

**Entwicklung und Erprobung eines neuartigen
Abdichtungsverfahrens
für Abwasserleitungen und Kanäle**

Zwischenbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 33382/01 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Lehrstuhl und Institut für Baubetrieb und Projektmanagement
der RWTH Aachen

September 2018

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az **33382/01**Referat **23**

Fördersumme

110.145 €

Antragstitel **Entwicklung und Erprobung eines neuartigen Abdichtungsverfahrens für Abwasserleitungen und Kanäle**

Stichworte Kanalisation, Projektgruppe 2

Laufzeit
10 Monate

Projektbeginn
08.08.2017

Projektende
30.06.2018

Projektphase(n)
1

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger SubTech GmbH
Von Monschaw Str. 6
47574 Goch

Tel
Fax
Projektleitung
Bearbeiter

Kooperationspartner Lehrstuhl und Institut für Baubetrieb und Projektmanagement
der RWTH Aachen
Mies-van-der-Rohe-Straße 1
52074 Aachen

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Die ältesten kommunalen und privaten Abwasserkanäle sind mittlerweile seit weit über 100 Jahren in Betrieb. Erst seit Mitte 1970 werden allerdings abwasserbeständige Dichtmaterialien in Rohrverbindungen eingesetzt. Es soll daher ein Verfahren zur kombinierten Dichtheitsprüfung und Abdichtung von undichten Kanalrohren entwickelt, getestet und praxisnah erprobt werden. Bei dem hierbei verwendeten Abdichtungsmaterial handelt es sich um einen neuartigen, umweltfreundlichen und kostengünstigen mineralischen Baustoff. Dieser mineralische Baustoff besteht aus zwei Komponenten, die unvermischt über ca. 2,5 Stunden ohne wesentliche Veränderung ihrer rheologischen Eigenschaften verarbeitbar sind, nach ihrer Vermischung aber innerhalb kurzer Zeit erhärten. Der Einsatz dieses neuartigen zweikomponentigen Injektionsmaterials erfordert eine spezielle Verarbeitungs- und Gerätetechnik, die im 1. Teil des FE-Projekts entwickelt werden soll. Im 2. Teil des Projekts soll die im 1. Teil entwickelte Sanierungstechnik mit einer Dichtheitsprüfung nach dem neuen DWA Merkblatt DWA-M149 Teil 6 „Dichtheitsprüfung bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck“ kombiniert werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Der 1. Teil des Forschungsvorhabens gliederte sich in 4 Phasen. In der 1. Phase wurde die Gerätekonzeption entwickelt. Die Gerätschaft bestand hierbei aus drei Teilen: Dem Injektionspacker, der Misch- und Injektionstechnik für die Aufbereitung und Förderung des zweikomponentigen mineralischen Materials und der Überwachungs- und Bedientechnik für die verschiedenen Funktionen. Hinzu kommen die Zuleitungen von der oberirdisch stationierten Überwachungs- und Bedientechnik zum unterirdisch im Kanal positionierten Injektionspacker. Die Gerätetechnik wurde gemeinsam von der SubTech und dem ibp konzipiert. Hierbei wurde die Praxiserfahrung der SubTech im Spezialgerätebau und des ibp in der Aufbereitung und Verarbeitung des Injektionsmaterials gebündelt. Die verschiedenen Lösungsansätze wurden in einer Entscheidungsmatrix bewertet und die theoretisch optimale Variante ausgewählt und konstruiert. In der 2. Phase wurden die Anlagenkomponenten gebaut und auf ihre Funktion und Handhabbarkeit untersucht und optimiert. In der 3. Projektphase wurden vom ibp einzelne kleinformigen Versuche konzipiert, in denen die komplette Misch- und Injektionstechnik erprobt und optimiert wurde. In der abschließenden 4. Projektphase wurde ein Großversuchsstand konzipiert, in dem eine praxisnahe, schadhafte Kanalstrecke nachgestellt wurde. In diesem Großversuchsstand wurde die komplette Sanierungsanlage eingesetzt und erprobt. Das ibp begleitete, dokumentierte und analysierte die einzelnen Erprobungen. Auf der Basis der gefundenen Ergebnisse wurde die Gerätetechnik nochmals optimiert.

Ergebnisse und Diskussion

Aufbauend auf den am ibp gemachten Erfahrungen mit der Verarbeitung von mineralischen Injektionsmaterialien wurden die Entwicklung und Erprobung folgender Aufgabenstellungen als besonders kritisch herausgestellt und daher zuerst aufgegriffen:

- Bevorratung des angemischten Injektionsmaterials
- Förderung/Verpressen des Injektionsmaterials

Mineralische Suspensionen neigen bei längeren Ruhezeiten zum Entmischen und zum Absetzen der mineralischen Bestandteile. Beim Anfahren der Förderung führt dies dann regelmäßig zu Verstopfungen in Saug- und Druckleitungen und an Ventilen und Schiebern. Das Injektionsmaterial musste daher auf seine Eigenschaften sehr genau untersucht und die Gerätetechnik entsprechend ausgelegt werden. Im ersten Schritt wurden daher für die beiden mineralischen Komponenten in Versuchsreihen bei unterschiedlichen Wasser/Feststoff-Werten (W/F-Werten) die Viskosität, das Absetzverhalten und die Reaktivität untersucht. Aufgrund der gefundenen Ergebnisse wurde entschieden, dass die Bevorratung nicht in kombinierten Misch/Vorratsbehältern erfolgen sollte, sondern diese Verfahrensschritte getrennt und spezielle Vorratsbehälter konzipiert werden sollten, mit denen ein Absetzen des Materials durch entsprechende Abstreifer/Rührpaddel sicher vermieden werden konnten. Die Aufbereitung der beiden Komponenten wurde dann in separaten „Turbomischern“ mit sehr schnell laufenden Rührwerken und Dissolvern durchgeführt, die das mineralische Material besonders gut aufschließen. Hierfür wurden zwei Rotationsmischer der Marke „Colomix AOX-S“ nach erfolgreichen Testläufen ausgewählt.

Kernstück des Injektionsverfahrens ist die Doppel-Injektionspumpe. Die Erfahrungen des ibp mit verschiedenen Pumpentypen (druckluftbetriebe und hydraulisch betriebene Kugelventilpumpen) zeigten, dass insbesondere die hierbei verwendeten Kugelventile zu Problemen führten. Daher wurde eine Lösung gesucht, die ohne eine anfällige Ventiltechnik auskommt. Großvolumige Kolbenpumpen, die mit einem Arbeitshub eine komplette Mischercharge aufnehmen und fördern können, kommen zwar ohne eine anfällige Ventiltechnik aus, es zeigte sich aber, dass bei dieser Lösung die gewünschten Injektionsdrücke von 50bar nicht realisiert werden konnten. Andere großvolumige Pumpenvarianten erwiesen sich dann, was die Dichtungen zwischen Pumpgehäuse und Kolben angeht, als zu anfällig. Nach der Analyse mehrerer Varianten entschied man sich für ein System bestehend aus zwei außen angeordneten Hydraulikantriebszylindern und einem dazwischen angeordneten Pumpzylinder für das Injektionsgut, wobei die drei Kolbenstangen mittels eines Jochbalkens miteinander verbunden waren. Dieses Pumpenkonzept wurde konstruiert, gebaut und in einer Versuchsreihe eingehend getestet. Hierbei wurde auch der gekapselte Vorratsbehälter mit seinen speziellen Rührpaddeln adaptiert und geprüft. Auch nach längeren Förderstillständen, die durchaus in der Betriebspraxis zu erwarten sind, konnte die Förderung wieder problemlos angefahren werden, ohne dass es zu nennenswerten Druckanstiegen im Fördersystem kam. Nach mehrfache Kontrolle des kompletten Förderstrangs zeigten sich einige wenige kritischen Stellen, an denen sich mineralisches Material absetzte. Diese Stellen wurden entsprechend der gefundenen Ergebnisse überarbeitet. In einer weiteren Versuchsreihe zeigte sich dann, dass die Korrekturen erfolgreich waren und nun die Anlage als Doppelpumpenanlage nach dem vorliegenden Konzept aufgebaut werden konnte.

In der abschließenden Projektphase des 1.Teils wurde die komplette Abdichtungstechnik bestehend aus Mischer, Injektionsanlage, Förderschlauchsystem, Injektionspacker auf dem Firmengelände der SubTech in einem Großversuchsstand erprobt. Der Großversuchsstand bestand aus einer erdgelagerten Kanalstrecke, bei der die einzelnen Kanalrohre mit unterschiedlichen, praxisrelevanten Schadstellen im Bereich der Rohrverbindungen versehen waren. Je Schadstelle wurden die bei der Sanierung verpressten Materialmengen und Verpressdrücke dokumentiert. Nach der Sanierung wurden die injizierten Schadstellen mit einer Kanalamera optisch kontrolliert. Die Kanalstrecke wurde nach dem Aushärten des Injektionsmaterials freigelegt und die Verpresskörper auf Dichtheit untersucht. Es zeigte sich, dass bei ausreichend zugeführtem Injektionsmaterial – dies ist durch einen schnellen Anstieg des Verpressdrucks gut erkennbar – eine vollständige Abdichtung und Stabilisierung der verschiedenartigen Schadstellen erreicht werden konnte.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das neuartige Abdichtungsverfahren soll nach dem Abschluss des 2. Teils – hierbei wird das Abdichtungsverfahren mit einer Dichtheitsprüfung nach dem neuen DWA Regelwerk kombiniert – in Fachzeitschriften sowie auf Fachkongressen vorgestellt werden. Zudem soll die Sanierungstechnik verschiedenen Kanalnetzbetreibern vorgestellt und in Praxis an Hand von Musterbaustellen präsentiert werden.

Fazit

Im 1. Teil des Forschungsprojekts wurde eine praxistaugliche Gerätetechnik zur Abdichtung von undichten Rohrverbindungen konzipiert, gebaut und abschließend in einem realitätsnahen Großversuchsstand erfolgreich erprobt. Im 2. Teil des Projekts soll diese neuartige Abdichtungstechnik mit einer Technik zur Dichtheitsprüfung nach dem neuen Regelwerk DWA-M 149-6 kombiniert werden.

Inhaltsverzeichnis:

1	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	5
2	<u>EINLEITUNG</u>	7
3	<u>KONZEPTION DER INJEKTIONSANLAGE</u>	10
4	<u>BAU DER INJEKTIONSANLAGE</u>	12
4.1	<u>ANMISCHVERFAHREN</u>	12
4.2	<u>BEVORRATUNG</u>	14
4.3	<u>INJEKTIONSPUMPE</u>	15
4.4	<u>STEUERUNGSEINHEIT</u>	17
4.5	<u>MATERIALSCHLAUCH-, DRUCKLUFT/WASSER- UND DATENLEITUNGEN</u>	17
4.6	<u>INJEKTIONSPACKER</u>	18
5	<u>VERSUCHSAUFBAU, -DURCHFÜHRUNG UND -ERGEBNISSE</u>	21
5.1	<u>UNTERSUCHUNG DER TEILKOMponentEN</u>	21
5.2	<u>UNTERSUCHUNG DER KOMPLETTEN BEVORRATUNGS- UND PUMPANLAGE</u>	22
5.3	<u>OPTIMIERUNG DER INJEKTIONSANLAGE</u>	24
5.4	<u>UNTERSUCHUNG DES ERSTARRUNGSVERHALTENS DES INJEKTIONSMATERIALS NACH LÄNGERER BEVORRATUNGSZEIT</u>	26
5.5	<u>UNTERSUCHUNG DER MISCHQUALITÄT DES STATISCHEN WENDELMISCHERS</u>	28
6	<u>UMSETZUNG UND ERPROBUNG DES AUSGEWÄHLTEN GERÄTEKONZEPTS</u>	30
6.1	<u>VERSUCHSAUFBAU</u>	30
6.2	<u>VERSUCHSDURCHFÜHRUNG</u>	34
6.3	<u>VERSUCHSERGEBNISSE</u>	35

Zusammenfassung

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Verfahrens zur kombinierten Dichtheitsprüfung und Abdichtung von undichten Kanalrohren. Bei dem hierbei verwendeten Abdichtungsmaterial handelt es sich um einen neuartigen, umweltfreundlichen und kostengünstigen mineralischen Baustoff. Dieser mineralische Baustoff besteht aus zwei Komponenten, die unvermischt über ca. 2,5 Stunden ohne wesentliche Veränderung ihrer rheologischen Eigenschaften verarbeitbar sind, nach ihrer Vermischung aber innerhalb kurzer Zeit erhärten. Der Einsatz dieses neuartigen zweikomponentigen Injektionsmaterials erfordert eine spezielle Verarbeitungs- und Gerätetechnik, die im 1. Teil des FE-Projekts entwickelt werden soll.

