

# In-situ-Erprobung mineralischer Injektionsmaterialien zur Sanierung von Kanalrohrverbindungen

## Kurzbericht

**Ausführende Stelle:** RWTH Aachen  
ibb - Institut für Baumaschinen und Baubetrieb  
Mies-van-der-Rohe-Straße 1  
52074 Aachen

**Auftraggeber:** Ministerium für Umwelt und Naturschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV)  
Schwannstraße 3  
40476 Düsseldorf

Aachen, Juni 2009

Univ. Prof. Dr.-Ing. Rainard Osebold

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Konzept des neu entwickelten Sanierungsverfahrens.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Weiterentwicklung der Injektionsmaterialien.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Entwicklung einer baustellengeeigneten Verfahrenstechnik .....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Praxisnahe Versuchsreihen .....</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>In – situ Erprobung des Sanierungsverfahrens.....</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>9</b>

## 1 Einleitung

Das Forschungsvorhaben „In-situ-Erprobung mineralischer Injektionsmaterialien zur Sanierung von Kanalrohrverbindungen“ basiert auf den Ergebnissen des Forschungsvorhabens „Entwicklung und praxisnahe Erprobung von mineralischen Injektionsmaterialien zur Sanierung von Kanalrohrverbindungen“, das im Zeitraum von Januar 2003 bis Dezember 2004 am ibb - Institut für Baumaschinen und Baubetrieb der RWTH Aachen durchgeführt wurde. Mit den Erkenntnissen des ersten Vorhabens wurde ein Konzept für die Weiterentwicklung der Sanierungstechnik erarbeitet und ein Folgeprojekt zur In-situ-Erprobung im Mai 2005 beim Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV) beantragt und im Oktober 2006 beauftragt. Nachfolgend wird über den Ablauf und die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes berichtet.

Undichte Rohrverbindungen gehören zu den häufigsten Schadensbildern bei Abwasserkanälen. Sie verursachen – abhängig von der Höhe des Grundwasserspiegels – entweder eine Exfiltration des Abwassers oder eine Infiltration des Grundwassers. Eine der Hauptursachen für undichte Rohrverbindungen liegt in der schlechten Ausführungsqualität älterer Dichtungen. Im Unterschied zu den werksseitig vorgefertigten Dichtungen, die heutzutage verwendet werden, wurden die Dichtungen bis Mitte der 60er Jahre auf der Baustelle hergestellt. Des Weiteren sind die damals verwendeten Materialien für die Dichtungen weniger alterungsbeständig als die eingesetzten Rohrwerkstoffe. Daher sind die Rohre oftmals noch in einem guten Zustand, während die Dichtungen ihre Funktion nicht mehr erfüllen. Aus diesem Grund wurden in der Vergangenheit Injektionsverfahren entwickelt, die ausschließlich die Sanierung der schadhafte Rohrverbindungen zum Ziel haben.

Für die Sanierung von Rohrverbindungen in nicht begehbaren Kanälen wurden spezielle Injektionspacker entwickelt, um Injektionsmaterialien vom Kanal aus durch die undichte Rohrverbindung ins Erdreich zu injizieren (s. Abbildung 1-1). Der sogenannte Dreikammer-Packer besteht aus zwei Außenkammern und einer Mittelkammer, die unanhängig voneinander mit Druckluft befüllt werden können.

