neutral
unabhängig
gemeinnützig

IKT - Institut für
Unterirdische Infrastruktur

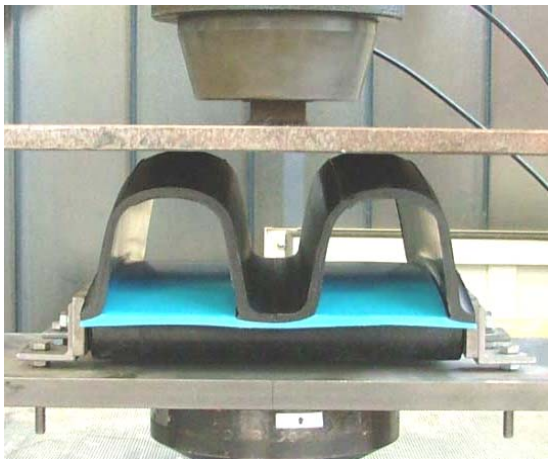
Endbericht

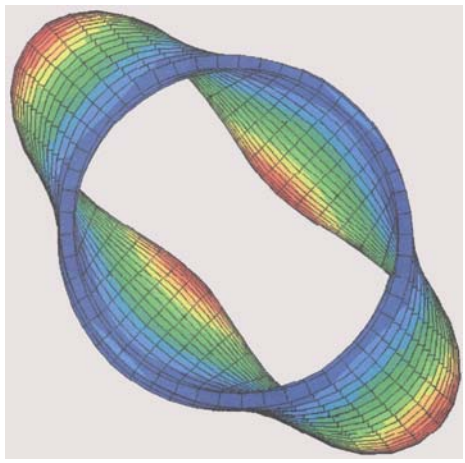
Profilierte Großrohre aus Kunststoff

- Praxiserfahrungen und Prüfkonzepte -









Bosseler, B.; Sokoll, O.
Gelsenkirchen, 2005

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Auftraggeber:

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW

Bearbeitung:

IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

WISSENSCHAFTLICHE LEITUNG

Dr.-Ing. Bert Bosseler

PROJEKTLEITUNG UND BEARBEITUNG

Dipl.-Ing. Oliver Sokoll
Dipl.-Ing. Andreas Redmann
Dipl.-Ing. Thomas Brüggemann

Wir danken den beteiligten Kanalnetzbetreibern für die weitreichende Unterstützung, z.B. durch das Bereitstellen von Planungs- und Bestandsunterlagen sowie Inspektionsvideos:

- Abwasserwerk der Stadt Altena
- Stadtwerke Arnsberg
- Bauamt der Stadt Bad Wildungen
- Umweltbetrieb der Stadt Bielefeld, Stadtentwässerung
- Stadtentwässerung Göttingen
- Stadtwerke Gummersbach
- Stadtentwässerung Hameln
- Abwasserwerk der Stadt Herford
- Tiefbauamt der Stadt Höxter
- Stadtwerke Idar-Oberstein
- Abwasserwerk der Gemeinde Kirchlengern
- Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR
- Abwasserwerk der Stadt Königswinter
- Stadtentwässerung Neuss
- Stadtwerke Porta Westfalica
- Abwasserwerk der Stadt Siegburg
- Stadtwerke Warburg
- Entsorgungsbetriebe der Stadt Warendorf
- Abwasserwerk der Stadt Wiehl
- Stadtentwässerung Würselen

Ein besonderer Dank für die Vorbereitung und Begleitung der Kanalbegehungen gilt dem Aggerverband, dem Bauamt der Stadt Bad Wildungen, dem Tiefbauamt der Stadt Höxter, dem Abwasserwerk der Gemeinde Kirchlengern, den Stadtwerken Porta Westfalica, dem Abwasserwerk der Stadt Siegburg, der Bauabteilung der Gemeinde Stemwede sowie den Stadtwerken Warburg.

Darüber hinaus danken wir Herrn Prof. Dr.-Ing. B. Falter, Lehrgebiet für Statik und Bauinformatik der Fachhochschule Münster, für die umfangreichen Berechnungen sowie die zahlreichen Anregungen und Hinweise bei der Entwicklung von Prüfkonzepten. Herrn Dr. R. Elsen, Deutsche Montan Technologie GmbH - Explorations- und Ingenieurgeophysik, danken wir für die Durchführung und Auswertung geophysikalischer Untersuchungen sowie Frau Prof. Dr. S. Planitz-Penno, Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Frenz und Herrn Dipl.-Ing. E. Krämer, Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften der Fachhochschule Gelsenkirchen, für die Unterstützung in Fragen der Kunststofftechnik.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

INHALTSVERZEICHNIS

1 VERANLASSUNG, ZIELSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE 1

2 STAND DER TECHNIK 3

2.1 UNTERSCHEIDUNGSMERKMALE 4

2.1.1 Wandaufbau 4

2.1.2 Rohrwerkstoffe 5

2.1.3 Verbindungstechniken 5

2.2 HERSTELLUNG 8

2.2.1 Wellrohrverfahren 8

2.2.2 Wickelrohrverfahren 10

2.3 WERKSTOFFE 12

2.3.1 Mechanische Eigenschaften 14

2.3.2 Alterung 16

2.4 BEMESSUNG 18

2.4.1 Unterschiede zwischen vollwandigen und profilierten Querschnitten 18

2.4.2 Statische Berechnung 19

2.5 PRÜFMETHODEN 21

2.5.1 Werkstoff-, Bauteil- und Systemprüfungen 21

2.5.2 Geophysikalische Verfahren 25

3 PRAXISERFAHRUNGEN 27

3.1 GEOPHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN 27

3.1.1 Untersuchungsobjekt 28

3.1.2 Untersuchungsziele und Methodenauswahl 29

3.1.3 Beschreibung des Radarverfahrens 31

3.1.4 Beschreibung der Radar-Messungen am Testobjekt 32

3.1.5 Ergebnisse 33

3.1.6 Zusammenfassung 35

3.2 KANALBEGEHUNGEN UND SICHTUNG VON INSPEKTIONSVIDEOS 35

3.2.1 Auswahl von Kanälen für In-situ-Untersuchungen 36

3.2.2 Umfang der Analyse von Inspektionsvideos 37

3.2.3 Beobachtungen an Rohren 38

3.2.4 Beobachtungen an Rohrverbindungen 47

3.2.5 Beobachtungen an Seiteneinläufen 55

3.2.6 Beobachtungen an Schachteinbindungen 58

3.2.7 Beobachtungen innerhalb von Schachtbauwerken 60

3.3 ERFAHRUNGEN DER NETZBETREIBER 63

3.3.1 Planung 64

3.3.2 Bau 64

3.3.3 Betrieb 65

3.4 ANALYSE STATISCHER BERECHNUNGEN 66

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4 ENTWICKLUNG VON PRÜFKONZEPTEN 68
4.1 IN-SITU-INSPEKTION 74
4.1.1 Hintergrund 74
4.1.2 Prüfkonzept 75
4.2 QUERSCHNITTSVERFORMUNGEN AN GROßROHREN (KURZZEITVERSUCH) 80
4.2.1 Hintergrund 80
4.2.2 Prüfkonzept 81
4.2.3 Ergebnisse 86
4.3 DICHTHEIT DER VERBINDUNG ROHR–STUTZEN 90
4.3.1 Hintergrund 90
4.3.2 Prüfkonzept 90
4.3.3 Ergebnisse 94
4.4 QUERSCHNITTSVERFORMUNGEN AN GROßROHREN (LANGZEITVERSUCH) 97
4.4.1 Hintergrund 97
4.4.2 Prüfkonzept 97
4.4.3 Ergebnisse 99
4.5 QUERSCHNITTSVERFORMUNGEN AN NICHT-BEGEHBAREN ROHREN 100
4.5.1 Hintergrund 100
4.5.2 Prüfkonzept 100
4.5.3 Ergebnisse 102
4.5.4 Dichtheitsprüfung der Rohrverbindung unter Verformung 103
4.6 KANALREINIGUNG 105
4.6.1 Hintergrund 105
4.6.2 Prüfkonzept 106
4.6.3 Ergebnisse 113
4.7 WASSERAUßENDRUCKPRÜFUNG 117
4.7.1 Hintergrund 117
4.7.2 Prüfkonzept 117
4.7.3 Ergebnisse 121
4.8 PROFILBELASTUNG DURCH NORMALKRAFT 124
4.8.1 Hintergrund 124
4.8.2 Prüfkonzept 124
4.8.3 Ergebnisse 125
4.9 PROFILBELASTUNG DURCH LOKALEN AUßENDRUCK 128
4.9.1 Hintergrund 128
4.9.2 Prüfkonzept 128
4.9.3 Ergebnisse 130
4.10 PUNKTBELASTUNG 137
4.10.1 Hintergrund 137
4.10.2 Prüfkonzept 139
4.10.3 Ergebnisse 142

5 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN 147

6 FAZIT UND AUSBLICK 154

7 LITERATUR 157

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

1 Veranlassung, Zielstellung und Vorgehensweise

Die Gesamtlänge des öffentlichen Kanalnetzes in Deutschland umfasst ca. 486.000 km (vgl. [1]). Für den Bau von Abwasserkanälen und -leitungen werden Rohre aus verschiedenen Werkstoffen angeboten. Neben Beton, Stahlbeton und Steinzeug werden u.a. auch Kunststoffe (z.B. aus PE-HD: Polyethylen hoher Dichte, PP: Polypropylen, PVC-U: weichmacherfreies Polyvinylchlorid) eingesetzt. Der Kunststoffrohrbestand beschränkt sich derzeit auf deutlich weniger als 10 % des gesamten Abwassernetzes. Im Nennweitenbereich ≥ DN 800 (Großrohre) liegt der Anteil der Kunststoffrohrleitungen sogar lediglich bei 1 % (vgl. [2]). Für diesen Nennweitenbereich werden neben Rohren mit monolithischem Wandaufbau (Vollwandrohre) überwiegend Rohre mit aufgelöstem Wandaufbau (profilierte Rohre) angeboten.

Der geringe Einsatz insbesondere profilierter Großrohre aus Kunststoff wird von Seiten öffentlicher Kanalnetzbetreiber mit Unsicherheiten hinsichtlich des Einbaus sowie des späteren Verhaltens im Betrieb begründet. Wesentliche Diskussionspunkte sind die dauerhafte Standsicherheit, Verformungsentwicklung, Bettungsanforderungen, mögliche Einbauschwierigkeiten sowie das Verhalten unter Punktlastbeanspruchung und HD-Reinigung. Diesen Unsicherheiten steht auf der anderen Seite der Wunsch gegenüber, die möglichen Vorteile der angebotenen Kunststoffrohre, wie z.B. das geringere Gewicht, die Schweißbarkeit (PE, PP) und die chemische Beständigkeit, bei entsprechenden bautechnischen Aufgabenstellungen nutzen zu können.

Da zahlreiche der o.a. Fragestellungen der Netzbetreiber in den derzeit gültigen Normen für profilierte Kunststoffrohre nicht oder nur unvollständig berücksichtigt sind, beauftragte das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen das IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur mit dem Forschungsprojekt „Versagensmechanismen von profilierten Großrohren aus Kunststoff - Erkennen, Bewerten, Prüfen“ (Aktenzeichen IV-9-042 396), dessen Ergebnisse in dem vorliegenden Endbericht dargestellt sind.

Ziel des Vorhabens ist es, die Erfahrungen mit Bau- und Betrieb von Großrohren aus Kunststoff zu erfassen und auf dieser Basis praxisnahe Methoden zur Prüfung dieser Rohre zu entwickeln. Die tatsächlichen Bau- und Betriebsbeanspruchungen sollen so bereits im Rahmen der Produktentwicklung und -zulassung simuliert werden können. Im Ergebnis werden den Netzbetreibern zuverlässige Hinweise gegeben, wie das Verhalten profilierter Kunststoffrohre bereits im Vorfeld einer Baumaßnahme überprüft und während der betrieblichen Inspektion in geeigneter Weise überwacht werden kann.

Um dieses Ziel zu erreichen, wird in der vorliegenden Untersuchung eine **praxisorientierte Vorgehensweise** gewählt. Zunächst wurden Erfahrungen von öffentlichen Kanalnetzbetreibern hinsichtlich des Einsatzes von profilierten Kunststoffrohren erfasst und die am Markt verbreiteten Produkttypen zusammengestellt. Anschließend wurden im Rahmen von Ortsterminen insgesamt 1,5 km Großrohre in 24 Haltungen aus 15 verschiedenen Kanalstrecken inspiziert. Neben einer optischen Untersuchung zur Identifikation von Auffälligkeiten wurden auch umfangreiche Querschnittsvermessungen durchgeführt. In einem weiteren Arbeitsschritt wurden nicht-begehbare Kanäle in die

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Untersuchung einbezogen und Inspektionsvideos von insgesamt 248 Haltungen (ca. 10 km) gesichtet. Über diese Momentaufnahme hinaus wurden ca. 130 Kanalnetzbetreiber persönlich befragt, um weitere Erfahrungen aus Bau und Betrieb der Netze zu berücksichtigen. Darüber hinaus wurden in ergänzenden Laborversuchen der Einsatz geophysikalischer Verfahren zur Erkundung der Rohrbettung an Kunststoffrohrsegmenten erprobt und anhand statischer Berechnungen abgeschlossener Baumaßnahmen die Bemessungspraxis für profilierte Großrohre aus Kunststoff erfasst und analysiert. Auf der Grundlage der vorgenannten Praxiserfahrungen wurden insgesamt zehn Konzepte zur Prüfung von profilierten Großrohren aus Kunststoff entwickelt, beispielhaft umgesetzt und mit Blick auf prüftechnische Verbesserungspotenziale bewertet.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

2 Stand der Technik

Für den Bau von Abwasserkanälen und -leitungen wird eine Vielzahl von Rohrprodukten angeboten und eingesetzt. Ein wesentliches Unterscheidungskriterium stellt dabei der Werkstoff dar. Abbildung 1 zeigt eine Gliederungsmöglichkeit der verschiedenen Materialien anhand grundsätzlicher Merkmale. Die Werkstoffarten werden danach vier Hauptgruppen (organische, nichtmetallisch-anorganische, metallische und Mehrkomponentenbaustoffe) zugeordnet. Die „organischen" Werkstoffe, die nachfolgend unter dem Begriff Kunststoffe zusammengefasst werden, umfassen neben Polyvinylchlorid (PVC) und Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) auch Polypropylen (PP).