Im 2. Teil des Projekts soll die im 1. Teil entwickelte Abdichtungstechnik mit einer Dichtheitsprüfung nach dem neuen DWA Merkblatt DWA-M149 Teil 6 „Dichtheitsprüfung bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck“ kombiniert werden.

Der 1. Teil des Forschungsvorhabens gliederte sich in 4 Phasen. In der 1. Phase wurde die Gerätekonzeption entwickelt. Die Gerätschaft bestand hierbei im Wesentlichen aus drei Teilen: Dem Injektionspacker, der Misch- und Injektionstechnik für die Aufbereitung und Förderung des zweikomponentigen mineralischen Materials und der Überwachungs- und Bedientechnik für die verschiedenen Funktionen. Hinzu kommen die Zuleitungen von der oberirdisch stationierten Pump-, Überwachungs- und Bedientechnik zum unterirdisch im Kanal positionierten Injektionspacker. Die Gerätetechnik wurde gemeinsam von der SubTech und dem ibp konzipiert. Hierbei wurde die Praxiserfahrung der SubTech im Spezialgerätebau und des ibp in der Aufbereitung und Verarbeitung des Injektionsmaterials gebündelt. Die verschiedenen Lösungsansätze wurden in einer Entscheidungsmatrix bewertet und die theoretisch optimale Variante ausgewählt und konstruiert. In der 2. Phase wurden die Anlagenkomponenten gebaut und auf ihre Funktion und Handhabbarkeit untersucht und optimiert. In der 3. Projektphase wurden vom ibp einzelne kleinformatigen Versuche konzipiert, in denen die komplette Misch- und Injektionstechnik erprobt und optimiert wurde. In der abschließenden 4. Projektphase wurde ein Großversuchsstand konzipiert, der eine praxisnahe, schadhafte Kanalstrecke nachstellte. In diesem Großversuchsstand wurde nun die komplette Gerätetechnik eingesetzt und erprobt.

Aufbauend auf den am ibp gemachten Erfahrungen mit der Verarbeitung von mineralischen Injektionsmaterialien wurde die Bearbeitung folgender Aufgabenstellungen als besonders kritisch beurteilt und daher zuerst aufgegriffen:

- Bevorratung des angemischten Injektionsmaterials
- Förderung/Verpressen des Injektionsmaterials

Mineralische Suspensionen neigen bei längeren Ruhezeiten zum Entmischen und zum Absetzen der mineralischen Bestandteile. Beim Anfahren der Förderung führt dies dann regelmäßig zu Verstopfungen in Saug- und Druckleitungen und an Ventilen und Schiebern. Das Injektionsmaterial musste daher auf seine Eigenschaften sehr genau untersucht und die Gerätetechnik entsprechend ausgelegt werden. Im ersten Schritt wurden daher für die

beiden mineralischen Komponenten in Versuchsreihen bei unterschiedlichen Wasser/Feststoff-Werten (W/F-Werten) die Viskosität, das Absetzverhalten und die Reaktivität untersucht. Aufgrund der gefundenen Ergebnisse wurde entschieden, dass die Bevorratung nicht in kombinierten Misch/Vorratsbehältern erfolgen sollte, sondern diese Verfahrensschritte getrennt und spezielle Vorratsbehälter konzipiert werden sollten, bei denen ein Absetzen des Materials durch entsprechende Abstreifer/Rührpaddel sicher vermieden werden konnte. Das Anmischen der beiden Komponenten wurde dann in separaten „Turbomischern“ mit sehr schnell laufenden Rührwerken und Dissolvern durchgeführt, die das mineralische Material besonders gut aufschließen. Hierfür wurden zwei Rotationsmischer der Marke „Collomix AOX-S“ nach erfolgreichen Testläufen ausgewählt.

Kernstück des Injektionsverfahrens ist die Doppel-Injektionspumpe. Die Erfahrungen des ibp mit verschiedenen Pumpentypen (druckluftbetriebe und hydraulisch betriebene Kugelventilpumpen) zeigten, dass insbesondere die hierbei verwendeten Kugelventile zu Problemen führten. Daher wurde eine Lösung gesucht, die ohne eine anfällige Ventiltechnik auskommt. Großvolumige Kolbenpumpen, die mit einem Arbeitshub eine komplette Mischercharge aufnehmen und fördern können, kommen zwar ohne eine anfällige Ventiltechnik aus, es zeigte sich aber, dass bei dieser Lösung die gewünschten Injektionsdrücke von 50bar nicht realisiert werden konnten. Andere großvolumige Pumpenvarianten erwiesen sich dann, was die Dichtungen zwischen Pumpgehäuse und Kolben anbelangt, als zu anfällig. Nach der Analyse mehrerer Varianten entschied man sich für ein System bestehend aus zwei außen angeordneten Hydraulikantriebszylindern und einem dazwischen angeordneten Pumpzylinder für das Injektionsgut, wobei die drei Kolbenstangen der Antriebs- und Pumpzylinder mittels eines Jochbalkens miteinander verbunden wurden. Dieses Pumpenkonzept wurde konstruiert, gebaut und in einer Versuchsreihe eingehend getestet. Hierbei wurde auch der gekapselte Vorratsbehälter mit seinen speziellen Rührpaddeln adaptiert und geprüft. Auch nach längeren Förderstillständen, die durchaus in der Betriebspraxis zu erwarten sind, konnte die Förderung wieder problemlos angefahren werden, ohne dass es zu nennenswerten Druckanstiegen im Fördersystem kam. Nach mehrfacher Kontrolle des kompletten Förderstrangs zeigten sich einige wenige kritischen Stellen, an den sich mineralisches Material absetzte. Diese Stellen wurden entsprechend der gefundenen Ergebnisse überarbeitet. In einer weiteren Versuchsreihe zeigte sich dann, dass die Korrekturen erfolgreich waren und nun die Anlage als Doppelpumpenanlage nach dem vorliegenden Konzept aufgebaut werden konnte

In der abschließenden Projektphase wurde die komplette Abdichtungstechnik bestehend aus Mischer, Injektionsanlage, Förderschlauchsystem, Injektionspacker auf dem Firmengelände der SubTech in einem Großversuchsstand erprobt. Der Großversuchsstand bestand aus einer erdgelagerten Kanalstrecke, bei der die einzelnen Kanalrohre mit unterschiedlichen, praxis-relevanten Schadstellen versehen waren. Je Schadstelle wurden die bei der Sanierung verpressten Materialmengen und Verpressdrücke dokumentiert. Nach der Sanierung wurden die injizierten Schadstellen mit einer Kanalkamera optisch kontrolliert. Die Kanalstrecke wurde nach dem Aushärten des Injektionsmaterials freigelegt und die Verpresskörper auf Dichtheit untersucht. Es zeigte sich, dass bei ausreichend zugeführtem Injektionsmaterial – dies ist durch einen schnellen Anstieg des Verpressdrucks gut erkennbar – eine vollständige Abdichtung und Stabilisierung der verschiedenartigen Schadstellen

erreicht werden konnte. Damit konnte die grundsätzliche Eignung der neu entwickelten Injektionsanlage zur Sanierung von schadhafte Abwasserkanälen nachgewiesen werden.

Im 2. Teil des Projekts soll diese neuartige Abdichtungstechnik mit einer Technik zur Dichtheitsprüfung nach dem neuen Regelwerk DWA-M 149-6 kombiniert werden.

Einleitung

Entwässerungssysteme wurden zuerst eingerichtet, um verunreinigtes Wasser abzutransportieren und damit Krankheiten und Seuchen zu verhindern. Bis heute sind weitere Schutzaufgaben hinzugekommen. Kanäle erfüllen diese Schutzaufgaben, indem das Abwasser gezielt und sicher abgeleitet wird. Hierdurch werden der Boden und das Grundwasser geschützt. Die DIN EN 752 „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ [1] legt die Anforderungen, Planung, Hydraulische Berechnung, Umweltaspekte, Sanierung, den Betrieb und den Unterhalt von Abwasserleitungen fest.

Anfänge der Kanalisation waren 1840 in Hamburg, in Berlin und Dresden um 1870, andere Städte folgten etwa zur gleichen Zeit. Erst in den Jahren nach 1965 wurden Steinzeugrohre mit einer abwasserbeständigen Dichtung verlegt. Zuvor wurde die Verbindung zwischen den einzelnen Kanalrohren mit Mörtel, Ton oder einem Teerstrick abgedichtet. Diese so hergestellten Rohrverbindungen sind nicht beständig und heute in hohem Maße undicht. Etwa 35% der Kanalisationen sind vor 1965 verlegt worden [2].

Dieser Umstand wurde von der DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. erkannt und im Jahre 1998 ein erstes Merkblatt zur Dichtheitsprüfung bestehender Abwasserleitungen und -kanäle veröffentlicht [3].

Dieses Regelwerk wurde nun grundsätzlich überarbeitet und 2017 als DWA-M 149-6 veröffentlicht. Besonderes Augenmerk lag bei der Überarbeitung auf der Praktikabilität der Prüfung, der Kosten-/Nutzenseite und der Akzeptanz durch Netzbetreiber.

Um den Anforderungen des Umweltschutzes gerecht zu werden, müssen Abwasserkanäle nach der Feststellung unzulässiger Wasserverluste saniert werden.

Nach DIN EN 752 [1] gliedert man die Vorgehensweisen bei der Sanierung in drei Gruppen:

Reparatur: Behebungsmaßnahme örtlich begrenzter Schäden

Renovierung: Verbesserungsmaßnahme der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und -kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz

Erneuerung: Erstellung neuer Abwasserkanäle und -leitungen in der bisherigen oder neuen Linienführung, wobei neue Anlagen die Funktion der ursprünglichen Abwasserkanäle und -leitungen einbeziehen

Bei undichten Rohrverbindungen handelt es sich um örtlich begrenzte Schäden. Diese lassen sich kostengünstig mit einem Reparaturverfahren sanieren, da hierbei nur die Schadstelle selbst und nicht die komplette Kanalhaltung renoviert oder erneuert wird.

Zur Reparatur von punktuellen oder einzelnen Schäden, insbesondere aber undichter Rohrverbindungen innerhalb einer Haltung, werden Injektionsverfahren eingesetzt. Nach den LAWA Leitlinien ist die durchschnittliche Nutzungsdauer eines reparierten Kanals mit 2 bis 15 Jahren angegeben [4].

Bislang wird bei Injektionsverfahren ein Zweikomponentengel verwendet, welches mit einem Packersystem in die Schadstellen verpresst wird. Die eingesetzten Gele basieren auf Acryl- oder Polyurethan-Harzen. In einem 2001 vom Institut für Baumaschinen u. Baubetrieb der RWTH-Aachen (ibb, heute ibp - Institut für Baubetrieb u. Projektmanagement) durchgeführten Forschungsprojekt, gefördert durch das MUNLV NRW [5], wurde die Beständigkeit von mit Gelen durchgeführten Reparaturen untersucht. Hierbei zeigte sich, dass die Abdichtungen schon nach wenigen Jahren wieder undicht waren. Heute geht man davon aus, dass diese Materialien nur temporär (1 bis 5 Jahre) abdichtend wirken. Weiterhin ist umstritten, ob das Einpressen von Kunststoffen in den Boden aus ökologischen Gründen sinnvoll ist.

