparat“ (Quelle: EWK-Archiv)



**Bild 2:** Urzustand: verwitterte Oberfläche der Kanalauskleidung

Zufahrtsmöglichkeiten waren nur beschränkt vorhanden, der Uferweg wies zum Teil nur eine Breite von 2,0 m auf. Die Böschungslänge beträgt beidseitig 15 m bei einer Neigung von 1:1,5, die Sohlenbreite 4,0 m.

## 2 Sanierungsmaßnahmen

### 2.1 Anforderungen an die neue

#### Kanalauskleidung und Vorversuche

Im Rahmen der Ausschreiben wurden an die Art der Kanalauskleidung (nach Wahl des Auftragnehmers) u. a. folgende Anforderungen gestellt bzw. hierzu folgende Angaben gefordert:

- Gebrauchstauglichkeit für mindestens 30 Jahre,
- Angaben über maximale Fließgeschwindigkeit während der Bauzeit,
- Beständigkeit gegenüber Witterung, UV-Strahlung, Durchwurzelung und Eisangriff,
- Mindestdicke bei Betonlösungen 10 cm,
- Durchlässigkeitsbeiwert  $k \leq 5 \cdot 10^{-8}$  m/s,
- Angaben über Fugenausbildung,
- maximale Bauzeit 6 Wochen.

Grundidee der angebotenen und hier vorgestellten Ausführungsvariante war der Einbau einer 5 100 m<sup>2</sup> großen, zweilagigen Schalungsmatte aus hochreißfestem Gewebe im kompletten Kanalabschnitt und das anschließende Verfüllen dieser mit

einem geeigneten Füllbeton, so dass eine homogene, gleichmäßig dicke Betonauskleidung innerhalb der Schalungsmatte entsteht.

In die zweilagige Schalungsmatte wurden zwecks Dickenbegrenzung Gewebebänder als Abstandshalter im Raster 10/10 cm eingenäht, so dass sich im verfüllten Zustand Kissen an der Oberfläche

ausbilden, ähnlich einer prall gefüllten Steppdecke. Diese vollflächige Kissenstruktur wurde vorab als visuelles Abnahmekriterium für die vollständige Mattenverfüllung vereinbart.

Ein wichtiger Parameter für eine effiziente Bauausführung war die Wahl eines geeigneten Füllbetons mit zugehöriger Einbautechnik. Hierzu fanden vor Baubeginn umfangreiche Vorversuche statt. Die Anforderungen an den Beton im Verarbeitungszustand waren nahezu stets Ausschlusskriterium für alle Mischungsentwürfe, die die Festbetoneigenschaften erfüllt hätten. Der Beton musste im Verarbeitungszustand im Unterwasserbereich die Schalungsmatte gegen den Wasserdruck aufpressen und sich möglichst weit im Netz der vertikalen Abstandshalter radialsymmetrisch ausbreiten. Dabei durfte der Frischbetondruck auf das Gewebe nicht so stark werden, dass dieses aufreißt oder die Abstandshalter zerstört werden. Eine für die Verarbeitung geeignete Mischung wurde letztendlich an der Amtlichen Materialprüfanstalt der Universität Kassel hinsichtlich der Festbetoneigenschaften geprüft. Es konnte eine Betondruckfestigkeitsklasse C25/30, eine Biegezugfestigkeit  $>5,1$  N/mm<sup>2</sup>, eine maximale Wassereindringtiefe von 4 mm sowie ein Durchlässigkeitsbeiwert von  $k < 1 \cdot 10^{-12}$  m/s nachgewiesen werden. Die Mischung wurde vom Auftraggeber als geeignet anerkannt und zur Ausführung freigegeben.



**Bild 3:** Urzustand: Kantenabbruch der Kanalauskleidung unter Wasser

WASSERBAU



Bild 4: Einbau der Schalungsmatte

### 2.2 Bauausführung

Zu Baubeginn waren zunächst diverse Vorarbeiten notwendig. Nach erfolgter Kampfmittelondierung wurde Sperrmüll und scharfkantiger Betonbruch aus dem Kanalbett entfernt. Die luftseitigen Böschungflächen wurden per Hochdruckwasserstrahlen von organischen Anlandungen und Bewuchs befreit. Im Unterwasserbereich wurde mit einer Schleppharke Algenbewuchs von Böschung und Sohle beräumt und gleichzeitig Kiesanlandungen eingeebnet.

