Einsatzbericht

532 m Beton-Hochförderung – neuer PM-Weltrekord – Kraftwerk Riva del Garda – 2. Juni 1994

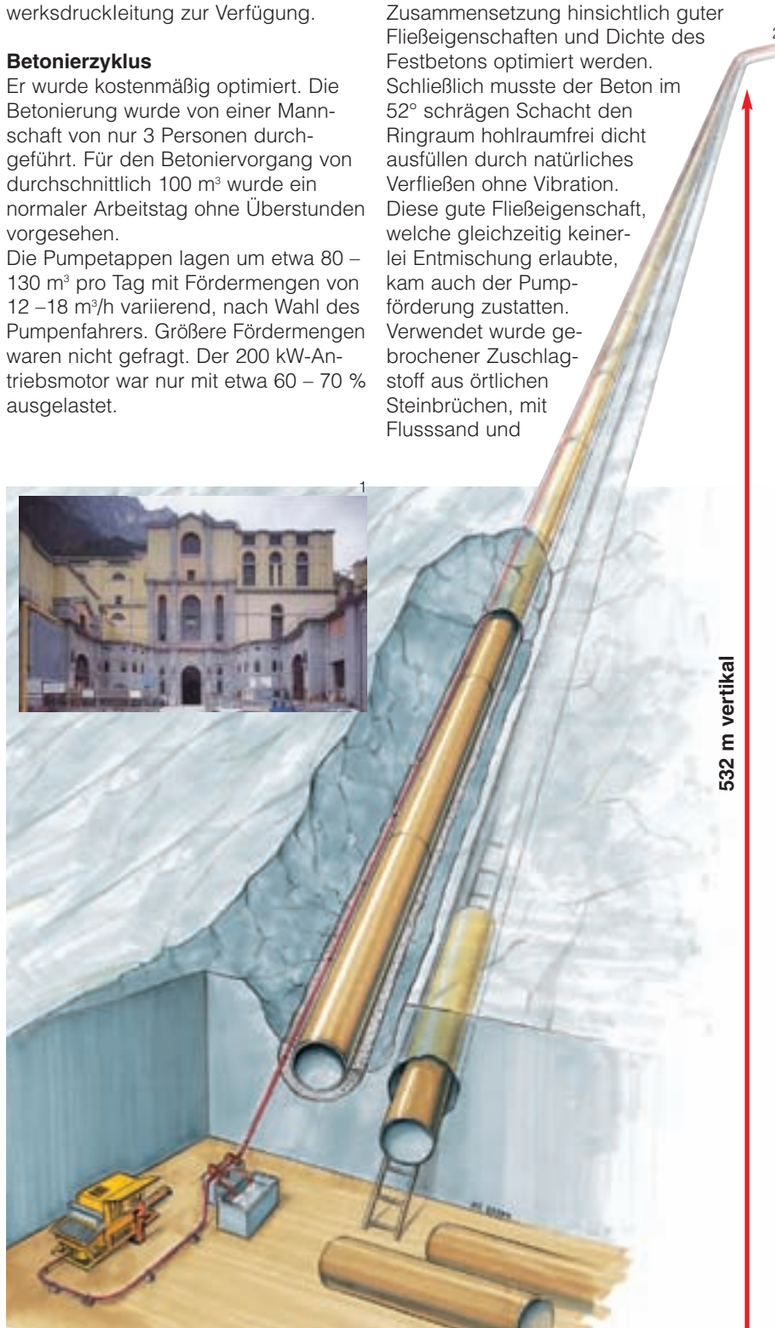
Das 1929 erbaute Pumpspeicherkraftwerk in Riva del Garda mit einer Leistung von 76 MW ist mit drei Turbinen und einer Wasserpumpe für die Befüllung des oben liegenden Nachtspeichers aus dem Gardasee ausgerüstet.