Anstatt der Acryl- und Polyurethan-Harze könnten auch mineralische Injektionsmaterialien verwendet werden, hierzu ist aber eine andere Maschinenteknik nötig. Zudem sind einkomponentige mineralische Injektionsmaterialien nachteilig, da sie eine wesentliche Anforderung nicht erfüllen: Das Injektionsmaterial soll einerseits lange verarbeitbar sein, andererseits nach dem Injektionsvorgang schnell erhärten

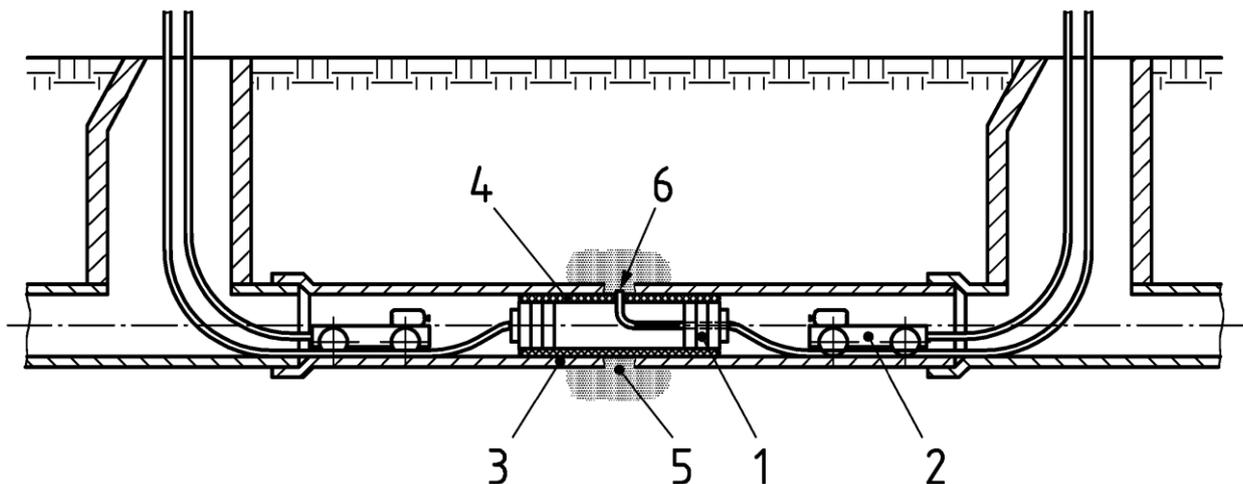


Abbildung 1-1: Injektionsverfahren [6]

In einem umfangreichen Entwicklungsprozess wurde vom ibp ein Injektionsmaterial für die Sanierung von nicht begehbaren Abwasserkanälen entwickelt, welches eine Alternative zu den verwendeten Injektionsmitteln auf Kunstharzbasis darstellt. Um die gegensätzlichen Anforderungen - lange Verarbeitbarkeit vor der Injektion und schnelles Ansteifen nach der Injektion - erfüllen zu können, muss, durch Zugabe eines Erstarrungsbeschleunigers in das mineralische Bindemittel, der Erstarrungsprozess gesteuert werden. Das Mischungsverhältnis bei einer Beschleunigerzugabe im Injektionspacker müsste dann 50 zu

1 sein. Allerdings gibt es keine geeignete Verfahrenstechnik, um den Erstarrungsbeschleuniger im Injektionspacker hinzuzufügen und hierbei eine homogene Verteilung des Beschleunigers zu erreichen. Das Problem wurde behoben, indem ein Zwei-Komponenten-Injektionsmaterial mit einem Mischungsverhältnis der Komponenten von 1:1 entwickelt wurde. Die erste Komponente enthält das Bindemittel, die andere Komponente den Erstarrungsbeschleuniger und die mineralischen Zusatzstoffe. Die einzelnen Komponenten erstarren erst nach einer längeren Zeit. Beide Komponenten bleiben dementsprechend lange pumpfähig und erhärten erst nach dem sie miteinander im Verhältnis 1:1 vermischt werden.

Eine bedeutende Eigenschaft des Materials ist das schnelle Ansteifen unmittelbar nach der Injektion. Diese Eigenschaft erlaubt es, den Injektionspacker schon kurz nach Beendigung des Injektionsvorgangs zur nächsten Rohrverbindung vorzufahren.

Durch die Verwendung eines mineralischen Injektionsmaterials ergeben sich gegenüber den bislang eingesetzten Injektionsgelen auf Kunststoffbasis folgende Vorteile: geringere Kosten, hohe Beständigkeit und eine bessere ökologische Verträglichkeit.

Das Forschungsvorhaben wird in zwei Forschungsabschnitten durchgeführt. Im 1. Forschungsabschnitt soll die komplette Injektionstechnik konzipiert, konstruiert, gebaut und erprobt werden. Im 2. Forschungsabschnitt soll nach erfolgreichem Abschluss des 1. Forschungsabschnitts die Prüftechnik nach dem neuen DWA M 149-6 in die Injektionstechnik integriert werden.

Mit dem vorliegenden Bericht werden die Arbeiten im 1. Forschungsabschnitt „Entwicklung und Erprobung der Injektionstechnik“ dargestellt.

Konzeption der Injektionsanlage

Die Injektionsanlage besteht aus unterschiedlichen, hintereinander geschalteten Komponenten, die nachfolgende Aufgaben erfüllen sollen:

- Anmischen der beiden Injektionskomponenten
- Bevorraten der beiden Injektionskomponenten
- Fördern der beiden Injektionskomponenten (Injektionspumpe)
- Transportieren der beiden Komponenten sowie Steuerung etc. des Injektionspackers (Materialschläuche, Druckluft- und Datenleitungen)
- Homogenisieren und Injizieren des Injektionsmaterials (Injektionspacker)

Kernstück der Injektionsanlage ist die Injektionspumpe. Für die vorliegende Aufgabenstellung, das zeigten die vom ibp mit dem zweikomponentigen mineralischen Material durchgeführten Projekte, ist keine am Markt verfügbare Gerätetechnik lieferbar. Alle bisherigen Versuche zeigten, dass insbesondere die bei Standardgeräten verwendete Ventiltechnik – hier werden Kugelventile eingesetzt - nach längerer Einsatzdauer zu schwerwiegenden Problemen führte. Bei Dauerbetrieb verklebten die Kugelventile mit der Folge, dass die Fördermengen bei den beiden Komponenten stark schwankten und das erforderliche Mischungsverhältnis von 1 : 1 nicht eingehalten wurde. Die Erstarrungsdauer des Injektionsmaterials verändert sich hierdurch gravierend, der Injektionsvorgang ist nicht mehr steuerbar und die Qualität des Injektionsmaterials mangelhaft.

Dies führte zu der Überlegung, bei der Injektionspumpe weitgehend auf Ventile zu verzichten und eine komplette Materialcharge in einem Arbeitstakt zu verpumpen. Hierfür wurden drei unterschiedliche Pumpen-Varianten entwickelt und diskutiert:

1. Pumpzylinder mit einem „Plastik-Sack“,
2. Pumpzylinder mit Dichtlippen,
3. Pumpzylinder mit einem Verdränger-Kolben, Fülltrichter und Schieber.

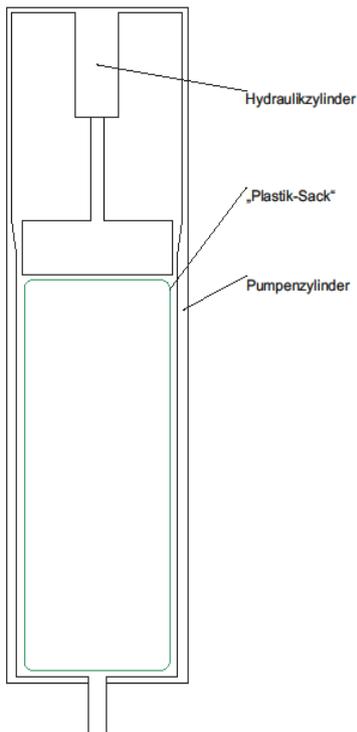


Abbildung 3-1: Variante A

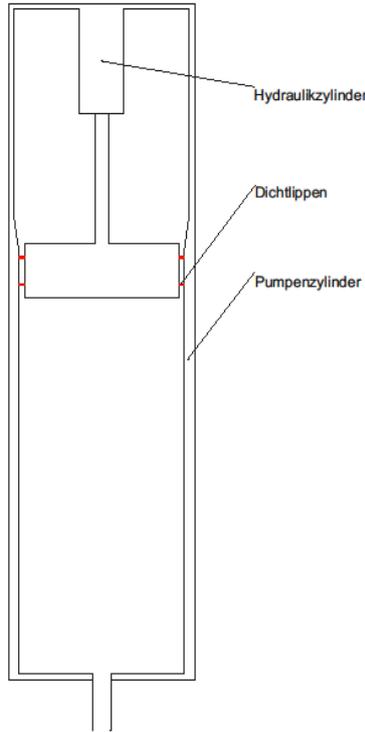


Abbildung 3-2: Variante B

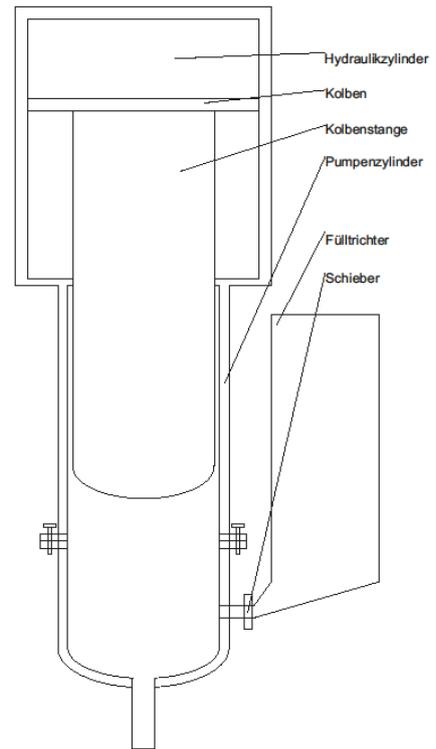


Abbildung 3-4: Variante C

Bei einer kompletten Materialcharge müssen die Pumpzylinder ein Volumen von mehr als 17 dm³ aufweisen, dies ergibt sich aus der standardisierten Anlieferung des Trockenmischguts als 25 kg Sackware und der Wasserzugabe (Tabelle 1).

Tabelle 1: benötigtes Volumen für angedachtes Pumptechnikkonzept

Materialgewicht [kg]:	w/z:	Materialvolumen [dm ³ =l]:	Wasserzugabemenge [dm ³]:	Gesamtgewicht [kg]:	Gesamtes Volumen [dm ³]:
25,00	0,31	9,25	7,75	32,75	17,00

Bei den Varianten A und B zeigte es sich, dass mit Standard-Hydraulikzylindern bei der beschränkten Bauhöhe der Pumpe der erforderliche Förderdruck von 120 bar nicht zu realisieren war. Gegen die Variante C sprach, dass hierfür eine Sonderkonstruktion hätte gefertigt werden müssen, die sowohl den Kosten- als auch den Zeitrahmen bei weiten gesprengt hätte.

bedienenden Person abhängt und insbesondere bei einer der beiden Komponenten einen hohen Mischaufwand erfordert. Zudem ist es zur Reduzierung des zeitlichen Aufwands und der Anzahl der Mischvorgänge vorteilhaft, eine Charge anzumischen, die mindestens der üblichen Gebindegröße des als Sackware angelieferten Trockenmaterials entspricht. Üblicherweise wird das Injektionsmaterial in 25 Kg Gebinden angeliefert. Mit einem 25 kg Sack Injektionsmaterial und dem entsprechenden Anmachwasser erhält man circa 17 Liter Injektionssuspension:

$$V_{\frac{w}{z}=0,31} = \frac{25 \text{ kg} + 25 * 0,31}{1,9} = 17,2 \text{ Liter}$$

Das bedeutet, dass der Mischer mit entsprechender Leistungsreserve in der Lage sein sollte, 20 Liter Injektionsmaterial in einem Mischvorgang aufzubereiten.

Weiterhin sollte die Antriebsleistung möglichst gering sein und dennoch sollte die Mischtechnik einen kolloidalen Partikelauflschluss sicherstellen.

Die Wahl fiel auf ein Gerät der Firma Collomix, Gaimersheim. Der Rotationsmischer AOX-S hat ein Fassungsvermögen von 65 Liter, eine maximale Mischmenge von 40 Liter und einer Leistung von 1,0 kW. Mit dieser Leistung erreicht das Mischwerk 610 Umdrehungen pro Minute bei gleichzeitig drehendem Eimer mit 18 Umdrehungen pro Minute. Die Vorteile des Rotationsmischer AOX-S von Collomix sind:

- der separate Mischkübelantrieb,
- die hohe Mobilität bei geringem Gewicht,
- Abdeckung zur Reduzierung des Staubes,
- die Möglichkeit zum Wechseln des Mischwerkzeuges,
- die schnelllaufende Mischwerkzeuge, zur Erzeugung von hohen Scherkräften,
- die Eignung für verschiedenste Materialviskositäten und
- der Abstreifer für den Rand und Boden



Abbildung 1-1: Collomix Rotationsmischer AOX-S im geschlossenen Zustand



Abbildung 1-2: Collomix Rotationsmischer, Mischwerkzeug und Drehteller

In Abbildung 1-1 und Abbildung 1-2 ist der Collomix Mischer dargestellt. Dieser ist für beide Suspensionen gut geeignet. In Abbildung 1-1 sieht man den Mischer im geschlossenen Zustand (Betriebszustand), in Abbildung 1-2 das verwendete Mischwerkzeug und den unteren Drehteller. Weiterhin ist der Abstreifer, der das Material vom Rand und Boden in die Mitte zum Rührwerk leitet, zu erkennen. Das Rührwerk kann ausgewechselt werden. Das ausgewählte Rührwerk erwies sich bei der Erprobung des Mixers als gut geeignet. Nach einer Korrektur der Abstreiferstellung waren keine Anbackungen und kein Absetzen von Material erkennbar.

