

Entwicklung und Erprobung mineralischer Injektionssuspensionen zur Sanierung von Grundleitungsnetzen

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, Feb. 2008

Univ. Prof. Dr.-Ing. Rainard Osebold

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Sanierungsverfahren	1
2.1	Injektionsmaterialien	2
2.2	Verfahrenstechnik	2
3	Vorversuche	3
3.1	Rheologischen Untersuchungen	3
3.2	Eindringverhalten in unterschiedliche Böden	3
4	In situ nahe Erprobung	4
5	Zusammenfassung und Ausblick	6

1 Einleitung

Gemäß § 61 a des nordrhein-westfälischen Landeswassergesetzes müssen alle im Erdreich verlegten Abwasserleitungen, insbesondere privater Grundstücksentwässerungen, spätestens bis zum 31.12.2015 auf ihre Dichtheit geprüft und gegebenenfalls saniert werden. Mit den zur Zeit am Markt befindlichen Sanierungsverfahren wird dieses Ziel technisch und wirtschaftlich nur schwer zu erreichen sein. Es fehlt vor allem an geeigneten Verfahren, um alle schadhaften Grundleitungsnetze sicher, dauerhaft und kostengünstig sanieren zu können.

In der Praxis werden schadhafte Grundleitungen entweder neu verlegt – meist als abgehängte Leitung – oder mit dem Flutungsverfahren abgedichtet. Die Anwendungsmöglichkeiten beider Sanierungsarten sind allerdings beschränkt. Aufgrund der fehlenden Sanierungsalternativen für Grundleitungsnetze wurde im Rahmen einer Machbarkeitsstudie die Möglichkeit geprüft, ein neues Sanierungsverfahren auf Basis mineralischer Suspensionen (Zement- und / oder Bentonitsuspensionen) zu entwickeln. Im Unterschied zu den beim Flutungsverfahren verwendeten Injektionsmitteln auf Wasserglasbasis sind mineralische Injektionsmaterialien in der Regel deutlich kostengünstiger sowie umweltfreundlicher und können daher auch bei größerem Schadensumfang eingesetzt werden.

2 Sanierungsverfahren

Die Sanierung mit mineralischen Injektionssuspensionen (Injektionsgut) erfolgt in Anlehnung an die Verfahrenstechnik des Wasserglas - Flutungsverfahrens. Jedoch wird im Unterschied zum Wasserglas - Flutungsverfahren das Leitungsnetz mit einem einkomponentigen, mineralischen Material geflutet. Die Sanierungssuspension dringt durch den hydrostatischen Druck von ca. 0,2 bar durch die Schadstellen in den das Rohr umgebenden Boden (Injektionsmedium) ein und bildet außerhalb der Rohrleitung einen Abdichtungskörper.

In Abhängigkeit des Injektionsmediums „Boden“ und der wesentlichen Eigenschaften des Injektionsgutes „Suspension“, wie der Viskosität, der Injektionszeit und des Injektionsdruckes, dringt eine bestimmte Menge Injektionsgut bis zu einer bestimmten Injektionsfront in den Boden ein. Nachdem sich ein Gleichgewichtszustand eingestellt hat, wird das Restmaterial am tiefsten Punkt der Entwässerungsanlage abgepumpt. Da der hydrostatische Druck, der über das Injektionsmaterial in der Rohrleitung aufgebaut wird, nach dem Abpumpen nicht mehr auf das bereits in den Boden eingedrungene Injektionsmaterial wirkt, würden Teilmengen des Materials wieder in die Rohrleitung zurückfließen. Der hieraus resultierende Injektionskörper würde nur unzureichend den Qualitätsanforderungen an dauerhaft dichte Grundleitungen entsprechen. Um dennoch einen qualitativ hochwertigen Ab-

dichtungskörper zu erhalten, muss dem Zielkonflikt unterschiedlicher Anforderungen vor und nach der Injektion bei der Konzeption des Sanierungsmaterials und bei der Verfahrenstechnik Rechnung getragen werden.

