

# Der neue Fulajj Damm im Oman – Hochwasserschutz für die Stadt Sur

*Reinhard Schmid und Norman Dix*

## Zusammenfassung

Wenige hundert Meter oberstrom der Stadtgrenze von Sur im Sultanat Oman befindet sich die Baustelle für den neuen Fulajj Damm, zukünftig eine der größten Talsperren des Landes. An derselben Position wie der vormalige kleinere Grundwasseranreicherungsstaudamm gelegen, baut das zuständige Ministerium dort zu Hochwasserschutz Zwecken einen 1,2 km langen Erdschüttdamm mit Asphaltkern-Innendichtung sowie einer gefrästen Erdbeton-Schlitzwand und einer Böschungssicherung aus Wasserbausteinen. In dem ca. 230 m langen Betonbauwerk an der linken Talflanke ist eine Hochwasserentlastung, der Grundablass, 4 Hydraulik-Stahlschütze sowie eine steuerbare Grundwasserversickerungsanlage vorgesehen. Zur weiteren Abfuhr von extremen Hochwasserabflüssen ist der Erdschüttdamm auf 700 m Breite als überströmbare Gabionentreppe mit Tosbecken ausgebildet. Außerdem beinhaltet das Projekt einen ebenfalls ca. 1 km langen Satteldamm aus Erdschüttmaterial, 2 Deichanlagen und eine ca. 6 km lange Flussbettaufweitung mit Böschungssicherung aus Gabionenmatratzen.

Das seit Anfang 2014 von STRABAG International ausgeführte Projekt fordert insbesondere in Hinblick auf Hochwasserereignisse während der Bauzeit, der Nähe der Hochwasserschutzmaßnahmen zur bestehenden Bebauung und der Verlegung von öffentlicher Infrastruktur ein hohes Maß an Kommunikation und baulicher Flexibilität. Nach detaillierter Vorstellung der geplanten Anlage und der projektspezifischen Eigenheiten in Bezug auf Geologie und Hydraulik wird anhand von ausgewählten Beispielen und Problemlösungen der Übergang von Planung zur Umsetzung beleuchtet und unter praxisnahen Gesichtspunkten auf ausführungstechnische Besonderheiten hingewiesen.

## 1 Einführung

Das an der Ostseite der arabischen Halbinsel gelegene Oman mit den Nachbarländern Vereinigte Arabische Emirate, Saudi Arabien und Jemen, gehört zu den semiariden Gebieten der Erde. In Anbetracht der dort üblichen hohen Temperaturen, der hohen Verdunstungsrate und des niedrigen durchschnittlichen Niederschlags ist Wasser ein wertvolles Gut im Sultanat. Mit dem Bau von zahlreichen Staudämmen wurde daher in den letzten Jahrzehnten versucht, in den Trockentälern (Wadis) des Landes Regenwasser zurückzuhalten und zu speichern.

Im Gegensatz dazu dienen die meisten der größeren Talsperren im Oman jedoch dem Hochwasserschutz. Besonders im Jahr 2007 wurde der Oman von Überschwemmungen ungeahnten Ausmaßes heimgesucht. Der als 500-jährliches Niederschlagsereignis eingestufte Zyklon „Gonu“ traf das Land mit einer solchen Zerstörungsgewalt, dass sowohl zahlreiche Todesfälle zu beklagen waren als auch Sachschäden in Milliardenhöhe entstanden. Die gewaltigen Abflüsse in den Wadis führten zu einer Überarbeitung von in Planung befindlichen Dammprojekten sowie zu einer Vielzahl neuer Projektierungen. Auch oberstrom der Küstenstadt Sur, die nach Gonu ebenfalls eine Überflutung großer Stadtteile zu beklagen hatte, wurde ein Hochwasserschutzsystem erarbeitet. Ein weiterer Zyklon „Phet“ im Jahr 2010

bestärkten die Pläne für das Konzept und führten zur Vergabe des neuen Fulaj Dammes und der unterstromigen Gerinneaufweitung mit Baubeginn im Februar 2014.