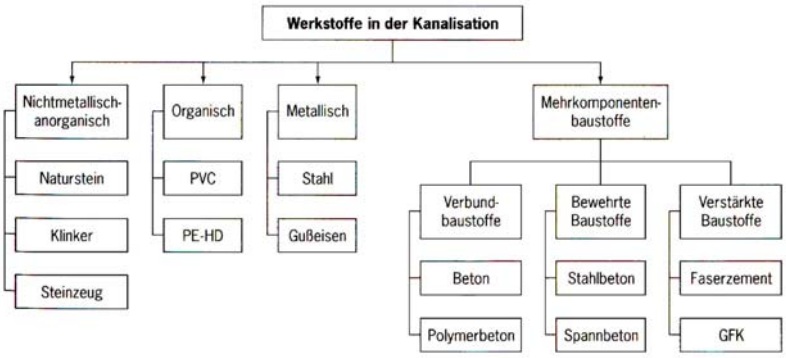


Abb. 1: Gliederung der in der Kanalisation eingesetzten Rohrwerkstoffe [3]

Rohre aus Kunststoff werden seit den dreißiger Jahren des vergangenen Jahrhunderts in der Abwassertechnik verwendet [3]. Sie unterscheiden sich nicht nur in Bezug auf die Kunststoffart, sondern insbesondere auch hinsichtlich der Konstruktion des Wandaufbaus. Neben Vollwandrohren werden auch Rohre mit strukturierter, profilierter Wandung angeboten. Zu dieser Gruppe gehören sowohl kerngeschäumte Mehrschichtrohre als auch Rohre mit „aufgelösten" Wandquerschnitten (vgl. Kapitel 2.1). Aufgrund der besonderen Konstruktion ihres Wandaufbaus weisen profilierte Rohre im Vergleich zu Vollwandrohren gleicher Nennweite und Steifigkeit ein geringeres Gewicht auf.

In der Vergangenheit wurden für profilierte Rohre aus Kunststoff verschiedene Normen entwickelt, die u.a. Maße, technische Lieferbedingungen, allgemeine Anforderungen sowie Prüfungen definieren. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um die derzeit gültige Norm DIN 16961 (Teil 1 [4], Teil 2 [5]) sowie um die Normenentwürfe DIN 19566 (Teil 1 [6], Teil 2 [7]) und prEN 13476 (Teil 1 [8], Teil 2 [9], Teil 3 [10]).

Profilierte Kunststoffrohre für die Abwassertechnik werden in zahlreichen Varianten von verschiedenen Herstellern angeboten. Die Produkte unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich des Wandaufbaus und der Verbindungstechnik, sondern auch in Bezug auf die Herstellungsmethode und die eingesetzte Kunststoffart. Der Nennweitenbereich umfasst sowohl nicht-begehbare als auch begehbare Rohre (Großrohre), d.h. Querschnitte ≥ DN 800 nach [11]. Die nachfolgenden Abschnitte gehen zunächst auf die verschiedenen Produktmerkmale ein. Anschließend werden die Unterschiede in der Bemessung im Vergleich zu Vollwandrohren und die bisherigen Prüfmethoden vorgestellt.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

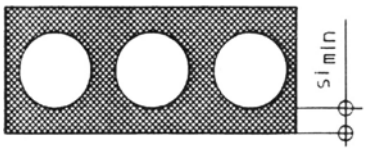
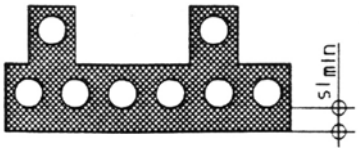
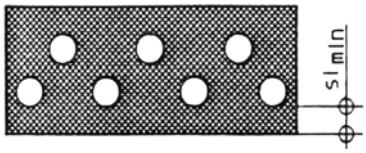
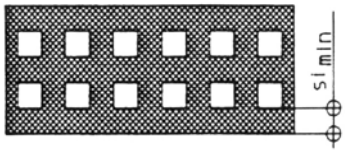
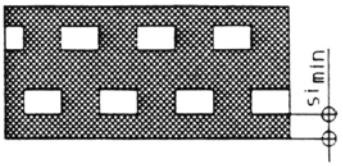
2.1 Unterscheidungsmerkmale

2.1.1 Wandaufbau

Profilierte Kunststoffrohre sind nach DIN 16961 [4] Rohre mit glatten Innenflächen und profilierten Wandungen. Unter diese Definition fallen Rohre mit Außenprofil, mit aufgelösten Querschnitten, aus einem Profil (Flachband) hergestellte Wickelrohre sowie kerngeschäumte Rohre. Weitergehende Angaben zur Konstruktion der genannten Wandquerschnitte sind in dieser Norm nicht enthalten. Dagegen werden in [6] und [8] konkrete Beispiele für verschiedene Wandaufbauten genannt, die in Tabelle 1 und 2 dargestellt sind.

Während [6] lediglich Prinzipdarstellungen von Wandquerschnitten enthält, definiert [8] insgesamt drei Wandaufbau-Typen. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Außenfläche (glatt / gerippt bzw. gewellt), der Anzahl der Schichten sowie der Form (rechteckig / kreisförmig / trapezförmig) und Ausrichtung der Profile bzw. Hohlkammern zur Rohrlängsachse (axial / radial / spiralförmig).

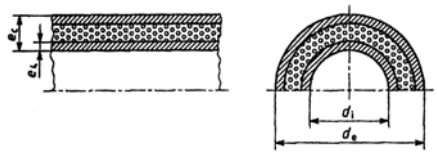
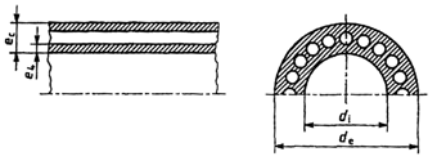
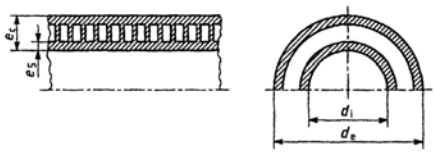
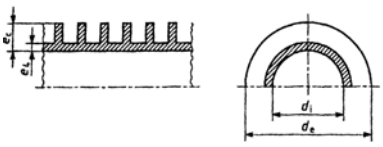
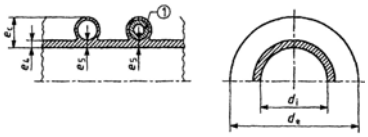
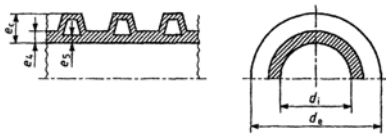
Tab. 1: Prinzipdarstellungen (*) zu Wandquerschnitten in Rohrlängsrichtung nach [6]

 Bild a	 Bild b	 Bild c
 Bild d	 Bild e	 Bild f
 Bild g		

(*) Wandquerschnitte aus Tabelle 2 sind hier nicht dargestellt

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Tab. 2: Übersicht zu Wandaufbauten im Rohrlängsschnitt und -querschnitt nach [8]

Wandaufbauten vom Typ A: Innen- und Außenfläche glatt	
Rohrtyp A1: Mehrschichtbauweise oder Hohlwandprofil mit axial verlaufenden Kammern	
Beispiel 1: geschäumte bzw. nicht geschäumte Mittelschicht 	Beispiel 2: axial verlaufende, kreisförmige Hohlprofile 
Rohrtyp A2: Hohlwandprofil mit spiralförmig oder radial verlaufenden Kammern	
Beispiel: rechteckige Hohlprofile 	
Wandaufbauten vom Typ B: Innenfläche glatt / Außenfläche: gerippt oder gewellt	
Beispiel 1: gerippte Außenprofile 	Beispiel 2: kreisförmiges Außenprofil 
Beispiel 3: trapezförmiges Außenprofil 	

2.1.2 Rohrwerkstoffe

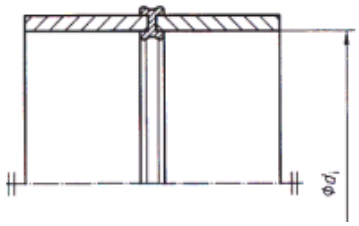
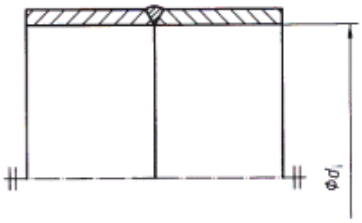
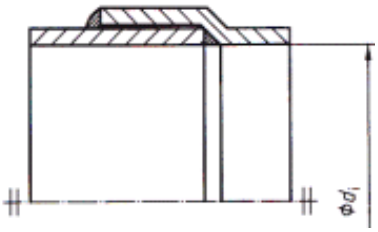
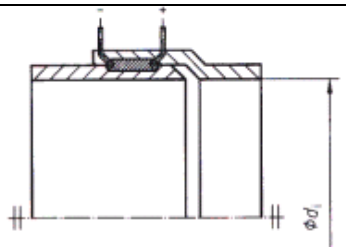
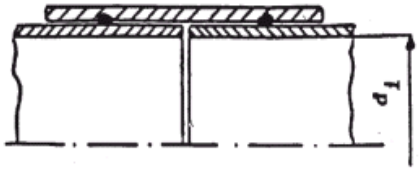
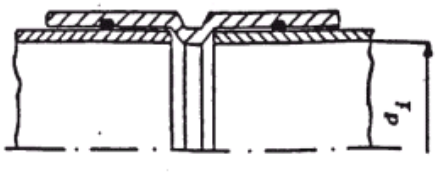
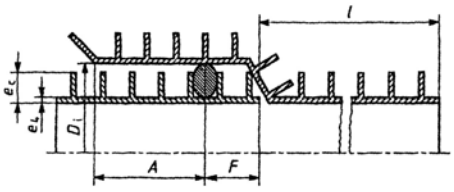
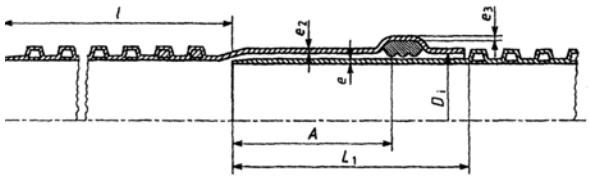
Für die Herstellung profilierter Kunststoffrohre für die Abwassertechnik werden weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) oder Polyethylen (PE) verwendet. Diese Materialien gehören zur Gruppe der thermoplastischen Kunststoffe. Auf ihre Eigenschaften wird in Kapitel 2.3 näher eingegangen.

2.1.3 Verbindungstechniken

Die Verbindung von profilierten Rohren aus Kunststoff wird durch Stecken unter Verwendung von Dichtungselementen oder Schweißen (Ausnahme: Rohre aus PVC-U) hergestellt [4]. In Tabelle 3 sind Varianten dieser beiden Methoden zusammengefasst. Im Nennweitenbereich bis DN 1200 werden sowohl Steck- als auch Schweißverbindungen eingesetzt. Oberhalb dieser Grenze werden profilierte Kunststoffrohre ausschließlich durch Anwendung von Schweißverfahren miteinander verbunden (Anmerkung: Rohre aus PVC-U sind lediglich bis zu einer Größe von DN 800 verbreitet).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

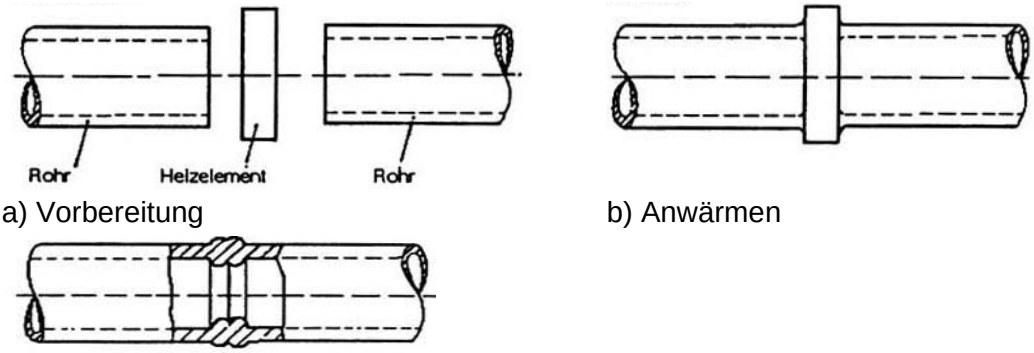
Tab. 3: Verbindungsmethoden von profilierten Kunststoffrohren (vgl. [4], [6])

Schweißverbindungen	
 Heizelement-Stumpfschweißung	 V-Naht-Extrusionsschweißung (bei größeren Nennweiten auch Doppel-V-Naht)
 Rohr-Extrusions-Muffenschweißung (Innenschweißung bei DN ≥ 800)	 Heizwendel-Schweißmuffen-Verbindung
Steckverbindungen	
 Doppelmuffen mit Elastomerdichtringen	 Überschiebmuffen mit Elastomerdichtringen
 Steckmuffe mit Elastomerdichtring auf Spitzende	 Steckmuffe mit Elastomerdichtring in der Muffe

Die in Tabelle 3 dargestellten **Schweißverbindungen** werden durch drei unterschiedliche Verfahren hergestellt:

- Beim **Heizelement-Stumpfschweißen** von Rohren aus PE-HD bzw. PP werden die Verbindungsflächen der zu schweißenden Teile am Heizelement unter Druck angeglichen (Angleichen), anschließend mit reduziertem Druck auf Schweißtemperatur erwärmt (Anwärmen) und nach Entfernen des Heizelementes (Umstellen) unter Druck zusammengefügt (vgl. [12], [13]). Abbildung 2 zeigt das Prinzip des Verfahrens.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Vorbereitung b) Anwärmen

c) fertige Verbindung

Abb. 2: Prinzip des Heizelement-Stumpfschweißens (vgl. [12] und [13])

- Das **Extrusionsschweißverfahren** ist ein handwerkliches bzw. teilmechanisiertes Schweißverfahren zum Verbinden von vorwiegend dickwandigen Teilen. Es wird mit Schweißzusatz (Granulat oder Draht) geschweißt, der überwiegend als Strang aus einer Plastifiziereinheit direkt in die Schweißfuge gedrückt wird. Die Fügeflächen werden mit Warmgas oder Wärmestrahlung auf Schweißtemperatur erwärmt. Das Verfahren kommt im Rohrleitungs- und Kanalbau z.B. dann zum Einsatz, wenn wegen der Rohrdimensionen oder der Baustellenbedingungen Heizelement-Stumpfschweißen nicht angewendet werden kann. Zur Reduzierung des Schweißnahtvolumens und wegen der Spannungssymmetrie ist bei dickwandigeren Halbzeugen die Doppel-V-Naht der V-Naht vorzuziehen (vgl. [14]). Abbildung 3 zeigt die Arbeitsschritte des Extrusionsschweißverfahrens anhand der Verbindung von Viertelschalen eines profilierten Kunststoffrohres der Nennweite DN 1600 auf dem Außengelände des IKT.