2.1 Injektionsmaterialien

Da die Anwendung sowohl bei Böden, die im dicht gelagerten feinsandigen Bereich liegen, als auch bei locker gelagerten Kiesen oder sogar Hohlräumen erfolgreich sein soll, muss die Injektionssuspension in einem breiten Anwendungsspektrum einsetzbar sein.

Ein Lösungsweg besteht in der Nutzung thixotroper¹ Eigenschaften von speziellen Suspensionen als Injektionsmaterialien. Damit das Material dennoch gut in die Poren des Bodens eindringt, kann während der Injektion die Viskosität der Suspension durch mechanische Schwingungsenergie verringert werden. Sobald keine Schwingungsenergie mehr in die Suspension eingebracht wird, steigt die Viskosität der Suspension an. Nach dem Abpumpen des Injektionsmaterials verbleibt das in den Porenraum des Bodens injizierte Material aufgrund der höheren Viskosität im Boden und bildet dort den Abdichtungskörper. Der Viskositätsunterschied muss für die Anwendung bei Auffüllinjektionen im Lockergestein allerdings so groß sein, dass das Injektionsmaterial vor der Injektion in das feine Porengefüge des anstehenden Bodens eindringen kann, jedoch nach der Injektion - im viskoserem Zustand - nicht mehr zurückfließt. Diese Anforderung kann mit Hilfe thixotroper Suspensionen, wie z.B. Bentonitsuspensionen oder Bentonit-Zementsuspensionen erfüllt werden. Durch eine jahrzehntelange, gute Erfahrung mit mineralischen Suspensionen im Bauwesen lässt sich neben der technischen Machbarkeit auch ein sinnvoller wirtschaftlicher und umweltfreundlicher Einsatz im Sanierungssektor ableiten.

2.2 Verfahrenstechnik

Um das Fließverhalten des Injektionsmaterials in gewünschter Weise beeinflussen zu können, muss durch eine geeignete Verfahrenstechnik mechanische Energie zur Verflüssigung in die Suspension eingebracht werden. Für die Anwendung in verzweigten Leitungsnetzen von Grundstücksentwässerungsanlagen (GEA) ist mechanische Schwingungsenergie besonders geeignet. Die Schwingungen werden abschnittsweise durch einen in die Leitung eingebrachten Schwingungserreger erzeugt.

¹ Thixotropie bezeichnet die Eigenschaft eines Fluids, bei einer konstanten Scherung über eine bestimmte Zeiteinheit die Viskosität abzubauen. Nach Aussetzung der Scherbeanspruchung wird die Ausgangsviskosität wieder aufgebaut.

3 Vorversuche

Die Qualität der Sanierungen mit einem mineralischen Sanierungsverfahren hängt maßgeblich von den im Einzelfall vorliegenden Randbedingungen ab. Die Sanierungsbedingungen ergeben sich einerseits aus den verfahrenstechnischen Parametern sowie andererseits aus der Bettung und dem Zustand des Leitungsnetzes.