**Abb. 1** Flutschäden Zyklon Gonu in Sur (Quelle: Artelia Consultants)

## 2 Entwurfparameter und Hauptdaten der Anlage

### 2.1 Hydrologie

Die Machbarkeitsstudie zwischen 2009 und 2010 hatte das Ziel, das Stadtgebiet von Sur gegen ein Hochwasser des Ausmaßes von Gonu zu schützen. Die Vorplanungen zur Erreichung dieses Ziels umfassten ein System von 4 oberstrom gelegenen Dämmen sowie eine Flussbettaufweitung im Stadtgebiet. Die Abflüsse im städtischen Raum sollten somit von 1.800 m<sup>3</sup>/s auf ca. 800-900 m<sup>3</sup>/s nahezu halbiert werden. Tabelle 1 zeigt die Parameter des Einzugsgebiets für alle 4 Dämme. Der S06 Damm wurde später wegen zu hohen Kosten und geringen Nutzen verworfen, während der neue Fulaj Damm mit zugehörigen Hochwasserschutzmaßnahmen als erste große Maßnahme des Projekts ausgeschrieben wurde.

**Tab. 1** Parameter Einzugsgebiet

Einzugsgebiet	Geplanter Damm	Größe (km <sup>2</sup> )	Abflussstrecke (km)	Mittleres Fließgefälle (m/m)	Maximales Fließgefälle (m/m)
Wadi Rafsah	neuer Fulaj Damm	684	52,4	0,009	0,116
Wadi Rafsah	S06_1	442	39,6	0,012	0,116
Wadi Fita	S02 - Fita	85	22,5	0,035	0,156
Wadi Rafsah	S04 - Tahwah	82	15,4	0,116	0,116

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Hochwasserablaufberechnung für den Standort neuer Fulaj Damm ohne Fertigstellung der oberstrom gelegenen Dämme.

Das Absperrbauwerk des neuen Fulaj Dammes wurde dabei so ausgelegt, dass vor dem Bau der verbleibenden Dämme ein 200-jährliches Hochwasser, später ein 500-jährliches Hochwasser, ohne Anspringen der Entlastungsanlage zurückgehalten werden kann. Das unterstrom gelegene, durch dichte Bebauung und landwirtschaftliche Nutzung führende Flussbett, ist hingegen auf einen maximalen Abfluss von 900 m<sup>3</sup>/s ausgelegt, was dem 500-jährlichen Abfluss nach Umsetzung des gesamten Hochwasserschutzkonzeptes entspricht.

**Tab. 2** Ergebnisse Hochwasserablaufberechnung neuer Fulaj Damm (ohne Fertigstellung der oberstrom gelegenen Dämme)

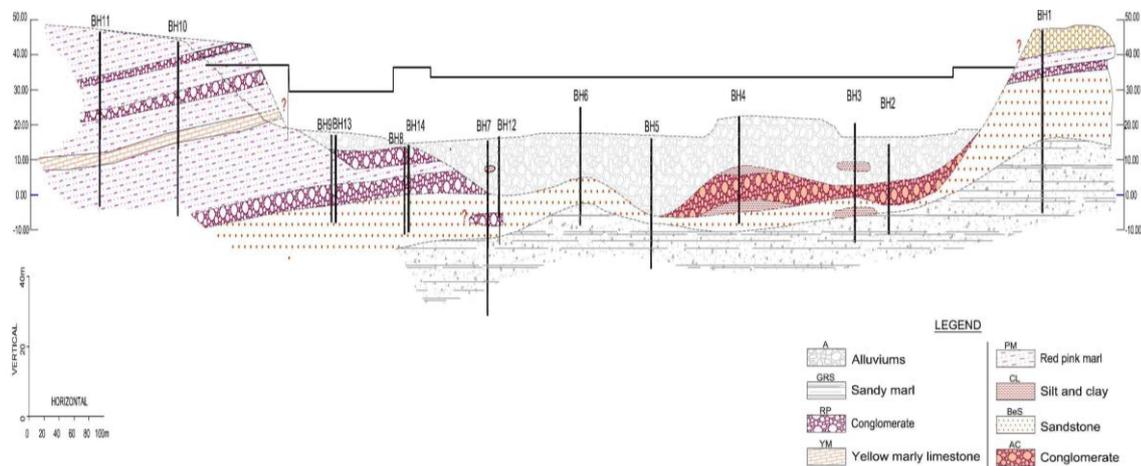
Jährlichkeit (Jahre)	5	100	200	Gonu	500	1.000	5.000	10.000	Max.
Zuflussvolumen (Mio. m <sup>3</sup> )	16	58	81	103	118	142	199	229	328
Zuflussmenge (m <sup>3</sup> /s)	369	882	1.251	1.759	1.806	2.183	3.053	3.506	7.169
Max. Staupegel (m ü.NN)	23	28	30	31	32	32	33	34	35
Max. Volumen (Mio. m <sup>3</sup> )	5	16	23	26	27	29	33	35	44
Abgabevol. (Mio. m <sup>3</sup> )	16	57	81	103	117	142	199	228	328
Max. Abgabe (m <sup>3</sup> /s)	277	681	1.084	1.548	1.738	2.131	2.999	3.446	6.937
Davon über HW-entlastung (m <sup>3</sup> /s)	0	0	276	702	880	1.249	2.074	2.501	3.958
Davon Abgabe über Hydraulikschütze (m <sup>3</sup> /s)	277	681	808	845	858	882	925	945	1.002