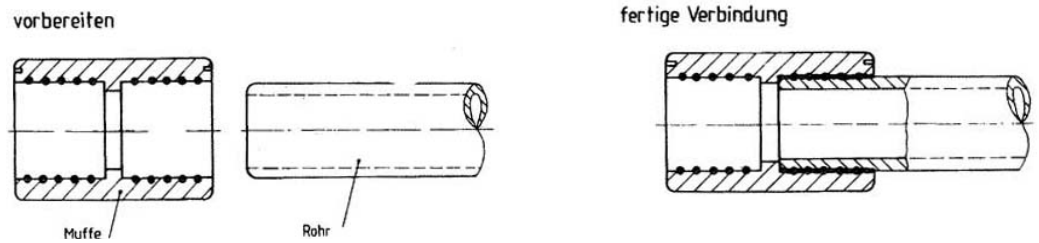


a) Entfernen der Oxidschicht b) Vorwärmen c) Schweißvorgang

Abb. 3: Arbeitschritte des Extrusionsschweißverfahrens

- Beim **Heizwendel-Schweißen** von Rohren aus PE-HD bzw. PP überlappen sich die Verbindungsflächen, d.h. die Rohroberfläche und die Formstückinnenseite, und werden mit Hilfe von im Formstück angeordneten Widerstandsdrähten (Heizwendel) durch elektrischen Strom auf Schweißtemperatur erwärmt und dadurch geschweißt (vgl. [12], [13]). Abbildung 4 zeigt das Prinzip des Verfahrens.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Vorbereitung b) fertige Verbindung

Abb. 4: Prinzip des Heizwendel-Schweißens (vgl. [12] und [13])

Auf die gleiche Weise funktioniert die in Tabelle 3 dargestellte **Heizwendel-Schweißmuffen-Verbindung**. Im Unterschied zum beschriebenen Heizwendel-Schweißen sind die Widerstandsdrähte hier jedoch nicht Bestandteil eines Formstücks, sondern auf der Innenseite der Rohrmuffe angeordnet.

Steckverbindungen mit Elastomerdichtringen können zwei Typen zugeordnet werden (vgl. Tab. 3):

- Bei **Typ 1** werden Formstücke (Doppelmuffen bzw. Überschiebmuffen) verwendet, um die Rohrverbindung herzustellen.
- Im Gegensatz dazu sind die Muffen bei den Rohrverbindungen des **Typs 2** fester Bestandteil der Rohre. Auf diese Weise ist kein zusätzliches Übergangselement erforderlich und die Anzahl der Verbindungen pro Rohrstoß wird von zwei auf eine reduziert.

Unabhängig vom Verbindungstyp variiert darüber hinaus die Anordnung der elastomeren Dichtringe. Sie sind entweder in die Muffen der Rohre bzw. der Formstücke integriert oder auf dem Spitzende der Rohre angeordnet.

2.2 Herstellung

Zur Herstellung von profilierten Rohren aus Kunststoff werden zwei grundsätzlich verschiedene Produktionsverfahren eingesetzt. Es handelt sich dabei zum einen um das **Wellrohrverfahren** und zum anderen um das **Wickelrohrverfahren**. Beide Verfahren werden in den nachfolgenden Abschnitten näher beschrieben. Rohre mit gerippten bzw. gewellten Außenflächen können durch Inaugenscheinnahme der Profilierung leicht einer dieser beiden Produktionsmethoden zugeordnet werden. Während die Profile bzw. Hohlkammern durch den Einsatz des Wellrohrverfahrens senkrecht zur Rohrlängsachse und parallel zueinander angeordnet sind, verlaufen sie als Folge des Wickelrohrverfahrens spiralförmig.

2.2.1 Wellrohrverfahren

Beim Wellrohrverfahren kommen Corrugatoren zum Einsatz. Es handelt sich dabei um Maschinen zur Profilierung von Kunststoffrohren durch Formbacken aus Metall [15]. In Abbildung 5 sind beispielhaft zwei Corrugatoren für die Produktion von nicht-begehbaren profilierten Kunststoffrohren dargestellt. Die Maschinen unterscheiden sich u.a. durch die

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

vertikale (a) bzw. horizontale (b) Ausrichtung der Ebenen, in denen die Formbacken umlaufen.



a) vertikal umlaufende Formbacken [16]



b) horizontal umlaufende Formbacken [17]

Abb. 5: Corrugatoren zur Herstellung von nicht-begehbaren profilierten Kunststoffrohren

Abbildung 6 zeigt die schematische Darstellung des Produktionsprozesses eines zweischichtigen profilierten Kunststoffrohres nach dem Wellrohrverfahren [18]. Nachdem das in Granulatform angelieferte Kunststoffmaterial geschmolzen wurde, tritt es im plastischen Zustand durch zwei Ringdüsen aus dem Extruder aus. Der Schmelzestrom der äußeren Ringdüse ist für die Herstellung der profilierten Außenschicht bestimmt. Dazu wird das Material mit Hilfe von Luftüberdruck in den aus umlaufenden Kokillen mit gerippter Innenfläche gebildeten Formkanal gedrückt. Bei anderen Varianten des Wellrohrverfahrens kommt für diesen Vorgang eine Vakuumtechnik zum Einsatz. Unmittelbar nach diesem Prozess wird aus dem Schmelzestrom der inneren Ringdüse das glatte Innenrohr hergestellt und mit der profilierten Außenschicht verschweißt. Der nachfolgende Dorn dient sowohl der Kühlung des Materials (Formstabilisierung) als auch der Innendurchmesserkalibrierung.

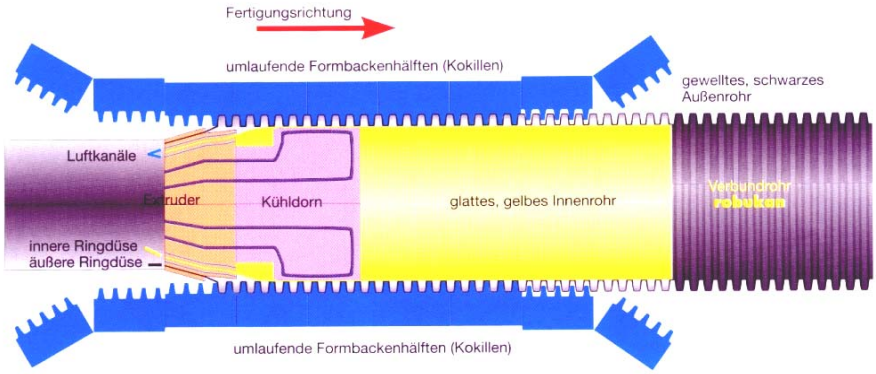


Abb. 6: Schematische Darstellung des Produktionsprozesses (Coextrusion) eines profilierten Kunststoffrohres nach dem Wellrohrverfahren [18]

Die Maschinentechnik und die Produktionsabläufe der verschiedenen Rohrhersteller variieren in Abhängigkeit der Profilform, der Anzahl der Materialschichten sowie insbesondere der Rohrnennweite (vgl. Abb. 7). Dementsprechend unterscheiden sich u.a. die Konstruktionen der Extruder und Kokillen (Form, Größe) sowie die Methoden zur Formstabilisierung des Rohres. Entweder wird das Rohr nach dem Verlassen des Corrugators mit Wasser besprüht (Nachkühlung) oder während des Produktionsprozesses

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

direkt gekühlt, d.h. durch einen Wasserstrom innerhalb der Formbacken. Bei Großrohren kommt die Direktkühlung zum Einsatz, da die Wärme auf diese Weise effizienter extrahiert werden kann [19].



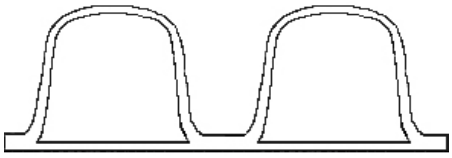
a) Beispiel 1 [20]



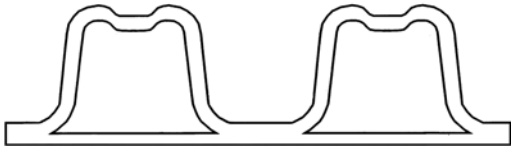
b) Beispiel 2 [17]

Abb. 7: Corrugatoren zur Herstellung profilierter Großrohre aus Kunststoff bis zu einem Außendurchmesser von 1200 mm

Mit Hilfe des Wellrohrverfahrens werden profilierte Kunststoffrohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) oder Polyethylen (PE) hergestellt. Ihre Baulänge beträgt in Abhängigkeit des jeweiligen Produkts 2, 3, 5 und 6 m (in Ausnahmefällen auch 12 m). Die größten im Rahmen des vorliegenden Projektes identifizierten Wellrohre weisen nach [21] und [22] einen Außendurchmesser von 1200 mm auf. Die Wandaufbauten dieser Rohre sind in Abbildung 8 dargestellt. Allerdings werden auch Maschinen für die Produktion von Rohren dieses Typs mit einem Außendurchmesser von bis zu 2400 mm angeboten (vgl. [17]).



a) Beispiel 1 [21]



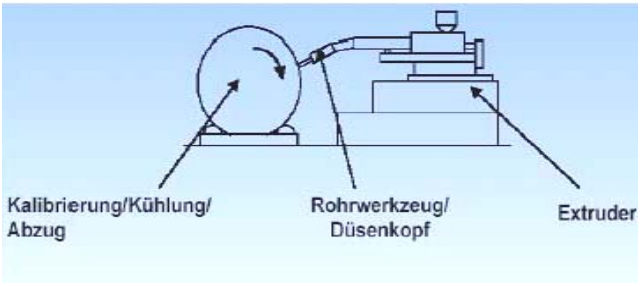
b) Beispiel 2 [23]

Abb. 8: Wandaufbauten von mittels Wellrohrverfahren hergestellten, profilierten Großrohren aus Kunststoff mit einem maximalen Außendurchmesser von 1200 mm

2.2.2 Wickelrohrverfahren

Eine weitere Möglichkeit der Herstellung profilierter Kunststoffrohre stellt das Wickelrohrverfahren dar. Abbildung 9 zeigt den schematischen Aufbau (a) und das Beispiel einer Produktionsanlage (b).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH





a) Schematischer Aufbau [24] b) Beispiel einer Produktionsanlage [25]

Abb. 9: Produktion von profilierten Kunststoffrohren nach dem Wickelrohrverfahren

Die Maschinentechnik besteht im Wesentlichen aus den Komponenten Extruder, Düsenkopf und Kalibriereinheit (Stahltrommel). Zunächst wird das im Lieferzustand granulatförmige Kunststoffmaterial dem Extruder zugeführt, in dem es durch Erwärmung den thermoplastischen Zustand erreicht sowie durchmischt und komprimiert wird. Das plastische Material tritt an einer Düse aus und wird mit Hilfe einer Anpressvorrichtung als Band auf eine mit gleichmäßiger Geschwindigkeit rotierende Stahltrommel gedrückt. Währenddessen bewegt sich der auf einem Fahrwagen montierte Extruder parallel zur Stahltrommel, so dass das plastische Kunststoffband spiralförmig um diese gewickelt wird. Durch die aufeinander abgestimmten Bewegungen der beiden Maschinenkomponenten überlappen sich die Wicklungen und sie können unter Druck verschweißt werden. Auf diese Weise entsteht die Grundwand des Rohres.
Im nächsten Schritt wird das Profil ebenfalls spiralförmig auf die Grundwand gewickelt und mit der Grundwand stumpf verschweißt. An dieser Stelle zeigen sich deutliche Unterschiede in den Methoden der Rohrhersteller. Abbildung 10 (a) zeigt einen Wandquerschnitt, bei dem ein vollständig vorgefertigtes, stabförmiges Hohlprofil im Wickelprozess kreisförmig gebogen und mit einer erhitzten Grundwand verbunden wurde. In Abbildung 10 (b) und (c) sind Wandquerschnitte dargestellt, bei denen vor der Wicklung auf eine erhitzte Grundwand zunächst kreisförmige Stützkörper mit plastischem Kunststoffmaterial umhüllt wurden.







a) Beispiel 1 [26] b) Beispiel 2 [25] c) Beispiel 3 [27]

Abb. 10: Beispiele für Wandaufbauten mit Profilen ohne (a) bzw. mit Stützkörper (b, c)

Die Maße der Stahltrommeln bestimmen Rohrlänge und -innendurchmesser. Aus diesem Grund wird diese Komponente der Produktionsanlage auch als Kalibriereinheit bezeichnet. In der Regel weisen sie eine Länge von 6 m auf und geben somit die maximale Rohrlänge vor. Nach Angaben der Hersteller können mit Hilfe des Wickelrohrverfahrens profilierte Kunststoffrohre aus Polyethylen (PE) oder Polypropylen (PP) bis zur Nennweite DN 3600 hergestellt werden (vgl. [25], [27], [26]).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Das Wickelrohrverfahren ermöglicht die Anpassung der Rohre an die Erfordernisse des jeweiligen Anwendungsfalles (insbesondere in statischer Hinsicht). So können nicht nur die Grundwanddicke und die Anzahl der übereinanderliegenden Profilschichten variiert werden, sondern auch der Profilabstand.

2.3 Werkstoffe

Für die Herstellung profilierter Kunststoffrohre für die Abwassertechnik wird weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) oder Polyethylen (PE) verwendet. Dabei handelt es sich um Thermoplaste, die unter den synthetischen Polymeren die größte Werkstoffgruppe darstellen. Als Thermoplaste werden Kunststoffe bezeichnet, deren Makromoleküle aus linearen oder verzweigten Ketten bestehen. Sie werden durch zwischenmolekulare Kräfte zusammengehalten, deren Intensität von der Art und Anzahl der Verzweigungen abhängt. Der Begriff „Thermoplaste“ leitet sich aus dem nachfolgend beschriebenen temperaturabhängigen Materialverhalten ab. Durch Erwärmung werden die zwischenmolekularen Kräfte schwächer und der Kunststoff in der Folge formbar bzw. fließfähig. Nach dem Abkühlen verfestigen sich Thermoplaste wieder [24].

Die Eigenschaften von Thermoplasten werden u.a. durch die Lagerung der linearen oder verzweigten Molekülketten beeinflusst. Es wird unterschieden zwischen amorphen und teilkristallinen Strukturen (vgl. Abb. 11). Amorphe Thermoplaste, zu denen auch PVC gehört, weisen völlig ungeordnete, ineinander verschlungene Molekülketten auf und sind relativ spröde und spannungsrissempfindlich. Bei teilkristallinen Thermoplasten, wie z.B. PE und PP, liegen in Teilbereichen Kristallite, d.h. Faltungen von Molekülketten oder Parallelbündelungen von Molekülabschnitten, vor. Diese Struktur wirkt sich positiv auf die physikalischen und chemischen Werkstoffeigenschaften aus. Teilkristalline Thermoplaste zeigen im Allgemeinen ein zähhartes Verhalten [24].



a) amorphe Struktur b) teilkristalline Struktur

Abb. 11: Unterschiedliche Strukturen der Molekülketten von Thermoplasten [24]

Neben der Struktur der Molekülketten nehmen weitere Faktoren Einfluss auf die Eigenschaften von Kunststoffen, wie z.B. die Verarbeitung und die dabei verwendeten Zusätze. Darüber hinaus bewirkt das viskoelastische Verhalten von Thermoplasten insbesondere bei den mechanischen Eigenschaften eine Abhängigkeit von der Last, der Temperatur und der Zeit [28].
Vor diesem Hintergrund sind die in Tabelle 4 auszugsweise dargestellten Werkstoffkenndaten von weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) lediglich als Anhaltswerte zu verstehen. Als Vergleich zu Polyethylen

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

hoher Dichte (PE-HD) wurde auch Polyethylen niedriger Dichte (PE-LD) in diese Zusammenfassung aufgenommen.

