

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Strobl, Theodor; Wildner, Harald

Injektion mit hydraulischem Bindemittel im porösen Massenbeton

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102679>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Strobl, Theodor; Wildner, Harald (2001): Injektion mit hydraulischem Bindemittel im porösen Massenbeton. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 83. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 59-63.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Injektion mit hydraulischem Bindemittel im porösen Massenbeton

UNIV.-PROF. DR.-ING. THEODOR STROBL; DIPL.-ING. HARALD WILDNER
LEHRSTUHL UND VERSUCHSANSTALT FÜR WASSERBAU UND WASSERWIRTSCHAFT
TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

1. Einleitung

Bis zum Jahre 2020 wird auf unseren Bundeswasserstraßen eine Zunahme der Transportleistung um 30 % prognostiziert. Neben der Modernisierung gehört auch die Erhaltung des rd. 7.300 km langen Wasserstraßennetzes zu einer der Hauptaufgaben der Wasser- und Schifffahrtsverwaltungen (WSV). Die für die Erhaltung aufzuwendenden Kosten belaufen sich auf derzeit jährlich rd. 670 Mio. DM (Bauindustrie aktuell, 2000).

Viele der von der WSV zu unterhaltenden Schleusen und sonstige Wasserbauwerke aus Beton wurden vor 1930 errichtet, also in einer Zeit, in der die Betontechnologie auf Grund mangelnder technischer Möglichkeiten und fehlender Kenntnisse noch nicht so weit entwickelt war wie heutzutage. Zur Verdichtung des mit einem geringen Zementanteil frisch eingebrachten Betons standen lediglich Handstampfer zur Verfügung (Stampfbeton). Unmittelbar dem Wasser ausgesetzte Bauteiloberflächen wurden mit einer Vorsatzschale aus Mauerwerk und später mit einem dichten Zementputz verkleidet. Auf diese Art hergestellte Betone weisen Hohlräume, Kiesnester, Klüfte, ungereinigte Betonierfugen und entfestigte Bereiche auf. Zur weiteren Gewährleistung der Dauerhaftigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit ist eine Instandsetzung mit dem Ziel einer Abdichtung und Verfestigung der Bauteile aus Stampfbeton dringend erforderlich.

Aus Denkmalschutzgründen und als wirtschaftliche Alternative zu einem Abriss mit anschließendem Neubau bietet sich in jüngerer Zeit immer häufiger die Verbesserung der Betonstruktur durch die Injektion von hydraulischen Bindemittelsuspensionen (Zementsuspensionen) an. Als Injektionsverfahren kommt dabei das abschnittsweise Injizieren über sog. Packer im standfesten Bohrloch von unten nach oben zur Anwendung, wie es beispielsweise auch zur Abdichtung von klüftigem Fels durchgeführt wird. Angesichts geringerer Kosten und besserer Umweltverträglichkeit werden hydraulisch abbindende Bindemittelsuspensionen gegenüber chemischen Einpressmitteln bevorzugt. Derzeit beruhen Planung und Ausführung von Injektionsarbeiten im Beton hauptsächlich auf Erfahrungswerten.

2. Beitrag der Wissenschaft

Ziel des am Lehrstuhl und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München durchgeführten und von der BAW sowie von einschlägigen Spezialunternehmen (BS-Betonschutz GmbH, Hofgeismar; Strabag Tiefbau GmbH, Köln; Stump Spezialtiefbau GmbH, Ismaning; Dyckerhoff Baustoffsysteme GmbH, Wiesbaden; Heidelberger Bauchemie GmbH, Leimen, Rotter Bau- und Geotechnik GmbH, Ried und Dieter Volk, Beratender Ingenieur, Feldafing) fachlich, finanziell und materiell unterstützten Forschungsvorhabens *Injektionen mit hydraulischen Bindemitteln im porösen Massenbeton* ist es, den Einfluss verschiedener Injektionsparameter (Suspensionseigenschaften, Injektionsdruck, Verpressrate, Bohrlochabstand) auf den zu erwartenden Injektionserfolg zu untersuchen, um somit qualifizierte Planungsgrundsätze für Injektionsarbeiten im porösen Massenbeton auf Grundlage einer zielorientierten Bauwerksvorerkundung (Porosität, Festigkeit, Klüftigkeit, Betondurchlässigkeit) aufzustellen.