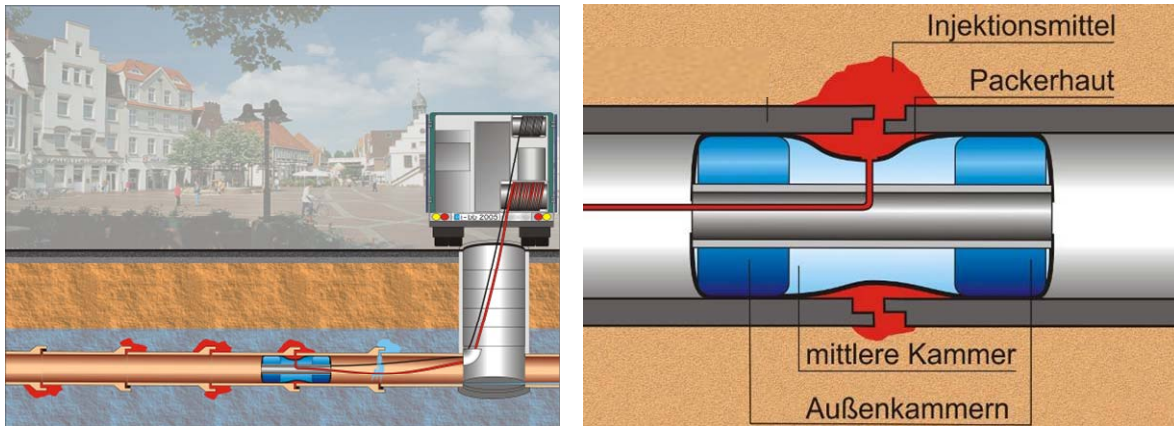


Abbildung 1-1: Sanierung undichter Muffenverbindungen mit dem Injektionsverfahren

Durch das Aufblasen der beiden Außenkammern wird zunächst der Injektionsraum abgesperrt. Anschließend wird das Injektionsmittel über die Zuleitung in den Injektionsraum gepumpt. Zum Abschluss des Verpressvorgangs wird die mittlere Luftkammer mit Druckluft beaufschlagt, so dass sich die Außenhaut des Injektionspackers über die gesamte Länge an die Rohrwand anlegt und das Injektionsmaterial möglichst vollständig verdrängt wird. Als Injektionsmaterial für die Sanierung nicht begehrter Kanäle werden in der Regel Kunstharze eingesetzt. Mit Kunstharzen lassen sich jedoch nicht alle undichten Rohrverbindungen wirtschaftlich abdichten. Aufgrund der niedrigen Viskosität dieser Injektionsmittel kann es zu unerwünscht großen Reichweiten kommen. Die erforderliche Verfüllung von Hohlräumen hinter der Schadstelle führt ebenfalls zu hohen Materialverbräuchen, so dass durch die Materialkosten eine Reparatur mit Kunstharzen oft unwirtschaftlich wird. Weiterhin ist die Umweltverträglichkeit der eingesetzten Harze gerade bei großen Verbrauchsmengen umstritten. Daher wurden im vorangegangenen Forschungsvorhaben Injektionsmaterialien auf mineralischer Basis als Alternative zu den bislang verwendeten Injektionsmitteln auf Kunstharzbasis entwickelt. Durch den Einsatz mineralischer Stoffe können folgende Vorteile gegenüber den Kunstharzen erreicht werden:

- kostengünstigeres Injektionsmaterial
- verbesserte ökologische Verträglichkeit
- Reduzierung des Materialverbrauchs

Ein zentrales Ziel dieses Vorhabens ist die Weiterentwicklung des Injektionsmaterials und die Abstimmung der Verfahrenstechnik auf die Randbedingungen realer Kanäle. Hierzu gliedert sich das Forschungsprojekt in vier Teilbereiche. Zunächst wird das Injektionsmaterial unter den Gesichtspunkten Verbesserung der Fließ- und Verarbeitungseigenschaften,

Erhöhung der Verarbeitungsdauer, Optimierung des Erstarrungsprozesses, und Erhöhung der Endfestigkeit weiterentwickelt. Im nächsten Schritt wird die Verfahrenstechnik so konzipiert, dass die Teilprozesse Anmischen und Bevorraten des Injektionsmaterials, Verpressen mittels Injektionspumpe und Überwachung des Injektionsvorgangs durch Druck- und Volumenkontrolle an die Baustellenbedürfnisse angepasst werden. In darauf folgenden praxisnahen Versuchsreihen werden das weiterentwickelte Material und die neue Verfahrenstechnik getestet und gegebenenfalls überarbeitet. Abschließend werden ausgewählte Kanalhaltungen mit dem neuartigen mineralischen Injektionsverfahren saniert und durch Dichtheitsprüfungen der Sanierungserfolg kontrolliert.