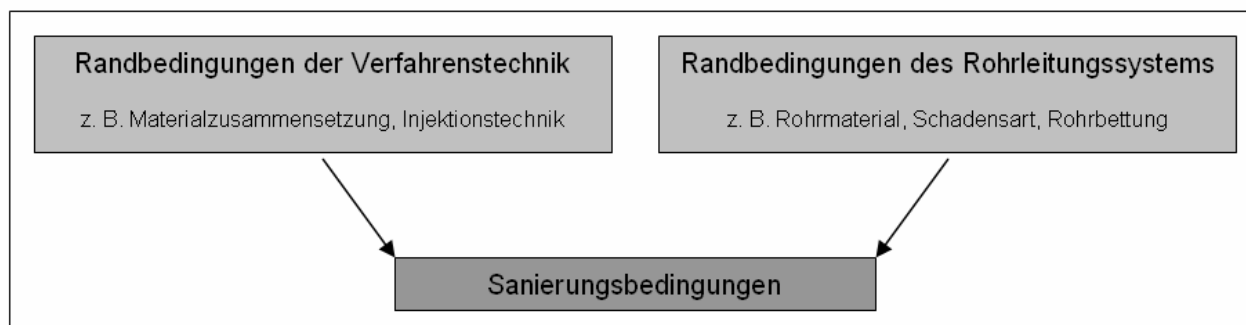


Abbildung 3-1: Randbedingungen der Sanierung

Da in situ nahe Versuche aufgrund eines komplexen Versuchsaufbaus nicht immer unter exakt gleichen Randbedingungen durchgeführt werden können, ist zunächst die Abschätzung der Einflusshöhe einiger verfahrenstechnischer Parameter im Rahmen von Vorversuchsreihen notwendig. Ist der Einfluss von Materialzusammensetzung und Injektionstechnik bekannt, können die Auswirkungen der Randbedingungen des Rohrleitungssystems von diesen verfahrenstechnischen Randbedingungen abgegrenzt und praxisnah untersucht werden.

3.1 Rheologischen Untersuchungen

Die Fließfähigkeit und damit auch die Injektionsfähigkeit des Sanierungsmaterials wird im Wesentlichen durch die Zusammensetzung, die Zeitspanne nach dem Anmischen und die Mischtechnik bestimmt. Die Materialeigenschaften können mit Hilfe rheologischer Messungen quantifiziert und analysiert werden. In umfangreichen rheologischen Untersuchungen werden die Einflussgrößen aus der Zusammensetzung und der Aufbereitungstechnik analysiert.

3.2 Eindringverhalten in unterschiedliche Böden

Für die Untersuchung des Eindringverhaltens der Suspensionen unter wechselnden Randbedingungen werden zwei verschiedene Normsande mit unterschiedlichen Kornverteilungslinien eingesetzt (Böden mit und ohne Schluffkornanteil).

Zu diesem Zweck werden die Suspensionen in ein Standrohr (DN 100) gefüllt, an dessen unterem Ende jeweils Bodenproben für die Durchströmung eingebaut sind. Nach dem Einschalten des pneumatischen Vibrators kann der Durchfluss der Suspension durch die Bodenprobe in Abhängigkeit der Vibrationsfrequenz, der Materialsorte und der -dosierung bestimmt werden (s. Abbildung 3-2). Anschließend werden die Bodenproben inklusive des umgebenden Stahlrohres ausgebaut, zwei Tage an der Luft gelagert und danach auf ihre Wasserdichtheit geprüft.