Nach ca. 70 Jahren ist eine komplette Revision und eine funktionale Verbesserung notwendig. Eine der wichtigsten Arbeiten war die Errichtung eines neuen Druckstollens mit einer neuen Druckleitung. Damit werden die jetzt außenliegenden Druckleitungen überflüssig.
Im Zuge der Modernisierung wird auch das Turbinenhaus in den Berg verlegt und dafür eine entsprechende Kaverne gebaut.
Bei einem fast gleichen Einsatz hat Putzmeister 1985 in den spanischen Pyrenäen mit 432 m Höhe einen spektakulären Weltrekord aufgestellt (Einsatzbericht TS 1662). Dieser wurde nun mit einer ganz vom Kunden allein betriebenen Putzmeister-Hochdruckpumpe geradezu spielend um 100 m übertroffen. Dabei wurde ein max. effektiver Betondruck von 185 bar in der Druckleitung gemessen.
Warum wurde in Riva del Garda. gepumpt? Hauptziel war Kosteneinsparung und 30- bis 40-prozentige Reduzierung der Bauzeit. Nach Aussagen der Bauleitung wurden effektiv 4 – 5 Monate eingespart.
Wesentlicher Vorteil der Betonpumpmethode im Vergleich zum traditionellen Seiltransport des Betons ist, dass gleichzeitig ein kontinuierlicher Einbau der Stahlschüsse für die Druckleitung möglich ist. Diese werden im Hilfsstollen, der parallel neben dem Druckschacht gebohrt wurde, mit dem Schienenseilaufzug in Stücken von 6 m Länge hochgezogen, dann von oben her durch den eigentlichen Druckschacht herabgelassen und am Umfang zusammengeschweißt.
Schachtbohrung Ø etwa 3,75 m, Stahlrohr Innen-Ø 2,3 m, Stahlrohrwand 36 mm.
Weil die Betonförderleitung im auszubetonierenden Ringraum zwischen Stahlrohr und Felswand verlegt und einbetoniert wurde, konnte die Betonförderung völlig unabhängig vom Einbau der Stahlrohre zeitlich geplant und ausgeführt werden. Der gesamte Ringraum für den etwa 700 m langen, geneigten Druckschacht fasste ca. 5.000 m³ Beton.
Der Hilfsstollen bleibt auch für die Zukunft als Transportweg oder steht gar für eine spätere zweite Kraftwerksdruckleitung zur Verfügung.

Betonierzyklus
Er wurde kostenmäßig optimiert. Die Betonierung wurde von einer Mannschaft von nur 3 Personen durchgeführt. Für den Betoniervorgang von durchschnittlich 100 m³ wurde ein normaler Arbeitstag ohne Überstunden vorgesehen.
Die Pumpetappen lagen um etwa 80 – 130 m³ pro Tag mit Fördermengen von 12 –18 m³/h variierend, nach Wahl des Pumpenfahrers. Größere Fördermengen waren nicht gefragt. Der 200 kW-Antriebsmotor war nur mit etwa 60 – 70 % ausgelastet.

Der Beton
Da keine besonderen Festigkeitsanforderungen (250 kg/cm²) vorlagen, sondern in erster Linie ein dichter Beton gewünscht wurde, konnte die Zusammensetzung hinsichtlich guter Fließeigenschaften und Dichte des Festbetons optimiert werden.
Schließlich musste der Beton im 52° schrägen Schacht den Ringraum hohlraumfrei dicht ausfüllen durch natürliches Verfließen ohne Vibration.
Diese gute Fließeigenschaft, welche gleichzeitig keinerlei Entmischung erlaubte, kam auch der Pumpförderung zustatten.
Verwendet wurde gebrochener Zuschlagstoff aus örtlichen Steinbrüchen, mit Flusssand und

1



2

Förderleitung 100 mm Ø mit 790 m Gesamtlänge einbetoniert.
Servicetunnel mit Schienen-Lift für Stahlrohrabschnitte

