

Konstruktionsabdichtung per Injektionsverfahren

Bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts war die Alte Brücke in Frankfurt am Main unterhalb von Würzburg die einzige massive Brücke, die den Main querte. 1848 kam eine Eisenbahnbrücke hinzu, 1869 folgte eine Fußgängerbrücke. Mit einer Gesamtlänge von ca. 237 m und einer Breite von 19,5 m verbindet sie die Frankfurter Altstadt mit Sachsenhausen.

Die heutige Brücke wurde am 15. August 1926 eingeweiht. Der Vorgängerbau mit seinen 13 Bögen war dem zunehmenden Verkehr nicht mehr gewachsen und zu einer Behinderung für die Mainschifffahrt geworden. In ihrem Erscheinungsbild entspricht sie im Wesentlichen dem ursprünglichen Zustand. Jedoch wurden zwei der insgesamt acht Gewölbebögen kurz vor Ende des Krieges gesprengt. Nach einem zunächst provisorischen Wiederaufbau eines Pfeilers ersetzte man Mitte der 60er Jahre das Mittelstück durch einen Stahlüberbau.

Die Konstruktion besteht bis heute, ist jedoch mittlerweile in die Jahre gekommen. Im Jahre 2000 beschloss die Frankfurter Stadtverordnetenversammlung eine Grundinstandsetzung der gesamten Anlage. Die Planungen sahen vor, eine Straßenbahnverbindung einzurichten, außerdem sollte das fünfspanrige Bauwerk zu beiden Seiten um einen Fuß- und Radweg erweitert werden. Aus finanziellen Gründen wurde das Vorhaben jedoch immer wieder verschoben.

Befund

Die Brücke besteht an den Pfeilervorlagen aus einer Schale aus rotem Sandsteinmauerwerk mit einer Füllung aus Mörtel und Zuschlagstoffen aus verschiedenen Materialien und in unterschiedlicher Größe. 2006 ließ die Stadt Frankfurt, Amt für Straßenbau und Erschließung Voruntersuchungen durchführen, bei denen die Tragfähigkeit der Brückenpfeiler hinsichtlich der geplanten Verbreiterungen geprüft wurden. Dabei wurden erhebliche Schäden an den Brückenpfeilern festgestellt. Die Pfeiler waren in ihrem Gefüge gestört. Durch Kameraabfahrungen und Wasser-Durchlässigkeitstests (WD-Test) wurden Klüfte und Hohlräume sowie unbefestigte Bereiche erkundet. Die Pfeiler waren wassergesättigt. Es musste von lokalen Durchströmungen ausgegangen werden. Eindringendes Wasser hatte an vielen Stellen den Mörtel ausgewaschen mit entsprechenden Konsequenzen für die Tragfähigkeit. „Die WD-Tests der Voruntersuchungen,“ berichtet Projektleiterin Nicole Geb von der Firma Arcadis, ein führender internationaler Anbieter von Beratungs-, Projektmanagement- und Ingenieurleistungen in den Bereichen Infrastruktur, Wasser, Umwelt und Immobilien, „wiesen Werte zwischen mehreren Hundert bis 1000 Lugeon [ein Lugeon ist ein Liter pro Minute pro 1 Meter Bohrlochlänge bei einem Druck von 10 bar (150 psi)] auf. Während der Ausführung konnten wir feststellen, dass sich die Werte vergrößerten, das heißt verschlechtert hatten. Zwischen der Voruntersuchung und der Ausführung lagen ca. 1,5 Jahre.“ Um weiterhin die Standfestigkeit und Gebrauchsfähigkeit der Flussquerung zu gewährleisten, musste die Brücke dringend in Stand gesetzt werden.



Die Alte Brücke in Frankfurt am Main: Bei Untersuchungen erwiesen sich die Pfeiler der Alten Brücke in Frankfurt am Main als äußerst marode. Eindringendes Wasser hatte den Fugenmörtel teilweise ausgewaschen.