## 2.2 Geologie

Die geologischen Aufschlüsse während der Planungsphase konnten in die folgenden Hauptcharakteristiken eingeteilt werden:

- Linkes Auflager: Mergel, Konglomerate und Sand- sowie Kalkstein
- Wadi-Bett: Mächtigere Schicht aus alluvialen Sedimenten, darunter Sandstein und sandiger Mergel
- Rechtes Auflager: Alluviale Sedimente, Konglomerate, Sandstein und sandiger Mergel mit vereinzelt schluffigen und tonigen Einschlüssen

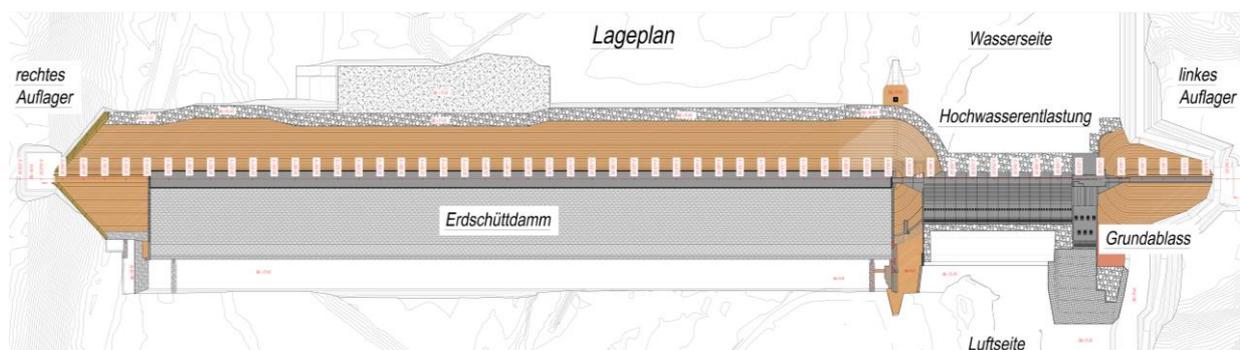
Der in Abbildung 2 zusammengefasste geologische Aufschluss bestimmte die weitere Planung des Dammes als Erdschüttdamm im mittleren und rechten Auflagerbereich und einer Hochwasserentlastung aus Beton, die auf dem stabileren Untergrund des linken Auflagers gegründet wird.