9
3-Wege-Schieber für Luft-Wasserreinigung mit Schwammkugel

10
Höchstdruck im Beton 185 bar

11
Entleeren der Rest-Füllschlempe durch Rückförderung in Schaufellader zur direkten verteilung in allgemeine Hohlräume

Auslegung der Betonpumpe
Zwecks Minimierung der Umschaltungen war eine Langhubpumpe selbstverständliche Voraussetzung. Deshalb wurde vom Kunden die BSA 2100 HE gewählt. Sie hat 150 mm Förderzylinder und bodenseitig beaufschlagte Antriebszylinder mit 140 mm Ø, was ein Übersetzungsverhältnis von i = 1,15 ergibt. D. h. mit 300 bar Öldruck konnte effektiv in der Praxis und am Prüfstand 250 bar Druck im Fördermedium gemessen werden mit noch möglichen 350 bar, Öldruck entsprechend mehr.
Ausgehend von früheren Erfahrungen wurde die Maschine von Putzmeister mit der sog. "HI-SOFT"-Steuerung ausgestattet. Dies sind hydraulische und elektrische Optimierungsmöglichkeiten der Pumpen-Rohrweichenumschaltung. Die Nachjustierung dieser HI-SOFT vor Ort ermöglicht ein Optimieren des hydraulischen Verhaltens der Förderseite im Rohr und in der Pumpe mit dem Ziel größtmöglicher Standruhe durch Vermeidung von Druckspitzen, der Minimierung des Stahlverschleißes beim Umschalten der Rohrweiche, der Minimierung von Spitzen in der Stromaufnahme etc.
Diese HI-SOFT-Einrichtung wurde infolge der relativ geringen Fördermenge jedoch nur gelegentlich genutzt. Für Hochleistungsförderung mit mehr als 300 kW Antriebsleistung gewinnt sie höhere Bedeutung. Auch in diesem Projekt Riva del Garda wurde die HI-SOFT-Wirkung bei wahlweisem Aus- und Einschalten deutlich sichtbar.
Die Pumpe hat die bei Hochdruckförderung bewährten PM-Singlekolben und die weitgehend zylindrische S-Rohrweiche S 1510.
Obwohl die Maschine sehr ruhig steht, wurde sie wegen des Langzeiteinsatzes mit Spannelementen zum Boden verankert. Sie war damit absolut fest in Relation zur Betonleitung, welche ebenfalls in einem Betonklotz wenige Meter nach der Pumpe am Boden verankert war. Die Leitung direkt hinter der Pumpe war vorschriftsmäßig mit 90° Großrohrbogen montiert.

Ausblick
Die Erfahrungen bei Riva del Garda zeigen, dass heute mit den vorhandenen Geräten Höhen von 800 m gut erreicht werden können. Die Anwendung von Förderleitungen mit nur 100 mm Ø ist dann günstig, wenn keine zu großen Totalpumpmengen auftreten, welche die Wandstärke durch Verschleiß wesentlich schwächen würden. Notfalls kann ein Wandstärkenzuschlag für die Rohrabschnitte im unteren Bereich vorgesehen werden, welche große Betonmengen zu bewältigen haben. Bei Hochförderung mit einer Fördermenge unter 30 m³/h ist der Förderdruck bei einer 100er Leitung geringfügig höher im Vergleich zu einer 125er Leitung. Die höhere Verweildauer von Beton in großen Leitungen, einschließlich größerer Restbetonmengen und höherer Gewichte mit höheren Kosten, sind jedoch ein größerer Nachteil als der geringfügig höhere Druck bei kleinerem Leitungsdurchmesser.
Die Körnung wird bei derartigen Einsätzen ohnehin 30 – 32 mm nicht überschreiten – eher auf 25 – 16 mm zurückgenommen. Ursache ist die hochgradige Stahlarmierung und die notwendige gute Grundfließeigenschaft des Betons, welche normalerweise – auch zur Festigkeitssteigerung – Superverflüssiger voraussetzt. Das heißt, 125er-Förderleitungen sind dann günstig, wenn über 50 m³/h Normalbeton oder extrem hochwertiger Beton zu fördern ist – wie jetzt in Japan praktiziert. Dort sind die normalen Wandreibungen um ein Vielfaches höher gegenüber Normalbeton. Auch wird ein Flotationseffekt aufgrund der dort angewandten besonderen Betonzusatzmittel kaum zu erwarten sein.
Für den Fall, dass der Pumpdruck in großen Höhen zu stark ansteigen würde, kann die Fördermenge leicht zurückgenommen werden. Bei geringer Menge nähert sich der Pumpdruck dem statischen Druck. Bei Normalbeton fallen hier etwa 1 bar pro 4 m vertikaler Höhendifferenz an, bei 400 m Höhe 100 bar und bei 800 m Höhe 200 bar.