Tab. 4: Werkstoffkenndaten von PE, PP und PVC-U [24]

Werkstoff	Polyvinylchlorid	Polypropylen	Polyethylen hoher Dichte	Polyethylen niedriger Dichte
Kurzbezeichnung	PVC-U	PP	PE-HD	PE-LD
Struktur	amorph; „u“ steht für unplasticised (weichmacherfrei)	gering verzweigt, hochkristallin, isotaktisch	gering verzweigt, hoch kristallin	stark verzweigt, gering kristallin
Stoffbeschreibung	glasklar bis gering opak*, gut zu kleben	schwach transparent, schweißbar, schwierig zu kleben, härter als PE-HD	opak*, schweißbar	opak * bis transparent, wachsartig, schweißbar, schlecht zu kleben
mechanische Eigenschaften	hart, steif, bei Kälte schlagempfindlich	hart, bei Kälte bedingt schlagzäh	steif, hohe Zähigkeit	flexibel
Dichte [g/cm³]	1,380 - 1,400	0,900 - 0,906	0,945 - 0,960	0,915 - 0,924
Streckspannung [N/mm²]	55	22 - 35	22 - 30	9 - 11
Reißdehnung** [%]	20 - 40	500 - 1000	500 - 800	500 - 650
E-Modul [N/mm²]	1000 - 3500	700 - 1500	900 - 1500	200 - 500
max. Gebrauchs-temperatur [°C]	55 - 65, kurzzeitig: 70 - 80	100 - 110, kurzzeitig: 130 - 140	70 - 80, kurzzeitig: 90 - 120	60, kurzzeitig: 90 - 100
Kristallit-Schmelz-temperatur [°C]	---	160 - 165	124 - 133	105 - 115
Schmelztemperatur [°C]	90	160 - 165	130	105 - 115
unbeständig gegen:	aromatische Kohlenwasser-stoffe, Chlorkohlen-wasserstoffe	oxidierende Säuren, Halogene, Chlorkohlenwasser-stoffe, Brom, Kohlenwasserstoff	oxidierende Säuren, Halogene, Chlorkohlenwasser-stoffe, aromatische Kohlenwasserstoffe	Benzin, aromatische Kohlenwasserstoffe, chlorierte Kohlenwasserstoffe
beständig gegen:	Benzin, Öle, verdünnte Säuren und Basen	Salzlösungen, Säuren, Basen, Speiseöle, Fette	Salzlösungen, Säuren, Basen, Speiseöle, Fette	Salzlösungen, Säuren, Basen

* opak: lichtundurchlässig und undurchsichtig

** Reißdehnung: Werte gelten für einaxiale Dehnung

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

2.3.1 Mechanische Eigenschaften

Zur Beschreibung der mechanischen Eigenschaften von Kunststoffen reichen die bei traditionellen Baustoffen üblichen „Ein-Punkt“-Kennwerte (z.B. Festigkeit, E-Modul) nicht aus. Auch bei normalen Gebrauchsbedingungen bestehen komplexe Zusammenhänge zwischen Spannung, Verformung, Zeit und Temperatur [29], die in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert werden.

a) Viskoelastisches Werkstoffverhalten

Thermoplaste sind viskoelastische Werkstoffe [30], d.h. ihr Formänderungsverhalten lässt sich sowohl auf elastische als auch auf viskose (zähflüssige) Anteile zurückführen [31]. Die im Laufe einer Dauerbelastung auftretenden Zustandsänderungen sind - in Abhängigkeit von den baulich-konstruktiven Gegebenheiten - Kriechen (Zeit- bzw. Dauerstandsverformung) und Relaxation (Entspannung) (vgl. Abb. 12).

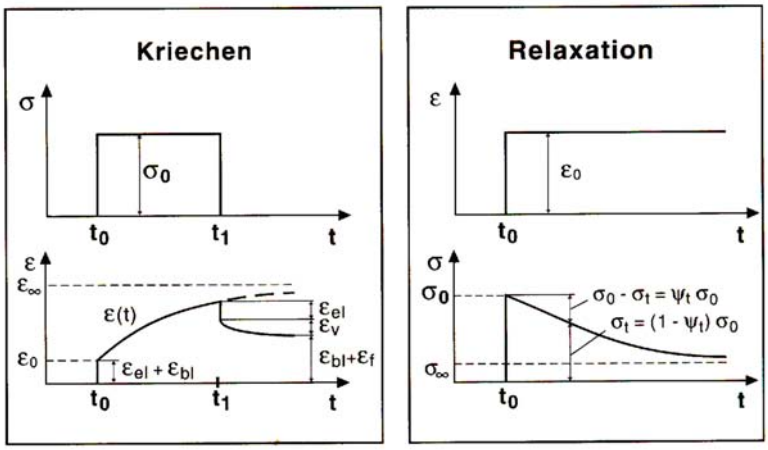


Abb. 12: Viskoelastische Form- und Spannungsänderungen [31]

Unter Kriechen versteht man im Allgemeinen den zeitabhängigen Verformungszuwachs unter dauernder, konstanter Spannung. Bei polymeren Materialien basiert dieser Vorgang auf der Werkstoffstruktur. Während sich die Molekülketten beim Aufbringen der Belastung unmittelbar deformieren, bewegen sie sich unter Einfluss einer gleichbleibenden Beanspruchung relativ zueinander. Die dabei auftretenden Lageänderungen setzen sich aus Umorientierungen, Gleitungen sowie Platzwechselvorgängen zusammen und verursachen so den Kriechvorgang.

Im linken Teil der Abbildung 12 sind die viskoelastischen Formänderungen für den Fall des Kriechens grafisch dargestellt. Die aus der Spannung σ_0 resultierende, sofort auftretende Dehnung $\varepsilon_0 = \varepsilon_{el} + \varepsilon_{bl}$ (sofort auftretende elastische Verformung + bleibende Verformung) nimmt im Laufe der Zeit zu und strebt im allgemeinen einem Grenzwert ε_∞ zu, der sich aus der verzögert elastischen Verformung (ε_v) und der verzögert bleibenden Verformung (viskoses Fließen ε_f) zusammensetzt. Bei Entlastung geht sofort die elastische Dehnung ε_{el} und im Laufe der Zeit die verzögert elastische Dehnung ε_v zurück (Rückkriechen oder Retardation), und es bleibt die gesamte bleibende Dehnung $\varepsilon_{bl} + \varepsilon_f$ (Setzen + Fließen) bestehen [31].

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Unter Relaxation versteht man den zeitabhängigen Spannungsabbau bei dauernder konstanter Dehnung ε_0 (vgl. Abb. 12, rechter Teil). Die sofort erreichte Spannung σ_0 wird durch die viskose Strukturänderung im Laufe der Zeit abgebaut, bis die Restspannung σ_∞ nicht mehr zum weiteren Fließen ausreicht [31].

b) Einfluss von Temperatur und Spannungszustand

Abbildung 13 zeigt beispielhaft die doppelt-logarithmisch dargestellten Ergebnisse von Langzeit-Versuchen an mehreren Probekörpern eines Thermoplasten unter konstanter Zugspannung von 10 N/mm². Insgesamt vier Einzelversuche wurden jeweils bei einer gleich bleibenden Prüftemperatur von 20, 40, 60 und 80 °C durchgeführt. In allen Fällen steigen die Kriechkurven an, d.h. die Dehnungen nehmen zeitabhängig zu und der rechnerische E-Modul wird geringer. Der annähernd lineare Verlauf der Graphen resultiert dabei aus der gewählten doppelt-logarithmischen Darstellungsform. Darüber hinaus ist zu erkennen, dass steigende Temperaturen zu einem höheren Dehnungsniveau führen und dadurch ebenfalls Einfluss auf den rechnerischen E-Modul nehmen.

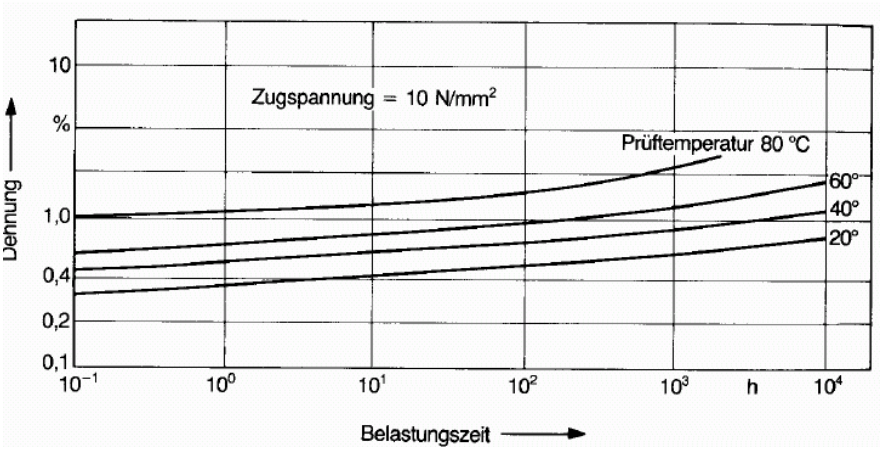


Abb. 13: Kriechkurven eines Thermoplasten [24]

Auch der Spannungszustand hat Einfluss auf die Werkstoffeigenschaften von Thermoplasten. Diesen Zusammenhang zeigen die in Abbildung 14 dargestellten isochronen Spannungs-Dehnungslinien. Die Messdaten resultieren aus Langzeitversuchen an identischen Probekörpern (Rohren), die bei einer einheitlichen Temperatur von 20 °C durch jeweils unterschiedliche, konstante Umfangsspannungen beansprucht wurden. Für jedes Spannungsniveau wurden die zu bestimmten Zeiten (hier: 1, 10^1, ..., 10^5h) gemessenen Dehnungen in das Diagramm eingetragen. Die isochronen Spannungs-Dehnungslinien entstehen durch Verbindung der Messwerte gleicher Zeitpunkte.
Anhand der grafischen Darstellung ist zum einen zu erkennen, dass unter konstanter Beanspruchung die Dehnungen des Probekörpers zeitabhängig zunehmen (vgl. auch Abb. 13). Zum anderen zeigen die Verläufe der isochronen Linien eine überproportionale Erhöhung der Verformungen bei steigender Umfangsspannung. Dies bedeutet, der rechnerische E-Modul nimmt bei Erhöhung des Spannungszustands ab.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

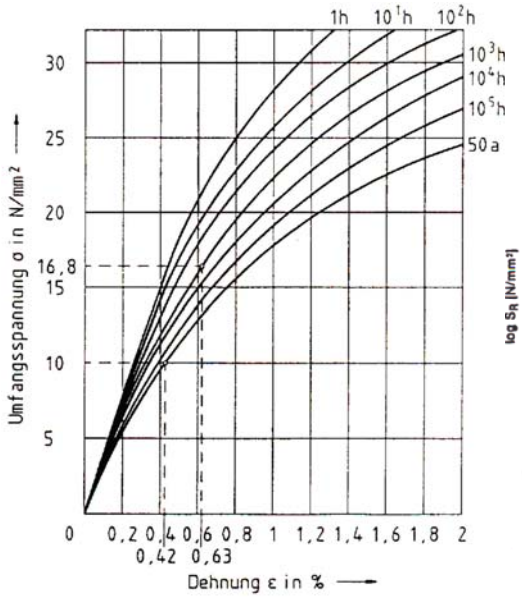


Abb. 14:
Spannungs-Dehnungsdiagramm, PVC-U, 20°C [28]

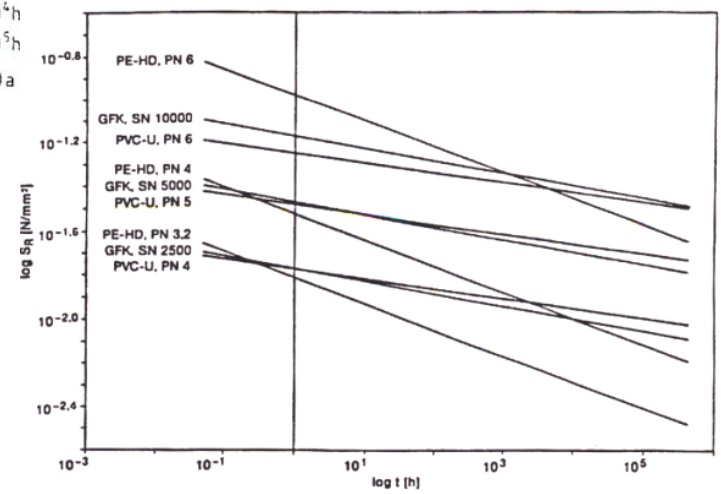


Abb. 15:
Zeitabhängige Entwicklung der Rohrsteifigkeit S_R für verschiedene Kunststoffrohre in Kriechversuchen [28]

Eine Methode zur Bestimmung des zeitabhängigen Verlaufs des rechnerischen E-Moduls (Kriechmodul) an Kunststoffrohren ist in [32] beschrieben. Dabei wird der linienförmig gelagerte Probekörper durch eine konstante Scheiteldruckkraft belastet. In die Berechnung des E-Moduls fließt u.a. die zeitabhängige vertikale Innendurchmesseränderung ein. Auf der Grundlage derartiger Kriechversuche wurde mit Hilfe der Beziehung $S_R = EI/r^3$ (vgl. [33]) die zeitliche Entwicklung der Rohrsteifigkeit $S_R(t)$ für verschiedene Kunststoffrohre ermittelt (vgl. Abb. 15).

2.3.2 Alterung

Die für die Rohrdimensionierung maßgebenden Kennwerte von thermoplastischen Kunststoffen hängen u.a. von der Alterung und dem Zeitstandverhalten ab, da diese Einflüsse eine Veränderung der mechanischen Werkstoffeigenschaften zur Folge haben können. Für den Bemessungszeitraum sind die Alterung und das Zeitstandverhalten durch den Ansatz von in der Regel jeweils 50 Jahren zu berücksichtigen [33].

Nach [34] umfasst der Begriff Alterung die Gesamtheit aller im Laufe der Zeit in einem Material irreversibel ablaufenden chemischen und physikalischen Vorgänge. Alterungsprozesse können demnach sowohl durch innere als auch durch äußere Ursachen ausgelöst werden. Zu den inneren Alterungsursachen zählen nach [34] u.a. unvollständige Polymerisation, Eigen- und Orientierungsspannungen sowie die begrenzte Mischbarkeit einzelner Komponenten mit dem polymeren Grundmaterial. Als äußere Alterungsursachen werden u.a. chemische und biologische Einflüsse, Temperaturwechsel und Energiezufuhr in Form von Wärme sowie sichtbarer, ultravioletter oder ionisierender Strahlung genannt. Bei der Bewitterung treten Kombinationen dieser Randbedingungen auf.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Mit Blick auf die hervorgerufenen Abläufe werden chemische, physikalische und biogene Alterungsvorgänge unterschieden [34]:

- Zu den **chemischen Alterungsvorgängen** zählen u.a. Korrosion, Nachpolymerisation, Autooxidation sowie thermische, strahleninduzierte, oxidative, thermooxidative und hydrolytische Materialveränderungen (vgl.[34], [35], [36]).
- Zu den **physikalische Alterungsvorgängen** gehören u.a. die Nachkristallisation (Veränderung der Molekülorientierung [29]), die Entmischung (Phasentrennung von Mehrstoffsystemen) sowie Weichmacherverlust hervorgerufen durch Kontakt mit geeigneten anderen Feststoffen (Weichmacherwanderung) oder durch Benetzung mit aktiven Flüssigkeiten (Weichmacherextraktion) [29].
- **Biogene Alterung** wird durch Organismen, wie z.B. Mikrobionten (Nagetiere, Insekten, Würmer etc.) oder Mikroorganismen (Algen, Bakterien, Pilze etc.) hervorgerufen. Wird der Polymerwerkstoff von ausgeschiedenen Stoffwechselprodukten (z.B. organische oder mineralische Säuren) chemisch angegriffen, so handelt es sich um einen biochemischen Vorgang. Im Gegensatz dazu wird das Zerkleinern von Werkstoffen durch Nagerfraß als biophysikalischer Vorgang bezeichnet.