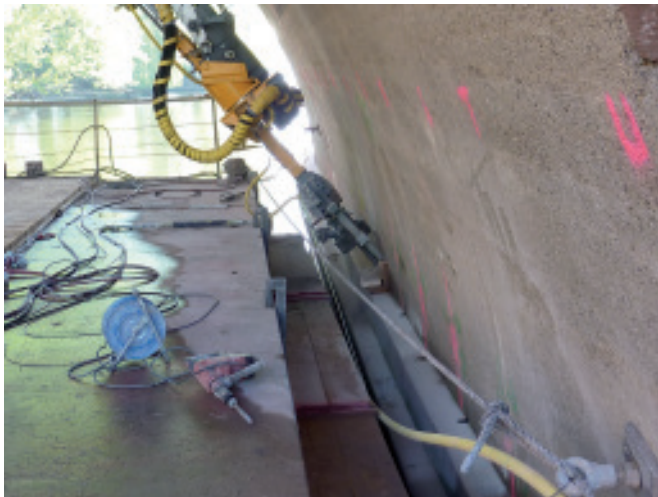
Vorbereitung und Positionierung der Arbeitspontons

Lösung

„Unser Ziel war“, so Nicole Geb, „zum einen die Durchlässigkeit zu verringern, d.h. das Zu- bzw. Durchströmen mit Wasser im Pfeiler zu unterbinden, um die Bindemittel nicht weiter auszuspülen.“

Zum anderen wollten wir für die geplanten späteren Baumaßnahmen die Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit für das nächste halbe Jahrhundert ausreichend sichern.“ Dies entsprach ebenfalls den Vorgaben des Landes Hessen.

Verschiedene Varianten zur Sanierung wurden im Vorfeld diskutiert und hinsichtlich ihrer Eignung bewertet. Favorisiert wurde schließlich eine Lösung, bei der hydraulische Bindemittel zur Homogenisierung und Festigkeitserhöhung des Pfeilerkörpers injiziert werden. Die Lösung bot eine maximale Reduzierung der Wasserdurchlässigkeit, eine optimale Erhaltung sowie die Sicherung bzw. Erhöhung der Tragfähigkeit und war zudem von maximaler Dauerhaftig-



Injektionsbohrungen am Brückenpfeiler

keit. „Um die angestrebte Variante erfolgreich hinsichtlich der Kosten, Planung und Ausführung für unseren Auftraggeber umzusetzen“, betonte Peter Jamin, Arcadis, verantwortlich für das Projektcontrolling, „ist eine Probeinjektion, die im Vorfeld unter realen Bedingungen erfolgen muss, unabdingbar. Mit der Ausführung der Arbeiten wurde die Kasseler Spezialfirma w + s bau-instandsetzung gmbh, ein Mitglied der Landesgütegemeinschaft Betoninstandsetzung und Bauwerkserhaltung Hessen-Thüringen e.V. beauftragt. Grundlage für die Durchführung der Arbeiten war u. a. das DWA-Merkblatt M 506.“

Schadensbehebung

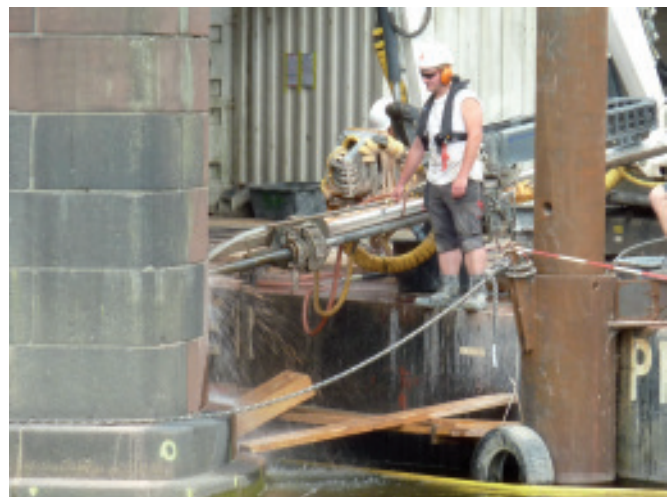
Während der ausführenden Arbeiten kam es zu keinen nennenswerten Einschränkungen des öffentlichen Straßenverkehrs. Ebenfalls wurde der Schiffsverkehr – von Geschwindigkeitsbeschränkungen im Bereich der Brücke abgesehen – kaum beeinträchtigt. „Allerdings“, stellt Nicole Geb fest, „wurde die Geschwindigkeitsbeschränkung auf dem Main nicht immer eingehalten, so dass teilweise die Sicherheit der Arbeiter gefährdet war.“ Nach regelmäßigen Geschwindigkeitsmessungen durch die Wasserschutzpolizei und zwei Anzeigen war das Problem jedoch im Griff.