Im Zuge des dazu durchgeführten Arbeitsprogramms erfolgten neben der Auswertung von Baustellendaten umfangreiche experimentelle Untersuchungen. Dazu wurden Versuche an eigens aus Laborbeton hergestellten Prüfkörpern mit unterschiedlichen Abmessungen und Untersuchungsparametern durchgeführt (Bild 1). Durch die Wahl eines vergleichsweise niedrigen Mörtelanteils in der Betonkubatur wurden gezielt poröse, weitgehend homogene Laborbetone hergestellt.

Ein-dimensional	Halbtechnischer Maßstab	Großversuch
Bohrkerne Ø = 6 bis 15 cm	Betonblöcke L · B · H = 1,0 m · 1,0 m · 1,2 m	Fundamentplatten L · B · H = 4,25 m · 2,3 m · 0,9 m

Untersuchte Parameter:

- Ausgangsdurchlässigkeit
- Hohlraumgehalt
- Druckfestigkeit
- Suspensionseigenschaften
- Injektionsdruck
- Injektionsrate

} gegenseitige
Beeinflussung

Bild 1: Abmessungen der hergestellten Prüfkörper für die experimentellen Untersuchungen und untersuchte Parameter

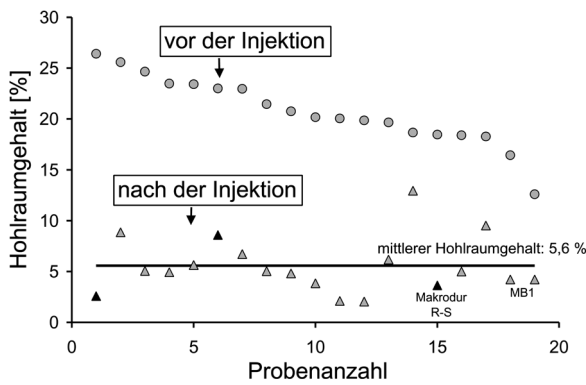


Bild 2: Ergebnis der eindimensionalen Injektionsversuche

Eindimensionale Injektionsversuche

Bild 2 zeigt die Ergebnisse der eindimensionalen Injektionsversuche, die in erster Linie zur Feststellung der Injizierbarkeit dienen. Als Verpressmaterial kam eine

- Injektionsbindemittelsuspension (Makrodur R-S, Hersteller Dyckerhoff Baustoffsysteme GmbH) mit einem Bentonitanteil von 1,0 % (vom Bindemittelanteil) als Stabilisator und einem Wasserbindemittelwert $W/B = 0,8$ und
- eine Feinstbindemittelsuspension (MB1, Hersteller Heidelberger Bauchemie GmbH) mit 1,0 % Injektionshilfe bei $W/B = 1,0$

zur Anwendung. Die Korngrößenverteilung des trockenen Bindemittels ergab in eigenen Untersuchungen für Makrodur R-S einen Korndurchmesser $d_{95} = 60$ mm; für MB1 beträgt d_{95} ca. 20 mm. Bei einem Einpressdruck zwischen 0,4 bar und 0,7 bar lagen die gemessenen Injektionsraten während der Versuche zwischen 0,5 und 0,7 Liter/min. Die injizierte Durchflussmenge in einen

Prüfkörper betrug bis zum 50-fachen des wasserfüllbaren Porenraums.

Die Ermittlung des Hohlraumgehalts nach der Injektion zeigte in allen untersuchten Fällen eine erhebliche Reduzierung gegenüber dem Hohlraumgehalt vor der Injektion. Dabei konnte im Zuge der durchgeführten Untersuchungen, zumindest bis zu einem minimalen Hohlraumgehalt von 18,5 %, kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Auswahl des Bindemittels festgestellt werden (Wildner, 2000).

