

Werkkanal Mittlere Isar, Haltung 4b – Instandhaltungs- maßnahmen/Strogenbauwerk

Von Markus Aufleger
und Horst Kreiser

Der Werkkanal Mittlere Isar wurde in den Jahren 1921 bis 1929 gebaut, um in insgesamt 4 Wasserkraftwerken (Finsing, Aufkirchen, Eitting und Pfrombach) ca. 83 MW Kapazität zu installieren. Der trapezförmig ausgebildete Kanal erreicht Dammhöhen bis zu 12,5 m und Einschnittiefen bis 22 m. Bei einer durchschnittlichen Wassertiefe von 6 m fließen ca. 130 m³/s Wasser mit einer Geschwindigkeit von 1 m/s ca. 51 km weit mit einem Gefälle von i.G. 88 m. Der mit 15 cm starken, unbewehrten Beton voll ausgekleidete Kanal wurde auf eine Länge von 900 m über das in der Mittleren Strecke gelegene Kanalüberführungsbauwerk, das Strogenbauwerk mit einem PVC Geocomposit „Sibelion CNT“ saniert. Um eventuelle Undichtigkeiten in der Dichtung, oder Unterströmungen festzustellen und zu lokalisieren, wurde eine faseroptische Temperaturmessung in Zusammenarbeit mit der TU München installiert.

1 Anlass der Sanierung

Der Werkkanal Mittlere Isar (MIK) beginnt nördlich von München und fließt insgesamt 51,35 km lang bis zu seiner Mündung in das Oberwasser des Uppenborn-Wasserkraftwerks bei Moosburg (Niederbayern).

Das Rohgefälle von 88 m wird in insgesamt 4 Kraftwerken der E.ON Wasserkraft GmbH (früher Bayernwerk Wasserkraft AG) bei einer Ausbauleistung von 84 MW zur Erzeugung von im Mittel ca. 470 Mio. kWh genutzt. Es wird sowohl Drehstrom in das öffentliche Netz der E.ON Energie AG, als auch Einphasenstrom in das Freileitungnetz der Deutschen Bahn AG eingespeist.

Baubeginn für den Mittleren Isarkanal war 1921. Die damals gegründete Mittlere Isar AG errichtete im Rahmen der staatlich geförderten Notstandsarbeiten mit dem Kanal die Kraftwerke Finsing, Aufkirchen und Eitting, und so konnte bereits 1924 der erste Drehstrom an das Bayernwerk und ein Jahr später der erste Einphasenstrom an die Deutsche Reichsbahn geliefert werden.

Im Jahre 1929 wurde die Kraftwerkstreppe mit dem Bau des Kraftwerkes Pfrombach beendet. Die Bauarbeiten wurden durch meh-

rere Streiks und Unruhen unterbrochen bzw. gestört. Arbeitskräfte waren zu dieser Zeit billig, Baumaterialien und Baumaschinen knapp und teuer. So erfolgte der Transport des Erd-aushub- und des Dammschüttmaterials mittels Gleisbetrieb, auch fehlten Walzen zur Verdichtung, so dass ein Überfahren der Bauzüge über die einzelnen Schüttlagen die damals geforderte Verdichtung besorgte. Aus Zeitgründen wurde die anfänglich auf 50 cm festgelegte Schütthöhe schnell auf 1,50 m erhöht.

Mit einem vorgesehenen Setzungsmaß von 10 % hatte man für die Konsolidierung bei kiesigem Dammschüttmaterial Reserven, bei bindigem Schüttmaterial jedoch ungenügend disponiert.

Die Auskleidung des trapezförmigen Kanals erfolgte auf 35,1 km Länge über das gesamte Profil mit 15 cm starkem, unbewehrtem Beton, der – ohne Fugendichtung hergestellt – in erster Linie die Fließverluste reduzieren und erst in zweiter Linie eine gewisse Oberflächenabdichtung erreichen sollte. Der Rest der Kanalstrecke hat nur eine Böschungsabdichtung mit Beton.

Während der Kanal im Mittel zwischen 125 m³/s und 132 m³/s Wasser führt, liegt die Fließgeschwindigkeit bei ca. 1 m/s. Die Dammhöhen erreichen bis zu 12,5 m, die

größte Einschnitttiefe liegt bei 22 m, die Sohlbreite schwankt zwischen 3,8 m und 18,3 m und die Wasserspiegelbreite zwischen 23 m und 34 m. Die Wassertiefe hat eine Bandbreite von 4,5 m bis 7,5 m.