Die zahlreichen Ausbrüche im Böschungsbeton befanden sich ausschließlich unter Wasser, ausgehend vom Übergang Sohle zur Böschung (Bild 3). Einzelne Ausbrüche erreichten eine Tiefe von

40 cm bei einer Fläche von bis zu 15 m<sup>2</sup> und mussten im Maximum mit 75 Mörtelsäcken gefüllt werden. Die verfüllten Ausbrüche sowie scharfkantige Fugenränder wurden zusätzlich mit einer Bentonit-Sandmatte abgedeckt, so dass später die untere Gewebelage der Schalungsmatte nicht zerstört werden kann. Durch diese Maßnahmen konnte eine gratfreie, ebenflächige Unterlage für die Kanalauskleidung geschaffen werden.

In Bahnabschnitten von 15 m Breite und 35 m Länge wurden die Schalungsmatten werksseitig vorkonfektioniert und zur Baustelle geliefert. Die Einzelbahnen sind über den Kanal gespannt und vor Ort zu einer Gesamtfläche von 150 m x 35 m zusammengefügt worden. Die Mattenver-

legung erfolgte vorwiegend manuell, da die Örtlichkeit keinen Großgeräteinsatz zuließ (Bild 4).

Die Fixierung der Matten am Dammkopf und am oberstromseitigen Sohlende verhinderte ein strömungsbedingten Abtrieb der Matten im Kanal.

Ausgehend von der Oberstromseite wurde mit der Verfüllung der Sohle begonnen (Bild 5). Die jahreszeitlich bedingte Wassereintrübung ließ eine visuelle Verfüllkontrolle nicht zu, so dass Taucher den Fortschritt der Sohlenverfüllung kontrollieren mussten.

Trotz umfangreicher Vorversuche wurden im ersten Sohlenabschnitt zahlreiche Variationen von Pumpgeschwindigkeit und Pumpendruck vorgenommen, bis ein zufriedenstellender Verfüllfortschritt erreicht werden konnte. Zu hohe Pumpendrucke und Füllgeschwindigkeiten können im seltenen Fall zum Reißen einzelner Abstandhalter führen, in deren Konsequenz sich Mehrdicken und Wölbungen bilden. Dies ist jedoch lediglich ein optischer Mangel, das das Gesamtsystem durch die lokale Mehrstärke nicht geschwächt wird.

Die Schalungsmatte war unter Wasser bedingt durch die Wasserauflast zusammengedrückt und entfaltete sich erst bei Einpressen des Füllbetons. Hierdurch kam es bei Füllen der Matte auch nicht zu Änderungen des w/b-Wertes bzw. zu Entmischungen. Gleichfalls ist das hochreißfeste Gewebe so engmaschig gewebt, dass nur minimale Zementleimaustritte an der Gewebeaußenseite im prall gefüllten Mattenzustand sichtbar wurden (Bilder 6 und 7).



Bild 5: Beginn der Sohlenverfüllung



Bild 6: Kissenstruktur der prall gefüllten Auskleidung



**Bild 7:** Auskleidung unter Wasser mit Naht (Reißverschluss): links mit und rechts noch ohne Verfüllung

Nach der Sohlenverfüllung wurden die Böschungflächen zunächst bis Höhe Wasserspiegel betoniert. Hierbei konnte beobachtet werden, wie sich beim Füllvorgang die Matte dem Untergrundverlauf anpasst, insbesondere im Übergang der Sohle zur Böschung. Knickfrei und ohne Einschnürung hat sich auch hier eine 10 m dicke Fläche ausgebildet. Der Betoniervorgang an der Böschung wurde ebenfalls von Tauchern visuell begleitet.

Abgesehen von wenigen Mehrstärken infolge gerissener Abstandshalter stellte sich im gesamten Unterwasserbereich die prall gefüllte Kissenstruktur ein, so dass dieser Teil per Kontrollbetauchung durch den Auftraggebervertreter abgenommen wurde.

Die Verfüllung der luftseitigen Böschung verlief deutlich einfacher, da diese Flächen vom Füllpersonal frei einsehbar waren und hier bei Bedarf schneller reagiert werden konnte (**Bild 8**). Zur Nachbehandlung wurden fertig betonierte Abschnitte in regelmäßigen Abständen befeuchtet.