Infolge der genannten Alterungsvorgänge können sich Veränderungen des Erscheinungsbildes (z.B. Verfärbungen) sowie der mechanischen, elektrischen und rheologischen (Deformations- und Fließverhalten) Eigenschaften von Kunststoffen ergeben. So kommt es beispielsweise infolge der oxidativen Reaktionsschritte parallel zu Molekülvergrößerungen und zum Molekülzerfall, und dadurch zur Erweichung oder Verhärtung des Werkstoffes. Mit sinkender Molekülkettenlänge nehmen die Reißfestigkeit, die Schlag- und Kerbzähigkeit sowie der Widerstand gegen Spannungsrissbildung ab. Physikalisch wirkende Medien reagieren nicht mit dem Kunststoff. Sie können jedoch u.a. durch Quellung zur Erhöhung der Elastizität und Verminderung der Härte des Materials führen [24].

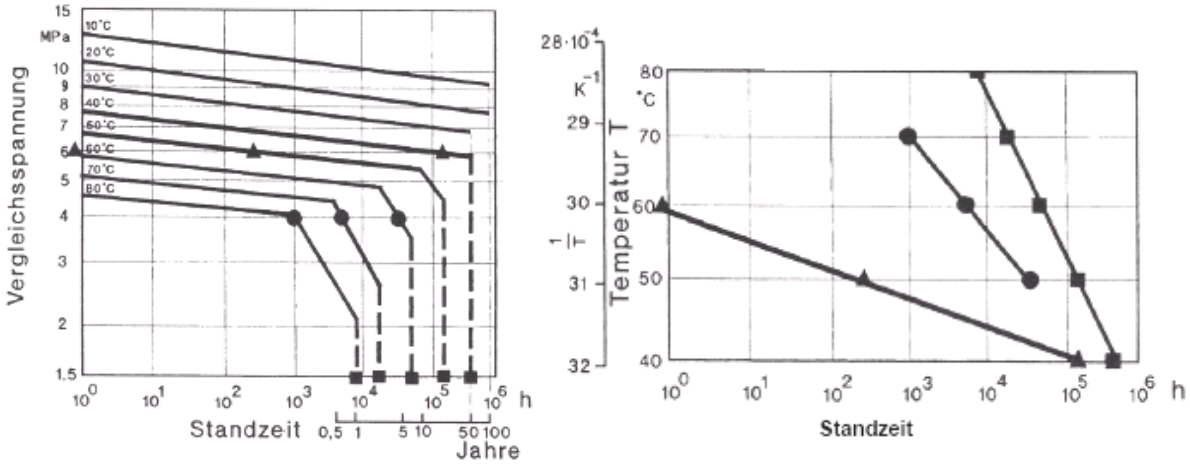
Eine Form der Alterungsuntersuchung an Rohren aus Thermoplasten ist die Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens bei konstanter Temperatur und Medienfüllung nach [37]. Dabei werden Rohre im Rahmen von Langzeitversuchen durch einen konstanten Innendruck beansprucht. Durch Veränderung der Versuchsparameter Innendruck und Temperatur können Zeitstandkurven nach [38] ermittelt werden. In der Abbildung 16 sind die Ergebnisse von Zeitstand-Innendruckversuchen an PE-HD-Rohren als Zeitstand-Diagramm (a) und das daraus ermittelte Alterungsgeschwindigkeits-Diagramm (b) dargestellt [39].
Anhand des doppelt-logarithmisch dargestellten Zeitstand-Diagramms ist zu erkennen, dass die Standzeit der Probekörper bei zunehmender Spannung und Temperatur abnimmt. Während die Graphen im ersten Teil flach verlaufen (duktiles Versagen), schließt sich im zweiten Teil ein steilerer Abschnitt an (Sprödbruch). Die senkrecht abfallenden Bereiche kennzeichnen Sprödbrüche infolge thermooxidativer Alterung. Es stellt sich die Frage, wie sich die zu erwartende Zeitspanne bis zum Versagen bei niedrigerer Beanspruchung und typischen Gebrauchstemperaturen ermitteln lässt. Für diese Extrapolation eignet sich eine von Arrhenius abgeleitete Methode. Die zugehörige Gleichung lautet nach [40]:

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

$$\ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) = \frac{H}{R} \times \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$$

mit R: Gaskonstante
H: Aktivierungsenthalpie
T: thermodynamische Temperatur

Die Zeit bis zum Versagen der Rohre lässt sich in einem sogenannten Arrhenius-Diagramm graphisch ermitteln. Dazu werden Wertepaare (Prüftemperatur, Standzeit) für eine bestimmte Prüfspannung in ein Diagramm eingetragen, bei dem der Kehrwert der Temperatur über der logarithmisch geteilten Standzeitachse aufgetragen wird. Durch Verlängerung der Geraden über den Messbereich hinaus ergeben sich die Standzeiten bei niedrigeren Temperaturen.



a) Zeitstand-Diagramm b) Arrhenius-Diagramm (Alterungsgeschwindigkeit)

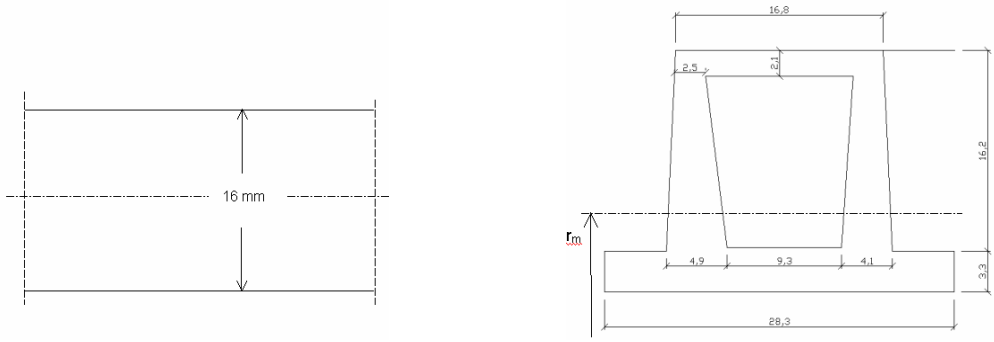
Abb. 16: Ergebnisse von Zeitstand-Innendruckversuchen [39]

2.4 Bemessung

2.4.1 Unterschiede zwischen vollwandigen und profilierten Querschnitten

Profilierte Großrohre aus Kunststoff eröffnen durch eine mögliche Wanddickenoptimierung besondere wirtschaftliche Vorteile durch Gewichts- und Kostenoptimierung, wie sie auch von anderen, ähnlichen Konstruktionen des Bauwesens bekannt sind. Durch eine Verlagerung von Flächenanteilen von der Rohrwandschwerachse nach außen kann die Querschnittsfläche bei gleich bleibendem oder erhöhtem Trägheitsmoment der Rohrwand reduziert werden (vgl. Abb. 17).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) vollwandiger Querschnitt b) profilierter (aufgelöster) Querschnitt

Abb. 17: Querschnitte mit gleichem Trägheitsmoment, Beispiel

In Tabelle 5 wird der Materialbedarf der in Abbildung 17 dargestellten Querschnitte beispielhaft gegenübergestellt. Daraus folgt, dass bei gleichbleibendem Flächemoment 2. Grades der Materialbedarf durch die Konstruktion des profilierten Wandaufbaus nahezu halbiert wird.

Tab. 5: Vergleich des Materialbedarfs für die in Abbildung 17 dargestellten Querschnitte

	Querschnittshöhe	Flächenmoment 2. Grades	**Fläche**
	mm	mm^4/mm	mm^2/mm
profiliert	19,5	340,7	**8,16**
glattwandig	16,0	340,7	**16,0**

Profilierte Querschnitte weisen allerdings im Vergleich zu vollwandigen Querschnitten geringere örtliche Wanddicken auf. Bei dem in Abbildung 17 (b) dargestellten Beispiel beträgt die Wanddicke an der dünnsten Stelle 2,1 mm und damit noch 13 % der Wanddicke des Vollwandquerschnittes.

Optimierungen des Querschnittes in der oben genannten Form sind nur dann sinnvoll, wenn sich infolge der verringerten Wanddicken keine bedeutsamen Nachteile für die Nutzung, d.h. hinsichtlich der Dichtheit der Verbindungen bzw. Anschlüsse, des Widerstands gegen Steine (Punktlasten), des Abriebs, der Spülfestigkeit sowie der statischen Anforderungen, ergeben.

2.4.2 Statische Berechnung

Für profilierte Rohre werden im Arbeitsblatt A 127 [33], Abschnitt 9.6, des DWA-Regelwerkes ergänzende Hinweise für die Bemessung angegeben. Demnach sind der Spannungs-/Dehnungsnachweis, der Verformungsnachweis sowie der Stabilitätsnachweis des Gesamtquerschnittes zu ergänzen. Darüber hinaus ist zusätzlich der Nachweis ausreichender Profilsteifigkeit zu führen und gegebenenfalls der Nachweis mehraxialer Spannungszustände. Es ist zu beachten, dass bei profilierten Rohren die Verwendung der äquivalenten Wanddicke nur für die Ermittlung der Rohrsteifigkeit und der Biegeverformungen zulässig ist, nicht jedoch für Spannungs- und Stabilitätsnachweise.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Nachfolgend werden die Ergänzungen zum Spannung-/Dehnungsnachweis und der Nachweis ausreichender Profilsteifigkeit detaillierter beschrieben:

- **Ergänzungen zum Spannungs-/Dehnungsnachweis:** Die Verteilung der Normalspannungen bei profilierten Querschnitten unterscheidet sich von derjenigen bei vollwandigen Querschnitten. Zur Berücksichtigung dieses Umstandes ist bei der Berechnung der Spannungen an der inneren bzw. äußeren Randfaser das entsprechende Widerstandsmoment einzusetzen. Darüber hinaus nehmen die Schubspannungen bei Profilquerschnitten im Vergleich zu Vollwandquerschnitten deutlich zu. Der entsprechende Nachweis ist nach [33], Abschnitt 9.6, zu führen.
- **Nachweis ausreichender Profilsteifigkeit:** Bei profilierten Rohren besteht die Gefahr lokaler Instabilität, die durch entsprechende Beulnachweise überprüft werden muss. Eine Nichtbeachtung der lokalen Stabilität hat im ungünstigsten Fall ein örtliches Versagen, die Bildung eines Gelenkes und damit auch ein globales Versagen zur Folge. Der Nachweis gegen das Beulen kann nach [33] entweder experimentell oder als rechnerischer Nachweis nach der klassischen Beultheorie unter Berücksichtigung des Werkstoffkriechens geführt werden. Für Letzteren können Bemessungsmodelle aus den Vorschriften des Stahlbaus herangezogen werden. Damit lassen sich auch komplizierte Profilformen durch Heraustrennen einzelner Profilteile gegen ein Stabilitätsversagen bemessen. Bei dem Gebrauch dieser Vorschriften ist jedoch zu bedenken, dass ihnen Eigenschaften (Werkstoffgesetz) von Produkten aus Baustählen zugrunde liegen. Daher ist bei der Anwendung Folgendes zu beachteten:
  - Die in den Stahlbauvorschriften angegebenen Abminderungsfaktoren, die für das Werkstoffverhalten von Baustahl auf analytische und experimentelle Weise ermittelt wurden, können für die Bemessung von Kunststoffen nicht unkritisch übernommen werden.
  - Die für die Berechnung der Schnittgrößen anzusetzenden Imperfektionen beinhalten nicht nur zu erwartende Differenzen zum geometrischen Sollzustand, sondern auch Eigenspannungen der betrachteten Bauteile. Diese sind aufgrund der unterschiedlichen Herstellungsverfahren von Stahl- und Kunststoffbauteilen nicht vergleichbar. Es ist nicht sicher, ob die im Stahlbau angesetzten Imperfektionen die in Kunststoffteilen auftretenden Eigenspannungen ausreichend berücksichtigen.

  Die Berechnung von Kunststoffbauteilen nach dem Vorbild des Stahlbaus ermöglicht die Handhabung vieler auftretender Belastungssituationen. Für eine sichere Anwendung der Berechnungsmodelle muss jedoch, um die Unterschiede der verschiedenen Werkstoffe zu berücksichtigen, noch umfangreiche Forschungsarbeit geleistet werden.

Neben den bereits genannten Aspekten sind bei der Bemessung von profilierten Rohren zwei weitere Punkte zu beachten:

- Bei profilierten Rohren ist das Spannungsniveau aufgrund der geringeren Fläche des Wandquerschnittes höher als bei einem Vollwandrohr vergleichbarer Nennweite und Steifigkeit. Da die Kennwerte von Kunststoffen auch von der Höhe der Spannung abhängt, müssen gegebenenfalls kleinere Werte - z.B. für den E-Modul - angesetzt werden als in [33] angegeben.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

- Gegebenenfalls sind örtliche Biegungen der Profilierung möglich, wenn diese eine flache Form und eine größere freie Länge aufweisen.

2.5 Prüfmethoden

2.5.1 Werkstoff-, Bauteil- und Systemprüfungen

Standardisierte Prüfverfahren lassen sich grundsätzlich in Werkstoffprüfungen, Bauteilprüfungen und Systemprüfungen unterscheiden. Gegenstand von Werkstoffprüfungen ist die Untersuchung von Materialeigenschaften ohne Berücksichtigung der produktspezifischen Charakteristiken wie beispielsweise Maße, Geometrie oder Einflüsse aus dem Herstellungsprozess. Dagegen werden im Rahmen von Bauteilprüfungen Endprodukte (z.B. Rohre) oder aus diesen gewonnene Abschnitte (z.B. Rohrsegmente) verwendet. Über diesen Umfang gehen die Systemprüfungen noch hinaus, denn in diesem Zusammenhang werden auch die Schnittstellen zwischen den einzelnen Bauteilen untersucht (z.B. Dichtheitsprüfung am Rohrstrang).