2 Neuartige Sanierung mit PVC Geocomposit

Während im Jahre 1997 in einer umfassenden Sanierungsmaßnahme ca. 3 km Kanal saniert, teilweise mit neuer Beton-, teilweise mit Asphaltabdichtung versehen wurde, hatten wir am Kanal-Überführungsbauwerk, dem sogenannten Strogenbauwerk (**Bild 1**) seit Jahren zunehmende Durchsickerungen durch das Bauwerk, welche die Substanz beeinträchtigten (Eisbildung im Winter) und unbedingt abgestellt werden mussten. Zudem wurde bei der Kanalabstellung 1997 festgestellt, dass insbesondere die Betonsohle im Abschnitt Strogenbauwerk bis zum Kraftwerk Pfrombach starke Schäden aufwies.

Es wurde zusammen mit dem Gutachter, Herrn Prof. Dr. Ing. Theodor Strobl von der TU München, dem Ingenieurbüro EDR, München, und der Bauabteilung der E.ON Wasserkraft GmbH ein Konzept für die Abdichtung des Strogenbauwerkes und die



Bild 1: Das Strogenbauwerk (Überführung des mittleren Isarkanals)

Fig. 1: Strogen structure (overpass of the Middle Isar Canal)

Erneuerung der Betonsohle wie folgt festgelegt:

Auf eine Länge von 900 m (Kkm 44,25 bis Kkm 45,15) vor und hinter dem Strogenbauwerk mit einer Sohlfläche von ca. 10000 m² und einer Böschungfläche von ca. 25000 m² sollte eine neue Asphaltabdichtung nach vorherigen Betonausbesserungsarbeiten und der Herstellung von Drainagen aus der Sohle in den Schmelzwasserschotter, jeweils unmittelbar vor und hinter dem Strogenbauwerk, hergestellt werden. Mit dieser Drainage wollte man evtl. ankommendes Sickerwasser unter der Dichtung vor dem Bauwerk abfangen und abführen.

Zusätzlich sollte auf die insgesamt 900 m Sanierungsstrecke in der Sohle alle 25 m eine Dränentlastung mittels 300 mm starker, kiesgefüllter Bohrung kleinere Sickerwassermengen in den Schmelzwasserschotter abführen.

Um evtl. Undichtigkeiten zu orten, wurde mit der TU München, Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft, ein Überwachungssystem mit einer verteilten faseroptischen Temperaturmessung geplant, auf das später eingegangen wird.

Am linken luftseitigen Dammfuß wurden auf 200 m Länge Auflastfilter zur Verbesserung der Standsicherheit aufgebracht und zudem auf ca. 1500 m Länge Betriebswege geplant.

Um einen möglichst breiten Wettbewerb zu ermöglichen, hat der Auftraggeber außer der geplanten Asphaltabdichtung (Los 1) Sonderanschläge mit neuartigen Baustoffen i.E. Geomembrane auf Bitumen und PVC-Basis zugelassen (Bild 2).