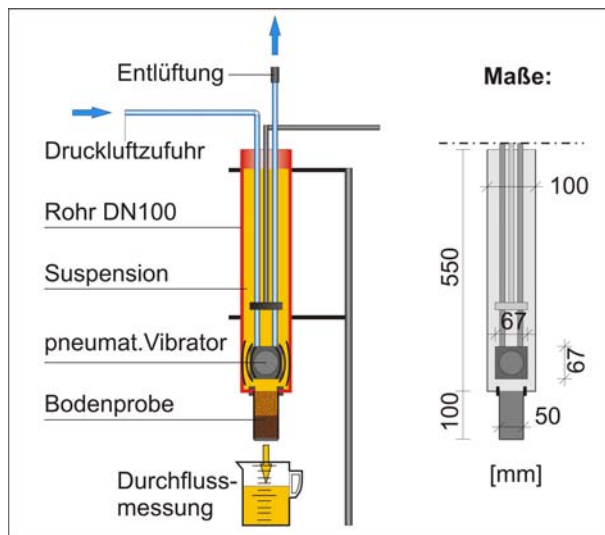


Abbildung 3-2: Vorversuch zum Eindringverhalten

Wie zu erwarten, ist die Eindringfähigkeit in ein grobes Bodengefüge weitaus besser, als in dicht gelagerten feinsandigeren Boden. Obwohl die Durchflussmengen für die beiden Bodenarten um mehr als den Faktor 10 voneinander abweichen, liegen die Grenzdosierungen, bei denen kein Durchfluss mehr gemessen wird, nah beieinander. Dies bedeutet für die Anwendung, dass trotz erheblicher Unterschiede in der Durchlässigkeit des Bodens die Bentonitdosierung und somit auch die Fließigenschaften an der Obergrenze nur geringfügig variiert werden können, um ein Eindringen in Boden noch zu gewährleisten. Wird hingegen eine zu wässrige Suspension eingesetzt, ist der Feststoffeintrag zu gering, und es kann keine ausreichende Stützwirkung im Porenraum erzielt werden, so dass die Injektionskörper nicht ausreichend abdichten.

4 In situ nahe Erprobung

Nachdem im Rahmen von Basisversuchen Einflüsse aus Materialzusammensetzung und ausgewählten Sanierungsrandbedingungen an einzelnen Schadstellen untersucht worden sind, werden in weiteren praxisnahen Erprobungen Sanierungen an kompletten Leitungsnetzen durchgeführt. Hierzu wird ein Grundleitungsnetz realitätsnah nachgestellt und mit einer vibrationsoptimierten Injektion sowohl mit einer reinen Bentonitsuspension als auch mit einer Bentonit-Zementsuspension saniert. Das ca. 17 m lange Grundleitungsnetz be-

steht aus Kunststoffrohren DN 100 und aus Steinzeugrohren DN 150. Die Leitungen enthalten insgesamt 6 Schadstellen in Form von radialen und axialen Rissen sowie undichte Muffen.

Die Sanierung mit reinen Bentonitsuspensionen führte zwar zu einer weitgehenden Verringerung der Undichtigkeit gemessen an der Wasserverlustrate (vor Sanierung 1500 ml/min, nach Sanierung 15 ml/min), jedoch konnte die dauerhafte Dichtigkeit des gesamten Netzes nicht erreicht werden. Die zementhaltige Suspension konnte mit Erfolg und in ausreichender Menge injiziert werden. Die Dichtheits- und Belastungsprüfungen wurden von allen Schadstellen bestanden. Eine Hochdruckspülung, die 7 Tage nach der Sanierung durchgeführt wird, hatte ebenfalls keine negativen Auswirkungen auf die Abdichtungskörper (s. Abbildung 4-1).