Für Kunststoffe und aus ihnen gefertigte Rohre für die Abwassertechnik existiert bereits eine Vielzahl von genormten Werkstoff-, Bauteil- und Systemprüfungen. Tabelle 6 zeigt eine Übersicht der umfangreichen Werkstoffprüfungen für Kunststoffe und beinhaltet auch thermische Verfahren zur Werkstoffbestimmung (vgl. [41]). Darüber hinaus wurden spezielle Prüfungen nicht nur für Vollwandrohre, sondern auch für profilierte Rohre aus thermoplastischen Kunststoffen in verschiedenen Normen definiert (vgl. Tab. 7). Für geschweißte Verbindungen zwischen diesen Rohren gelten die in Tabelle 8 zusammengefassten Normen und Richtlinien.

Die bestehenden Prüfmethoden für profilierte Kunststoffrohre zielen u.a. auf die Untersuchung wesentlicher Kennwerte für die Standsicherheit und Funktionssicherheit (Ringsteifigkeit, Kriechmodul) sowie die Dichtheit des Systems (Dichtheitsprüfung, Schweißbarkeit). Im Rahmen dieser Prüfungen werden die Randbedingungen aus der Praxis nur teilweise simuliert. So berücksichtigt beispielsweise die Ringsteifigkeitsprüfung mit Hilfe des Scheiteldruckversuches nicht die seitliche Stützung des Rohres durch den umgebenden Boden. Darüber hinaus werden weder nach [33] zulässige noch aus der Praxis bekannte extremere Verformungszustände eingestellt, um deren Auswirkungen auf die Stabilität des Profils sowie die Dichtheit des Rohres, der Verbindungen und Anschlüsse zu untersuchen.
Die gültigen Normen enthalten keine Prüfungen zur Untersuchung möglicher negativer Auswirkungen unplanmäßiger Punktbelastungen infolge von Störkörpern in der Bettung auf die Standsicherheit und Dichtheit des Rohrsystems. Auch die Widerstandsfähigkeit gegenüber Betriebsbelastungen infolge Kanalreinigung wird nicht erfasst. Darüber hinaus existieren keine standardisierten Methoden für den experimentellen Nachweis der Stabilität profilierter Kunststoffrohre.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Tab. 6: Verfahren zur Prüfung mechanischer, chemischer und thermischer Werkstoffeigenschaften von Kunststoffen

Zugversuch	DIN EN ISO 527-1	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften, Teil 1: Allgemeine Grundsätze (04/1996)
	DIN EN ISO 527-2	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften, Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen (07/1996)
	DIN EN ISO 6259-1	Rohre aus Thermoplasten - Bestimmung der Eigenschaften im Zugversuch, Teil 1: Allgemeines Prüfverfahren(02/2002)
Zeitstand-Zugversuch	DIN EN ISO 899-1	Kunststoffe - Bestimmung des Kriechverhaltens, Teil 1: Zeitstand-Zugversuch (10/2003)
	DIN EN ISO 6252	Kunststoffe - Bestimmung der umgebungsbedingten Spannungsrissbildung (ESC) - Zeitstandzugversuch (02/1998)
Druckversuch	DIN EN ISO 604	Kunststoffe - Bestimmung von Druckeigenschaften (12/2003)
Biegeversuch	DIN EN ISO 178	Kunststoffe - Bestimmung der Biegeeigenschaften (06/2003)
Zeitstand-Biegeversuch	DIN EN ISO 899-2	Kunststoffe - Bestimmung des Kriechverhaltens, Teil 2: Zeitstand-Biegeversuch bei Dreipunkt-Belastung (10/2003)
Torsionsversuch	DIN 53447	Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung der Torsionssteifheit in Abhängigkeit von der Temperatur (01/1981)
Härte-Prüfversuch	DIN EN ISO 2039-1	Kunststoffe - Bestimmung der Härte, Teil 1: Kugeleindruckversuch (06/2003)
	DIN EN ISO 2039-2	Kunststoffe - Bestimmung der Härte, Teil 2: Rockwellhärte (01/2000)
	DIN EN ISO 868	Kunststoffe und Hartgummi - Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore-Härte) (10/2003)
Abriebversuch	DIN 53754	Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung des Abriebs nach dem Reibradverfahren (06/1977)
Schlagversuch	DIN EN ISO 6603-1	Kunststoffe - Bestimmung des Durchstoßverhaltens von festen Kunststoffen, Teil 1: Nicht-instrumentierter Schlagversuch (10/2000)
	DIN EN ISO 6603-2	Kunststoffe - Bestimmung des Durchstoßverhaltens von festen Kunststoffen, Teil 2: Instrumentierter Schlagversuch (04/2002)
	DIN EN ISO 180	Kunststoffe - Bestimmung der Izod-Schlagzähigkeit (06/2001)
	DIN EN ISO 8256	Kunststoffe - Bestimmung der Schlagzugzähigkeit (05/2005)
Dauerschwing-versuch	DIN 50100	Werkstoffprüfung; Dauerschwingversuch, Begriffe, Zeichen, Durchführung, Auswertung (02/1978)
	DIN 53442	Prüfung von Kunststoffen; Dauerschwingversuch im Biegebereich an flachen Probekörpern (09/1990)
Eintauchversuch	DIN EN ISO 175	Kunststoffe - Prüfverfahren zur Bestimmung des Verhaltens gegen flüssige Chemikalien (10/2000)
Titrationsversuch	DIN 53715	Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung des Wassergehaltes durch Titration nach Karl Fischer (05/1991)
Biegestreifen-verfahren	DIN EN ISO 4599	Kunststoffe - Bestimmung der Beständigkeit gegen umgebungsbedingte Spannungsrissbildung (ESC) - Biegestreifenverfahren (05/1997)
Kugel- oder Stifteindrück-verfahren	DIN EN ISO 4600	Kunststoffe - Bestimmung der umgebungsbedingten Spannungsrissbildung (ESC) - Kugel- oder Stifteindrückverfahren (02/1998)
Bewitterungs-versuch	DIN EN ISO 16871	Kunststoff-Rohrleitungs- und Schutzrohrsysteme - Rohre und Formstücke aus Kunststoffen - Verfahren für die Bewitterung im Freien (12/2003)
	DIN 53386	Prüfung von Kunststoffen und Elastomeren - Bewitterung im Freien (06/1982)
Formbeständig-keitsversuch	DIN EN ISO 75-1	Kunststoffe - Bestimmung der Wärmeformbeständigkeitstemperatur, Teil 1: Allgemeines Prüfverfahren (09/2004)
Warmlagerungs-versuch	DIN 53497	Prüfung von Kunststoffen; Warmlagerungsversuch an Formteilen aus thermoplastischen Formmassen, ohne äußere mechanische Beanspruchung (10/1969)
Ausdehnungs-versuch	DIN 53752	Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung des thermischen Längenausdehnungskoeffizienten (12/1980)
Schmelzversuch	DIN EN ISO 1133	Kunststoffe - Bestimmung der Schmelze-Massefließrate und der Schmelze-Volumenfließrate von Thermoplasten (02/2000)

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

DTA-Verfahren	DIN 51004	Thermische Analyse (TA); Bestimmung der Schmelztemperaturen kristalliner Stoffe mit der Differenzthermoanalyse (DTA) (06/1994)
	DIN 51007	Thermische Analyse (TA); Differenzthermoanalyse (DTA); Grundlagen (06/1994)
DSC-Verfahren	DIN EN ISO 11357-1	Kunststoffe - Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC), Teil 1: Allgemeine Grundlagen (11/1997)
	ISO 11357-5	Kunststoffe - Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC), Teil 5: Bestimmung von charakteristischen Reaktionstemperaturen und -zeiten, Reaktionsenthalpie und Umsatz (12/1999)
	ISO 11357-6	Kunststoffe - Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC), Teil 6: Bestimmung der Oxidations-Induktionszeit (05/2002)
TG-Verfahren	DIN 51006	Kunststoffe - Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC), Teil 6: Bestimmung der Oxidations-Induktionszeit (05/2002)
	DIN EN ISO 11358	Kunststoffe - Thermogravimetrie (TG) von Polymeren - Allgemeine Grundlagen (11/1997)

Tab. 7: Prüfung von profilierten Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen

Prüfungen nach DIN 16961, Teil 2 [5]	
Bestimmung der Ringsteifigkeit	Versuchsbeschreibung
Bestimmung des Kriechmoduls	in Anlehnung an DIN EN ISO 899-2
Schmelzindex bei PE-HD und PP	Verweis auf DIN ISO 1133
Schweißbarkeit bei PE-HD und PP	Verweis auf DVS 2207-1, DVS 2207-11, DVS 2203-5
Wasserdichtheit der Rohrverbindung: Prüfung bei innerem Überdruck	Verweis auf DIN EN 1610
Wasserdichtheit der Rohrverbindung: Prüfung bei äußerem Überdruck	Versuchsbeschreibung
Wurzelfestigkeit von Steckmuffenverbindungen	vgl. Prüfung bei innerem Überdruck
Prüfungen nach prEN 13476, Teil 1 [8] bzw. E DIN 19568-100 [42]	
Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens	Verweis auf DIN EN 921
Bestimmung der Ringsteifigkeit	Verweis auf DIN EN ISO 9969
Bestimmung der Schmelze-Massefließrate	Verweis auf DIN ISO 1133
Bestimmung der thermischen Stabilität (OIT)	Verweis auf DIN EN 728
Bestimmung des Verformungsverhältnisses / Kriechverhaltens	Verweis auf DIN EN ISO 9967
Bestimmung des Widerstands gegen Temperaturwechsel und gleichzeitiger äußerer Belastung	Verweis auf prEN 1437
Bestimmung der Vicat-Erweichungstemperatur (VST) bei PVC-U	Verweis auf DIN EN 727
Beständigkeit gegen Dichlormethan bei einer festgelegten Temperatur (DCMT)	Verweis auf DIN EN 580
Bestimmung des Längsschrumpfens	Verweis auf DIN EN 743
Verhalten nach Warmlagerung	Verweis auf ISO 12091
Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen äußere Schlagbeanspruchung (Umfangsverfahren)	Verweis auf DIN EN 744
Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen äußere Schlagbeanspruchung (Stufenverfahren)	Verweis auf DIN EN 1411
Bestimmung der Ringflexibilität	Verweis auf DIN EN 1446
Prüfung der Dichtheit elastomerer Dichtringverbindungen (Labor)	Verweis auf DIN EN 1277
Prüfungen nach prEN 13476, Teil 3 [10]	
Dichtheitsprüfung (in situ)	Verweis auf DIN EN 1610
Prüfungen nach DIN 19566, Teil 2 [7]	
Bestimmung der Abriebfestigkeit	Versuchsbeschreibung
Bestimmung der Längssteifigkeit	Versuchsbeschreibung

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Bestimmung der Profilsteifigkeit	Versuchsbeschreibung
Bestimmung der Ringsteifigkeit	Versuchsbeschreibung
Bestimmung des Kriechmoduls Verfahren A / B	Verweis auf DIN 19537, Teil 2
Materialdichte	Verweis auf DIN 53479
Bestimmung des Schmelzindexes	Verweis auf DIN ISO 1133
Schweißbarkeit bei PE-HD und PP	Verweis auf DVS 2207, DVS 2203-5
Bestimmung der Vicat-Erweichungstemperatur (VST) bei PVC-U	Verweis auf DIN ISO 306
Wasserdichtheit der Rohrverbindung: Prüfung bei äußerem Überdruck	Versuchsbeschreibung
Wasserdichtheit der Rohrverbindung: Prüfung bei innerem Überdruck	Versuchsbeschreibung
Wasserdichtheit der Rohrverbindung: Prüfung unter Scherlast	Versuchsbeschreibung
Wurzelfestigkeit von Steckmuffenverbindungen	vgl. Prüfung unter Scherlast

Tab. 8: Prüfungen für Schweißverbindungen von thermoplastischen Kunststoffen

Prüfgrundlagen und Prüfanforderungen		
Visuelle Prüfung	DVS 2202-1	Prüfen von Halbzeug aus Thermoplasten, Teil 1: Grundlagen - Hinweise (02/1989)
Anforderungen an Prüfverfahren	DVS 2203-1	Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 1: Prüfverfahren - Anforderungen (04/2001)
	DIN EN 12814-8	Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 8: Anforderungen (12/2001)
Übersicht zu Prüfverfahren	DVS 2206	Prüfung von Bauteilen und Konstruktionen aus thermoplastischen Kunststoffen (11/1975) Inhalt: Maßkontrolle, Sichtkontrolle, Dichtheitsprüfung, Prüfung mit Ultraschall, Durchstrahlungsprüfung (Röntgen), Mechanische Prüfung
Hinweise auf Prüfungen in Abhängigkeit des Schweiß-verfahrens und des Werkstoffes	DVS 2207-1	Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen, Teil 1: Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE-HD (08/1995)
	DVS 2207-4	Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen, Teil 4: Extrusionsschweißen Tafeln und Rohre (07/1993)
	DVS 2207-11	Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen, Teil 11: Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PP (02/1999)
Prüfungen		
Zugversuch	DVS 2203-2	Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 2: Zugversuch (07/1985)
	DIN EN 12814-2	Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 2: Zugversuch (03/2000)
	DIN EN 12814-6	Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 6: Zugversuch bei tiefen Temperaturen (03/2000)
	DIN EN 12814-7	Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 7: Zugversuch an Probekörpern mit Rundkerbe (01/2003)
Schlagzug-versuch	DVS 2203-3	Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 2: Schlagversuch (07/1985)
Zeitstandzug-versuch	DVS 2203-4	Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 4: Zeitstand-Zugversuch (07/1997)
	DIN EN 12814-3	Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 3: Zeitstand-Zugversuch (03/2000)
Biegeversuch	DVS 2203-5	Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 5: Technologischer Biegeversuch (08/1999)
	DIN EN 12814-1	Prüfung von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 1: Biegeversuch (12/1999)

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Zeitstand-innendruck-versuch	DIN 16963-5	Rohrverbindungen und Formstücke für Druckrohrleitungen aus Polyethylen (PE), PE 80 und PE 100, Teil 5: Allgemeine Qualitätsanforderungen, Prüfung (10/1999)
	DIN 16962-5	Rohrverbindungen und Formstücke für Druckrohrleitungen aus Polypropylen (PP), PP-H 100, PP-B 80 und PP-R 80, Teil 5: Allgemeine Qualitätsanforderungen, Prüfung (04/2000)
Schälversuch	DIN EN 12814-4	Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 4: Schälversuch (12/2001)
Makroskopische Untersuchung	DIN EN 12814-5	Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 5: Makroskopische Untersuchung (10/2000)
Sichtprüfung	DIN EN 13100-1	Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen, Teil 1: Sichtprüfung (01/2000)
Röntgenprüfung	DIN EN 13100-2	Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen thermoplastischer Kunststoffe, Teil 2: Röntgenprüfung; Deutsche Fassung (02/2005)
Ultraschall-prüfung	DIN EN 13100-3	Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen thermoplastischer Kunststoffe, Teil 3: Ultraschallprüfung (02/2005)

2.5.2 Geophysikalische Verfahren

Im Vordergrund der in Abschnitt a) genannten Prüfungen stehen die Eigenschaften bzw. das Verhalten von Kunststoffen sowie von aus Thermoplasten hergestellten profilierten Rohren und der sie verbindenden Schweißnähte. Dabei handelt es sich mit Ausnahme der z.B. im Rahmen der Bauausführung durchzuführenden Dichtheitsprüfungen ausschließlich um Laborprüfungen. Keine dieser Prüfungen beinhaltet jedoch In-situ-Untersuchungen, die den Zustand der Rohrbettung erfassen. Die Auflager- und Bettungssituation ist von maßgebender Bedeutung für den statischen Nachweis. Die tatsächlichen Lagerungsverhältnisse konnten bisher nur durch Aufgrabungen in Verbindung mit Laboruntersuchungen sicher ermittelt werden. Forschungsergebnisse (vgl. [43], [44]) zeigen jedoch, dass durch die Weiterentwicklung bzw. Adaption von geophysikalischen Verfahren bei der Inspektion von Abwasserkanälen und -leitungen eine zerstörungsfreie Schadensaufnahme hinter der Kanalwand grundsätzlich möglich scheint.