## **2 Konzept des neu entwickelten Sanierungsverfahrens**

Das Anwendungsgebiet des neuen Sanierungsverfahrens umfasst die Sanierung undichter Rohrverbindungen in nicht begehbaren Abwasserkanälen mit Injektionsmitteln auf mineralischer Basis. Es kann sowohl in Betonrohren, als auch in Steinzeugrohren eingesetzt werden. Die Injektion erfolgt durch einen für mineralische Injektionsmittel modifizierten Drei-Kammer-Packer.

Eine wichtige Eigenschaft des neue Sanierungsverfahrens ist das schnelle Ansteifen des verpressten Materials unmittelbar nach der Injektion, wodurch innerhalb von wenigen Minuten eine ausreichende Standsicherheit in der Schadstelle erzielt wird. Erst nach diesem Ansteifprozess kann der Injektionspacker zur nächsten Rohrverbindung umgesetzt werden, ohne dass infolge von Eigengewicht oder Grundwasserdruck das frisch injizierte Material in das Kanalrohr zurückfließt. Das schnelle Ansteifen des Injektionsmaterials kann jedoch nicht durch schnell abbindende Zemente erreicht werden, da in diesem Fall das Material bereits in den langen Zuleitungen zur Injektionsstelle und im Vorratsbehälter erstarren würde. Damit das Material die beiden gegensätzlichen Anforderungen einer langen Verarbeitungszeit vor der Injektion und einem schnellen Ansteifen nach der Injektion erfüllen kann, muss der Erstarrungsprozess des mineralischen Bindemittels durch Zugabe eines Erstarrungsbeschleunigers im Injektionspacker gesteuert werden.

In ähnlichen Anwendungsbereichen von Erstarrungsbeschleunigern, wie beispielsweise dem Spritzbetonverfahren, wird dem Bindemittel der Beschleuniger direkt an der Düse im Mischungsverhältnis von ca. 50 zu 1 zugegeben. Durch hohe Durchflussgeschwindigkeit

ten wird eine ausreichende Homogenität gewährleistet. Um jedoch auch bei relativ geringen Durchflussmengen Probleme bei der Dosierung des Erstarrungsbeschleunigers zu vermeiden, wurde ein zweikomponentiges Injektionsmaterial mit einem Mischungsverhältnis der beiden Komponenten von 1:1 entwickelt. In diesem Injektionsmaterial enthält die eine Komponente das Bindemittel und die andere Komponente mineralische Zusatzstoffe und den Erstarrungsbeschleuniger (s. Abbildung 2-1).

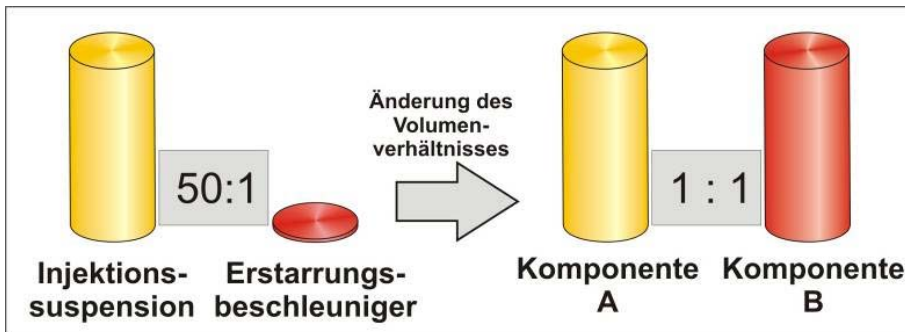


Abbildung 2-1: Entwicklung der Materialkomponenten

Die Dosierung des Beschleunigers erfolgt bei dieser Vorgehensweise nicht erst im Injektionspacker. Stattdessen wird die Beschleunigermenge bereits beim Anmischen der B-Komponenten im Rührwerk zugegeben. Die beiden Materialkomponenten werden getrennt zum Injektionspacker gefördert und dort in einem Statikmischer miteinander vermischt. Die Wirkungsweise von Statikmischern beruht auf dem Prinzip der Materialvermischung bei turbulenten Strömungen. In einem ca. 20 cm langen Mischrohr bewirken gitterförmige Leitelemente eine Homogenisierung beim Durchfließen der beiden Komponenten. Das injizierte Material steift durch die Beschleunigerwirkung schnell an, so dass der Packer nach kurzer Zeit zur nächsten Muffe umgesetzt werden kann.