1.2 Bevorratung

In den ersten Erprobungen im ibp wurde das Injektionsmaterial nach dem Anmischen in trichterförmigen Vorratsbehältern umgefüllt. Eine nachgeschaltete Pumpe saugt dann das Material aus diesen Behältern durch einen kurzen Schlauch und fördert das Material zum Injektionspacker. Bei diesen ersten Versuchen zeigte sich, dass die Saugseite der Injektionspumpe der Schwachpunkt war, da diese aus physikalischen Gründen nur ca. 0,9 bar Ansaugkraft aufbringen kann und so nur Materialien mit einer ausreichenden fließfähigen Konsistenz in den Pumpzylinder befördert werden konnten.

Das mineralische Injektionsmaterial hat eine thixotrope Fließeigenschaft, das bedeutet, dass nur bei permanenter Rührbewegung im Vorratsbehälter eine Verflüssigung sichergestellt werden kann. Der Einsatz von Rührwerken im Materialbehälter verhindert den Anstieg der Viskosität und stellt sicher, dass sich Injektionsmaterial nicht absetzt und von der Pumpe ohne hohe Saugkraft angesaugt werden kann.



Abbildung 1-3: Bevorratungsbehälter mit Abstreifer-/Rührpaddel

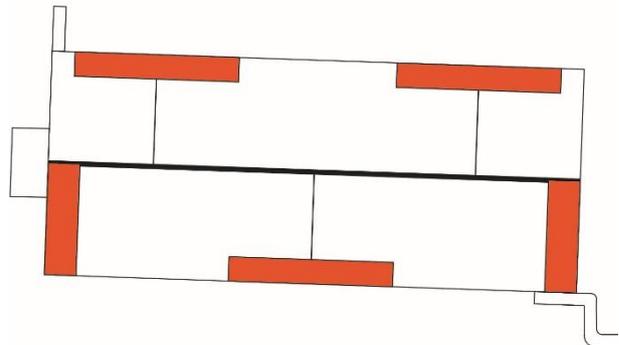


Abbildung 1-4: Anordnung der Abstreifer-/Rührpaddel

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde für die Bevorratung ein schräg angeordneter zylinderförmiger Behälter gebaut, der in der Längsachse eine Antriebswelle aufweist. An diese Antriebswelle wurden verstellbare Mischpaddel angeschweißt, die am Ende Befestigungen für eine Hartgummiplatte aufweisen. Diese Hartgummiplatten streift am gesamten Bevorratungsraum entlang und vermeiden ein Absetzen und Anbacken des Materials. Der Vorratsbehälter hat oben eine groß dimensionierte Öffnung, über die das Injektionsmaterial, welches im Rotationsmischer angemischt wird, direkt aus den mobilen Mischkübeln in den Bevorratungsbehälter eingefüllt werden kann. Im tiefsten Punkt des Vorratsbehälters befindet sich der Auslass, durch den das Material von der Injektionspumpe angesaugt wird. Am höchsten Punkt des Bevorratungsbehälters ist ein Zulauf angebracht. Hierüber kann bei einer Unterbrechung des Injektionsvorgangs – beispielsweise beim Umsetzen des Injektionspackers von einer zur nächsten Schadstelle - das Injektionsmaterial über einen Bypass von der Injektionspumpe im Kreis gepumpt werden. Hierdurch wird bei längeren Stillständen ein Absetzen des Injektionsmaterials vermieden. Nach Abschluss der Injektionsarbeiten wird der Vorratsbehälter mit Klarwasser befüllt und über diesen Bypass die komplette Injektionsanlage gereinigt.

Im Laufe der ersten Versuche hatte sich der Antriebsmotor der Antriebswelle als zu leistungsschwach herausgestellt und wurde gegen einen leistungsstärkeren Motor ausgetauscht.

1.3 Injektionspumpe

Um eine erfolgreiche Sanierung sicherzustellen, ist es erforderlich, dass beide Suspensionen in einem Verhältnis von 1:1 gefördert werden. Weiterhin ist es natürlich vorteilhaft, wenn die Förderung kontinuierlich erfolgt. Bei den im ibp bereits durchgeführten Vorhaben, wobei markverfügbare Geräte eingesetzt wurden, zeigte sich jedoch, dass die bei kontinuierlicher

Förderung notwendige Ventiltechnik sehr anfällig war und oft die Ursache für eine ungleichmäßige Förderung darstellte.

Auf eine kontinuierliche Förderung wurde daher verzichtet. Diese Entscheidung ermöglichte es, statt Kugelventile robuste Druckluft-Schieberventile zu verwenden.



Abbildung 1-5: Einteilige Bevorratungs- und Pumpmaschine für eine Komponente



Abbildung 1-6: Fertiggestellte zweiteilige Bevorratungs und Pumpmaschine für beide Komponenten

Die Anforderung „1 : 1 Förderung“ wurde dadurch umgesetzt, dass zwei über einen Jochbalken parallel angetriebene baugleiche Förderzylinder für die beiden Komponenten eingesetzt wurden. Die Kolbenbewegung der Förderzylinder wird durch jeweils zwei neben den Förderzylindern mit der Jochstange verbundenen Hydraulikzylindern erzeugt. Durch die

gemeinsame Jochstange wird das Injektionsmaterial exakt im gleichen Moment entweder gepumpt oder angesaugt.

Das Fördervolumen beträgt pro Pumpzylinder 1,4 Liter, dies entspricht einem gesamten Fördervolumens von 2,8 Liter pro Hub. Die Geschwindigkeit der Zylinder wurde auf einen Umlauf von 60 Sekunden eingestellt, das entspricht einer Förderleistung von 2,8 Liter/Minute. Hierbei beträgt die Förderdauer ca. 40 Sekunden, die Ansaugzeit ca. 15 Sekunden. Durch eine fünf Sekunden dauernde Pause nach Beenden des Ansaugdurchgangs, kann das beim Ansaugvorgang entstehende Luftvakuum im Zylinder aufgefüllt werden. Durch die intermittierende Förderung kann auch auf die komplizierte und anfällige Mengenmessung des verpressten Injektionsmaterials mittels MID-Messsensoren verzichtet werden. Stattdessen reicht hier ein Zählwerk, das die Kolbenhöhe registriert und je Injektionsvorgang aufzeichnet.

1.4 Steuerungseinheit



Abbildung 1-7: Steuereinheit für Bevorratung- und Pumpeinheit

Die Steuerung des Vorratsbehälters und der Injektionspumpe ist in einem Schaltschrank untergebracht. Die Injektionspumpe kann sowohl manuell gesteuert werden, es können einzelne Ansaug- und Pumphübe ausgelöst werden, als auch auf Automatikbetrieb umgestellt werden, bei dem Ansaug- und Pumphübe automatisch kontinuierlich erfolgen.

Weiterhin können der Hydraulikdruck (bzw. Injektionsförderdruck), die Umlaufgeschwindigkeit des Pump-/Ansaugvorgangs und die Drehzahl im Bevorratungsbehälter gesteuert werden.

1.5 Materialschlauch-, Druckluft/Wasser- und Datenleitungen

Das Injektionsmaterial wird zum Injektionspacker durch 70 m lange Hochdruckschläuche gepumpt. Die Länge der Schläuche ergibt sich aus der üblichen Länge von Kanalhaltungen,

die etwa 50m beträgt. Die Schläuche haben einen Durchmesser von 1,3 cm. Daraus errechnet sich das Speichervolumen pro Komponente zu 9,3 Litern.

$$V_{\text{Schlauch}} = \left(\frac{0,13}{2}\right)^2 * \pi * 700 = 9,3 \text{ Liter}$$

Zusätzlich zu den zwei Materialschläuchen müssen noch eine Wasserleitung zum Reinigen des Statikmischers, ein Druckluftschlauch zur Bedienung des Dreikammerinjektionspackers und ein Datenkabel zur Druckmessung im Packer mitgeführt werden. Die verschiedenen Leitungen werden auf zwei unterschiedlichen dimensionierten Leitungstrommeln bevorratet.

In der Abbildung 4-8 sind beide elektrisch angetriebenen Leitungstrommeln und deren Steuerung dargestellt. Die große Trommel führt die Materialschläuche, das Datenkabel und den Wasserschlauch. Die kleine Trommel führt den Druckluftschlauch. Bei beiden Trommeln wird die Material-, Wasser-, Daten- und Luftdruckzuführung über axial angeordnete Drehdurchführungen sichergestellt. Für den mobilen Einsatz der Sanierungsanlage sind die Schlauchtrommeln in einem Anhänger installiert.



Abbildung 1-8: Leitungstrommeln auf dem Einsatzwagen der Firma Subtech in Goch

1.6 Injektionspacker

Zur Sanierung von undichten Rohrverbindungen in DN 300 wurde ein Drei-Kammer-Injektionspacker gebaut.

Der Injektionspacker, der ursprünglich zur Verpressung von Kunstharzen eingesetzt wird, musste für die Injektion von zementbasierten Material weitergehend modifiziert werden. Die

Materialleitung im Injektionspacker wurde auf 19 mm Durchmesser erweitert, damit der Durchfluss des zementbasierten Injektionsmaterials gewährleistet werden kann. Zur Druckverlustminimierung wurde ein 90°-Winkel in der Materialleitung durch einen Rohrbogen mit größerem Radius ersetzt. Hierfür wurde die Baulänge des Injektionspackers verlängert.

Der Injektionspacker hat drei Kammern, die mit Druckluft beaufschlagt werden können. Die äußeren beiden Kammern werden mit Druckluft aufgestellt, nachdem der Packer positioniert wurde. Die äußeren Kammern legen sich dicht an die Rohrwandung an und verhindern, dass das Injektionsmaterial in die Rohrleitung gelangt. Die mittlere Kammer wird nur leicht an die Rohrwandung angelegt. Über den so entstehenden Ringraum wird anschließend das Injektionsmaterial in die Schadstelle injiziert. Durch eine Injektionsdruckmessung wird der Injektionsvorgang überwacht. Der Injektionsdruck wird hierbei unmittelbar vor der Austrittsöffnung mit einem ringförmigen Membrandrucksensor gemessen. Die gewonnenen Daten werden kontinuierlich über das Datenkabel an den Aufzeichnungsrechner übertragen.

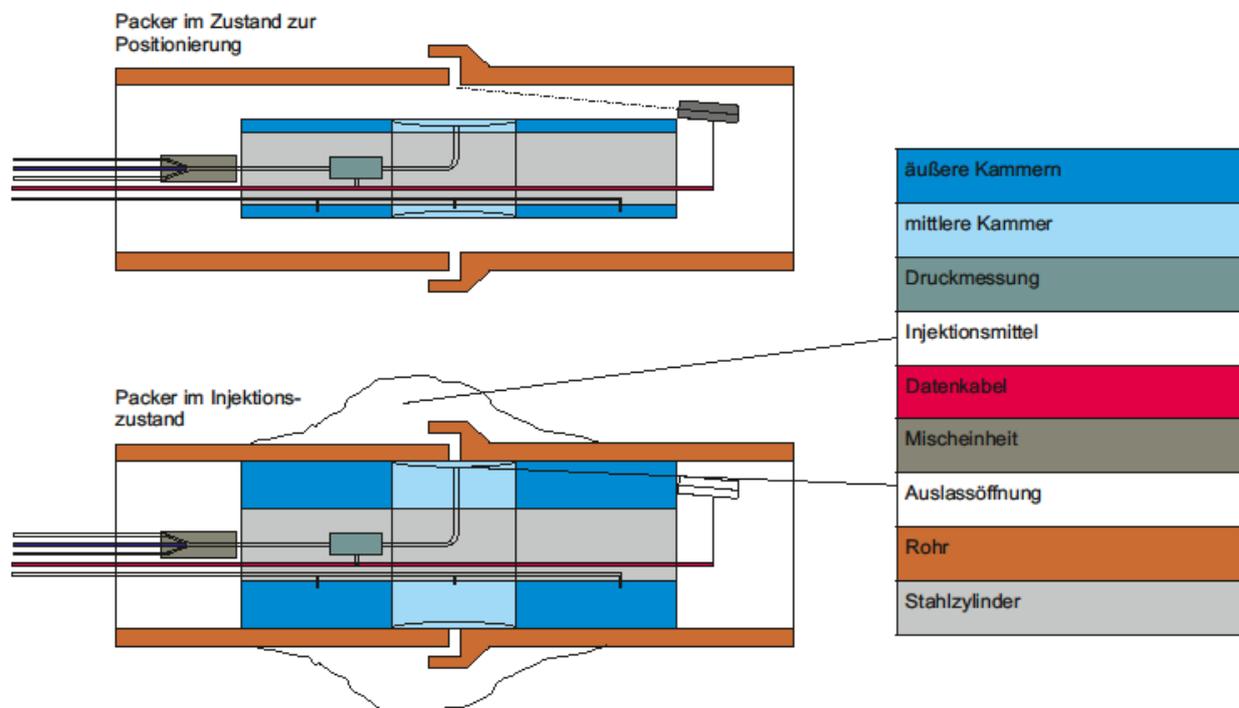


Abbildung 1-9: Injektionspacker bei der Positionierung und im Betriebszustand

Zur genauen Positionierung des Packers an der Schadstelle wurde eine Kamera nebst Beleuchtung installiert. Das Kamerabild wird auf einen Monitor übertragen und ermöglicht es, dem Bediener den Packer positionsgenau an der Schadstelle zu platzieren.