12
Pumpe am Rekordtag – nach 532 m noch “wie neu”

13
Renato Micolucci, Pumpenfahrer (3.v.l.)

Putzmeister AG
Max-Eyth-Str. 10 · D-72631 Aichtal
Postfach 2152 · D-72629 Aichtal
Tel. +49 (71 27) 599-0
Fax +49 (71 27) 599-520
Internet: http://www.putzmeister.de
E-mail:pmw@pmw.de

Technische Änderungen vorbehalten · © 1994 by Putzmeister AG · Alle Rechte vorbehalten · Printed in Germany (PM)

Abheften unter: A 1.00, BP 1.03, A 4.00, BP 4.03

3

Förderleitung 100 mm Ø mit Sperrschieber; rechts Servicetunnel mit Schienenaufzug

sogenanntem Fluid-Beton als Pulverzusatzmittel. Dieses wurde von der Firma DRACO ITALIANA SPA geliefert. Der Fluid-Beton besteht vorwiegend aus Microsilica.
Die Auswahl von Fluid-Beton geschah auf Entscheidung der Baustelle, um die Mischungsstabilität und Fließfähigkeit zu optimieren. Gesteigerte Festigkeit oder Sicherung gegen chemische Angriffe aufgrund der Microsilicat-Eigenschaften waren hier weniger gefragt.
Der Beton wurde normal mit 22 cm-Slump angeliefert und in den Pumptrichter übergeben. Bis zum Austritt aus der Förderleitung steifte er auf ca. 14 bis 16 cm Slump an.
Da bisher zentral gemischter Beton für derartige Baustellen vorgeschrieben war, konnten wir die Erfahrung machen, dass sich gut und präzise chargierter Beton mit Nass-Mischung im Fahrmischer auch für solche extremen Hochleistungseinsätze nutzen lässt. Schließlich ist die Hochdruck-Pumpförderung eine intensive Nachmischung, welche die Zementausbeute und damit Festigkeitsentwicklung optimiert und begünstigt.
Tolerierbar waren gelegentliche Klumpen aus Zement im Beton, die sich im Einfüllsieb des Betontrichters gefangen hatten und durch Einschaltung des Rüttlers aufgelöst werden konnten.
Aus Kostengründen wurde angestrebt, keine Superverflüssiger oder Verzögerungsmittel einzusetzen, was auch möglich war dank des kleinen Durchmessers der Förderleitung.
Erreicht wurde, dass der Beton durchschnittlich eine Stunde nach Aufmischung im Ringraum eingebaut war.
Ganz sicher wäre dies bei traditionellem Einbau mit Seilaufzügen etc. nicht möglich gewesen. Schon deshalb war das Pumpverfahren entscheidend, um die erwähnten Vorteile zu erzielen.