### 3 Weiterentwicklung der Injektionsmaterialien

Im Rahmen des ersten Forschungsvorhabens wurden sowohl ein einkomponentiges, als auch ein zweikomponentiges Injektionsmaterial untersucht. Die Versuchsergebnisse zeigten jedoch deutliche qualitative und verfahrenstechnische Vorteile bei dem zweikomponentigen Material. Eine Weiterentwicklung des zweikomponentigen Injektionsmaterials im Rahmen dieses Forschungsvorhabens liefert einerseits gute Verarbeitungseigenschaften der einzelnen Komponenten und andererseits eine hohe Endfestigkeit des erhärteten Injektionsmaterials. Hierzu werden der Einfluss unterschiedlicher Zusammensetzungen im

flüssigen Zustand durch rheologische Messungen und im festen Zustand mit Hilfe von Druckfestigkeitsprüfungen analysiert. Durch die Analyse der rheologischen Eigenschaften infolge unterschiedlicher Materialzusammensetzung kann die Fließfähigkeit der Komponenten so eingestellt werden, dass eine optimale Verarbeitung während des Sanierungsprozesses gewährleistet ist. Eine hohe Lebensdauer des Materials wird durch eine Endfestigkeit von über 30 N/mm<sup>2</sup> gewährleistet.

Nach der Weiterentwicklung im Institutslabor werden die Rezepturen dem Bindmittelhersteller HeidelbergerCement vorgestellt. Anhand von Zielvorgaben, die die rheologischen Eigenschaften und die zu erzielenden Endfestigkeiten beinhalten, entwickelt HeidelbergerCement auf Grundlage der Institutslabormischungen ein zweikomponentiges, mineralisches Material, das als Sackware für die In-situ-Erprobung zu Verfügung gestellt wird.

## **4 Entwicklung einer baustellengeeigneten Verfahrenstechnik**

Die Verfahrenstechnik des neuen Sanierungsverfahrens besteht aus folgenden vier Grundelementen:

- Misch- und Injektionsanlage
- Statischer Mischer
- Injektionspacker mit integrierter Druckmessung
- Reinigungsmolch

Wie in Abbildung 4-1 dargestellt, wird der Beschleuniger nicht erst im Injektionspacker, sondern bereits beim Anmischen der Komponenten zudosiert. Die Misch- und Injektionsanlage muss so ausgelegt sein, dass beide Komponenten parallel angemischt werden können und volumengesteuert mit gleicher Fördergeschwindigkeit gepumpt werden können. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass beide Komponenten immer im gleichen Dosierungsverhältnis gefördert werden. Die Misch- und Injektionsanlage wird zusätzlich mit einer Spüleinheit ausgestattet. Nach der Injektion einer Rohrverbindung kann dann die Reinigung des statischen Mixers mit einer Wasserspülung durchgeführt werden.