Injektionsversuche im halbtechnischen Maßstab

Zur Überprüfung der Ausbreitung der Suspension im Bauteil und zur Kontrolle einer durch eine Injektion zu erreichenden Abdichtungswirkung wurden dreidimensionale Injektionsversuche an porösen Betonblöcken mit den Abmessungen $L \times B \times H = 1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$ durchgeführt. Auszugsweise wird hier nur über ein Teilergebnis dieser Untersuchungen berichtet. So war beispielsweise bei der Injektion von drei gleichen Betonblöcken mit einem vorab bestimmten mittleren Hohlraumgehalt von 12 % nur bei zwei Blöcken die Injektion einer geringen Menge des Feinstbindemittels MB1 gerade noch möglich. Diese Erkenntnis deckt sich sehr gut mit den Ergebnissen der eindimensionalen Injektionsversuche, wo eine Grenze der Injizierbarkeit im Bereich eines Hohlraumgehalts von 12 bis 14 % festzustellen war. Eine Reduzierung der Ausgangsdurchlässigkeit um mindestens zwei, bzw. im Mittel um rd. drei Zehnerpotenzen erscheint grundsätzlich möglich; sämtliche gemessenen Durchlässigkeitsbeiwerte an entnommenen, injizierten Bohrkernen betragen zwischen 10^{-7} und 10^{-10} m/s.

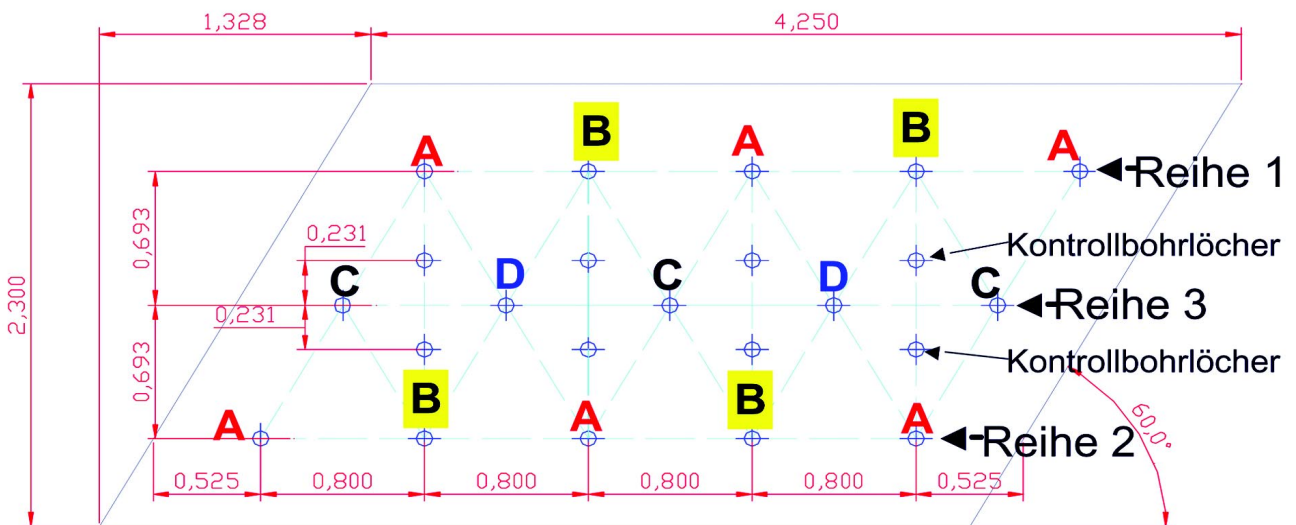


Bild 3: Großversuch - Grundriss einer Fundamentplatte mit Bohrlochraster und zugehöriger Bezeichnung

	Feinstbindemittelsuspension	Injektionssuspension
Produktbezeichnung	Mikrodur R-F	Dorodur H50
Hersteller	Dyckerhoff Zement	Rohrbach Zement
„Siebdurchgang“ d_{95} *	14 μm	37 μm
Zusatz	Kein Zusatz	1 % Bentonit
Wasserbindemittelwert	1,0	1,0