**Abb. 2** Geologischer Längsschnitt in Dammachse mit Position der Aufschlussbohrungen

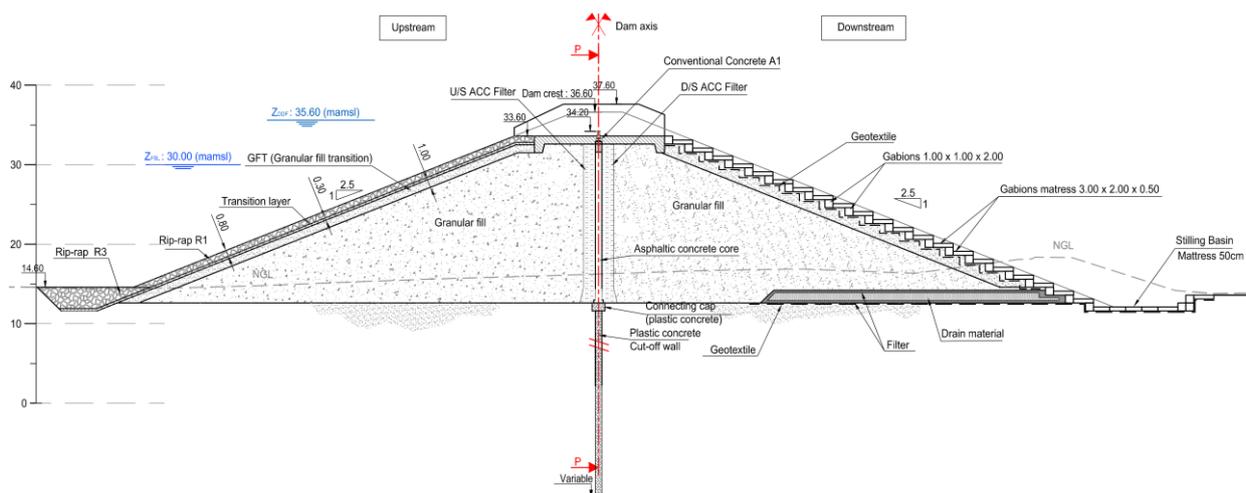
Für den Mergel im Bereich des Grundablasses am linken Auflager wurde mit einer mittleren Festigkeit gerechnet. Außerdem wurden Erosionsprozesse dieses Materials beim Kontakt mit Wasser erwartet, weshalb eine tiefe und weit in den Hang reichende Schlitzwand mit darunterliegendem Injektionsschleier empfohlen wurde. Um Setzungsdifferenzen zu vermeiden und Klüfte im Bereich des Konglomerats zu stabilisieren wurden Kontaktinjektionen ausgeschrieben. Weiterhin wurde das Betonbauwerk im Querschnitt möglichst symmetrisch geplant um einer ungleichmäßigen Untergrundbelastung des Bauwerks entgegenzuwirken.

