

## **Zusammenfassung**

### **Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben**

**„Entwicklung und Erprobung eines in der Rohrleitung  
geführten Verdichtungsgerätes zur optimierten,  
wirtschaftlichen und schadensfreien Verlegung  
von Abwasserleitungen und -kanälen aus Kunststoff“**

**IV-9-0423C0**

**im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen**

Projektbeteiligte:

Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stein, Ruhr-Universität Bochum  
Dipl.-Ing. Rouwen Homringhaus, Tracto-Technik  
Dipl.-Ing. Ansgar Brauer, Visaplan GmbH  
Dipl.-Ing. Christoph Bennerscheidt, IKT  
Dipl.-Ing. Matthias Neumann, Gemeinde Möhneseesee  
Dipl.-Ing. Jan Strozyk, Stein & Partner GmbH

Bochum, im April 2007

Bei der Verlegung von Abwasserleitungen und –kanälen aus Kunststoff in offener Bauweise ist eine fachgerechte Ausführung der Verlegearbeiten von entscheidender Bedeutung. Um bei Kunststoffrohren die Abtragung der Lasten als Rohr-Boden-System zu sichern, muss die Rohrsteifigkeit zum einen die gleichmäßige Aktivierung des passiven Erddruckes in der Leitungszone und zum anderen eine ausreichende Sicherheit gegen Verformungen und Stabilitätsversagen im Bau- und späteren Betriebszustand gewährleisten. Um die dafür erforderliche Gewölbetragswirkung des Bodens in der Leitungszone zu erreichen, muss dieser entsprechend seiner Beschaffenheit (Kornform, Korngrößenverteilung, Feuchtigkeitsgehalt etc.) verdichtet werden. Insbesondere muss hierbei der Verfüllung und Verdichtung der Leitungszone – d.h. der Bettung, Seitenverfüllung mit Rohrzwickel und Abdeckung – größte Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Die bisher praktizierte lagenweise Verfüllung des Leitungsgrabens und äußere Verdichtung mit maschinellen Geräten, wie z.B. Vibrationsstampfer, Flächenrüttler und Vibrationswalze, beinhaltet neben der Gefahr einer nur unzureichenden Verdichtung insbesondere auch die der Verformung bzw. der Zerstörung der Kunststoffrohrleitung durch zu hohe Flächen- oder Punktlasten aus den Verdichtungsgeräten selbst. Darüber hinaus können die leichten Kunststoffrohre durch normgerechte Verfüll- und Verdichtungsarbeiten aus ihrer Solllage gebracht werden, was neben einer Lageänderung auch Hohlräume und eine unzureichende Verdichtung des Bodens unter dem Rohr und seitlich des Rohres verursachen kann, welche wiederum unzulässige Verformungen der Kunststoffrohrleitung hervorrufen.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, eine neue Verfahrenstechnik zur optimalen Verdichtung der Leitungszone bei der Neuverlegung von Kunststoffrohren in offener Bauweise zu entwickeln und zu erproben. Das dabei durchzuführende Arbeitsprogramm beinhaltete folgende Arbeitspakete:

- I. Auswertung von Schadensfällen an Abwasserkanälen aus Kunststoffrohren insbesondere in Meinerzhagen unter besonderer Berücksichtigung der Einbautechnik
- II. Formulierung der Anforderungen an das Verdichtungsgerät
- III. Entwicklung, Konstruktion und Fertigung des Verdichtungsgerätes

- IV. Modellentwicklung bezüglich der Rohrstatik unter Berücksichtigung verschiedener Lastfälle und leitungsspezifischer Randbedingungen
- V. Durchführung von Laborversuchen zur Kalibrierung des entwickelten FEM-Modells
- VI. Versuchsauswertung und Kalibrierung der Versuchsergebnisse am theoretischen Berechnungsmodell
- VII. Erprobung des Verdichtungsgerätes auf Pilotbaustellen

Die beteiligten Projektpartner waren:

- I. Prof. Dr.-Ing. Dietrich Stein, Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Bauingenieurwesen (Antragsteller)
- II. Tracto-Technik GmbH, Lennestadt
- III. Institut für unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen
- IV. Visaplan GmbH, Bochum
- V. Gemeinde Möhnesee
- VI. Stein & Partner GmbH, Bochum