*) Eigene Untersuchungen in Propan-2-ol mit Lasergranulometer

Tabelle 1: Injektionssuspensionen - Bezeichnungen und Rezepte

Großversuche an Fundamentplatten

Als weitere Ergänzung zu den oben beschriebenen experimentellen Untersuchungen wurden drei großformatige Fundamentplatten mit den Abmessungen $L \times B \times H = 4,25 \text{ m} \times 2,30 \text{ m} \times 0,90 \text{ m}$ und parallelogrammförmigem Grundriss betoniert. Die Verdichtung des Betons erfolgte durch Stampfen in 30 cm Lagen. Die Injektion dieser Fundamentplatten wurde in einem in der Praxis durchaus üblichen Rasterabstand von 80 cm reihenweise von innen nach außen nach Herstellung der 75 cm tiefen Injektionsbohrlöcher im Pilgerschrittverfahren in vier Serien (Bild 3) durchgeführt. Zur Kenntlichmachung der Fließwege des Injektionsguts wurde die Suspension jeder Serie unterschiedlich eingefärbt; Serie A: rot; Serie B: gelb; Serie C: schwarz; Serie D: blau. Das Injektionsprogramm sah zwei verschiedene Injektionssuspensionen vor (Tabelle 1). Fundamentplatte Nr. 1 wurde vollständig mit einer Feinstbindemittelsuspension injiziert; bei Fundamentplatte Nr. 2 wurden die beiden äußeren Reihen mit einer Suspension auf Basis des Injektionszements Dorodur H50 und die mittlere Reihe mit einer Feinstbindemittelsuspension injiziert; die Injektion von Fundamentplatte Nr. 3 erfolgte vollständig mit einer Dorodur H50-Suspension.

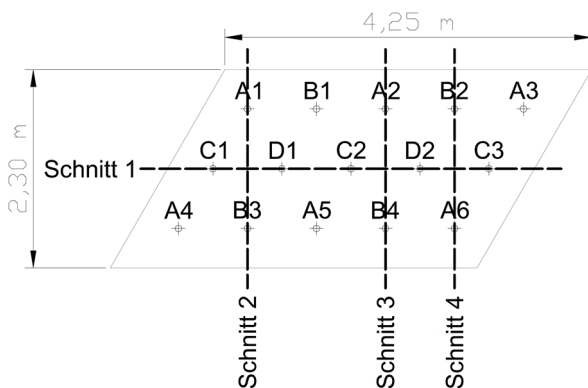


Bild 4: Großversuch - Lage der Sägeschnitte durch die Fundamentblöcke

Ziel dieser Großversuche war neben der Untersuchung des Einflusses der Mahlfeinheit des Injektionsbindemittels auch die Beurteilung einer unterschiedlichen Injektionsrate auf den zu erzielenden Abdichtungserfolg.

Nach erfolgter Injektion und ausreichender Erhärtung der Suspension wurden die injizierten Fundamentplatten mit einer Kreissäge mit Diamantsägeblatt aufgeschnitten (Bild 4). Anhand einer visuellen Auswertung wurden die Ausbreitung und die Porenfüllung der Suspension im injizierten Probekörper erfasst. Die Ergebnisse des Großversuchs lassen sich in kurzer Form folgendermaßen darstellen:

- Besserer Abdichtungserfolg mit Feinstbindemittel (Bild 5).
- Rasche Druckentwicklung und tendenziell geringerer Abdichtungserfolg bei hoher Injektionsrate.
- Zusammenhängende große Hohlräume werden zuerst verfüllt.
- Erwartungsgemäß hoher Schwerkrafteinfluss der injizierten Suspension bei fehlendem Druckaufbau und damit Verstopfung darunter liegender Bereiche.
- Bei einem Druckaufbau (bis zu 2 bar) sind Reichweiten von ca. 1,0 m zu erzielen.
- Nach erfolgter Injektion verbleiben grundsätzlich Hohlraumnester im Beton (Bild 6).