Die Geophysik ist nach [45] definiert als die Wissenschaft vom physikalischen Zustand und von den physikalischen Erscheinungen und Vorgängen im Erdkörper, in der Wasserhülle und in der Lufthülle, einschließlich der Wirkungen, die aus dem Weltraum, insbesondere von Sonne und Mond, auf die Erde ausgeübt werden. Geophysikalische Messverfahren nutzen u.a. das Magnetfeld, das elektrische Feld, das Schwerefeld sowie geologische und morphologische Eigenheiten des Untergrunds. Das Methodeninventar der angewandten Geophysik stammt größtenteils aus der Kohlenwasserstoff- und Erzexploration sowie der Wassererschließung. Viele Verfahren werden darüber hinaus bei der oberflächennahen Erkundung von Altlastenflächen angewendet. Für geophysikalische Untersuchungen steht eine Vielzahl von unterschiedlichen Messverfahren zur Verfügung. Dazu gehören u.a. Seismik, seismische Tomographie, Radar, Ultraschall und Impact-Echo, akustische Verfahren, Gravimetrie, Geoelektrik, Elektromagnetik, Radiometrie, Thermographie sowie die zahlreichen Verfahren der Bohrlochgeophysik (vgl. u.a. [46], [47]).

Im Rahmen des Forschungsvorhabens [44] wurden sowohl im Kanalinneren als auch von der Erdoberfläche verschiedene geophysikalische Methoden zur Erkundung der Kanalbettung und -umgebung eingesetzt. Um die Verfahren gezielt auf ihre Eignung zur

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Beschreibung der Kanalgeometrie, der Werkstoffeigenschaften und der Bettungssituation testen zu können, wurde für diese Untersuchungen eine Versuchsstrecke mit bekanntem Rohr-Boden-System gebaut. Das 40 m lange Testobjekt besteht aus Ortbeton- bzw. Mauerwerksabschnitten mit Eiprofil der Nennweite DN 2000/1800 sowie werksgefertigten Stahlbetonrohren der Nennweite DN 2200. Das Bauwerk weist u.a. definierte Betonqualitäten und Wanddicken sowie simulierte Betonschäden (z.B. Risse) auf. Der den Kanal umgebende Boden ist durch planmäßige Zonen unterschiedlicher Verdichtung sowie wechselnde Bodenarten gekennzeichnet. Dieser Bereich beinhaltet darüber hinaus in Art, Lage und Abmessung bekannte Anomalien (z.B. Findlinge, Hohlräume) und Verbauelemente (vgl. Abb. 18) [44].

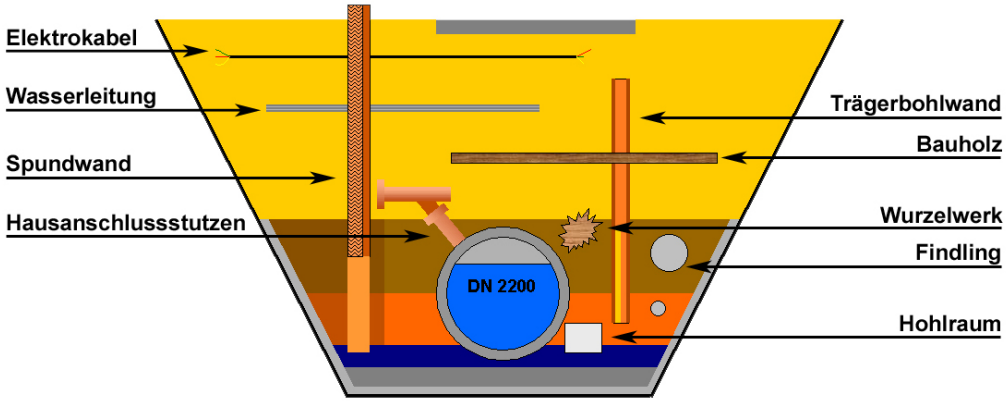


Abb. 18: Querschnitt der Versuchsstrecke zur geophysikalischen Erkundung der Kanalbettung und -umgebung [44]

Die Auswertung der Messdaten ergab zum einen, dass alternativ zu einer Untersuchung der Leitungszone von der Geländeoberfläche eine Erkundung aus dem Kanal heraus zweckmäßig ist, da die eingesetzten Messverfahren im Nahbereich die höchste Auflösung aufweisen und mögliche Störzonen sowie Anomalien in der Kanalumgebung oder das Kanalbauwerk selbst so besser untersucht werden können. Zum anderen zeigte sich, dass bei den Rohrwerkstoffen Beton, Stahlbeton und Mauerwerk mit Hilfe einer Kombination der Messverfahren Radar, Seismik, seismische Tomographie sowie Ultraschall- und Impact-Echo die angestrebten Untersuchungsziele am effektivsten erreicht werden konnten. Ein Einsatz dieser Techniken in Kunststoffrohren der Abwassertechnik ist bisher nicht dokumentiert. Es ist daher offen, welche der vorgenannten Messverfahren für diesen Anwendungsfall aussagekräftige Ergebnisse liefern können.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

3 Praxiserfahrungen

Um die Praxisnähe der zu entwickelnden Prüfkonzepte zu gewährleisten, wurden in einem ersten Schritt der Ist-Zustand bereits verlegter Kunststoffrohr-Leitungen erfasst sowie Bau- und Betriebserfahrungen der Netzbetreiber erhoben. Der Schwerpunkt lag dabei auf profilierten Großrohren aus Kunststoff, allerdings wurden auch Inspektionsvideos von Kanälen nicht-begehbarer Nennweite in die Betrachtung einbezogen, um die Datenbasis zu erweitern. Hinweise der Netzbetreiber ließen für sämtliche Nennweiten vermuten, dass Auffälligkeiten wie Lageabweichungen und starke Querschnittsverformungen zu beobachten sind.

Zunächst stellte sich die Frage, inwieweit die Bettungssituation von Großrohren durch geophysikalische Methoden aus dem Inneren heraus erfasst werden kann (vgl. Kapitel 3.1). Die In-situ-Beobachtungen umfassten dann die Inspektion (Begehung inkl. Verformungsmessung) von Großrohren im Betriebszustand sowie die Inaugenscheinnahme von Inspektionsvideos nicht-begehbarer Kanäle (vgl. Kapitel 3.2). Zusätzlich wurden Interviews mit ca. 130 öffentlichen Kanalnetzbetreibern geführt, um neben Eindrücken aus dem Kanalbetrieb auch Praxiserfahrungen aus den Phasen Planung und Bau aufzunehmen (vgl. Kapitel 3.3). Um schließlich die gegenwärtige Praxis der Bemessung von profilierten Großrohren aus Kunststoff in die Betrachtung einzubeziehen, wurden die bei den Netzbetreibern verfügbaren statischen Berechnungen mit Blick auf die Berechnungsannahmen und -randbedingungen sowie die rechnerische Nachweisführung analysiert (vgl. Kapitel 3.4).

3.1 Geophysikalische Untersuchungen

Die Zustandsbewertung eines Kanals basiert in vielen Fällen auf einer rein optischen Inspektion. Weitergehende Informationen über das Kanalbauwerk (z.B. Wanddicke, Wandaufbau, Fehlstellen) und den umgebenden Bodenkörper (z.B. Lagerungsdefekte, Hohlräume), die beispielsweise für die Auswahl geeigneter Sanierungsmaßnahmen oder die Beurteilung der Standsicherheit des Rohr-Boden-Systems erforderlich sind, können punktuell durch Kernbohrungen bzw. Sondierungen gewonnen werden. Durch den Einsatz geophysikalischer Methoden besteht darüber hinaus die Möglichkeit, sowohl den Kanal als auch den umgebenden Boden kontinuierlich und zerstörungsfrei zu untersuchen. Der Einsatz verschiedener geophysikalischer Verfahren wurde bereits im Rahmen eines Forschungsprojektes zur Erkundung von Kanalstrecken aus Mauerwerk, Beton und Stahlbeton und deren Bodenumgebung untersucht ([44], [48]). Profilierte Großrohre aus Kunststoff waren jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Daher blieb offen, inwieweit die Ergebnisse auf diese Produktgruppe übertragbar sind und die Anwendung von geophysikalischen Methoden einen besonderen Nutzen bieten kann, z.B. bei kritischen Verformungszuständen. So ist bei biegeweichen Rohren die Bettung von entscheidender Bedeutung für das Tragverhalten des Gesamtsystems und die örtliche Wanddicke aufgelöster Querschnitte im Vergleich zu Vollwandrohren deutlich dünner und dadurch anfälliger für lokale Verformungen. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens die nachfolgend beschriebenen geophysikalischen Untersuchungen durchgeführt.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

3.1.1 Untersuchungsobjekt

Bisher liegen keine praktischen Erkenntnisse zu den Einsatzmöglichkeiten und -grenzen von geophysikalischen Methoden zur Erkundung von Kanalbauwerken aus profilierten Kunststoffrohren und den sie umgebenden Boden vor. Im Rahmen des Vorhabens sollten daher die am Markt verfügbaren Verfahren vor dem Hintergrund bereits vorliegender Erfahrungen bewertet und ggf. in Testeinsätzen weiter untersucht werden.
Auf In-Situ-Einsätze, d.h. Untersuchungen an in Betrieb befindlichen Kanälen, wurde zunächst verzichtet. Zum einen liegen in der Regel keine ausreichend detaillierten Informationen über die Bettungssituation (z.B. Bodenarten, Anomalien) vor. Zum anderen ist dieses Vorgehen insbesondere bei Messungen im Kanalinneren, die im Vergleich zu Messungen von der Erdoberfläche u.a. eine bessere Untersuchung des Kanalbauwerks ermöglichen [48], mit einem hohen Aufwand verbunden. Neben Anforderungen aus den Bereichen Verkehrssicherung, Unfallverhütung und Arbeitssicherheit sind auch die erschwerten Randbedingungen (z.B. beengte Platzverhältnisse, Wasserstand und -strömung) zu berücksichtigen. Darüber hinaus reichen übliche Kanalreinigungsmethoden nur bedingt zur Vorbereitung der Messung aus, denn in diesen Fällen ist - zumindest im Messbereich - auch die vollständige Entfernung der Sielhaut erforderlich.
Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens wurde daher für die geophysikalischen Untersuchungen eigens eine Prüfstrecke (Länge: 12 m, Breite 1,5 m) aufgebaut. In Abbildung 19 ist der Aufbau des Untersuchungsobjektes dargestellt.

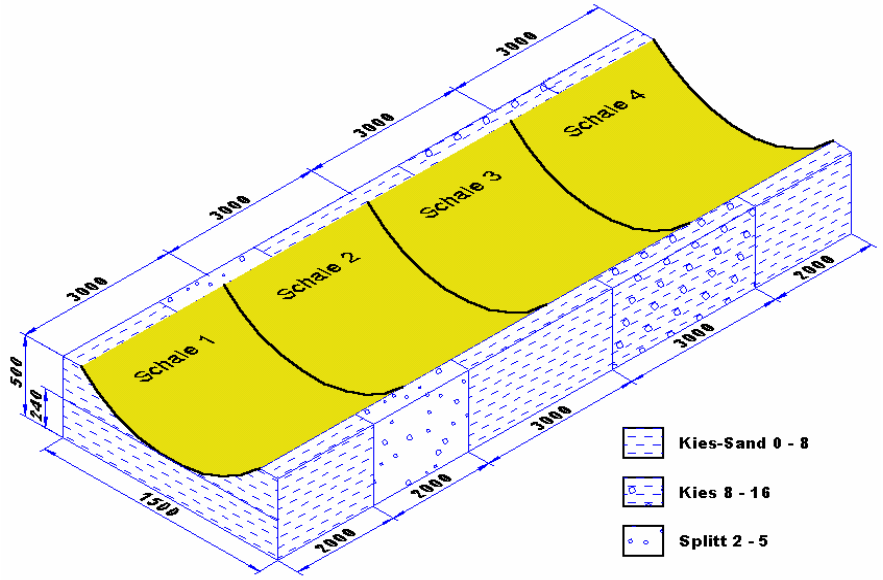
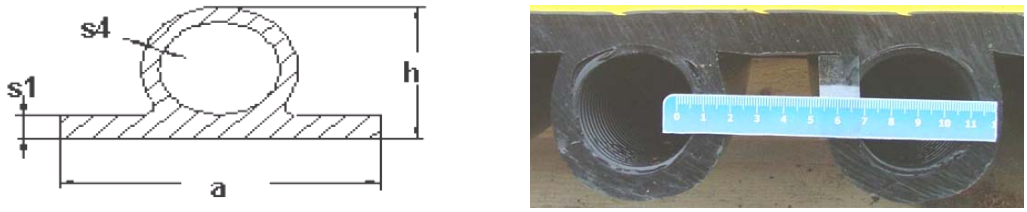


Abb. 19: Aufbau und Bettung der aus Rohrviertelschalen bestehenden Prüfstrecke für die Durchführung geophysikalischer Untersuchungen

Die Versuchsstrecke bestand aus vier jeweils 3,0 m langen Rohrviertelschalen (Werkstoff: PE 80) der Nennweite DN 1600 mit profilierter Wandung (PKS-Profilkanalrohrsystem, Fa. Frank GmbH). Abbildung 20 zeigt die Konstruktion des Rohrprofils mit der Bezeichnung PR 54-11.8. Mit Hilfe des Extrusionsschweißverfahrens wurden die Rohrelemente zu einem Strang verbunden und anschließend abschnittsweise in unterschiedliche Materialien (Kies-Sand 0-8 mm, Kies 8-16 mm, Splitt 2-5 mm) gebettet (vgl. Abb. 19). Die Vorteile der

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Prüfstrecke im Vergleich zu einem in Betrieb befindlichen Kanal lagen zum einen in der einfachen Zugänglichkeit der Rohrschaleninnenwand. Darüber hinaus lagen sowohl Informationen über das Rohr, d.h. den Werkstoff, das Profil und die Verbindungstechnik, als auch über das Material und die Lage der verschiedenen Bettungsabschnitte vor. Anomalien, wie z.B. Findlinge oder Hohlräume, wurden nicht eingebaut.



a) Skizze [49] b) Probestück

Abb. 20: Wandaufbau des profilierten Rohres (Rohrprofil PR 54-11.8: Grundwanddicke s1 = 10 mm, Profilhöhe h = 70 mm, Schlauchummantelung s4 = 9 mm)

3.1.2 Untersuchungsziele und Methodenauswahl

Mit Hilfe des Einsatzes geophysikalischer Untersuchungen im „Kanalinneren“ wurden zwei Ziele verfolgt. Zum einen sollte festgestellt werden, inwieweit die durch unterschiedliche Materialien gekennzeichneten Bettungsabschnitte des Untersuchungsobjektes erkannt werden können. Zum anderen wurde versucht, die aufgelöste Wandstruktur (Profil) des Rohres zu ermitteln.