Von der Landseite aus wurden die Arbeiten auf beiden Uferseiten begonnen. Start war am Widerlager Sachsenhausen und auf der Frankfurter Seite an dem Pfeiler, der zur Hälfte im Main steht. Bei Arbeiten an den im Wasser stehenden Pfeilern wurden Pontons miteinander gekoppelt und in den jeweiligen Gewölbebogen eingeschwommen und dort verankert. So konnten nach Bedarf beide Pfeilerseiten gleichzeitig bearbeitet werden. Bei Arbeiten an Pfeilern, die die Schifffahrtsrinne begrenzen, durfte nur ein Ponton die Wasserstraße einengen, um einen sicheren Schiffsverkehr zu gewährleisten. Auf den Pontons stand die Bohranlage. Die Injektionsanlage befand sich an Land, das Injektionsmaterial wurde über Leitungen zugeführt.

Im Rahmen des zur Sanierung gewählten Injektionsverfahrens trieb das Unternehmen zunächst an beiden Seiten der Pfeiler fächerförmig sich wiederholende Bohrungen in den Pfeilerkörper vor, die anschließend mit hydraulischen Bindemitteln verpresst wurden. Dabei wurden in der Fläche in einem Bohrfeld insgesamt 7 Bohrungen übereinander angelegt. Das Bohrfeld wiederholte sich ursprünglich mit einem



Die wieder verschlossenen Bohrersatzpunkte. Insgesamt wurden an den 14 Pfeilerseiten etwa 2200 Einzelbohrungen bzw. knapp 17.500 Bohrmeter durchgeführt und rund 1,1 Millionen Liter Bindemittel eingefüllt.



Injektionsbohrungen Pfeilervorlage

Bohr-Abstand von 1,60 m. Die zur Kontrolle durchgeführten WD-Tests ergaben nicht die geforderten Werte. Der Rasterabstand musste optimiert werden. Als wirtschaftlich und das Injektionsziel erfüllend erwies sich schließlich ein Abstand von 1,25 m.

Zwei verschiedene Bohrtechniken standen zur Wahl: die Doppelkernbohrung und die Im-Loch-Hammer-Bohrung. Als vorliegenden Fall schnellste und kostengünstigste Variante kam die Im-Loch-Hammer-Bohrung zum Einsatz. Die Doppelkernbohrung wurde für Kontrollzwecke eingesetzt. Gebohrt wurde in Winkeln von 5 bis 70 Grad. Die Bohrungen erfolgten so, dass sie etwa einen Meter vor der Außenkante der Pfeiler endeten, um ein Durchbohren zu verhindern. Sobald der Bohrfächer abgebohrt und fertiggestellt war, wurden zur Qualitätssicherung und Erfolgskontrolle jeweils Kontrollbohrungen im vorderen und mittleren Bereich sowie am Pfeilerende durchgeführt. Aus Rücksicht auf den Baukörper selbst injizierte man das hydraulische Bindemittel mit einem Druck von 3 bis maximal 5 bar.

„Insgesamt wurden an den 14 Pfeilerseiten etwa 2200 Einzelbohrungen bzw. knapp 17.500 Bohrmeter durchgeführt und rund 1,1 Millionen Liter Bindemittel eingefüllt. Es kamen bis zu 12 Injektionspumpen und bis zu 4 Bohranlagen gleichzeitig zum Einsatz,“ erläutert der Bauleiter und Ge-



Probebohren mit Im-Loch-Hammer



Doppel-Kernbohrung

Fotos: ARCADIS 2011

schäftsführer Jan Rassek von der Firma w+s bau-instandsetzung gmbh. „Die Qualitätssicherung und Nachweis des Injektionszieles erfolgte durch 2800 WD-Tests.“

Erreicht wurde eine im gesamten Bauwerk konstante, deutlich verbesserte Tragfähigkeit und damit Standsicherheit des gesamten Brückenbauwerks. Die Arbeiten konnten, obwohl die Baustelle Anfang des Jahres mit einem extremen Hochwasser konfrontiert wurde, planmäßig nach einer Bauzeit von gut 10 Monaten abgeschlossen werden.