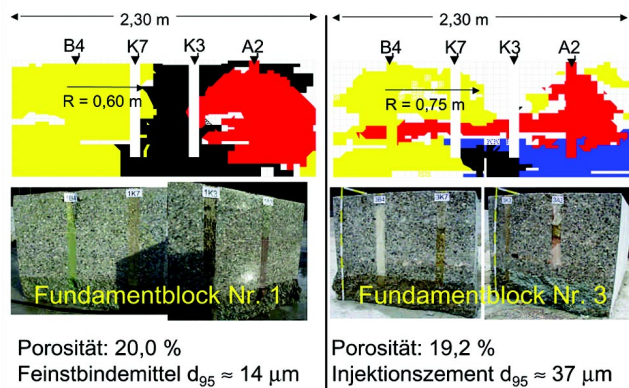


Bild 5: Injektionsergebnisse des Großversuchs - Vergleich der Suspensionsausbreitung in Fundamentplatte Nr. 1 und Nr. 3 / Schnitt 3

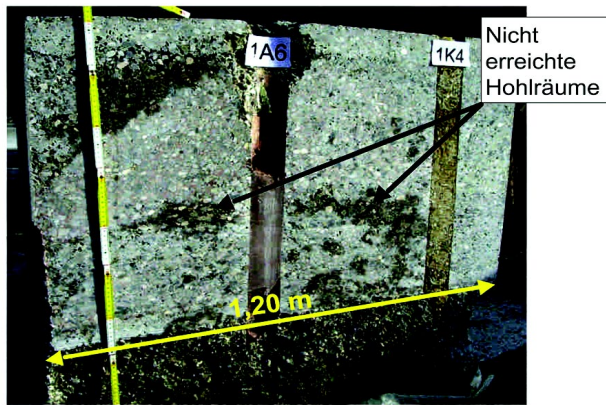


Bild 6: Großversuch Fundamentblock Nr. 1 - nicht erreichte Hohlräume

- Verbesserung der Druckfestigkeit von B 5 (bis B10) auf B 15 (bis B 25).

3. Hinweise für Planung und Ausschreibung

Zur Beurteilung des Bauwerks-Istzustandes ist eine Vorerkundung mittels Kernbohrungen unumgänglich. Weisen die erbohrten Kerne viele Brüche und Fehlstellen sowie poröse haufwerksporige Bereiche auf, könnte eine Sanierung des Betons durch eine Injektion mit hydraulischem Bindemittel in Erwägung gezogen werden.

Wasserabpressversuch

Zur Feststellung der Betondurchlässigkeit sollten unbedingt Wasserabpressversuche (WD-Tests) in den zu Vorerkundungszwecken abgeteufelten Bohrungen durchgeführt werden. Beim WD-Test wird in einen Bohrlochabschnitt unter einem definierten Druck Wasser eingepresst. Unter dem Wert von einem Lugeon versteht man dabei die Wasseraufnahme von einem Liter pro Minute und Meter Bohrlochstrecke bei einem Druck von 10 bar. Der WD-Test liefert keine unmittelbare Information über die Beschaffenheit des angetroffenen Betons, wie z. B. Größe und Anzahl der Poren und Klüfte, sondern beschreibt lediglich die Durchlässigkeit in der Umgebung des Bohrlochs. Anhand des WD-Versuchs bietet sich dennoch eine integrale Bewertungsmöglichkeit für den untersuchten Beton an, z. B. im Gegensatz zu Druckfestigkeitsprüfungen, anhand derer nur ein vergleichsweise geringer Prozentsatz des Betonvolumens beurteilt werden kann. Der Wasserabpressversuch wird zusammen mit der visuellen Kontrolle der gewonnenen Bohrkerne auch zur Erfolgskontrolle einer durchgeführten Injektionsmaßnahme in bereits fertig injizierten Bauteilen eingesetzt.