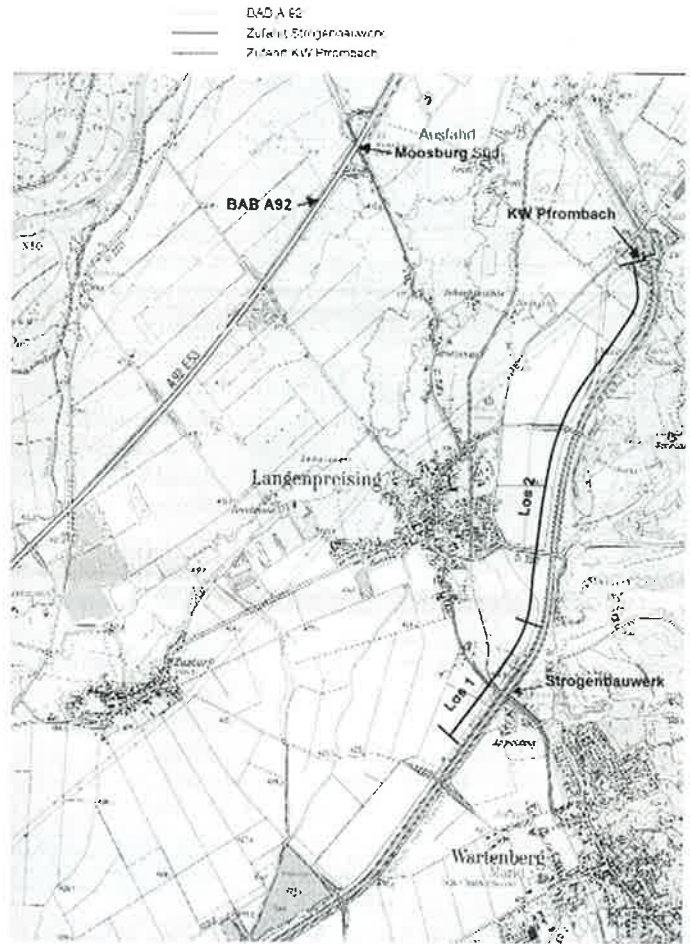


Bild 2: Übersichtsplan des mittleren Isarkanals, Haltung 4 b

Fig 2: General Map of the Middle Isar Canal, section 4b

Zur reinen Sohlenerneuerungen (Los 2) waren Asphalt und Beton alternativ ausgeschrieben worden. Diese „flexible“ Ausschreibung brachte überraschende technische Vorschläge und preislich interessante Alternativen. So lieferten sich die Firmen CARPI TECH S.A., Schweiz, mit dem angebotenen 2 mm star-

ken PVC-Geocomposit SIBELON CNT 2800 als Abdichtung und die Firma Colas, Frankreich, mit der Coletanche Geomembran wirtschaftlich gesehen ein Kopf-an-Kopf-Rennen und distanzierten die konventionelle Asphaltabdichtung so deutlich, dass die Geschäftsführung des Bauherrn das Pla-

Rehabilitation Work on the River Isar Middle Isar Canal, Strogen Structure

by Markus Aufleger and Horst Kreiser

The Middle Isar Canal in Bavaria, which was built in the period 1921 to 1929, has a total length of about 51 km. It starts north of Munich and ends near the Uppernborn hydropower station close to Moosburg. The canal supplies 4 hydro-power stations, namely Finsing, Aufkirchen, Eitting and Pfrombach, which collectively produce 83.4 MW. The flow through the power canal amounts to approximately 130 m³/sec, but the velocity does not exceed 1 m/sec.

In order to ensure the impermeability of the lining and increase the flow velocity in the canal, the worn concrete surface over a stretch of some 900 m – which also includes a canal bridge over the river Strogen – was rehabilitated using PVC geocomposite (Sibelon CNT) with a fibre-optic temperature measurement system underneath. This system, which was installed on both sides of the cross-section and at the bottom of the canal, enables the Technical University Munich to take regular measurements to check the impermeability and identify the location of any leakages.



Bild 3: Vollausskleidung des Kanalprofils mit der PVC-Folie „Sibelion CNT“

Fig. 3: Lining of the canal profile using "Sibelion CNT" PVC sheets

nungsbüro, den Gutachter und die eigene Fachabteilung um eingehende Prüfung und Abwägung dieser für uns neuen Baustoffe aufforderte. In mehreren technischen Verhandlungen mit den Anbietern dieses Geocomposits und nach Prüfung der Referenzen und Besichtigung von ausgeführten Projekten erteilte die E.ON Wasserkraft GmbH den Auftrag mit knappem Vorteil an die Firma CARPI TECH S.A..

Beauftragt wurde eine Vollausskleidung des Trapezprofils mit einem 2 mm PVC Geocomposit (Fabrikat: SIBELON CNT 2800 bestehend aus einer 2 mm PVC-Geomembran mit aufkaschiertem 200g/m² Vlies). (Bild 3).

Die Befestigung bzw. Verankerung dieses Geocomposits erfolgte oben an der Böschungsbetonoberkante mit Dübeln, ungefähr in der Mitte der Böschungen sowie an den Sohlrändern mit Edelstahl-U-Profilen, die alle 2 m mit 50 cm bzw. 100 cm langen Erdankern im darunterliegenden Beton gehalten werden. Jeder Anker wurde einer Auszugsprüfung entsprechend seiner Bemessungszugkraft unterzogen.