### 2.3 Hauptdaten Hochwasserschutzdamm



**Abb. 3** Lageplan neuer Fulajj Damm

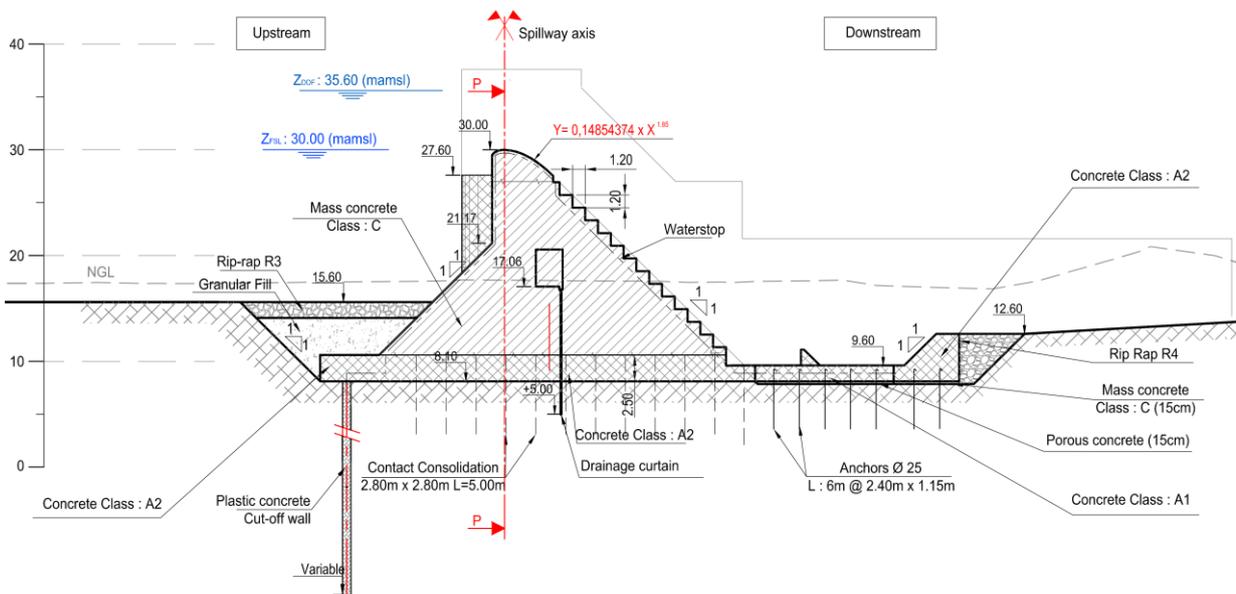
Der Aushub für die ca. 1,2 km lange Talsperre umfasst ca. 1,2 Mio m<sup>3</sup> Lockerboden sowie 300.000 m<sup>3</sup> Fels. Wie in Abbildung 4 dargestellt, besteht das Hauptabsperrbauwerk aus einem 23 m hohen Erdschüttdamm mit Asphaltkern-Innendichtung sowie einer gefrästen Erdbeton-Schlitzwand und einer wasserseitigen Böschungssicherung aus Wasserbausteinen. Auf ca. 700 m Länge ist der Erdschüttdamm durch eine Betonkrone und angeschlossene unterwasserseitigen Gabionentreppen überspülbar ausgeführt, um das maximale Hochwasser (über 10.000-jährliche Wahrscheinlichkeit) schadlos abzuführen.



**Abb. 4** Typischer Querschnitt Hauptdamm mit Gabionen-Hochwasserentlastung

Am linken Auflager gelegen, beinhaltet das ca. 230 m breite Betonbauwerk alle zur Steuerung der Anlage nötigen Bauteile. Die gestufte Hochwasserentlastung aus Beton mit einer Überlaufbreite von 140 m ist Hauptbestandteil des Systems und auf einen maximalen Abfluss von 3.900 m<sup>3</sup>/s ausgelegt. Wie in Abbildung 5 dargestellt, wurde der Dichtungsschirm auf der

oberstromigen Seite angeordnet und Felsanker im Tosbecken eingeplant, um dem Auftrieb des Bauwerks bei Einstau entgegenzuwirken.



**Abb. 5** Typischer Querschnitt der Hochwasserentlastungsanlage

Daran angeschlossen befindet sich das Auslassbauwerk mit 4 hydraulisch angetriebenen Stahlschützen in der Dimension von 4,6 m x 3,6 m sowie der Grundablass mit 2 weiteren kleineren Absperrorganen. Im rechten Übergangsbauwerk ist außerdem eine 800 mm Grundwasserversickerungsleitung mit einer elektrisch angetriebenen Absperrklappe eingebaut, die die Auswirkungen der Untergrundabdichtung auf die unterstrom gelegenen landwirtschaftlich genutzten Flächen minimieren soll. Ein 3,5 m hoher Kontrollgang verbindet alle Bauwerksabschnitte mit dem Kontrollraum und dient außerdem der Beobachtung und Entwässerung der Drainagebohrungen. Insgesamt werden für das Projekt ca. 180.000 m<sup>3</sup> Beton und 7.000 to Stahl verbaut. Das Projekt umfasst weiterhin einen ebenfalls ca. 1 km langen und 40 m breiten Satteldamm aus Erdschüttmaterial, der gleichzeitig zur Umlegung der bestehenden Hauptstraße genutzt werden soll.