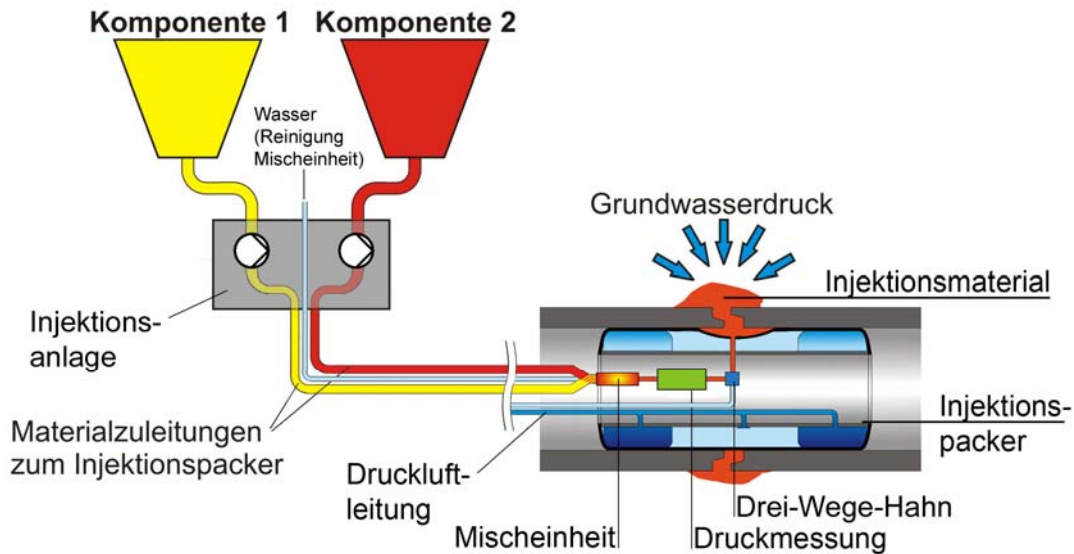


Abbildung 4-1: Konzept des neuen Sanierungsverfahrens

Aus dem Druck an der Injektionspumpe können keine Rückschlüsse auf den Injektionsdruck an der Rohrverbindung gezogen werden, da die Druckverluste des Injektionsmaterials in den Zuleitungen und besonders im statischen Mischer unbekannt sind. Der an der Rohrverbindung entstehende Injektionsdruck kann daher erst hinter dem statischen Mischer gemessen werden. Hierzu ist eine Druckmesseinrichtung im Packer erforderlich. Der Volumenstrom beider Komponenten wird mit magnetisch, induktiven Durchflussmessern an der Misch- und Injektionsanlage erfasst.

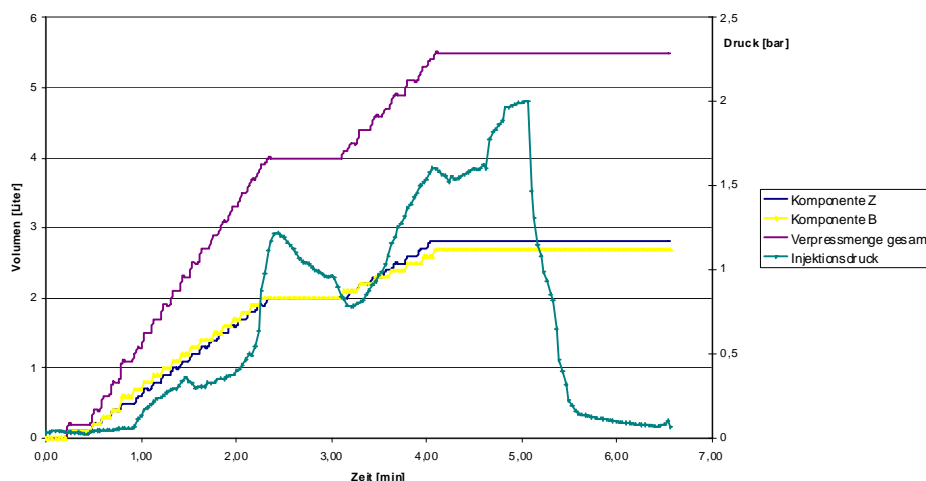


Abbildung 4-2: Injektionsprotokoll

Die beiden Parameter Materialverbrauch und Injektionsdruck können online auf dem Monitor eines Messrechners abgelesen und als Injektionsprotokolle abgespeichert (s. Abbildung 4-2) werden. Aus dem Mengenverbrauch und dem, Injektionsdruckverlauf wäh-



rend und nach der Materialverpressung können Rückschlüsse auf den Injektionsfortschritt gezogen werden, die über eine Fortsetzung oder Beendigung der Injektion entscheiden. Fällt der Injektionsdruck beispielsweise nach dem Ausschalten der Pumpen stark ab, ist eine erneute Materialverpressung erforderlich, da noch nicht alle Hohlräume verfüllt sind.