Die werksseitig vorgefertigten 6 m breiten Geocomposit-Bahnen (3 Rollen à 2 m) wurden auf der Baustelle von OK Böschung bis zur Mitte Sohle ausgelegt und miteinander verschweißt. Das von der gegenüberliegen-

den Böschungsseite kommende Gegenstück wurde in der Kanalsohlenmitte überlappt und mit einer durchgehenden Längsschweißnaht verbunden. An den ober- und unterstrom liegenden Rändern der durchgehenden Abdichtungsfläche wurde der dichte Abschluss in Form einer Pressdichtung auf Epoxidharzmörtelbettung mit Edelstahl-Flachprofilen und Gummimanschetten, die mit verschraubten Klebeankern im Untergrund fixiert wurden, hergestellt. Die Schweißung erfolgte mit selbstlaufenden Schweißautomaten, die eine Doppelnaht produzierten. Der Prüfkanal zwischen den beiden Nähten ermöglichte eine Dichtheitsprüfung mit dem Verfahren der Druckluftprüfung (Verfahren D, DIN 18195/3).

Nachdem wir mit dem Auftragnehmer eine 10-jährige Gewährleistung auf Material und Verarbeitung vertraglich vereinbart hatten, war es wichtig, ein Leckortungssystem einzubauen, das im Fall von Undichtigkeiten/Leckagen diese so genau wie möglich anzeigt.

3 Temperaturmessungen zur Funktionskontrolle

Temperaturmessungen werden in Bauwerken des konstruktiven Wasserbaus im wesentlichen unter zwei Zielsetzungen durchgeführt: In großen Betonbauteilen ermöglichen sie Rückschlüsse auf die Hydratationswärmeentwicklung, an der Luftseite von Dichtungselementen die Lokalisierung von eventuellen Fehlstellen. Die Technologie verteilter faseroptischer Temperaturmessungen bietet nun die Möglichkeit, die Umgebungstemperatur entlang von Glasfaserleitungen, die eine Länge von mehreren Kilometern besitzen können, annähernd kontinuierlich mit einer hohen Temperatur- und Positionsgenauigkeit zu bestimmen [1]. Zur Leckageortung werden hierbei zwei Methoden angewandt:

- Mittels der *Gradientenmethode* werden Temperaturanomalien im Untergrund lokalisiert, welche durch Sickerströmungen und den damit verbundenen advektiven Wärmetransport verursacht werden. Diese Anomalien sind nicht auf den unmittelbaren Bereich der Porenströmung beschränkt, sondern weiten sich mittels Wärmeleitung in ihre Umgebung aus. Voraussetzung zum Gelingen dieser Methode ist zumindest ein geringer Temperaturunterschied zwischen dem Wasserkörper und der Umgebung der Glasfaser-

leitung. Dies bedingt in der Regel einen gewissen räumlichen Abstand der Leitung vom Dichtungssystem.

- Falls Messungen nach der Gradientenmethode alleine nicht ausreichen (z. B. bei geringem Abstand zwischen Wasserkörper und Glasfaserleitung) kann eine zuverlässige Ortung von Sickerströmungen nur nach der sogenannten Aufheizmethode durchgeführt werden. Hierbei wird das Glasfaserkabel mittels eines integrierten elektrischen Leiters um wenige Grad °C linienförmig aufgeheizt. Dieser Temperaturanstieg kann allerdings nur dort erreicht werden, wo die eingetragene Wärme nicht durch eine möglicherweise vorhandene Sickerwasserströmung abtransportiert wird. Die Interpretation der Verteilung der Temperaturanstiegswerte entlang des Kabels ermöglicht nun die Lokalisierung von verstärkt durchströmten Bereichen. Die Aufheizmethode wurde von der GTC Kappelmeyer GmbH, Karlsruhe, patentrechtlich geschützt und an der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München in Oberrach einer umfassenden wissenschaftlichen Überprüfung unterzogen.

Im Sanierungsbereich wurden unmittelbar unterhalb der Membrandichtung beidseitig jeweils 2 Kabelstränge verlegt (Bilder 4 und 5). Aufgrund der extremen räumlichen Nähe von Dichtungssystem und Glasfaserkabel und des damit verbundenen Fehlens einer ausreichenden Temperaturdifferenz ist die Anwendung der Aufheizmethode zwingend erforderlich.

Eines dieser Kabel wurde unmittelbar am Übergang von der Böschung in die Sohle im direkten Anschluss an ein schmales Geogitter, welches eine gewisse Drainagefunktion gewährleisten soll, installiert. Diese Leitung („Sohlkabel“) dient im Wesentlichen der Überwachung der Sohle sowie des Böschungsknickes einschließlich des Fixierungsbereiches der Membrandichtung. Eine weitere Glasfaserleitung („Böschungskabel“) ermöglicht die Lokalisierung eventueller Leckagen im Böschungsbereich (Bild 6). Die Zuverlässigkeit des Systems wurde durch die Simulation einer Leckage erfolgreich nachgewiesen.