**Abb. 6** Physikalische Versuche im hydraulischen Versuchslabor von Artelia Consultants in Grenoble

## 2.4 Flussbettaufweitung und Deiche

Die ca. 6 km lange Flussbettaufweitung beinhaltet den Aushub von ca. 3 Mio m<sup>3</sup> Lockerboden sowie eine ca. 2,3 km lange Böschungssicherung aus Gabionenmatratzen im Stadtkern. Des Weiteren sind Beton-Stützmauern auf einer Länge von ca. 1,2 km vorgesehen, um die Auswirkungen auf die lokale Flächennutzung zu reduzieren. Zwei ca. 3 m hohe und zusammen ca. 2,6 km lange Deichanlagen sollen tiefer gelegene Ortsteile vor Überflutung schützen.

## 3 Ausführung

### 3.1 Flutumleitung



**Abb. 7** Luftbild der Baugrube (links) und der Kofferdämme nach einem Hochwasserereignis

Die Flutumleitung der Baustelle erfolgt wie auf Abbildung 7 dargestellt im ersten Bauabschnitt durch Kofferdämme, später über das Betonbauwerk. Die Kapazität der Umleitung war auf mindestens 600 m<sup>3</sup>/s (20-jährliches Ereignis) konzipiert und wurde durch verschiedene Maßnahmen erweitert. Auch in einem ariden Gebiet wie dem Oman ist der Schutz der Baustelle gegen Hochwasserereignisse essentiell, um Baufortschritt und Gerät zu sichern. Die konservative Auslegung der entsprechenden Umleitungsmaßnahmen hat sich nach 2 Jahren Bauzeit mit insgesamt 7 Hochwasserereignissen mit Abflüssen von bis zu ca. 800 m<sup>3</sup>/s mehrmals bewährt.

### 3.2 Einbindung in die bestehende Infrastruktur

Durch die räumliche Nähe zur städtischen Landnutzung und Infrastruktur können sich im Laufe eines Projekts Verzögerungen ergeben, die durch eine sorgfältige Vorbereitung und Kommunikation vermeidbar oder zumindest reduzierbar sind. Auch der neue Fulaj Damm und besonders die 6 km lange Flussbettaufweitung durch das Stadtgebiet erforderten aus diesem Grund eine gut durchdachte Öffentlichkeitsarbeit und ein hohes Maß an Flexibilität aller

Beteiligten. So stellt die am rechten Auflager gelegene Hauptstraße eine wichtige Verbindung zwischen Sur und den Städten im Inland dar und wird zudem von einer Wasserleitung sowie mehreren Telekommunikations- und Stromleitungen flankiert. Im Bauzeitenplan schon frühzeitig eingeplant, mussten in der Umlegungsplanung einige Punkte zum Beispiel in Bezug auf die unter- oder oberirdische Leitungsführung und besondere Vorgaben der Stakeholder berücksichtigt werden, bevor eine endgültige Umlegung möglich war. Für die Schlitzwand wurde aus Zeitgründen auf eine temporäre Umlegung dieser Hindernisse zurückgegriffen.

Die Flussbettertüchtigung erwies sich dabei durch die nahe gelegene Landnutzung als besonders problematisch. Durch die Vielzahl der betroffenen Grundstücke und der öffentlichen und teils privaten Sparten musste sowohl von Bauherrenseite als auch durch die Baufirma beträchtliche Personalressourcen eingesetzt werden, um die Einzelfälle zu bearbeiten und damit die Auswirkungen auf den Baufortschritt zu reduzieren. Da die Entschädigung der Grundstückseigentümer besitzabhängig individuell durchgeführt wurde, stellte dieser Teil der Arbeiten eine nicht zu unterschätzende Größe in der Arbeitsvorbereitung und der Bauprozessplanung dar.

### 3.3 Untergrundabdichtung und Erdschüttdamm



**Abb. 8** Fräsen der Schlitzwand im Hang (links), Betonieren der Schlitzwand im Kontraktorverfahren (rechts)

Nachdem die ursprünglich geplanten Injektionsarbeiten auf Vorschlag des Bauunternehmers hin durch eine tiefere Schlitzwand ersetzt wurden, begann im März 2014 die Ausführung der 80 cm breiten Schlitzwand des Dammes. Die mit elektronischer Positionssteuerung ausgestattete Schlitzwandfräse sowie ein Schlitzwandgreifer erstellten im Pilgerschrittverfahren insgesamt 220 Lamellen mit 32.000 m<sup>2</sup> Wandfläche in bis zu 43 m Tiefe. Die Dichtwand wurde aus Erdbeton hergestellt, der im Kontraktorverfahren in die geschlitzten Lamellen eingebracht wurde. Besonders der stufenförmige Einbau an den Talflanken war durch den Wechselbetrieb zwischen Erdbau und Tiefbau eine Herausforderung für den Bauablauf, konnte aber durch tagesgenaue Vorplanung reibungslos abgewickelt werden.

