Schriftenreihe des
Lehrstuhls für Baubetrieb und Projektmanagement
ibb - Institut für Baumaschinen und Baubetrieb

Michael Kelleter

**Steigerung der Verlegequalität von Kunststoffrohren
in offener Bauweise durch Reduzierung
einbaubedingter Rohrverformungen**

Shaker Verlag
Aachen 2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2009)

Herausgeber:

Univ.-Professor Dr.-Ing. Rainard Osebold

für die Gesellschaft zur Förderung des Baubetriebs Aachen e.V.

Copyright Shaker Verlag 2009

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8749-8

ISSN 1612-2798

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Steigerung der Verlegequalität von Kunststoffrohren in offener Bauweise durch Reduzierung einbaubedingter Rohrverformungen

- Kurzfassung der Dissertation von Herrn Dipl.-Ing. Michael Kelleter -

Der Markt für Kunststoffrohre hat in den letzten Jahren eine positive Entwicklung genommen. Dies ist auf die besonderen baubetrieblichen Vorteile von Kunststoffrohren, wie deren geringes Gewicht, die leichte Handhabung bei der Verlegung und die Option, durch die größeren möglichen Baulängen der Rohre Verlegeleistungen zu steigern und Verlegekosten zu senken, zurückzuführen. Auch die Aspekte Dichtigkeit, Unempfindlichkeit gegenüber biogener Schwefelsäurekorrosion sowie ein geringer Verschleiß wirken sich zusätzlich positiv aus. Was die Herstellung von Kanälen in offener Bauweise angeht, so ist sie seit Jahrzehnten durch ein hohes Maß an Handarbeit geprägt. Ein normgerechter Einbau der Rohre erfordert ein sorgfältiges Unterstopfen der Rohrzwickel wie auch eine lagenweise Verdichtung neben dem Rohr. Unter Berücksichtigung hoher Lohnkosten und großen Termindrucks wird häufig von einem normgerechten Einbau abgewichen. Nachteilig ist jedoch, dass sich bei unsachgemäßem Einbau der Rohre unmittelbar große Rohrverformungen einstellen. Die betrachteten Querschnittsverformungen werden im Regelfall über den Kennwert δ_v beurteilt. Er gibt das Maß der relativen vertikalen Durchmesseränderung in Prozent an. Wenn die zulässigen Grenzwerte für δ_v überschritten werden, liegt ein Schaden im Sinne der einschlägigen Regelwerke vor. Die zu einem bestimmten Zeitpunkt festgestellten Querschnittsverformungen (Langzeitverformungen) setzen sich aus einem Verformungsanteil, der aus dem Rohreinbau resultiert (Kurzzeitverformung) und einem zeitabhängigen Verformungszuwachs zusammen. Dabei machen die einbaubedingten Rohrverformungen häufig den wesentlichen Anteil der Gesamtverformungen aus. Ist aufgrund einer zeitlichen Zunahme der Verformungen mit einem Stabilitätsversagen zu rechnen, muss der betroffene Leitungsabschnitt ausgetauscht werden. Mit dem Ziel, diesem möglichen Nachteil entgegenzuwirken, werden die Ursachen großer Rohrverformungen untersucht und ein neuartiger Lösungsansatz entwickelt, um die aus dem Einbauvorgang resultierenden Rohrverformungen weitestgehend zu vermeiden.

Ausgangspunkt der Untersuchungen ist der Stand der Technik zur Herstellung von Kunststoffrohrleitungen und -kanälen in offener Bauweise. Dazu werden im ersten Schritt die Aspekte Rohr, Boden und Bauverfahrenstechnik bzw. die Vorgehensweisen beim Rohreinbau betrachtet. Im Anschluss daran werden die zur Beurteilung von Rohrverformungen maßgebenden Abschnitte der einschlägigen Regelwerke angeführt.

Um Rohrverformungen exakt messen zu können, wird zunächst eine Lasermesstechnik nach dem Triangulationsverfahren zur Innenvermessung von Rohrleitungen entwickelt, die auf einem Kanalkamerawagen montiert ist. Dabei wird die Rohrwand mit Hilfe eines Laserstrahles abgetastet und werden die gemessenen Distanzen mit den zugehörigen Winkeln erfasst. Diese Daten beziehen sich auf die Rotationsachse des Kamerakopfes. Mit Hilfe einer Kreisausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate werden die Koordinaten des idealen Kreismittelpunktes des vermessenen Rohres berechnet und die gemessenen Daten auf diesen Punkt transformiert, visualisiert und der Kennwert δ_v angegeben.

Mit der entwickelten Messtechnik werden Kanalhaltungen in situ untersucht. Hierbei wird festgestellt, dass die Verformungen in Längsrichtung erheblichen Schwankungen unterworfen sind und teilweise weit über den zulässigen Grenzwerten liegen. Es kann im Nachhinein jedoch nicht mehr rekonstruiert werden, welche Ursachen zu besonders negativen oder positiven Ergebnissen geführt haben. Aus diesem Grund wird zur Vorbereitung auf praxisnahe Versuche im Maßstab 1:1 die Statik biegeweicher Rohre detailliert aufbereitet, da sie im Rahmen der Planung die Verknüpfung der Komponenten „Rohr“, „Boden“ und „Bauverfahrenstechnik / Vorgehensweise beim Rohreinbau“ darstellt.