Die Messungen nach der Aufheizmethode zeigen im ersten Monat nach dem Wiedereinstau Einströmungen am unterwasserseitigen Ende des Sanierungsbereiches. Es ist davon auszugehen, dass Kanalwasser im nicht sanierten Bereich durch den Bestandsbeton gelangt und unter der Dichtungsbahn

Wasserbau

Zementbeton

in Richtung Oberwasser zurückströmt. Die Reichweite dieser Störung kann eindeutig anhand der Messergebnisse belegt werden. Diese Situation hat sich nicht unerwartet eingestellt und führt zu keinerlei Beeinträchtigung des Systems. Sie belegt jedoch eindrucksvoll die Aussagekraft der Messmethode.

4 Sanierung mit Zementbeton

Im Los 2 unterstrom vom Strognbauwerk wurde auf ca. 2650 m Länge die stark beschädigte Sohle (Beton) zur Erneuerung ausgeschrieben und zwar alternativ in unbewehrtem Beton mit einer Stärke von mindestens 10 cm in B 25 Qualität oder einem einlagigen Asphaltbeton mit 8 cm Stärke.

Die Sohlbreite variierte von 11,4 m bis zu 6 m vor dem Einlaufbereich des KW Pfrombach.

Insgesamt waren ca. 26000 m² Sohlfläche zu erneuern. Die Submission ergab einen klaren Preisvorteil für die Betonlösung, und so wurden mit einer Tagesleistung von fast 200 m³/Tag die Sohle in knapp 6 Wochen erneuert. Die Böschungsfüße wurden vorab mit Spritzbeton auf ca. 50 cm Breite und 5 cm Stärke vorbehandelt. Fehlstellen wurden mit Magerbeton ausgebessert. Um Risse zu minimieren, wurden jeweils alle 6 m ca. 3 cm tiefe Scheinfugen in den noch frischen Beton eingeschnitten.

Im sogenannten Los 3 wurde mit einem werkeigenen Bautrup, zwei Hubsteigern einer Hochdruck-Wasserstrahl- und einer Spritzbetonanlage Schäden in den alten Böschungsplatten (Risse und Abplatzungen) und an den Betonfugen saniert.

Ziel dieser Maßnahme war zunächst während des Wiedereinstaus die Sickerwasseraustritte zu minimieren, bis dass sich mit den Schweb-

stoffen im Kanalwasser wieder eine Kolmationsschicht auf den alten Böschungsflächen ausgebildet hat.

Die Linienbaustelle war so organisiert, dass in einer mit ca. 150 m Vorlauf vorauseilenden Einheit die Schadstellen bis zu 300 bar Hochdruckwasserstrahl gereinigt wurden. Damit war die Altbetonhaut aufgeraut und feucht. Die Wasserzufuhr erfolgte von der Böschungskrone, während der Hubsteiger mit der HD-Pumpe auf der Kanalsohle (auf Raupenfahrwerk) fuhr. Dahinter folgte ein zweiter Bauzug auf der Kanalsohle, der aus einer Zugmaschine mit Anhänger und dem zweiten Hubsteiger bestand. Auf diesem Zug waren alle erforderlichen Geräte aufgebaut bzw. angehängt. Das waren: der in Säcken angelieferte Spritzbetonmörtel (Körnung 0/4 mm), die Spritzbetonmaschine, nachlaufend ein Kompressor und ein Stromaggregat. Nach erfolgtem Spritzbetonauftrag



für zwischendurch.



für immer.

Wasserbau

Bauzeit

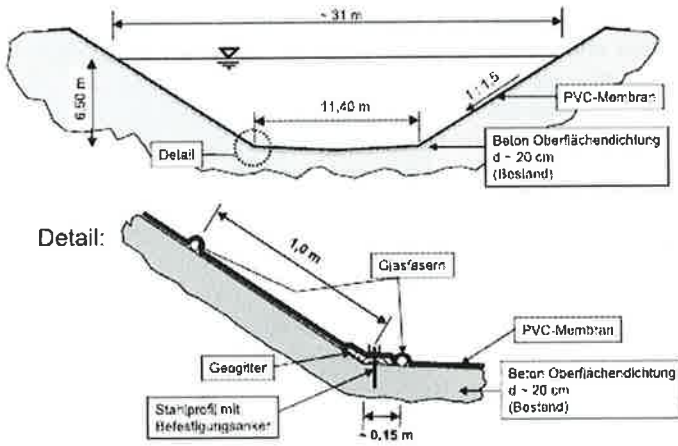


Bild 4: Anordnung der Glasfaserkabel am Böschungsfuß
Fig. 4: Arrangement of the fibre-optic cable at the toe of the slope