Förderleitung – 100 mm Ø

Traditionsgemäß werden bei Hochförderungen relativ große 125er-Leitungen bevorzugt, um den Druck zu mindern. Andererseits wird bei Hoch- und Weitförderung ein möglichst kleiner Leitungsdurchmesser angestrebt, um das Füllvolumen der Förderleitung zu verringern. Ziel ist dabei ein möglichst schneller Austausch des Betons, d. h. die Vermeidung von Ansteifung infolge langer Pumpzeiten bzw. Abfall der Verflüssigungswirkung von Superverflüssigern und Zusatzmitteln. Dies erfordert bekanntlich bei Leitungen von über 1.000 m Länge auf jeden Fall den Einsatz von teuren Langzeit-Superverflüssigern, mit dem Ziel, die weiche Mischungskonsistenz und geringe Rohrreibung bei normalen Temperaturen wenigstens 2 Stunden zu erhalten.
Ausgehend von dem 1975 bei der Frankfurter Hochförderung entdeckten sogenannten Flotationseffekt wurde von Putzmeister erneut der Einsatz einer 100er-Förderleitung für das Projekt Riva del Garda vorgeschlagen und auch mit Erfolg eingesetzt.
Am Neubau Grosvenor Place-Hochhaus in Sydney/Australien wurden 100er-HD-Förderleitungen mit Putzmeister-ZX-Kupplungen schon 1985 erfolgreich erprobt in Verbindung mit Putzmeister-Hochleistungs-Stationärpumpen und Betonverteilermasten (siehe Einsatzbericht BP 1344).
Aus logistischen Gründen wurde in Riva del Garda die Betonleitung zunächst 60 m horizontal verlegt und mündete dann in den schrägen Druckschacht. Insgesamt erreichte sie bei 532 m Höhe eine Total-Länge von 790 m. Dies ergab ein Füllvolumen von ca. 5 m³ Beton.
Bei der geplanten Mindestfördermenge von 10 m³/h war der Beton also 1/2 Stunde unterwegs zwischen Fahrmischer und Einbauort. Bei der max. Fördermenge von ca. 25 m³/h reduzierte sich diese Zeit auf ca. 12 Minuten. Mit 125er-Förderleitung wäre der Beton doppelt so lange unterwegs gewesen – und die Leitung hätte 15 % mehr gekostet.
Die Leitung selbst bestand aus starkwandigen Stahlrohren mit 100 mm Innendurchmesser und der Putzmeister ZX-6"-Hochdruckkupplung. Sie ist nicht nur hochdruckfest und spielfrei, sondern zentriert 100%ig, so dass sich die Grenzschicht zwischen Betonwurst und Rohrleitung ungestört entwickeln kann. Dies ist die Voraussetzung für den reibungsmindernden Flotationseffekt. Bei völlig senkrechter Leitung und sonst idealen Voraussetzungen tendiert dabei die Wandreibung der Betonsäule gegen Null, weil sie am Umfang auf einem Wasserfilm schwimmt. Bei schrägen Leitungen tritt dieser Effekt mit zunehmender Neigung weniger auf. Bei horizontaler Leitung ergeben sich normale Druckwerte. Bei 45° geneigter Leitung werden diese dagegen etwa um 50 % oder noch mehr reduziert.
Pumpe und Leitung wurden jedoch ausgelegt, als ob der Flotationseffekt nicht auftreten würde.

4

Geschützte Förderleitung und direktes Beton-Druckmanometer. Pumpe für Dauerbetrieb am Boden verankert

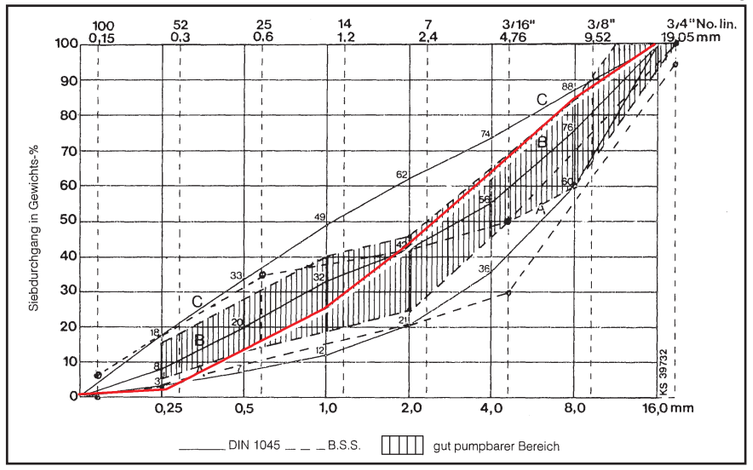
Beton-Sperrschieber und Leitungsreinigung