Der obere Auskleidungsabschluss entlang der Dammkrone wurde in Absprache

WASSERBAU



Bild 8: fertig ausgekleideter Kanalabschnitt

Michael Noritzsch and Helmut Rehm

#### Renovation of a Channel Lining with a Geotextile Formwork Filled with Concrete

In autumn 2009, the renovation of the channel lining of part of the Mittlerer Isarkanal was successfully executed. In the process the flow rate and the water-level had been reduced. A double-ply formwork made out of tearproof fabric was used, after its laying into the channel it was completely filling with concrete. The result was a new, 10 cm thick channel lining with an area of 5 100 square meters, made out of concrete with high quality. This channel lining offers a pressure of C25/30 and a coefficient of permeability  $k < 1 \cdot 10^{-12}$  m/sec and fulfills therefore all requirements of a modern, lasting channel lining. The concrete installation under water, protected with a geotextile formwork and covering the entire area, is equivalent and offers the same quality as a concrete installation of a in-situ concrete. The executed project has shown that such channel lining can as well be constructed if the water-level is top and the flow rate is reduced.

Михаэль Норитч и Хельмут Рем

#### Санирование канала электростанции с помощью бетонных матов в условиях частичного запруживания

Осенью 2009 на отдельном участке среднего канала реки Изар было успешно проведено обновление облицовки канала в обусловленных требованиями эксплуатации условиях частичного запруживания и снижения скорости течения. Были применены двухслойные гибкие опалубочные маты из особо прочного материала с тканевыми распорками, которые после укладки в поперечном сечении канала были полностью заполнены бетоном. Новая облицовка канала из высококачественного бетона имеет толщину 10 см и площадь 5 100 м<sup>2</sup>. Класс прочности бетона при сжатии составляет C25/30, коэффициент водопроницаемости равен  $k < 1 \cdot 10^{-12}$  м/сек. Таким образом, данная облицовка полностью соответствует требованиям, предъявляемым к современным, рассчитанным на длительную эксплуатацию облицовкам проточных каналов. Метод полномасштабной укладки бетона под водой под защитой геотекстильных опалубочных матов позволяет произвести бетонирование и создать бетонный слой, по качеству соответствующий монолитному бетону, уложенному в условиях осушенного канала. На основе проведенных строительных мероприятий можно сделать вывод, что подобный вид облицовки может быть произведен и в условиях полного запруживания при соответственно подобранной скорости потока.

mit dem Auftraggeber auf ein konstantes Höhenniveau gebracht und dann abgescrängt in den Dammkörper geführt. Die keilförmige Ausbildung der Abschlusskante mit Gefälle in Richtung Kanal soll verhindern, dass sich Oberflächen- oder Niederschlagswasser hinter der Auskleidungskante sammelt.

An die unter- und oberstromseitige Abschlusskante wurde vorab ein Gewebeschlauch im Durchmesser 70 mm angehängt, der ebenfalls ausbetoniert eine Abstufung zwischen alter und neuer Kanaloberfläche bildete.

Die beim Betoniervorgang stattfindende Tränkung des Gewebes mit Zementleim führt zwangsweise zu einem flächigen Verbund von Gewebe und Betonfüllung. Dieser sowie der dichte punktuelle Verbund zwischen Deckgewebe und einbetonierten Abstandshaltern verhindern ein Ablösen des strömungsbeaufschlagten Deckgewebes, auch bei lokaler Beschädigung durch Treibgut, Geschiebe oder Bootverkehr zu Wartungszwecken.

### 3 Fazit

Mit der gewählten Bauweise wurden die Anforderungen der EWK für die Sanierung eines Kanalabschnittes bei teilabgestautem Kanal voll erfüllt. Auch die für den Einbau notwendigen Vorarbeiten unter Wasser (Kanalräumung mit Kampfmittelbeseitigung, Verfüllung von Ausbrüchen mit Mörtelsäcken etc.) wurden einwandfrei ausgeführt. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass aufgrund der Erfahrungen bei der Durchführung der Baumaßnahmen der Einbau von Betonmatten auch bei Vollstau möglich ist und größere Probleme nicht zu erwarten sind. Die Fließgeschwindigkeit und die mögliche Trübung des Kanalwassers müssen dabei ein sicheres Arbeiten der Tauchgruppe zulassen und sind insofern besonders zu beachten.

#### Autoren

**Dipl.-Ing. Michael Noritzsch**  
SBI Ingenieurgesellschaft mbH & Co. KG  
Herrenwiese 6  
34329 Nieste  
kontakte@sbi-info.de

#### Dipl.-Ing. Helmut Rehm

E.ON Wasserkraft GmbH  
Luitpoldstraße 27  
84034 Landshut  
helmut.rehm@eon-energie.com