Kostensicherheit

Injektionsverfahren gelten gemeinhin als Kostenrisiko und als schwer kalkulierbar. Im vorliegenden Fall konnten durch die umfangreichen Voruntersuchungen und die darauf basierende Qualität der Planung die veranschlagten Baukosten eingehalten und damit eine hohe Kostensicherheit erreicht werden. „Bei den Widerlagern,“ bilanzierte Projektcontroller Peter Jamin, „waren wir sogar etwas günstiger als im Vor-

feld kalkuliert. Die Kosten und Injektionsmengen für die mittleren Pfeiler entsprachen fast genau unseren Berechnungen.“ Voraussetzung sei allerdings, darauf weist das Projektteam ausdrücklich hin,

1. eine saubere und gründliche Voruntersuchung
2. ein Instandsetzungskonzept und die Zielfestlegung der Maßnahme, basierend auf der Voruntersuchung
3. die Probeinjektion nach DWA M 506
4. eine Kostenberechnung, auf Basis der Probeinjektion
5. die Auswahl eines geeigneten Fachunternehmens
6. eine Qualitätssicherung und die Kontrolle des Unternehmens vor Ort
7. die zusätzliche Kontrolle der Arbeiten durch eine dafür anerkannte Prüf- und Überwachungsstelle.

Die letztgenannte Aufgabe erfolgte durch die Prüf- und Überwachungsstelle der Bundesgütegemeinschaft.

www.betonerhaltung.com

Rita Jacobs und Dipl.-Ing. Hans Joachim Rosenwald

PCE basierte Fließmittel

Die Deutsche Bauchemie e.V. hat erstmals eine Informationsschrift zur Anwendung PCE basierter Fließmittel im Industriebodenbau vorgelegt.

Die praxisorientierte Information richtet sich an Planer und Verarbeiter im Industriebodenbau. Die Autoren beschreiben im ersten Abschnitt das Szenario für den Einsatz PCE basierter Fließmittel. Die Konstellation beim Industriebodenbau mit Beton erfordert ein genaues Timing zwischen Transportbetonherstellung, Einbau und Glätten. PCE basierte Fließmittel heutigen Standards optimieren diesen Vorgang, da sie eine hohe Konsistenz zur verbesserten Verarbeitbarkeit sowie ein gezieltes Rücksteifen des Betons bewirken.

Das folgende Kapitel erläutert die technischen Eigenschaften von Fließmitteln auf PCE-Basis, bezogen auf ihre Verwendung im Industriebodenbau im Vergleich zum Einsatz im Transportbeton- oder Fertigteilterbereich. Maßgebend sind hierfür die Parameter Verflüssigung und Konsistenzhaltung. Den Planungs- und Ausschreibungshinweisen folgt ein ausführliches Kapitel zur Betonherstellung. Die Autoren benennen alle wichtigen Kriterien, Planungs- und Ausführungs-

anforderungen; es folgen konkrete Empfehlungen zur Rezepturplanung des Betons entsprechend des zuvor festgelegten Leistungsprofils sowie Hinweise zur Auswahl der jeweils geeigneten Fließmittel.

Im nächsten Kapitel geht es um den Betoneinbau vor Ort. In einzelnen Schritten wird der gesamte Prozess von der Anlieferung des Betons, über das Einbringen, die Verdichtung und Zwischennachbehandlung bis zur Hartstoffeinstreuung und dem abschließenden Glätten nachvollzogen. Die Autoren geben konkrete Hinweise und Maßnahmenvorschläge zu den einzelnen Einbauphasen.

In der Zusammenfassung betonen die Autoren, „dass eine frühzeitige und andauernde Zusammenarbeit der Beteiligten in allen Phasen des Ablaufs der Herstellung eines Industriebodens zwingend erforderlich ist.“

Erarbeitet wurde die 12-seitige Broschüre von einer Projektgruppe des Fachausschusses 2 „Betontechnik“ des Frankfurter Industrieverbandes.

www.deutsche-bauchemie.de