Abbildung 1-10: Injektionspacker

Abbildung 4-10 zeigt den Injektionspacker für das Verpressen von zementbasiertem Material. Links sieht man die Kamera- und Beleuchtungseinheit, mittig die Injektionsöffnung und an den beiden Enden die Räder, auf denen der Packer im Rohr bewegt wird. An den Verfärbungen der Packerhaut ist zu erkennen, in welchen Bereichen sich die zwei außenliegenden Kammern befinden, die die Packerhaut an die Rohrwandung anpressen.

Innerhalb des Packers müssen die beiden Komponenten kurz vor dem Austreten aus der Injektionsöffnung homogenisiert werden. Da innerhalb des Packers hierfür nur wenig Platz vorhanden ist, kann dies nicht durch einen aktiv angetriebenen Mischer, sondern muss platzsparend mittels eines statischen Wendelmischer erfolgen.

Die links- und rechtsgängigen Elemente eines Wendelmischer führen zu einem stetigen Wechsel der Rotationsrichtung der beiden den Mischer durchströmenden Komponenten. Durch diese Drehung und die versetzte Anordnung der Mischerwendeln wird eine Stromteilung, Radialmischung und Turbulenzmischung des Materials erreicht.

Das Mischprinzip ist in Abbildung 4-11 zu dargestellt.



Abbildung 1-11: Wirkungsprinzip eines Wendelmischer nach BERNHARDT [7]

Vorteilhaft bei der Verwendung von Wendelmischern ist, dass diese bei guter Mischleistung nur einen niedrigen Druckverlust aufweisen.

Direkt nach jedem Injektionsvorgang muss der Wendelmischer mit Wasser gründlich gespült werden, damit das darin befindliche homogenisierte Injektionsmaterial nicht ansteift und den

Mischer verstopft. Hierzu wird über eine Zuleitung Frischwasser in den Packer geleitet. Ein Druckluftventil öffnet dann und gibt einen Ablauf hinter dem Mischer frei durch den die ca. 50cm³ Restmaterial aus dem Mischer ausgespült werden. Danach kann der Packer an der nächsten Schadstelle positioniert werden.

In Versuchen wurde ein statischer Wendelmischer mit einem Durchmesser von 13 mm gewählt und in ein durchsichtiges Kunststoffrohr eingesetzt, damit bei der Bergung des Packers zu erkennen ist, ob sich im Mischer Ablagerungen gebildet haben. Es zeigte sich, dass der Spülwasserzulauf, sowohl was den Spüldruck, als auch was die Durchflussmenge anbelangt, ausreichend dimensioniert wurde.

2 Versuchsaufbau, -durchführung und -ergebnisse

Aus Zeit- und Kostengründen, aber auch weil mit Nachbesserungen bei der Gerätekonzeption zu rechnen war, wurden zuerst nur Teilkomponenten der Bevorratungs- und Pumpentechnik gebaut und getestet. Nach erfolgreicher Erprobung der Teilkomponenten wurde die komplette Bevorratungs- und Pumpenanlage herbestellt und erprobt. Im letzten Schritt wurde dann in einem praxisnahen Großversuchsstand, in dem diverse Schadstellen nachgestellt wurden, die Injektionstechnik unter weitgehend realen Verhältnissen getestet.

2.1 Untersuchung der Teilkomponenten

Für die Erprobung der Bevorratungs- und Mischtechnik wurde zuerst nur eine Hälfte der Anlage aufgebaut und mit beiden Materialkomponenten erprobt. Zuerst wurde der Dauerbetrieb untersucht. Hierbei wurde das Material 90 Minuten lang im Kreis gepumpt. Danach wurde ein intermittierender Betrieb getestet, mit dem ein üblicher Sanierungsvorgang simuliert wurde. Das Material wurde über einen längeren Zeitraum abwechselnd 10 Minuten nur im Bevorratungsbehälter gerührt und dann zwei Minuten gepumpt.

Diese Untersuchungen wurden nacheinander mit beiden Komponenten durchgeführt, wobei jeweils zwei unterschiedlichen Material-Viskositäten eingestellt wurden. Die Mischungen wurden im Rotationsmischer hergestellt. Der Wasser-/Feststoffwert (W/F-Wert) der Suspensionen wurde mit dem Sollwert von 0,31 eingestellt, zusätzlich wurde ein W/F-Wert von 0,33 erprobt, von dem man sich eine mögliche Verbesserung der Verarbeitbarkeit versprach. Der Rotationsmischer erwies sich im Betrieb als gut geeignet. Der Mischer homogenisierte das Wasser-Feststoffgemisch schon in kurzer Mischzeit, es blieben keine Reste am Rand oder am Boden des Mischbehälters kleben. Zudem ließ er sich nach der Nutzung schnell und leicht reinigen.

Der Dauerbetrieb, bei dem die Suspension durchgehend im Kreis gepumpt wurde, wurde auf 90 Minuten festgelegt. Hierbei wurde der Pumpbetrieb kontinuierlich kontrolliert, die Temperatur und Viskosität (gemessen mit einem Marshtrichter) der Suspension wurde während des Dauerbetriebes durchgängig gemessen.

Die Temperaturentwicklung betrug bei der B- Komponente (WF-Wert 0,31) 15,4°C am Anfang und 21,6°C zum Ende des Versuches. Die Viskosität entwickelte sich mit der Zeit und der Temperatur von schnell fließend zu zähflüssig, das heißt, dass sich die Ausflussdauer von 35 Sekunden am Anfang des Tests auf 70 Sekunden nach 90 Minuten erhöhte. Dies kann auch teilweise dadurch begründet sein, dass die Anlage nicht vorher mit Wasser durchgespült worden war. In diesem Fall entziehen die trockenen Wände des Bevorratungsbehälters und der Schläuche dem Injektionsmaterial Wasser, was zu einer Erhöhung der Viskosität führt.

Bei der Z-Komponente entwickelte sich die Temperatur von anfänglichen 13°C zu 23°C nach 90 Minuten im Dauerbetrieb. Die Durchlaufzeit durch den Marshtrichter entwickelte sich im Vergleich zu der Komponente B umgekehrt: Hier lag die Durchflussdauer am Anfang bei 150 Sekunden und am Ende der Erprobung bei 62 Sekunden.

Mit diesen Tests konnte die grundsätzliche Eignung des Bevorratungsbehälters und der Injektionspumpe nachgewiesen werden. Auch bei der Erzeugung eines künstlichen Gegendrucks von ca. 80bar durch Verkleinerung des Querschnitts in der Förderleitung traten an der Injektionspumpe und dem Druckluftschieber keine Probleme auf. Daher wurde im nächsten Schritt die komplette Anlage für beide Komponenten aufgebaut.

2.2 Untersuchung der kompletten Bevorratungs- und Pumpanlage

Der zweite Testlauf wurde mit der komplett fertiggestellten Anlage durchgeführt. Der W/F-Wert wurde bei beiden Komponenten auf 33% erhöht. Über die Zeit des Dauerbetriebs stieg die Temperatur bei der Komponente B von 14,8°C auf 19,8°C und bei der Komponente Z von 18,2 zu 20,9°C. Die Viskosität veränderte sich bei beiden Komponenten über den 90 minütigen Dauerbetrieb nur geringfügig. Bei der Komponente B wurde die Durchlaufzeit am Beginn zu 30 am Ende zu 27 Sekunden gemessen. Bei der Z-Komponente wurde zu Beginn eine Auslaufzeit von 88 Sekunden, nach 90 Minuten Testdauer 74 Sekunden gemessen. Auch hier zeigte sich keine wesentliche Veränderung der Konsistenz.

Nach Ablauf der 90 Minuten wurden noch 3 Erstarrungstests durchgeführt, bei denen die beiden Komponenten vermischt wurden und ihre Reaktivität geprüft wurde. Hier lag die Erstarrungsdauer (Material „bruchfest“) nach der Homogenisierung der beiden Komponenten zweimal bei 4 und einmal bei 4,5 Minuten. Eine signifikante Veränderung der Reaktivität auch nach 90-minütiger Umlaufzeit trat somit nicht ein.

Der intermittierende Betrieb wurde über eine Dauer von 75 Minuten simuliert. Es wurde in Intervallen von jeweils zehn Minuten pausiert, in denen nur das Rührwerk das Material in Bewegung hielt und zwei Minuten mit einem Gegendruck von 40 bar gepumpt. Um diesen Betrieb möglichst praxisnah zu simulieren, wurde am Anfang 10 Minuten gepumpt, um das Schlauchpaket zu befüllen. Danach wechselte der Pumpbetrieb von 2 Minuten und einer Pause von jeweils 10 Minuten. Zum Schluss wurden 5 Minuten zum Abpumpen des Materials angenommen und der intermittierende Betrieb beendet. Temperatur und Viskosität wurden auch bei diesem Betrieb gemessen und protokolliert.

Die ersten beiden intermittierenden Betriebe mit der B- und Z-Komponente wurden mit einem W/F-Wert von 0,31 durchgeführt. Danach wurde der W/F-Wert für die Z-Komponente auf 0,33 erhöht, da die Konsistenz bei 0,31 sehr steif erschien.

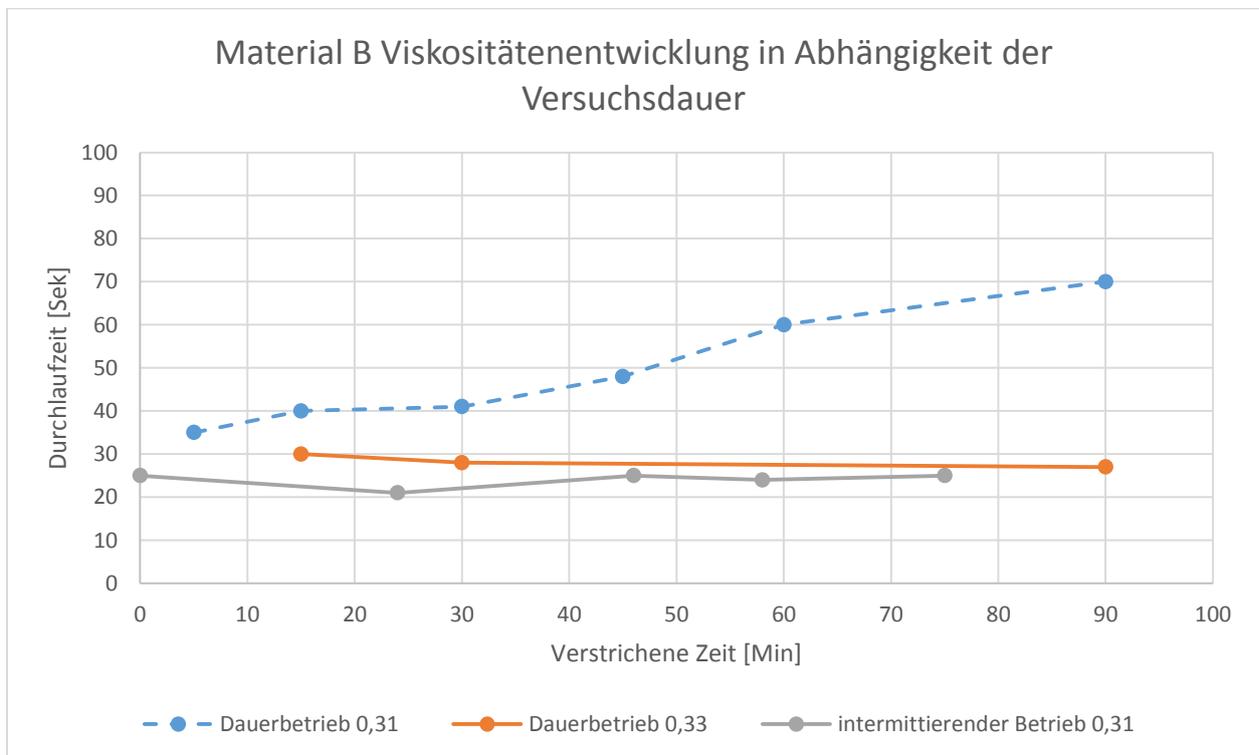


Abbildung 5-1: Viskositätsentwicklung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (B)

Die B-Komponente der Zwei-Komponenten-Suspension zeigte bei dem ersten Durchlauf eine steigende Durchlaufzeit bei der Prüfung mit dem Marshtrichter. Die Durchlaufzeit entwickelte sich von 35 Sekunden nach fünf Minuten bis zu 90 Sekunden nach 70 Minuten. Dies kann damit begründet werden, dass die Maschine vorher nicht mit Wasser gespült wurde. Bei den folgenden Versuchen war der Wert gleichbleibend im Bereich von 25 bis 30 Sekunden Durchlaufzeit.