Es werden Leitfragen formuliert, um mögliche Schwachpunkte, die zu größeren Rohrverformungen führen können, systematisch zu erfassen. Da durch die Analyse des reinen Formelwerkes nur eine qualitative Beantwortung der Leitfragen möglich ist, wird eine

Parameterstudie durchgeführt. Das Ausgangssystem dieser Parameterstudie wird so gewählt, dass die Randbedingungen im Versuch nachstellbar sind. Es werden sämtliche in die statische Berechnung von Rohrleitungen aus Kunststoff eingehenden Parameter variiert und die quantitative Beantwortung der Leitfragen geliefert. Die Berechnungen ergeben, dass der Verformungsmodul des Bodens in der Leitungszone seitlich des Rohres (E_2) den größten Einfluss auf die Rohrverformungen hat. Für die anschließenden praxisnahen Versuche stellt daher die Variation der Leitungszone den Schwerpunkt dar. Zudem ist dieser Bereich, auch was die bauliche Ausführung anbelangt, besonders kritisch zu sehen.

Die praxisnahen Versuche gehen vom Normeinbau aus und führen zu einem aus dem Normeinbau abgeleiteten „Worst-Case-Szenario“, einem Einbau ohne direkte Verdichtung neben dem Rohr. Dieser Einbau wird gewählt, um zu ermitteln, wie groß die Rohrverformungen bereits während des Einbaus werden können, wenn die in der statischen Berechnung üblicherweise angesetzte Bettung – nämlich ein gut verdichteter Boden seitlich des Rohres – nicht hergestellt wird. Darüber hinaus sollen aus der Analyse der baubegleitenden Verformungsentwicklung bislang nicht in Betracht gezogene Möglichkeiten zur Reduzierung der einbaubedingten Rohrverformungen identifiziert werden, um auf dieser Basis einen Lösungsansatz zu entwickeln.

Die Ergebnisse der Verformungsmessungen zeigen eine deutliche Abhängigkeit der Endverformungen nach Versuchsabschluss von den Vorverformungen des Rohres vor dem Einbau. Im Falle positiver Vorverformungen entspricht das Rohr zum Zeitpunkt der Nullmessung (nach der Rohrverlegung) einer „stehenden Ellipse“, im Falle negativer Vorverformungen einer „liegenden Ellipse“. Bei allen in den Versuchen festgestellten Vorverformungen (-1,0 % bis +1,2 %) verformt sich das Rohr während des Einbaus und der Verdichtung des Bodens zu einer „liegenden Ellipse“. Die Endverformungen wachsen mit zunehmenden (stärker ausgeprägten) negativen Vorverformungen (liegende Ellipse) überproportional an. Positive Vorverformungen beeinflussen die Verformungsentwicklung hingegen günstig. Bereits relativ geringe positive Vorverformungen führen zu einer wirksamen Reduktion der einbaubedingten Rohrverformungen.

Die Untersuchungen ergeben, dass durch eine gezielte Herstellung elliptisch vorverformter Rohre, die dann als „stehende Ellipse“ einzubauen sind, Vorteile für die Bauausführung entstehen. Damit die Rohre auf der Baustelle stets in der richtigen Position eingebaut werden, müssen sie durch eine eindeutige, gut erkennbare Markierung entlang des Rohrscheitels gekennzeichnet werden. Dieser „Verformungsvorrat“ für den Bauzustand zur Abdeckung unvorhergesehener Einflüsse stellt sicher, dass zu große Rohrverformungen im Sinne der Regelwerke vermieden werden. Während die aus dem Einflussbereich des Rohres resultierenden Parameter relativ genau in die statischen Berechnungen eingehen, können sich insbesondere aus den Einflussbereichen des Bodens und der Vorgehensweise beim Rohreinbau stets Wechselbeziehungen ergeben, die sich einer exakten Berechnung entziehen oder die auf der Baustelle abweichend von den Annahmen der Planung ausgeführt werden. Als Beispiele hierfür lassen sich inhomogene Bodenverhältnisse (bei Wiederverwendung des ausgehobenen Bodens) sowie eine mangelhafte Verdichtung der Rohrzwickel bzw. der Bodenbereiche neben dem Rohr (insbesondere bei großem Termindruck oder bei begrenzten Platzverhältnissen) anführen. Für diese Randbedingungen ist ein solcher „Verformungsvorrat“ – geschaffen durch eine geometrische Modifikation (Überhöhung) der Rohre – vorteilhaft.

Das Maß der im Rahmen der Rohrproduktion herzustellenden positiven Vorverformung (Überhöhung) wird mit Hilfe eines probabilistischen Ansatzes und durch vergleichende Berechnungen nach der Methode der Finiten Elemente (FEM) ermittelt. Ziel ist es, unter ungünstigen Einbaubedingungen noch ein näherungsweise kreisrundes Rohr nach Abschluss der Grabenverfüllung und -verdichtung zu erhalten.

Abschließend werden weiterführende Fragestellungen zur baubetrieblichen Umsetzung geklärt, Vorschläge zur Berücksichtigung der Vorverformungen bei der statischen Berechnung

gemacht und die wirtschaftlichen Vorteile elliptisch überhöhter Rohre anhand von Szenario-Technik gezeigt.