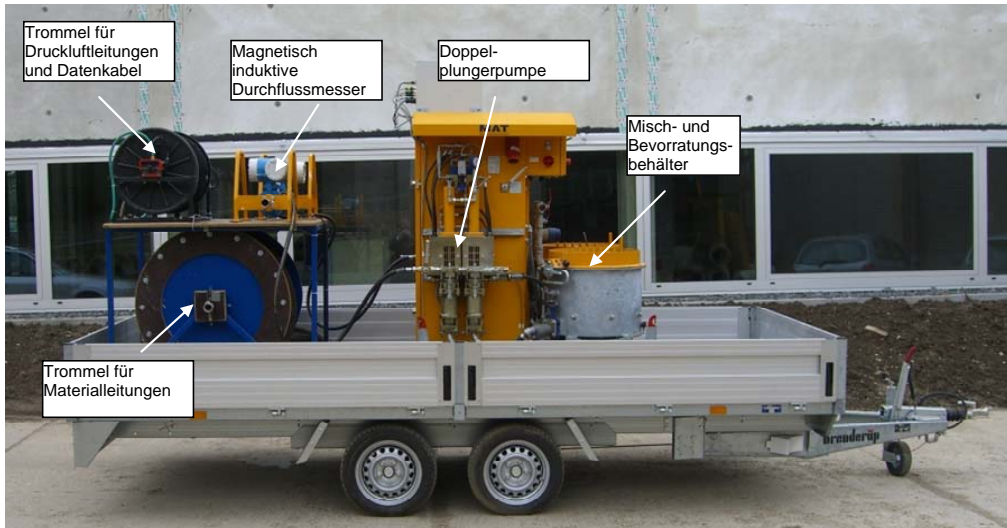


Abbildung 4-3: Mobile Misch- und Injektionsanlage

Für einen mobilen Einsatz der Sanierungsanlage, bestehend aus der Misch- und Injektionsanlage, der Schlauchtrommel für die Materialleitungen und der Schlauchtrommel für Druckluftsteuerleitungen und Datenkabel werden alle Geräte auf einen 4 m mal 2 m großen Anhänger installiert (s. Abbildung 4-3).

## 5 Praxisnahe Versuchsreihen

Vor den In-situ-Einsätzen des Sanierungsverfahrens werden sowohl einzelne Rohrverbindungen in speziellen Stahlkisten saniert, als auch ganze Teststrecken aus Steinzeug- und Betonrohren in der ibb - Institutshalle verlegt und saniert. Hierbei stehen das weiterentwickelte Material und verschiedene Parameter der neuen Verfahrenstechnik, wie der Sanierungsablauf, die Schadensgeometrie, und der Rohrwerkstoff im Mittelpunkt der Untersuchungen (s. Abbildung 5-1).



Abbildung 5-1: Sanierte Einzelrohrverbindung (links) und sanierte Teststrecke (rechts)

Mit dem zweikomponentigen Injektionsmaterial und der neu entwickelten Verfahrenstechnik können in den praxisnahen Erprobung Rohrverbindungen erfolgreich abgedichtet werden. Durch die Verwendung industriell gefertigter Sackware kann zudem die praktische Anwendung vereinfacht werden. Für die In-situ-Erprobung ergeben sich durch die Auswertung der Injektionsprotokolle und einer Gegenüberstellung mit den jeweiligen Sanierungsrandbedingungen Erfahrungs- und Anhaltswerte im Bezug auf die einzusetzenden Materialmengen und die erforderlichen Injektionsdrücke.