Das Lösungskonzept basierte auf einem Verdichtungsgerät in Gestalt eines pneumatisch angetriebenen, zylinderförmigen Vibrationskörpers (Innenverdichter). Dieser wird mit einer bestimmten Vibrationsfrequenz und Ziehgeschwindigkeit sowie eventuell in Kombination mit äußeren Verdichtungsgeräten durch die nach Lage und Höhe ausgerichtete und überschüttete Rohrleitung gezogen. Die erzeugte dynamische Energie wird über einen Verspannmechanismus formschlüssig über die Rohrwandung auf die verfüllte Leitungszone übertragen, wodurch der Boden verflüssigt und durch Kornumlagerung verdichtet wird.

Basierend auf diesem Lösungskonzept wurde von der Tracto Technik GmbH ein Innenverdichter konstruiert, gebaut und Eignungstests unterzogen. Der entsprechend den Ergebnissen der Eignungstests weiterentwickelte Prototyp des Innenverdichters wurde in Labor- und Feldversuchen (Pilotbaustellen) getestet. Die dabei

gewonnenen Testergebnisse wurden mit einem eigens entwickelten Berechnungsmodell verifiziert.

Die oben genannten Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

- Der entwickelte Innenverdichter war grundsätzlich zur Verdichtung der Leitungszone und insbesondere der Zwickelbereiche bei der Neuverlegung von Kunststoffrohren geeignet. Sein Wirkungsbereich erstreckte sich über einen Radius von bis zu 0,5 m, dementsprechend sollte die Abdeckung nicht dicker als 40 cm sein
- Durch den Einsatz des Innenverdichters konnte gegenüber der konventionellen Verdichtungsmethode nach DIN EN 1610 und ATV-DVWK-A 139 jedoch keine wesentliche Verbesserung des Verdichtungsgrades der Leitungszone erzielt werden. In den meisten Fällen wurde der im ATV-DVWK-A 139 als charakteristisch für gute Lagerungsbedingungen in der Leitungszone angegebene Verdichtungsgrad  $D_{Pr} = 95\%$  für nichtbindige und schwachbindige Böden nicht erreicht. Darüber hinaus konnte sowohl bei den Labor- als auch den Feldversuchen kein eindeutiger Unterschied zwischen den Verdichtungsgraden in Abhängigkeit der Verdichtungsart festgestellt werden
- Während des Ziehens des Innenverdichters bewegte sich die Rohrleitung nach unten in die untere Bettungsschicht, wodurch die vertikale Lagegenauigkeit beeinflusst wurde. Zur Einhaltung der planmäßig geforderten Solllage der Haltung musste der Rohrstrang im Leitungsgraben daher mit einer festzulegenden Überhöhung der Gradienten verlegt werden, um die durch die Arbeitsweise des Innenverdichters unvermeidbaren Setzungen auszugleichen
- Der obere Bereich der Abdeckung wurde, wie sowohl die Modelluntersuchungen als auch die Plattendruckversuche und Rammsondierungen bei den Labor- und Feldversuchen gezeigt haben, durch die Wirkung des Innenverdichters aufgelockert. Dieser negative Effekt musste durch eine direkte Nachverdichtung mit einem Verdichtungsgerät oder im Zuge der Hauptverfüllung durch Aufbringen und Verdichten einer ersten Schichtlage mit geringer Dicke eliminiert werden. Eine weitere Möglichkeit zur Vermeidung dieses Effektes bietet das Mitführen

einer Ballastplatte auf der Oberfläche der Abdeckung parallel zum Ziehvorgang des Innenverdichters