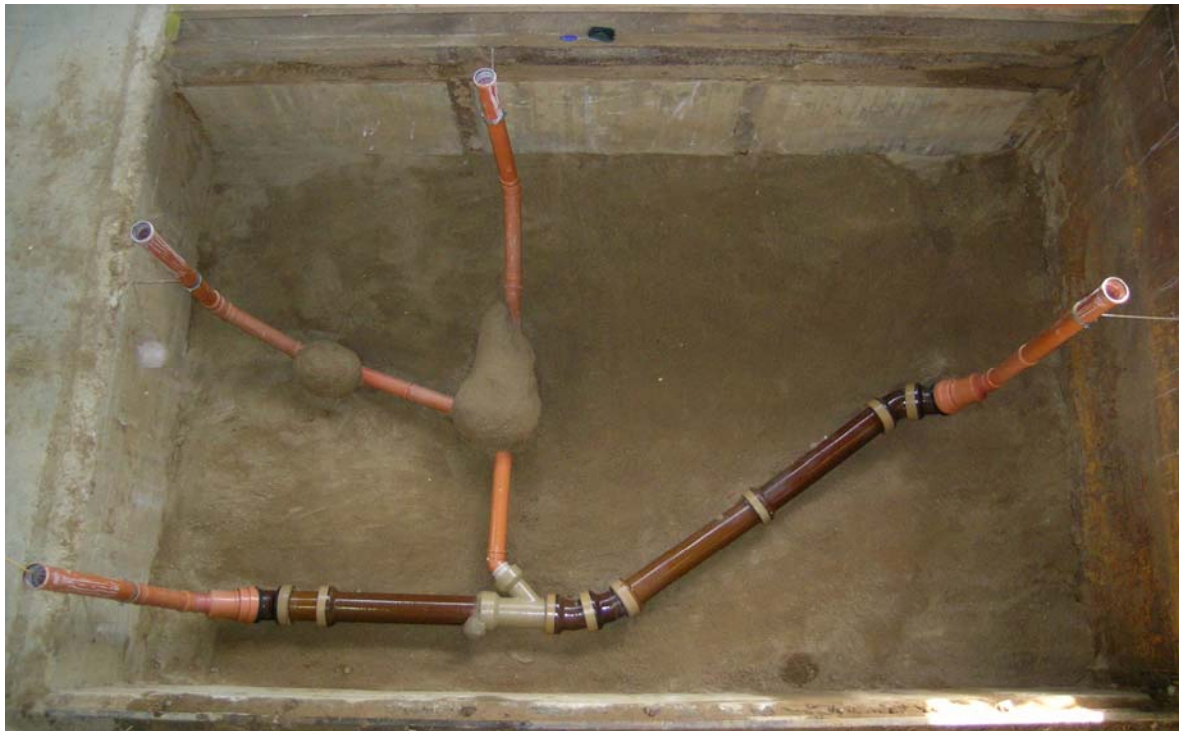


Abbildung 4-1: Saniertes Grundleitungsnetz mit Abdichtungskörpern

Abbildung 4-1 zeigt das freigelegte Leitungsnetz mit den Injektionskörpern. Die erheblichen Unterschiede in der Größe der Abdichtungskörper sind auf eine ungleichmäßige Verdichtung und unterschiedliche Schadensgrößen zurückzuführen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Nachdem in den letzten Jahren die Sanierung öffentlicher Kanalisationen mit großem Erfolg betrieben wurde, werden in Zukunft im Sinne eines ganzheitlichen Sanierungsansatzes die privaten Grundstücksentwässerungsanlagen den Sanierungssektor vor neue Herausforderungen stellen. Einen Beitrag zur kostengünstigen und umweltschonenden Sanierung der privaten Leitungen leistet die Erforschung neuartiger Sanierungsmethoden. In Anlehnung an die Verfahrenstechnik des Wasserglas - Flutungsverfahrens sollte in diesem Forschungsprojekt die Entwicklung und Erprobung mineralischer Injektionssuspensionen zur Sanierung von Grundleitungsnetzen untersucht werden.

Das neuartige Verfahren nutzt das bestehende Leitungssystem als Förder- und Verteilungen sowie zum Aufbau des Injektionsdruckes, so dass selbst bei eingeschränkter Zugänglichkeit und ohne eine genaue Schadstellenlokalisierung eine Sanierung in einem Arbeitsgang möglich ist. Durch die vibrationsoptimierte Injektionstechnik dringt die Suspension in das Erdreich ein und verbleibt nach dem Abpumpen der Restsuspension als abdichtender, außen liegender Boden-Suspensionskörper im Leitungszonenbereich. Die Sanierungsmaßnahme kann daher nur unter Einbeziehung des rohrumgebenden Bodens in den Verfahrensprozess von dauerhafter Wirksamkeit sein.

In praxisnahen Versuchen wurden verschiedene Randbedingungen systematisch untersucht und der Anwendungsbereich des Sanierungsverfahrens abgegrenzt. Die Sanierungsergebnisse zeigen die grundsätzliche Eignung des Verfahrens. Mit Bentonit-Zementsuspensionen können unabhängig vom Rohrmaterial Muffenschäden und Risse bis zu einer Größe von 3 mm sicher abgedichtet werden.