## 6 In-situ-Erprobung des Sanierungsverfahrens

Die In-situ-Sanierungen werden in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Kuchem GmbH, Neunkirchen durchgeführt. Beispielhaft wird im Folgenden eine Sanierung im Stadtgebiet der Stadt Niederkassel beschrieben.

Der zu sanierende DN 300 Steinzeugkanal aus dem Baujahr 1965 weist hauptsächlich Lageabweichungen und Wurzeleinwüchse in den Muffen auf, so dass bereits bei der Kamerabefahrung von undichten Rohrverbindungen ausgegangen werden kann. Dichtheitsprüfungen an den Muffen bestätigen diese Vermutungen. Zur Vorbereitung der Sanierung werden die Wurzeln mit einem Fräsroboter aus dem Muffenspalt entfernt. Während der Sanierung steht die Erprobung der Verfahrenstechnik hinsichtlich des Sanierungsablaufs, der Gerätetechnik, und des personellen und zeitlichen Aufwands bei realen Schadensbildern im Vordergrund. Für die Positionierung des Packers und die Injektion einer Muffe werden durchschnittlich 5 min benötigt, so dass je nach Randbedingung inklusive „Einrich-

ten und Räumen der Baustelle“ ein bis zwei Haltungen pro Arbeitstag saniert werden können. Der Materialverbrauch beträgt von 0,8 bis 11 Liter pro Rohrverbindung und durchschnittlich etwa 4 Liter. Die Gerätetechnik und die Abstimmung der Arbeitsschritte erweisen sich auch in der Praxis als geeignet.

Die Dichtheitsprüfungen werden vier Wochen nach der Sanierung stichprobenartig durchgeführt und der Sanierungserfolg nachgewiesen. Somit kann durch den In-situ-Einsatz des neuen Sanierungsverfahrens die Übertragbarkeit der Institutsversuche auf den praktischen Anwendungsfall gezeigt werden. Darüber hinaus werden wertvolle Erkenntnisse bezüglich einer weiteren Verbesserung des Sanierungsverfahrens gesammelt, die vor allem die arbeitsfreundliche Bedienung der Maschinenteknik betreffen.

## **7 Zusammenfassung**

Zur Sanierung von undichten Kanalrohrverbindungen wurden in der Vergangenheit auf Kunstharz basierende Injektionsverfahren eingesetzt. Mit dem Ziel einer technischen und wirtschaftlichen Optimierung wird am ibb – Institut für Baumaschinen und Baubetrieb der RWTH Aachen ein neuartiges Sanierungsverfahren entwickelt und erprobt. Das neue Verfahren saniert undichte Muffen durch die Injektion eines mineralischen Abdichtungsmaterials in die undichte Muffenverbindung und in dahinter befindliche Hohlräume. Das Sanierungsmaterial besteht aus zwei mineralischen Komponenten, die in gleichem Volumenstrom in einem Statikmischer vermischt und über einen Sanierungspacker injiziert werden. Nach der Vermischung steift das Material schnell zu einer pastösen Masse an, die auch bei Grundwassergegendruck in der frisch sanierten Muffe verbleibt. Die Ergebnisse aus der praxisnahen Erprobung, die in der Institutshalle an präparierten Kanalteststrecken durchgeführt werden, zeigen bereits ausgezeichnete Erfolgchancen für eine umweltfreundliche und kostengünstige Abdichtung undichter Rohrverbindungen. Im nächsten Schritt wird die Praxistauglichkeit des neuen Sanierungsverfahrens an bestehende Kanäle mit hauptsächlich undichten Rohrverbindungen untersucht. Mit den In-situ-Einsätzen kann die Funktionsfähigkeit des neuen Verfahrens auch unter realen Sanierungsbedingungen nachgewiesen werden. Damit steht dem Markt ein neues Sanierungsverfahren zur Verfügung, mit dem kostengünstig schadhafte Rohrverbindungen dauerhaft abgedichtet werden können und die Nutzungsdauern von Kanälen deutlich verlängert werden. Dies kommt nicht nur den Kommunen, sondern auch dem Gebührenzahler zu Gute.