Ursprünglich war nach der Pumpe ein sog. Sperrschieber eingebaut. Dazwischen befand sich ein 3-Wege-Schieber in der Förderleitung zum Zwecke der Entleerung des Restbetons über eine nachgeschaltete kurze Steigleitung in den Fahrmischer.
Hier handelt es sich um Standard-Bauelemente aus dem Putzmeister-Programm und bewährte Reinigungsmethoden. Dabei wird gewöhnlich der Entleerungsvorgang oben mit Druckluft und vorgeschaltetem Gummischwamm störungsfrei und schnell bewältigt.
Anschließend wird die Förderleitung innen noch gereinigt. Dies geschieht mittels Durchblasen eines Schwammmolches mit Wasserzwischenlage von oben nach unten. Zweckmäßig werden hierfür auch Hartgummimolche verwendet, mit denen sich evtl. ansetzende Betonreste von der Wand eher abschürfen lassen als mit Gummischwämmen.
Die Baustelle hat sich jedoch schließlich für eine einfachere, völlig andere Reinigungsmethode entschieden: Rechtzeitig vor Betonierende wurde ein letzter Fahrmischer mit billigem Zementmörtel in die Leitung gepumpt. Sobald diese Mischung oben austrat, wurde der Reinigungsvorgang eingeleitet durch einfache Rückwärtsförderung der Pumpe. Mit einer einfachen Schurre wurde dabei der oben aus dem Betontrichter der Pumpe austretende Mörtel in die Schaufel eines Radladers entleert, welcher ihn in der Nähe in Hohlräume und später auszubetonierende Flächen verteilte.
Der Pumpenfahrer stellte die Pumpe auch bei Normalbetrieb praktisch nie ab. Beim Fahrmischerwechsel wurde lediglich auf kleinste Kriechfördermenge geschaltet. Dabei wurden der Einfachheit halber weder der Sperrschieber noch der 3-Wege-Entleerschieber benutzt – eine wahrhaft geniale einfache Lehrgeldmethode!
Sie setzt allerdings voraus, dass man den Beton und die Maschine kennt und sie optimal beherrscht.
Auch hier wurde wieder die wichtige Erfahrung gesammelt, dass jeder einzelne Fahrmischer zwingend durch Probeentnahme wenigstens in der Konsistenz geprüft werden muss, bevor er in die Pumpe entleert.
Der Einsatz von billigen Rohren mit beispielsweise nur 2 mm Wandstärke kann hier teuer werden.
Die im Ringraum einbetonierten Rohre können sich durch den inneren Verschleiß umstülpen und zur Verstopfung der Leitung führen.
Deshalb ist es entscheidend, dass seit langem gewonnene Erfahrungen und Regeln strikt eingehalten werden, insbesondere bei der Wahl und Dimensionierung der Förderleitung.
Falsche Sparsamkeit kann somit teuer werden. Original Putzmeister Zubehör und Verschleißteile entsprechen dem hohen Qualitätsstandard, der für derartige Projekte notwendig ist.

Druckmessungen

Der Verlauf des Förderdrucks über die verschiedenen Höhen und Förderleitungslängen ist aus KS 68730 ersichtlich.
Bei der Endhöhe von 532 m wurde durchschnittlich mit 8 Hüben/min gepumpt, abgestimmt auf Betonversorgung und geplante Betonierzeit.
Dabei beträgt der effektive Förderdruck im Beton 160 bar bei nur 210 A Stromaufnahme.
Die Pumpe konnte ohne weiteres auf 400 A Stromaufnahme hochgefahren werden, dann ergaben sich 185 bar effektiver Betondruck bei 4,8 s Hubzeit und effektiver Fördermenge von ca. 24,2 m³/h.
Der Hydraulikdruck von 270 bar war dabei immer noch gute 20 % unter dem Maximalwert von 300 bar, welcher effektiv 250 bar Förderdruck im Zylinder ergibt (Übersetzungsverhältnis i = 1,15).
Der statische Druck wurde bei 532 m gemessen mit etwa 130 – 135 bar bei 790 m Leitungslänge. Der Förderdruck zur Überwindung der Rohrreibung betrug aber nur ca. 30 – 55 bar, je nach Menge.

8



Sieblinie der Zuschlagstoffe

5

Slump-Messung – 22 cm

6

Betonaustrag in den Raumring

7

Stahlrohrtransport durch den Servicetunnel