Die Z-Komponente hingegen zeigt bei einer längeren Bevorratung bei allen Testläufen eine deutliche Veränderung in der Durchlaufzeit. Diese beträgt bei einem W/F-Wert von 0,31 am Anfang ca. 150 Sekunden, sie sinkt bei einer Erhöhung des W/F-Wertes auf 0,33 auf unter 120 Sekunden, was für die Pumpbarkeit und die Bevorratung vorteilhaft ist. Durch die Erhöhung des W/F-Wertes entsteht weniger Reibung in den Schläuchen und das Material lässt sich leichter pumpen. Dies wirkt sich auch positiv auf die Temperaturerhöhung des Materials bei längerer Bevorratungsdauer aus, die bei niedriger Viskosität geringer ausfällt

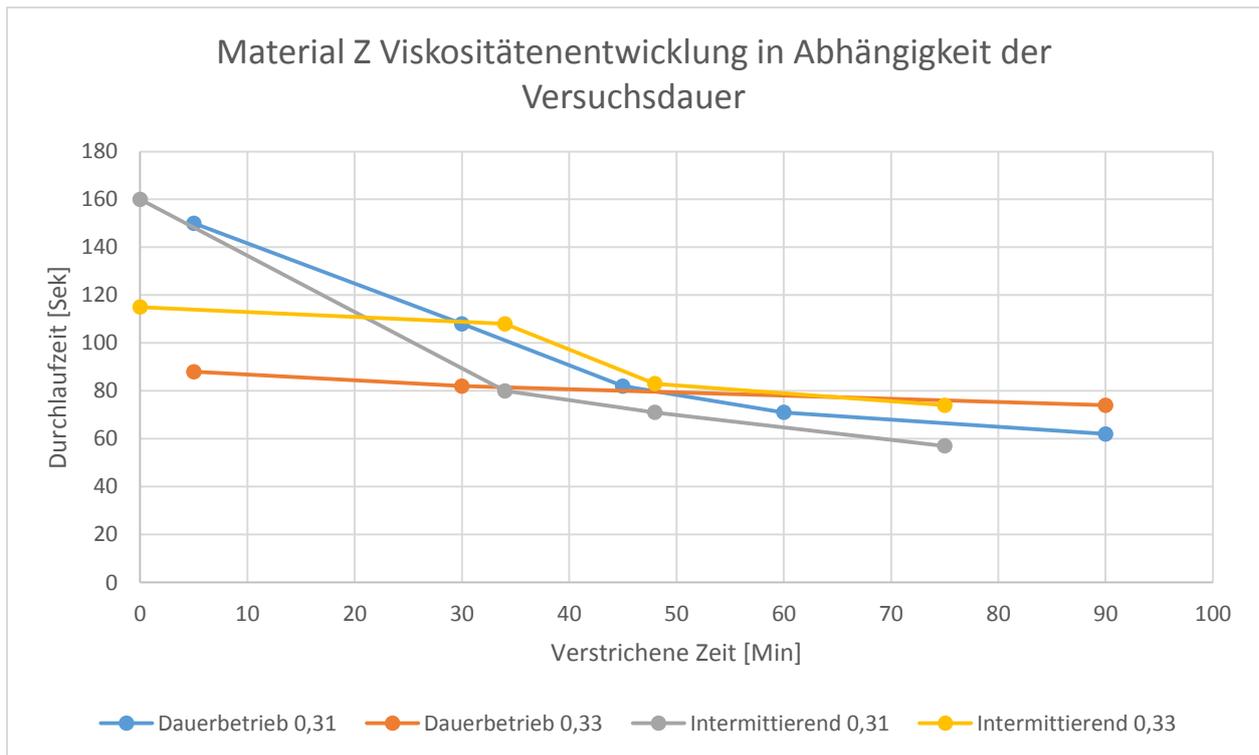


Abbildung 5-2: Viskositätsentwicklung in Abhängigkeit der Versuchsdauer (Z)

2.3 Optimierung der Injektionsanlage

Bei den Testreihen traten unterschiedliche Probleme auf. Diese und die hierzu entwickelten Lösungsansätze werden nachfolgend dargestellt.

- Das Rührwerkzeug des Rotationsmischers tauchte beim Anmischen einer 25 -kg-Sackmischung nicht ganz ein. Somit wurde Mischwirkung nicht zu 100% ausgenutzt.

Lösung: Durch eine Sonderkonstruktion des Rührwerkes für den Rotationsmischer könnte die volle Mischkraft genutzt werden oder es müssen direkt zwei 25kg Säcke angemischt werden. Letztere Lösung sollte im Praxisbetrieb erprobt und beurteilt werden.



Abbildung 5-3: Rotationsmischer-Mischer nach dem Vermischen der Z-Komponente

- Am Anfang des Dauerbetriebes war eine Hartgummidichtung zur Abdichtung an der Verschlussklappe verbaut. Diese schloss den Bevorratungsbehälter nicht dicht ab und es trat Material an der Klappe aus.

Lösung: Durch das Anbringen eines weicheren Gummis wurde die Dichtigkeit des Bevorratungsbehälters sichergestellt.



Abbildung 5-4: Bevorratungsbehälter mit Hartgummidichtung

- Das Hydrauliköl wurde nach längerem Dauerbetrieb heiß.

Lösung: Einbau eines Ölkühlers.

- Die Drehzahl der Rührpaddel verringerte sich bis zum Stillstand, wenn die Pumpkolben das Injektionsmaterial aus dem Vorratsbehälter ansaugten. Dies führte zu einer ungenügenden Durchmischung der Suspensionen im Bevorratungsbehälter.

Lösung: Verwendung eines stärkeren Hydraulikmotors.

- Diverse Stellen, an denen sich Material ablagerte:
 - a) Im Zylinder an der Pumpenauslass-/Ansaugstelle
 - b) In der Auslassstelle des Bevorratungsbehälters
 - c) Vermehrt im Schlauch bei der Z-Komponente mit einem w/z-Wert von 0,31

Lösung:

- a) Eine glatte, korrosionsfeste Beschichtung (Verchromung) verhindert, dass sich Rost bilden kann und sich daran Material absetzt.
- b) Die Auslassstelle sollte strömungstechnisch optimiert werden.
- c) Der W/F-Wert der Z-Komponente sollte auf 33% angehoben werden.



Abbildung 5-5: Pumpenauslass-/Ansaugstelle



Abbildung 5-6: Bevorratungsauslassstelle



Abbildung 5-7: Verbindungsschlauch zwischen Bevorratung und Pumpe

- Der Pumpzylinder entlüftete beim Ansaugen der Z-Komponente nicht vollständig, mit der Folge, dass die beiden Komponenten nicht exakt im 1 : 1 Mengenverhältnis gepumpt wurden.

Lösung: Durch eine Verweilpause des Kolbens im höchsten Punkt bei Ansaugen des Materials konnte das Vakuum im Zylinder soweit minimiert werden, dass das erforderliche Mischungsverhältnis eingehalten wird.

2.4 Untersuchung des Erstarrungsverhaltens des Injektionsmaterials nach längerer Bevorratungszeit

Die Erstarrungsdauer des Injektionsmaterials ist die Zeitspanne, die zwischen der Vermischung der beiden Komponenten bis zur Erreichung der Grünstandsfestigkeit (Erstarrung) vergeht. Nach der Erstarrung des Injektionsmaterials kann der Injektionspacker von der verpressten Schadstelle entfernt werden, ohne dass sich das frisch injizierte Injektionsmaterial ablöst. Die Reinigung des Wendelmischers mittels Wasserspülung kann hingegen nur so lange erfolgen, wie das Injektionsmaterial noch nicht erstarrt ist. Aus Sicherheitsgründen sollte der Wendelmischer daher spätestens nach der halben Erstarrungsdauer gereinigt werden. Die genaue Kenntnis der Erstarrungsdauer ist also eine wesentliche Kenngröße zur sichern Steuerung des Injektionsvorgangs.

Die Untersuchung der Erstarrungsdauer wurde im ersten Schritt mit einer manuellen Zwei-Komponenten-Spritze (Abbildung 5-8 und Abbildung 5-9) durchgeführt.



Abbildung 5-8: Zwei-Komponenten-Spritze



Abbildung 5-9: Zwei-Komponenten-Spritze Seitenansicht

Untersucht wurde die Entwicklung des Erstarrungsverhaltens über einen längeren Bevorratungszeitraum. Beim der Verwendung einer manuellen Zweikomponenten-Spritze stand allerdings zu vermuten, dass sich das Material in der Spritze absetzte und nicht mehr homogen aus der Spritze austrat. Diese Versuche werden daher als gestrichelte Linien in Abbildung dargestellt.



Abbildung 5-10: Zulaufseite des Mischkopf



Abbildung 5-11: Auslauf Mischkopf

Bei den darauf folgenden Versuchen stand die Pumpanlage zur Verfügung. Hierbei wurde ein Mischkopf eingesetzt, der dem im Packer verbauten Mischer entsprach. Die Abbildung und Abbildung zeigen den Mischkopf mit den beiden äußeren Anschlüssen für die beiden Materialkomponenten, dem mittleren Zulauf für die Wasserzufuhr und dem Auslauf an den der Wendelmischer angeschlossen wird. Nach jedem Pumpdurchgang wurde der statische Wendelmischer mittels Wasserspülung gereinigt.

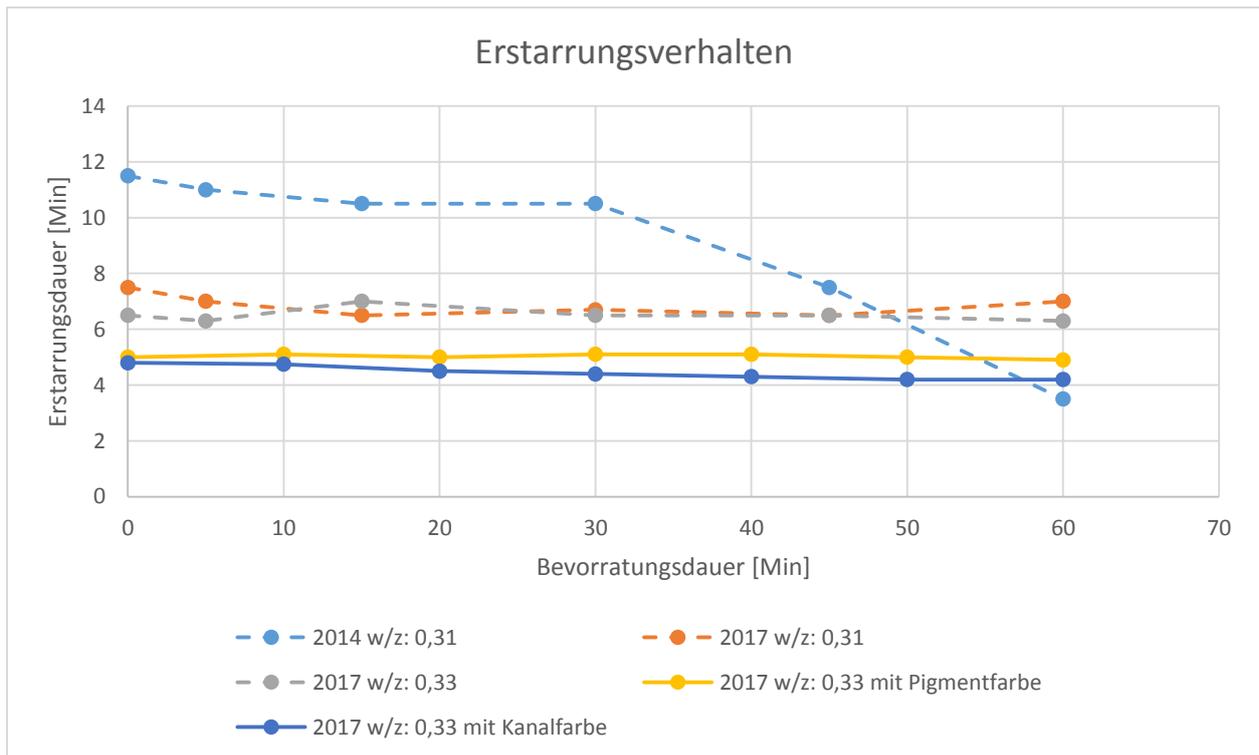


Abbildung 5-12: Erstarrungsverhalten des Injektionsmaterials

Das ältere Material, welches 2014 hergestellt wurde, zeigte eindeutig am Anfang längere Erhärtungszeiten als nach 60 –minütiger Bevorratungsdauer. Dies zeigt, dass älteres Material in seinem Erstarrungsverhalten stark variiert und für eine Kanalsanierung nicht mehr verwendbar ist.