- Die Verformung des Rohrquerschnittes war bei allen Labor- und Feldversuchen äußerst gering, was auf eine geringe Biegebeanspruchung der Rohre schließen lässt. Selbst bei hohen Auflasten zeigte das Rohr in den Laborversuchen kaum messbare und in den Berechnungen nur minimale Verformungen
- Die Auswertung der Verteilung der Kontaktdruckspannungen zwischen Rohr und Boden zeigte tendenziell analog zur konventionellen Verlegung im Graben eine Konzentration der Spannungen im Sohlbereich, die hier auf die Vertikalbewegung des Rohres während des Verdichtungsvorganges zurückzuführen ist. Im rechnerischen Modell ergab sich dadurch ein Auflagerwinkel  $2\alpha$  von rd.  $120^\circ$ . Damit ist die Lagerung mit derjenigen eines konventionell verlegten Kunststoffrohres mindestens gleichwertig, so dass hier die Berechnungsvorschriften nach ATV-DVWK-A 127 angewendet werden dürfen, zumal bei den Untersuchungen relativ steife Kunststoffrohre zum Einsatz kamen.
- Die Konstruktion der Klemmbacken erwies sich im Hinblick auf die Einleitung der Vibrationen in die Rohrwandung als nicht optimal. Aus den in den Haltungen der Pilotbaustellen festgestellten Riefenbildungen (in Abhängigkeit des Zuggerätes linien- bzw. spiralförmig) kann abgeleitet werden, dass der Innenverdichter nicht die Anforderung des formschlüssigen Kontaktes mit der Rohrwandung erfüllte
- Das Einziehen des Innenverdichters mit einer Kabelziehwinde ist dem Einziehen mit dem Zuggerät Grundoburst vorzuziehen. Zur Verhinderung der Übertragung der unvermeidlichen Drehbewegung des Innenverdichters auf den Druckluftschlauch und das Ziehkabel mussten jedoch Drehwirbel in den entsprechenden Verbindungen angeordnet werden. Das Zuggerät Grundoburst 200G erwies sich demgegenüber als sehr kompliziert, zeitaufwendig und erforderte darüber hinaus viel Platz für die Installation im Leitungsgraben sowie für die Aufstellung der erforderlichen Zusatzgeräte (Hydraulikaggregat, Stromerzeuger, Gestänge) an der Geländeoberfläche
- Bei Außentemperaturen  $\leq 5^\circ\text{C}$  besteht beim Innenverdichter ab einer gewissen Luftfeuchtigkeit die Gefahr des inneren/äußeren Vereisens. Zur Vermeidung sind

ein Nebelöler, der das Innere ständig mit Schmierstoffen versorgt, und ein Druckluftherwärmer einzusetzen

- Die Verdichtung mittels Innenverdichter erforderte gegenüber der konventionellen offenen Grabenverlegung zusätzliche Einrichtungen und Geräte (Innenverdichter, Kabelziehwinde/Grundoburst 200G und Kompressor), die auf der Baustelle vorgehalten und gelagert werden müssen. Im Gegensatz zur herkömmlichen Taktbaustelle über ca. 2 Rohrlängen à 3,00 m muss beim Einsatz des Innenverdichters die Verlegung der Leitung über die gesamte Haltung vor Einleitung des Verdichtungsprozesses erfolgen. Daraus resultiert ein langer offener Leitungsgraben und das Vorhalten einer Mehrzahl von Verbau- und Sicherungselementen. Im innerstädtischen Bereich werden der Anlieger- und Baustellenverkehr dadurch nachteilig beeinflusst.

Obwohl mit den erläuterten Versuchsprogrammen noch nicht alle Zusammenhänge zwischen den gerätespezifischen Eigenschaften des Innenverdichters wie Konstruktion, Gewicht, Frequenz, Amplitude sowie Ziehgeschwindigkeit und dem Verdichtungserfolg untersucht werden konnten, lassen die Ergebnisse die Schlussfolgerung zu, dass die durch den Innenverdichter erzielbare Verdichtung den zusätzlichen Arbeits-, Zeit- und Kostenaufwand im Praxiseinsatz nicht rechtfertigt.

Andere Anwendungsmöglichkeiten werden jedoch im Bereich der grabenlosen Sanierung verformter Kunststoffrohrleitungen gesehen. In diesem Fall könnte die Bodenumlagerung in der Leitungszone zur Beseitigung der Ovalität der Rohre genutzt werden.

Das hier entwickelte Berechnungsmodell kann sowohl als Grundlage für die Entwicklung eines Regelwerkes für mittels Innenverdichter verlegte Rohre als auch mit entsprechenden Modifikationen für den Sanierungsfall dienen.