Bild 5: Einbau des Glasfaserkabels unmittelbar unter der Membrandichtung
Fig. 5: Installation of the fibre-optic cable directly underneath the geocomposite

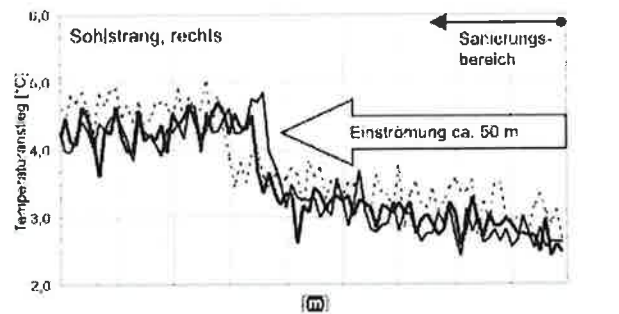
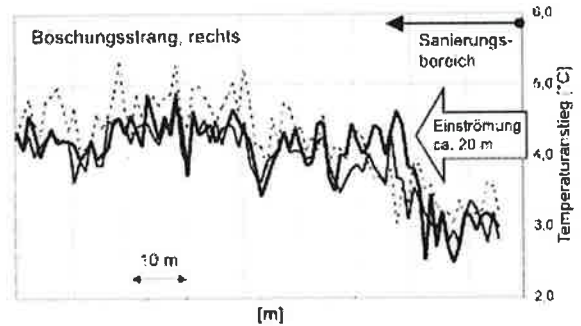
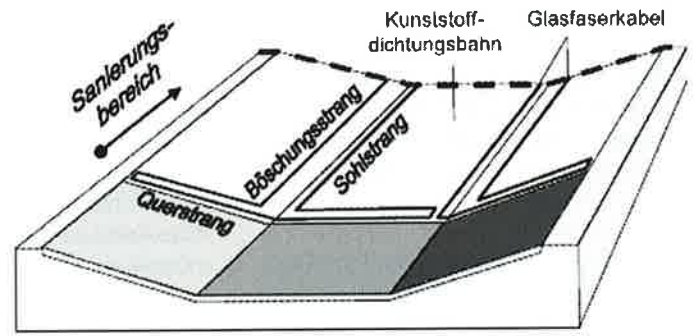


Bild 6: Lokalisierung einer nicht unerwarteten Einströmung am Ende des Sanierungs-bereiches (Messergebnisse zu drei unterschiedlichen Messzeitpunkten)
Fig. 6: Location of a not unexpected inflow of water at the end of the rehabilitated section (measurement results obtained at three different times)

wurde ein Curingmittel aufgebracht, um eine Rissbildung zu minimieren.

Es wurde im Zweischichtbetrieb gearbeitet, d. h. die Körbe am Ende des Teleskoparmes vom Hubsteiger waren überdacht und mit Scheinwerfern ausgestattet.

5 Bauzeit

Die Gesamtmaßnahme wurde in knapp 7 Wochen (Fertigstellung 2 Tage vor Ablauf des Vertragstermins) trotz überwiegend schlechten Witterungsverhältnissen vom Auftragnehmer in sehr guter Kooperation unter der E.ON-Projektleitung zusammen

mit der Oberleitung des Ingenieurbüros EDR gemanagt.

Allen Beteiligten sei für die gute Arbeitsleistung gedankt.

Literatur

- [1] Aufleger, M. (2000): Verteilte faseroptische Temperaturmessungen im Wasserbau. Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München, Heft 89, München.
- [2] Aufleger, M.; Th. Strobl; J. Dornstädter (2000): Fibre Optic Temperature Measurements in Dam Engineering – Four Years of Experience. 20th ICOLD, Beijing, Q 78, R 1, Vol. 3.

Anschrift der Verfasser:
Dr.-Ing. Markus Aufleger,
c/o Lehrstuhl für Wasserbau
und Wasserwirtschaft, TU München
Arcisstraße 21, 80333 München
und Dipl.-Ing. Horst Kreiser
c/o E.ON Wasserkraft GmbH
Luitpoldstr. 27, 84034 Landshut.



DK-Nr. 626.14