Die intensive Analyse der Materialeinflussparameter auf die Injektionsfähigkeit der Sanierungssuspension ermöglicht eine optimale Anpassung der Fließeigenschaften auf die jeweils unterschiedlichen Randbedingungen verschiedener Grundleitungsnetze. Für die Praxiserprobung wäre eine Weiterentwicklung der Vibrationseinheit erforderlich, um eine sichere und vollständige Befahrung der verzweigten GEA zu gewährleisten. Eine Optimierung des Sanierungsverfahrens im Hinblick auf Verfahrens- und Gerätetechnik kann zielgerichtet jedoch nur durch die Sanierung bestehender Grundleitungen in situ erfolgen. Die über Jahre entstandene Bettungssituation realer GEA lässt sich letztlich in simulierten Teststrecken nicht hinreichend genug nachbilden. Einer abschließenden Beurteilung des neu entwickelten Sanierungsverfahrens muss dementsprechend der Transfer der bisherigen Ergebnisse in einer in situ Erprobung vorausgehen.

Zur Überprüfung der Wirtschaftlichkeit wird ein Vergleich zwischen dem Wasserglas - Flutungsverfahren und dem neu entwickelten mineralischen Sanierungsverfahren vorgenommen. Das Einsparpotenzial durch die wesentlich geringeren Materialkosten beträgt bei

einem gewöhnlichen Grundleitungsnetz mehr als 1400 €. Bezogen auf die Gesamtkosten ergibt sich ein Kostenvorteil von ca. 45 % (s. Abbildung 5-1).

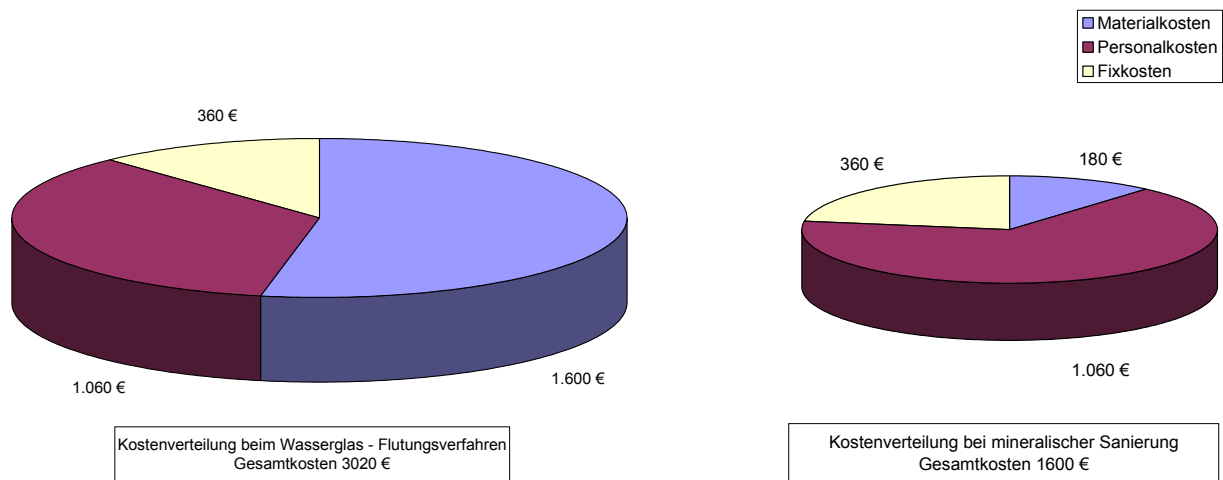


Abbildung 5-1: Kostenvergleich

Weiterhin ist der Verbrauch an Injektionsmitteln im Vorfeld einer Sanierung nur schwer abschätzbar und stellt im Falle hoher, spezifischer Materialkosten ein besonderes Kalkulationsrisiko dar. Aufgrund der geringen Kosten der mineralischen Injektionssuspensionen besteht für den privaten Netzbetreiber und das Sanierungsunternehmen eine gute Planungssicherheit bei der Kalkulation der Sanierungskosten, da sich trotz Mehrverbrauch von Injektionssuspension die Gesamtkosten nur geringfügig erhöhen.

Angesichts der umfangreichen Aufgabe einer flächendeckenden Sanierung von Grundleitungen im privaten, gewerblichen und öffentlichen Bereich ist eine abschließende in situ Erprobung und Erfolgskontrolle des neu entwickelten Sanierungsverfahrens dringend empfohlen.