Injektionsversuch

In der Planungsphase, also vor Beginn der eigentlichen Injektionsbaumaßnahme, sollte unbedingt ein Injektionsversuch durchgeführt werden, um dessen Erkenntnisse über den Bauwerkszustand, das geeignete Bohrverfahren, den erforderlichen Bohrlochabstand, die Wahl der Injektionsmischung, den Injektionsdruck, die Einpressrate, die Injizierfähigkeit sowie die zu erwartende Suspensionsaufnahmemenge des Betons, den zu erwartenden Zeitaufwand und den möglichen Injektionserfolg in der Ausschreibung zu berücksichtigen. Bild 7 zeigt die Möglichkeit der Anordnung eines Bohrlochrasters für einen Injektionsversuch mit dreiecksförmigem Grundriss. Zunächst sind die Bohrungen der sogenannten A-Serie in den Eckpunkten eines gleichseitigen Dreiecks nacheinander abzubohren und nach der Durchführung von Wasserabpressversuchen (WD-Tests) zur Feststellung der Ausgangsdurchlässigkeit des Betons zu injizieren. Nach einer ersten Kontrolle einer ansatzweise erreichten Abdichtungswirkung in Kontrollbohrung K4 im Schnittpunkt der Winkelhalbierenden des gleichseitigen Dreiecks werden die Bohrungen der B-Serie auf der halben Sehnenstrecke zwischen den Bohrungen der A-Serie durchgeführt. Eine endgültige Kontrolle des Abdichtungserfolgs wird dann in den Kontrollbohrungen K8, K9 und K10 im Schnittpunkt der Winkelhalbierenden dreier kleiner gleichseitiger Dreiecke mittels Wasserabpressversuchen durchgeführt.

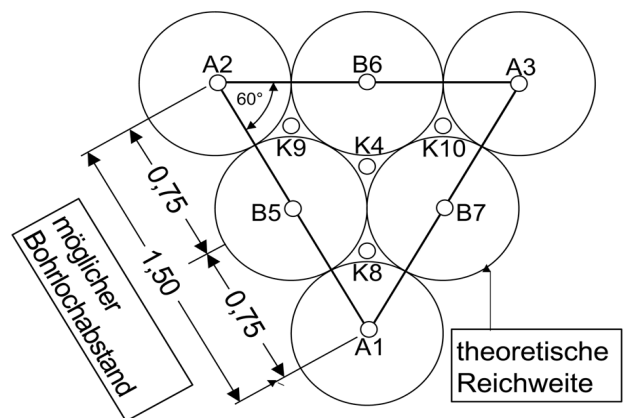


Bild 7: Bohrlochordnung beim Injektionsversuch

4. Zusammenfassung

Alte Wasserbauwerke aus Stampfbeton stellen ein zukünftig wachsendes Aufgabenfeld innerhalb der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung hinsichtlich einer möglichen Substanzverbesserung durch die Injektion mit hydraulischen Bindemittelsuspensionen zur Verfestigung und Abdichtung dar.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens konnten anhand von experimentellen Untersuchungen an Prüfkörpern aus porösem Massenbeton Aussagen über die Injizierfähigkeit, über die Ausbreitung der Suspension, über die erreichbare Abdichtungswirkung und über den Injektionserfolg in Abhängigkeit von Ausgangsdurchlässigkeit und Hohlraumgehalt des Betons sowie der Suspensionseigenschaften, des Injektionsdrucks und der Injektionsrate getroffen werden.

Im Zuge der Planung und Ausschreibung von Injektionsarbeiten ist stets eine sorgfältige Bauwerksvorerkundung durchzuführen. Ergebnisse von Injektionsversuchen im zu sanierenden Bauwerk sollten hinsichtlich der zu wählenden Injektionstechnik und der erforderlichen Verpressmaterialien unbedingt Eingang in die Ausschreibung von Injektionsarbeiten finden. Die Baukosten für einen Kubikmeter zu sanierenden Beton betragen derzeit ca. 150,- Euro.

Im Gegensatz zu konventionellen Sanierungsverfahren, wie z. B. einer Vorsatzschale aus Ortbeton oder Spritzbeton, kann während der Injektionsarbeiten auch der Betrieb von Kraftwerken, Schleusen etc. weitgehend aufrecht erhalten werden. Die Durchführung aufwendiger und langwieriger Rechtsverfahren (Planfeststellung) wie bei geplanten Neubauten ist für Sanierungsvorhaben nicht erforderlich.

5. Literatur

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.: Fehlende Investitionen gefährden den Standort Deutschland. Bauindustrie aktuell, Ausgabe 9-10/2000.

Wildner, H.: Sanierung von Wasserbauten aus porösem Massenbeton mittels Injektionen mit hydraulischen Bindemittelsuspensionen. Betrieb und Überwachung wasserbaulicher Anlagen. Symposium, Technische Universität Graz, S. 317 – 326, Oktober 2000.