Die Dichtung des Erdschüttdammes wurde ebenfalls mit Erdbeton angeboten, wobei man letztendlich dem Alternativangebot Asphaltbetonkern den Vorzug gab. Der 80 cm breite Asphaltkern wurde mit einer Herdmauer aus Erdbeton an die Schlitzwand angeschlossen und in luft- und wasserseitig angeordnetes Filtermaterial gebettet. Der Einbau erfolgte in 20 cm Lagen mit einem durch langjährige Erfahrung optimierten Kerneinbaugerät sowie Handeinbau an den Anschlüssen.



**Abb. 9** Asphaltbeton-Kerneinbaugerät

Der Erdschüttdamm wurde mit einer Leistung von bis zu 100.000 m<sup>3</sup> im Monat in mehreren Abschnitten eingebaut, wobei bei den Arbeiten auf ein produktives Zusammenspiel der Gewerke Dammschüttung, Dammkern und Böschungssicherung zu achten war. Um den Schüttnbetrieb nicht zu stören, wurde der Gabioneneinbau auf der Luftseite meistens in der Nachtschicht im Handeinbau durchgeführt. Die Ortbeton-Überlaufkrone wurde daraufhin mit einem durchgehenden Dichtungsband und einer Bitumenmastixschicht an den Asphaltkern angeschlossen.

### 3.4 Betonbauwerke

Nach gründlicher Inspektion des Baugrundes wurde beginnend mit den Bohrungen für die Felsanker zunächst das Tosbecken des Betonbauwerks hergestellt. Auf Grundlage der vorliegenden Geologie wurden parallel die Statik für die Übergangsbauwerke überarbeitet. Linksseitig wurde bedingt durch die stark wechselnde Tragfähigkeit des Untergrundes der Betonanschluss durch einen Erdschüttdamm ersetzt. Das massive Dammfundament wurde beim Betonieren mit Führungsohren im Raster von ca. 2,5 m versehen, um die späteren Kontaktinjektionen durch den hochbewehrten Stahlbeton zu ermöglichen.



**Abb. 10** Bauarbeiten Hochwasserentlastung und Grundablass

Der in der ca. 300 m entfernt errichteten Betonanlage produzierte großkörnige Beton erwies sich als nur bedingt pumpfähig und wurde deshalb hauptsächlich mit Mobilkränen und Betonkübeln in die maximal 400 m<sup>3</sup> großen Betonierabschnitte eingebracht. Die mit einer durchschnittlichen monatlichen Leistung von ca. 10.000 m<sup>3</sup> ausgeführten Betonarbeiten wurden aufgrund der hohen Außentemperaturen überwiegend nachts ausgeführt. Zusätzlich wurden zur weiteren Reduzierung der Abbindezeit die Zuschlagstoffe schattig gelagert und teils befeuchtet. Außerdem wurden ca. 30% des Zementgehalts durch Flugasche ersetzt und Eis hinzugegeben.

Sämtliche Zuschlagstoffe wurden auf der Baustelle produziert. Die eigene Betonmischanlage und Asphaltanlage stellten sicher, dass der verwendete Beton und Asphalt jederzeit in der erforderlichen Quantität und spezifizierten Qualität vorhanden war.

### **Anschrift der Verfasser**

Dr.-Ing. Reinhard Schmid  
STRABAG International GmbH  
Postfach 21 11 20, D-50535 Köln  
reinhard.schmid@strabag.com

M.Sc. Norman Dix  
STRABAG International GmbH  
Postfach 21 11 20, D-50535 Köln  
norman.dix@strabag.com