Das neuere Material verhielt sich recht konstant und zeigte keine großen Veränderungen bei der Erstarrungsdauer. Auch zeigten die Untersuchungen, dass bei einer Veränderung des W/F-Wert von 0,31 auf 0,33 die Erhärtungsdauer sich nur unwesentlich verändert und somit keine Auswirkungen auf Injektionsablauf hat.

2.5 Untersuchung der Mischqualität des statischen Wendelmischers

Zur Untersuchung der Mischqualität des Wendelmischers wurde eine Materialkomponente eingefärbt. Eingesetzt wurde der Mischkopf mit dem nachgeschalteten Wendelmischer. Das hiermit vermischte Injektionsmaterial wurde in kleine Kunststoffbecher gefüllt. Die erhärteten Probekörper wurden dann optisch dahingehend untersucht, ob sie eine gleichmäßige Farbgebung oder eine Marmorierung aufwiesen.

Es wurden zwei unterschiedliche Färbemittel eingesetzt: Beim ersten Versuch wurde eine rote Pigmentfarbe verwendet und beim zweiten Versuch wurde Kaliumpermanganat in die B-Komponente eingemischt.



Abbildung 5-13: B-Komponente mit Kaliumpermanganat



Abbildung 5-14: B-Komponente mit Kaliumpermanganat nach einer 15-minütigen Bevorratung

Das Kaliumpermanganat färbte die Suspension am Anfang deutlich erkennbar in einem Rotton (siehe Abbildung), jedoch verlor die Suspension nach ungefähr 10 bis 15 Minuten die auffällige Farbe und wurde wieder grau (siehe Abbildung).

Die Pigmentfarbe behielt ihre Farbe. An den Prüfkörpern konnten keine signifikanten Marmorierungen oder Schlierenbildungen erkannt werden, was darauf schließen lässt, dass der verwendete Wendelmischer zu einer guten Mischqualität führt.

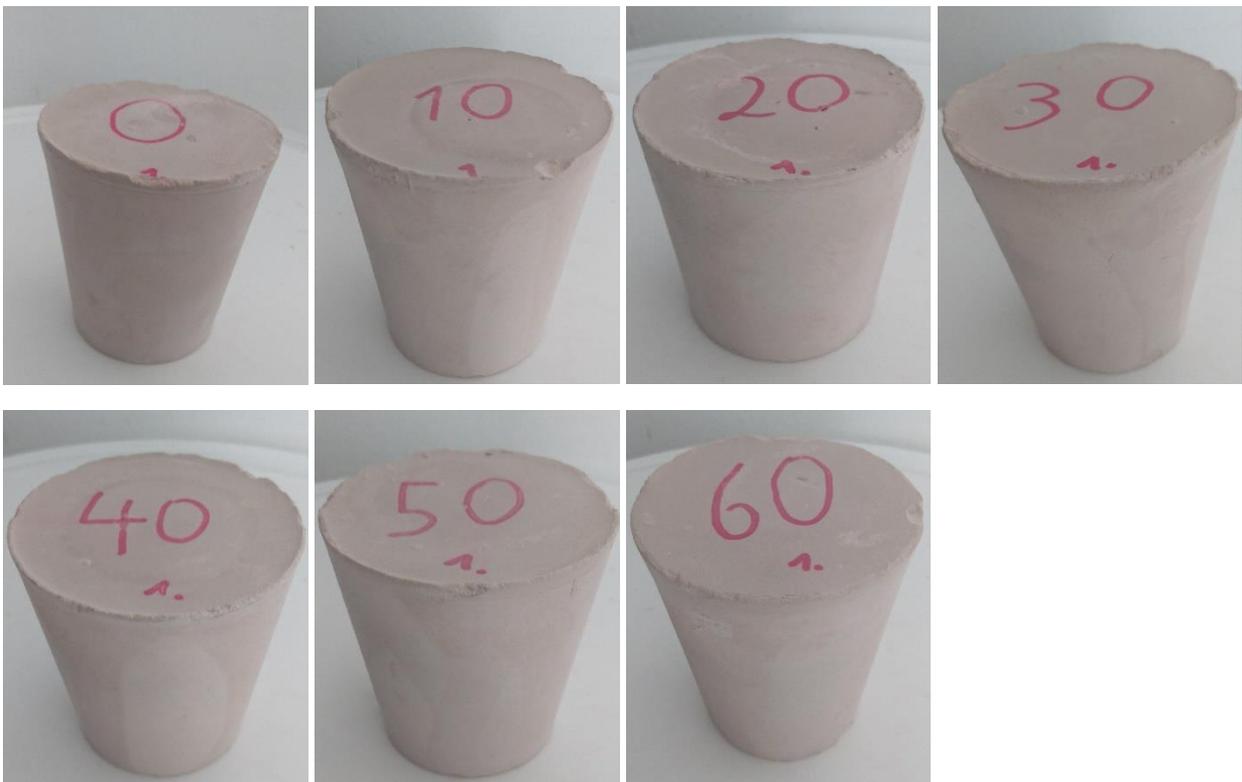


Abbildung 5-15: Untersuchung der Mischqualität mit Pigmentfarbe

3 Umsetzung und Erprobung des ausgewählten Gerätekonzepts

Nachdem in ersten Untersuchungen die Eignung der Maschinentechnik unter verschiedenen Rahmenbedingungen erfolgreich getestet wurde, wurde die Praxistauglichkeit der kompletten Verfahrenstechnik in einem Großversuchsstand auf dem Gelände der Firma Subtech erprobt.

Auf die ursprünglich geplante Insitu-Erprobung wurde bewusst verzichtet, da hierbei eine Erfolgskontrolle mittels Dichtheitsprüfung - die erst im 2. Teil des Forschungsprojekt entwickelt werden soll – nicht möglich gewesen wäre. Bei den Versuchen im Großversuchsstand ist es hingegen möglich, die sanierten Schadstellen freizulegen und eingehend optisch auf ihre Qualität hin zu beurteilen. Die geplanten Insitu-Erprobungen sollen daher erst im 2. Teil des Forschungsprojekts durchgeführt werden.

Der Großversuchsstand bestand aus einer mit verschiedenen Schadstellen präparierten Kanalhaltung, die in mit Sandboden befüllten Boxen eingebaut wurde.

Die Versuche fanden in folgenden Teilschritten statt:

1. Präparieren der Steinzeugrohre
2. Einbau des Bodens in die Boxen als Rohraufleger
3. Einbau der präparierten Steinzeugrohre/PVC-Rohre
4. Umwickeln der Schadstellen mit Vlies und Anbringung der Spanngurte
5. Einbau des restlichen Bodens mit einer Überdeckung von 20 cm
6. Injektion der Schadstellen
7. Freilegen der sanierten Rohrstellen und optische Kontrolle.

3.1 Versuchsaufbau

Die Kanaltteststrecke bestand aus DN 300 Steinzeugrohren und einem DN 300 PVC-Rohr, die in zwei hintereinanderliegenden Boxen, deren Längswände verschlossen und geöffnet werden können, verlegt und mit erdfeuchtem Sand überschüttet wurden. Jede Box hatte eine Länge von drei Metern.

Es wurden insgesamt acht Schäden im Bereich von Rohrverbindungen präpariert. Diese wurden in folgender Reihenfolge angeordnet:

1. Halber Dichtring fehlt, der vorhandene Dichtring wurde nach unten hin angeordnet
2. Längsriss von 20 cm in der Rohrverbindung, dieser wurde seitlich angebracht
3. Fehlendes Rohrteil von der Größe 20 cm x 10 cm, nach oben hin positioniert
4. Rohrverbindung ohne jeglichen Dichtring
5. Rohrstoß, Steinzeugrohr auf PVC-Rohr
6. PVC-Rohr in Steinzeugmuffe mit einem Spaltmaß 2 bis 3 cm
7. Rohrstoß, Steinzeugrohr auf Steinzeugrohr

8. Dichtring wurde zweimal 10 cm entfernt und gegenüberliegend angeordnet, oben und unten sind die fehlenden 10 cm.



Abbildung 6-1:
Rohrverbindung mit
halbem Dichtring



Abbildung 6-2:
Längsriss von 20 cm



Abbildung 6-3:
Fehlendes Rohrteil



Abbildung 6-4: komplett
fehlender Dichtring



Abbildung 6-5:
Rohrstoss Steinzeug
auf PVC



Abbildung 6-6: PVC in
Steinzeugrohrmuffe



Abbildung 6-7:
Rohrstoss, Steinzeug
auf Steinzeug



Abbildung 6-8: Dichtring
fehlt 2 x 10 cm

Die Rohre wurden mit Steinen und Sand auf die entsprechende Höhe gebracht, damit eine horizontale Höhe gehalten wird.



Abbildung 6-9: Schaden 1 bis 4 im Versuchsstand



Abbildung 6-10: Schaden 5 bis 8 im Versuchsstand

Nachdem die Schadstellen in der Teststrecke eingebracht worden waren, wurde ein Vlies um diese Schäden gewickelt. Dieses Vlies wurde dann mit Spanngurten verspannt. Das Vlies dient der Simulation des üblichen Erddrucks bei erdüberdeckten Kanälen, der bei einer Bodenüberdeckung von 20 cm in der Versuchskiste ohne Verdichtung nicht gegeben ist.



Abbildung 6-11: mit Vlies umwickelt und verspannte Rohrschäden (1-4)



Abbildung 6-12: mit Vlies umwickelt und verspannte Rohrschäden (5-8)

Nach dem Umwickeln der Schadstellen mit Vliesstoff wurde die Teststrecke mit Sand überdeckt.



Abbildung 6-13: Rohrleitung mit Sandüberdeckung (1-4)



Abbildung 6-14: Rohrleitung mit Sandüberdeckung (5-8)

Für die Versuche wurde die Pump- und Bevorratungstechnik mit der in einem Anhänger eingebauten, auf Schlauchtrommeln bevorrateten Materialleitungen verbunden. Gesteuert wurde die Pumpanlage mit Hilfe einer im Anhänger untergebrachten Steuereinheit. Dadurch konnte die gesamte Anlage von einer Person bedient und kontrolliert werden. Für das Vermischen der Materialien wurden die beiden Collomix-Mischer und für die Injektion der Packer DN 300 eingesetzt.



Abbildung 6-15: Sanierungsanhänger mit Schlauchtrommeln und DN 300 Packer



Abbildung 6-17: Bevorratungs- und Pumptechnik mit Anschlüssen an den Sanierungsanhänger



Abbildung 6-16: Sanierungsgerätaufbau für Versuche

Die Abbildung 6-15, Abbildung 6-16 und Abbildung 6-17 zeigen den Aufbau der Maschinenteknik für den Einsatz zur Reparatur der simulierten Schadstellen.

3.2 Versuchsdurchführung

Durch das im Bereich der Schadstellen angebrachte Vlies sollte die Injektionsmenge auf ca. 10 Liter – so die theoretische Nachrechnung – begrenzt werden. Geplant war deshalb, dass in einem Injektionszyklus je Schadstelle verpresst werden sollte.

Tabelle 2: Versuchsaufzeichnungen

Nr.	Fehler	Zeit [Min]			Zylinderhübe Pumpe	Eingebrachte Menge [l]
		Pumpen	Standzeit Packer	Umsetzen Packer		
1	halber Dichtring fehlt	4	15	10	3	8,4
2	Muffenlängsriss 20 cm	6	15	10	4	11,2
3.1	Fehlendes Rohrteil 20 x 10 cm	12	15	-	7	19,6
3.2		9	15	-	5	14

Tabelle zeigt den zeitlichen Ablauf und den Injektionsmaterialeinsatz für die ersten drei Schadstellen. Neben den Pump-, Stand- und Umsetzzeiten wurde die eingebrachte Zylinderhubanzahl festgehalten, aus der sich die eingebrachte Menge des Materials errechnet.

Bei der ersten Schadstelle trat Injektionsflüssigkeit am Ende der Materialbox an der Aussparung für die Rohre aus. Es wurde vermutet, dass es eine Undichtheit im Bereich der Vliesummantelung gab und hierdurch Injektionsmaterial außen am Rohr entlang floss und aus der Box austrat. Ein messbarer Gegendruck (Injektionsdruck am Packer) konnte nicht aufgebaut werden. Nach dem Austritt der Flüssigkeit wurde der Verpressvorgang an der 1. Schadstelle beendet.

Auch bei der Injektion der 2. Schadstelle trat - wenn auch im geringeren Maße - Injektionsmaterial an der Box aus. Auch hier wurde nur ein sehr geringer Anstieg des Injektionsdrucks registriert, bevor der Injektionsvorgang beendet wurde.

Die 3. Schadstelle wurde daher in zwei Zyklen verpresst, da auch hier während des ersten Injektionsvorgangs Material aus der Versuchsbox austrat. Zwischen den Verpresszyklen wurde eine Pause von 15 Minuten eingelegt. Insgesamt wurden an der 3. Schadstelle 33,6 Liter Injektionsmaterial verpresst.

Hiernach musste die Erprobung abgebrochen werden, da wider Erwarten die noch zur Verfügung stehende Materialmenge für die Sanierung der übrigen Schadstellen nicht mehr ausreichte. Zudem sollte die Fließumhüllung an den restlichen Schadstellen nochmals geprüft werden, da sich gezeigt hatte, dass Injektionsmaterial aus der Versuchsbox austrat.



**Abbildung 6-18: Sanierung der ersten Schadstell;
Positionierung des Packers mit Hilfe der Kamera**



**Abbildung 6-19: Sanierung der ersten Schadstelle
mit positioniertem Packer (Aufnahme von der
Gegenseite)**

Abbildung 6-18 und Abbildung 6-19 zeigen den Injektionspacker im Rohr. Man sieht deutlich, dass sich die Außenhaut des Packers dicht an die Rohrwandung legt und kein Material in den Kanal gelangt.

3.3 Versuchsergebnisse

Die Gerätetechnik erwies sich bei den Erprobungen im Großversuchsstand als gut geeignet. Grundsätzliche Probleme traten nicht auf. Die Misch-, Bevorratungs- Pumptechnik erwiesen sich als sehr robust.

Die Gerätekette Mischer, Vorratsbehälter, Pumpe, Schlauchleitungen und Injektionspacker erfordern jedoch ein genau abgestimmtes Vorgehen der hierbei eingesetzten zwei Bediener. Daher wurde auf den Erfahrungen der Erprobungen aufbauend ein Arbeitsablauf-Programm zur besseren Koordinierung der Arbeitsschritte entwickelt.

Nach der Durchführung der Injektionen an den ersten drei Schadstellen wurden zwölf Tage nach der Sanierung die Schadstellen freigelegt, um die Sanierungsergebnisse zu begutachten.



Abbildung 6-20: frei gelegte Schadstellen mit Vlies und Spanngurten



Abbildung 6-21: frei gelegte Schadstelle mit gelösten Spanngurten und soweit es möglich war gelöstem Vlies

Bei der Ausgrabung wurde stellenweise Injektionsmaterial außerhalb des Vlieses gefunden. Auch auf dem Vlies und den Spanngurten hatte sich eine Schicht des Materials abgesetzt. Aufgrund dieser Ablagerungen konnten das Vlies und die Spanngurte zum Teil nicht komplett entfernt werden.



Abbildung 6-22: erste sanierte Schadstelle



Abbildung 6-23: zweite sanierte Schadstelle



Abbildung 6-24: dritte sanierte Schadstelle

Wie erwartet war das Vlies an den ersten beiden Schadstellen nicht komplett ausgefüllt worden (Abbildung 6-28 und Abbildung 6-29). Zusätzlich zeigen die Abbildung 6-30 und Abbildung 6-31 der Kamerabefahrung kurz nach der Sanierung, dass die Schadstelle nicht komplett ausgefüllt wurde. Bei der ersten Schadstelle ist der Muffenspalt nicht ausgefüllt und bei der zweiten Schadstelle ist der simulierte Längsriss nur zu circa 50 % ausgefüllt.



**Abbildung 6-25: erste
Schadstelle nach Abnahme des
Vlieses**



**Abbildung 6-26: zweite
Schadstelle nach Abnahme des
Vlieses**



**Abbildung 6-27: dritte
Schadstelle nach Abnahme des
Vlieses**

Ob dennoch die Dichtheit der Schadstellen gegeben ist, kann nur durch eine Dichtheitsprüfung verifiziert werden. Eine Kombination der Injektions- mit einer Dichtheitsprüfung ist erst im zweiten Teil des Vorhabens geplant.



**Abbildung 6-28: Fehlstellen an der ersten
Schadstelle**



**Abbildung 6-29: Fehlstelle an der zweiten
Schadstelle**



Abbildung 6-30: nicht ausgefüllter Muffenspalt nach der Sanierung

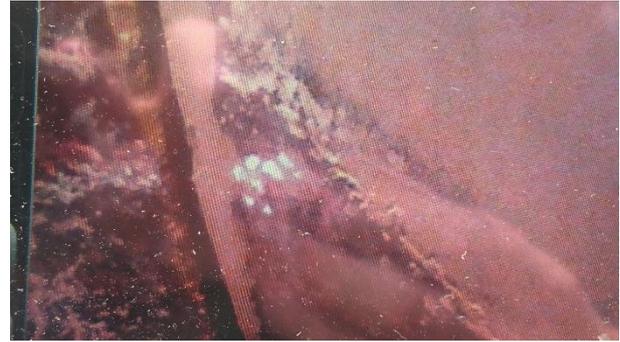


Abbildung 6-31: nicht komplett ausgefüllter Längsriss nach Sanierung

Bei der dritten Schadstelle wurde in zwei Zyklen verpresst, wodurch eine gute Ausfüllung der kompletten Schadstelle erreicht wurde. Diese Schadstelle wies sowohl von außen betrachtet als auch von innen mit der Kamera untersucht keine erkennbaren Fehlstellen auf.

Die Versuche wurden Anfang Juli durchgeführt, da der Materiallieferant HeidelbergCement, Ennigerloh erst zu diesem Zeitpunkt das neue Injektionsmaterial und leider auch nur eine kleinere Materialmenge bereitstellen konnte. Nach den Injektionsversuchen an den drei Schadstellen wurde daher beim Lieferanten Material nachgeordert. Leider kam es bei der Produktion des neuen Materials zu einem Fehler und das bereitgestellte Material erwies sich als unbrauchbar. Die Fortführung der Testreihe im Versuchsstand musste mehrfach verschoben werden. Daher können die Ergebnisse dieser verbleibenden Tests nicht in diesem Zwischenbericht dokumentiert werden.

Fazit

Zu Beginn des Projekts wurden auf den Erfahrungen des ibp aufbauend verschiedene Injektionspumpenvarianten konzipiert und auf ihre Praxistauglichkeit hin bewertet. Ausgewählt, konstruiert und hergestellt wurde eine kugelventillose Injektionspumpe, die eingehend getestet und schrittweise optimiert wurde. Die neuartige Injektionspumpe erwies sich auch bei längerer Betriebsdauer als robust, einfach zu handhaben und erfüllte die Anforderungen was Pumpleistung und Injektionsdruck anbelangt. Danach wurde die Injektionspumpe, die zuerst nur als Einfachpumpe hergestellt wurde, zu einer Doppelinjektionspumpe für die beiden Materialkomponenten komplettiert und mit einer entsprechenden Steuereinheit ergänzt.

Parallel zur Entwicklung und Erprobung der Injektionspumpe – dem Herzstück der Injektionsanlage – wurden Untersuchungen zur Verarbeitung (Aufbereitung, Lagerungs- und Erhärtungsverhalten) des Injektionsmaterials durchgeführt. Hierbei wurde insbesondere auch die Mischtechnik erprobt und beurteilt. Es konnte ein marktverfügbarer Suspensionsmischer (Collomix AOX-S) gefunden werden, der die hohen Anforderungen an die Mischqualität und Handhabung in allen Punkten erfüllte.

Die Sanierungsanlage wurde durch zwei spezielle Bevorratungsbehälter, dem Injektionspacker für Rohrdurchmesser DN300 und den Material-, Druckluft-, Spülwasser- und Steuerungsleitungen ergänzt und in einem Großversuchsstand erprobt. An den freigelegten,

sanierten Schadstellen zeigte sich, dass bei Einhaltung der Vorgaben – Anstieg des Injektionsdrucks am Packer gemessen – eine qualitativ hochwertige Schadenssanierung erreicht wird.

Zudem zeigte sich, dass die neuartige Sanierungsanlage auch im Dauerbetrieb sehr zuverlässig funktionierte. Der Aufwand für die Inbetriebnahme und anschließende Reinigung der Sanierungsanlage war gering und mit wenigen Handgriffen zu erledigen.

Die wirtschaftlichen Vorteile der neuartigen Sanierungstechnik mit einem mineralischen Material gegenüber der Verwendung von Kunststoffen als Injektionsmaterial zeigt folgende Gegenüberstellung:

- Kosten Injektionsmaterial: mineralisches Material ca. 1,90 €/l – Kunststoff ca. 5,00 €/l
- Verbrauch: Das mineralische Material ist eine Suspension anstatt einer Lösung, der Materialverbrauch ist geringer, da der Boden weniger tief penetriert wird.
- Gerätetechnik: Beide Sanierungsanlagen sind ähnlich aufgebaut, die Anlagenkosten sind vergleichbar.
- Arbeitsaufwand: Hier liegen noch keine belastbaren Ergebnisse vor. Eine überschlägige Abschätzung zeigt auch hier vergleichbare Aufwandsdauern.

Neben dem Kostenvorteil, der sich insbesondere durch die geringeren Materialkosten ergibt, ist noch der Aspekt der Dauerhaftigkeit und der Umweltverträglichkeit zu beachten.

Mineralisches Material ist sehr beständig und zeichnet sich dadurch aus, dass die Festigkeit über die Zeit noch zunimmt. Das mineralische Material ist nachgewiesenermaßen ökologisch unbedenklich. Ein Boden/Injektionsmaterial-Gemisch kann nach der Zerkleinerung wieder verwandt werden, das mineralische Injektionsmaterial hat keine negativen Auswirkungen auf das Grundwasser.

Im 2. Teil des Projekts soll die neu entwickelte Sanierungstechnik mit einer Einrichtung zur Dichtheitsprüfung nach dem neuen Regelwerk DWA-M 149-6 kombiniert werden. Dies ermöglicht dann sehr kostensparend die Untersuchung der Dichtheit von potentiellen Schadstellen - i.d.R. Rohrverbindungen älterer Kanäle – und dient im direkten Anschluss nach der Sanierung, der Erfolgskontrolle und Qualitätssicherung der Sanierung.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN EN 752 Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden April 2008
- [2] Zustand der Kanalisation in Deutschland; Ch. Berger, Ch. Falk, F. Hetzel, J. Pinnekamp, S. Roder, J. Ruppelt; KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 2016 Nr. 6
- [3] ATV-M143, Teil 6 „Dichtheitsprüfung bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und –kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck Juni 1998
- [4] Zech H. Übersicht der Techniken und Erfahrungen in der Kanalsanierung, in 3R international (48), 10/2009, S. 562-571
- [5] J. Dornbusch, M. Künster: Dauerhaftigkeit von Muffeninjektionsmaßnahmen in Kanälen, MUNLV-NRW, Forschungs- und Entwicklungsmaßnahme IV B6 - 042 312, unveröffentl. Bericht, April 2001
- [6] DIN EN 15885 Klassifizierung und Eigenschaften von Techniken für die Renovierung und Reparatur von Abwasserkanälen und -leitungen; Deutsche Fassung EN 15885:2010
- [7] Th. Bernhardt: Flexibel einsetzbar <https://prozesstechnik.industrie.de/food/erfahreb-food/Aufbereitungstechnik-food/flexibel-einsetzbar-3/#slider-intro-2> (17.7.2018)