Die Wahl einer geeignet erscheinenden Untersuchungsmethode hängt von den Zielen der Erkundung und von den Randbedingungen des Untersuchungsobjektes ab. Nachfolgend werden die Verfahren, die im Rahmen des Forschungsvorhabens [44] zur Erkundung der Bettung und Umgebung von begehbaren Kanälen aus Mauerwerk, Beton und Stahlbeton zum Einsatz kamen (vgl. Kapitel 2.5.2) und ergänzend die Elektromagnetik hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten unter den hier vorliegenden Randbedingungen (vgl. Prüfstrecke in Abb. 19) hinterfragt:

- **Radar:** Beim Radarverfahren werden elektromagnetische Impulse in den Untergrund ausgesendet. Das ausgesandte Radarsignal breitet sich wellenartig aus und wird an Schichtgrenzen reflektiert oder gebrochen sowie an Störkörpern gebeugt oder gestreut. Die Empfangsantenne nimmt die Reflexionen auf und gleichzeitig werden von diesen Impulsen die Laufzeiten und die Amplituden der elektrischen Feldstärke aufgezeichnet. Da es sich um ein hochauflösendes Verfahren handelt, schien es für den Einsatz unter den gegebenen Randbedingungen geeignet zu sein.
- **Seismik:** Bei der Seismik werden durch Hammerschläge auf die Kanalinnenwand seismische Signale generiert und durch Empfänger, die an die Kanalinnenwand gedrückt werden, registriert. Anhand der aufgenommenen Signale kann die S-Wellen-geschwindigkeit ermittelt werden, die in direktem Zusammenhang mit der Scherfestigkeit des Untergrunds steht. Im vorliegenden Fall war jedoch zu erwarten, dass die Signale durch den aufgelösten Wandaufbau der Rohre verfälscht werden. Auf einen Einsatz der Seismik wurde daher verzichtet.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

- **Impact-Echo:** Beim Impact-Echo handelt es sich um ein Hochfrequenz-Seismik-Verfahren. Das Impact-Echo misst ebenso wie die Seismik die Ausbreitung elastischer Wellen. Es unterscheidet sich von diesem Messverfahren u.a. durch den Frequenzbereich der ausgesendeten Signale. Unter den gegebenen Randbedingungen war jedoch eine Anwendung des Impact-Echo aufgrund von Signalverfälschungen durch den aufgelösten Wandaufbau nicht möglich (vgl. Seismik).
- **Seismische Tomographie:** Bei der seismischen Tomographie wird der Schall im Kanal ausgelöst und an der Erdoberfläche aufgenommen. Grundsätzlich gelten die gleichen Einschränkungen wie bei der Seismik. Darüber hinaus setzt die Anwendung dieses Untersuchungsverfahrens ein vollständig eingebettetes und geschlossenes Rohr voraus, eine Randbedingungen, die in der vorliegenden Versuchsstrecke nicht gegeben war.
- **Geoelektrik:** Mit Hilfe geoelektrischer Untersuchungen wird die elektrische Leitfähigkeit des Untergrunds ermittelt, die in direktem Zusammenhang mit Änderungen der Bettungseigenschaften steht. Voraussetzung für eine erfolgreiche Erkundung der Bettung aus dem Kanalinneren ist eine ausreichende Leitfähigkeit des Rohrmaterials. Kunststoffe weisen jedoch ein hohes elektrisches Isolierverhalten auf (vgl. [29], [24]).
- **Elektromagnetik:** Durch den Einsatz der Elektromagnetik können qualitative Unterschiede in der elektrischen Leitfähigkeit des Untergrunds ermittelt werden. Im vorliegenden Fall wird durch die großen Dichte- und Leitfähigkeitsunterschiede in der profilierten Rohrwandung (gekammerte Hohlräume) die Erfassung des Rohrumfeldes außergewöhnlich erschwert. (vgl. [50]). Auf einen Einsatz dieses Verfahrens wurde daher verzichtet.
- **Gravimetrie:** Bei der Gravimetrie werden Veränderungen des Erdschwerefeldes gemessen und aus den Daten Rückschlüsse auf den Untergrund gezogen. Dieses Verfahren kommt vor allem bei der Explorationsgeophysik zum Einsatz. Bei den geringen Untersuchungstiefen im vorliegenden Fall (wenige Dezimeter) waren messbare Veränderungen des Schwerefeldes als Folge der Verwendung unterschiedlicher Bodenmaterialien nicht zu erwarten (vgl. [44]).
- **Thermographie:** Mit Hilfe der Thermographie werden Wärmestrahlung und Temperaturverteilungen gemessen. Sammelt sich z.B. in Rissen von Kanalbauwerken Feuchtigkeit, so könnten diese Bereiche unter der Voraussetzung eines messbaren Temperaturunterschieds zwischen der Rohrinnenwand und der Feuchtigkeit durch Anwendung dieses geophysikalischen Verfahrens erkannt werden. Bei Test-Einsätzen im Kanal hat sich diese Vorgehensweise jedoch als nicht zielführend erwiesen, da aufgrund der Wärmestrahlung der zur Ausleuchtung des Arbeitsbereiches notwendigen Lichtquellen keine Temperaturunterschiede im Bereich von Rissen gemessen werden konnten.

  Für das Erreichen der o.a. formulierten Untersuchungsziele erschien die Thermographie nicht geeignet, da das Verfahren die Rohrwand nicht durchdringt und Temperaturunterschiede weder innerhalb der Prüfstreckenwandung noch zwischen den verschiedenen Bettungsabschnitten zu erwarten waren.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

- **Bohrlochgeophysik:** Voraussetzung für die Anwendung von Verfahren der Bohrlochgeophysik im Kanalinneren ist die Vollfüllung des Rohres mit Wasser und eine auf den Rohrdurchmesser abgestimmte Sondengröße. In der Praxis werden Bohrloch-Sonden i.d.R. in Durchmessern von wenigen Zentimetern eingesetzt. Bereits in [44] wurde nachgewiesen, dass Bohrlochsonden für einen Einsatz in Kanälen aus Großrohren grundsätzlich nicht geeignet sind.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Mehrzahl der am Markt verfügbaren geophysikalischen Verfahren für den Einsatz in profilierten Großrohren aus Kunststoff nicht geeignet scheint (Bohrlochgeophysik, Gravimetrie, Geoelektrik u.a.). Lediglich das Radarverfahren bietet sich für den vorliegenden Anwendungsfall an. Entsprechend wurde dieses Verfahren in der eigens aufgebauten Teststrecke eingesetzt.

3.1.3 Beschreibung des Radarverfahrens

Bei Radar, auch Reflexionselektromagnetik, Boden- oder Georadar genannt, handelt es sich um ein Zeitbereichsverfahren, das sowohl von der Geländeoberfläche als auch aus dem Kanal heraus eingesetzt werden kann. Bei der Messung wird das Messsystem, das mit unmittelbar nebeneinander angeordneten Sende- und Empfangsantennen ausgestattet ist, entlang der Kanalwand geführt. Über die Sendeantenne werden elektromagnetische Impulse in den Untergrund abgestrahlt. Dort breitet sich das ausgesandte Radarsignal wellenartig aus und wird an Schichtgrenzen - sie sind bei Radar durch Änderungen in der Dielektrizitätskonstanten definiert - reflektiert oder gebrochen sowie an Störkörpern gebeugt oder gestreut (vgl. Abb. 21). Die Empfangsantenne nimmt die Reflexionen auf. Gleichzeitig werden von diesen Impulsen die Laufzeiten und die Amplituden der elektrischen Feldstärke aufgezeichnet (vgl. [50], [44]).

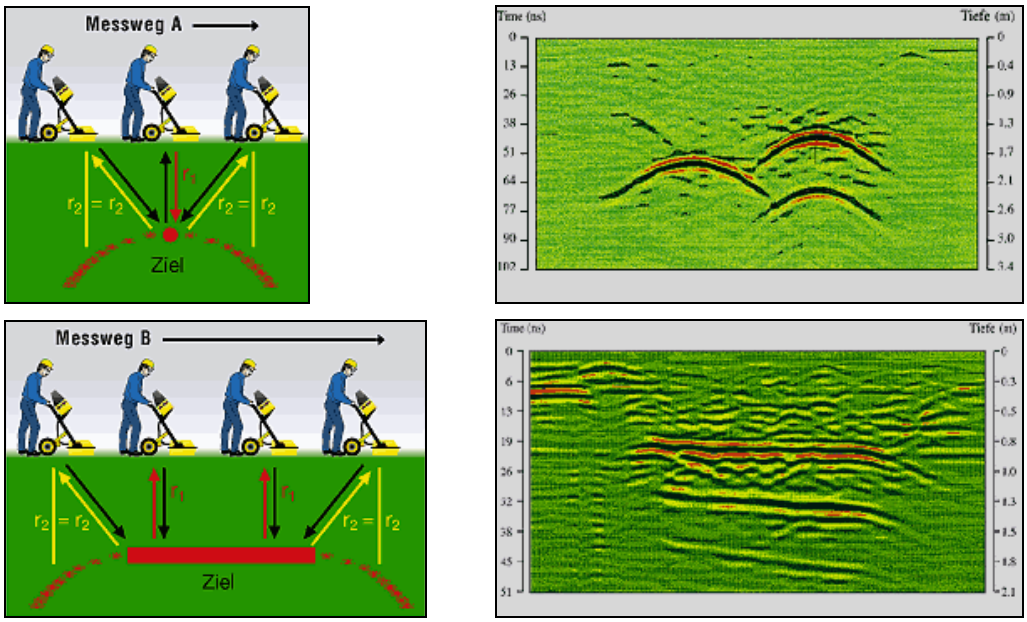


Abb. 21: Funktionsprinzip des Radarverfahrens, Radargramme sowie Darstellung der charakteristischen Hyperbel in Abhängigkeit zur Laufrichtung des Radargerätes [51]

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Beim Radar werden die gemessenen Wellenfelder datentechnisch zu Bildern des Untergrunds (Sektionen) aufgearbeitet. In diesen Radargrammen sind die Laufzeiten der reflektierten Radarwellen als two-way-traveltime (TWT) in Nanosekunden [ns] auf der Y-Achse über der bei der Messung zurückgelegten Strecke [m] auf der X-Achse aufgetragen. Auf den Radargrammen lassen sich Reflektoren, die sich durch unterschiedliche Intensitäten von einander abheben, erkennen. Hohlräume, Findlinge oder Verbaureste können z.B. solche Reflektoren darstellen. Die charakteristische Hyperbel, die sich beim Führen des Messsystems über einer Anomalie ergibt (siehe Abb. 21, rechts oben), entsteht durch die Fähigkeit des Radarsystems, Gegenstände auch dann noch zu erkennen, wenn diese sich nicht mehr direkt unter den Antennen, sondern im schrägen Winkel dazu befinden [51].

Die Eindringtiefe der Wellen ist materialabhängig. Beim Einsatz in Stadtgebieten von der Erdoberfläche aus lassen sich mit einer Auflösung im Dezimeterbereich oberflächennahe Kabel, Leitungen, Schächte und Kanäle orten. Andere Materialien, wie etwa trockener Sand, Meereis oder Steinsalz erlauben Eindringtiefen von einigen 10-Metern bis zu einigen Kilometern. Hierbei bestimmt die Sendefrequenz zwischen 10 MHz und 2,5 GHz die Eindringtiefe und das Auflösungsvermögen. Bei der Deponie- und Altlastenuntersuchung, aber auch bei der Trassen- und Vorfelderkundung können oberflächennahe Störstrukturen, wie z.B. Materialwechsel, Einlagerungen u.ä., sehr fein aufgelöst werden. Es lässt sich somit in vielen Fällen die Untergrundstruktur mit extrem hoher vertikaler und lateraler Auflösung kartieren und abbilden [50].

3.1.4 Beschreibung der Radar-Messungen am Testobjekt

Im Rahmen der **ersten Messkampagne** wurden an der Prüfstrecke sowohl Längsprofile (vgl. Abb. 22) entlang der Sohle als auch einige Querprofile vermessen. Die Sendefrequenzen lagen bei 900 MHz und 1200 MHz [50].

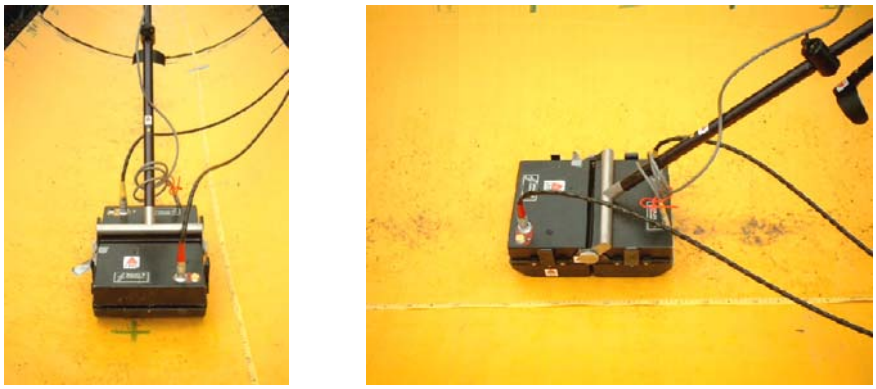


Abb. 22: Radar-Messung in Längsrichtung der Prüfstrecke mit 900-MHz-Antenne (Messkampagne 1)

Die Auswertung der Messwerte zeigte jedoch, dass die Eindringtiefe der Radarstrahlen geringer war als erwartet. Aus diesem Grund wurde in einer **zweiten Messkampagne** versucht, die Erkundungstiefe auf die profilierte Rohrwandung einzustellen. Dazu wurden während der Einzelmessungen, deren Weg jeweils in Längsrichtung entlang der Sohle führte, 5 cm bzw. 10 cm hohe Abstandhalter zwischen der 1200-MHz-Antenne und der Prüfstrecke angeordnet. Bei jeder Messung bestand der Abstandhalter aus einem anderen

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Material, um bei der Datenauswertung den Einfluss dieses Parameters auf die Ergebnisse berücksichtigen zu können (vgl. Abb. 23). Verwendet wurden Holz, MDF-Platte (mitteldichte Faserplatte), Styropor und POM - Kunststoff (Polyoxymethylen) [50].

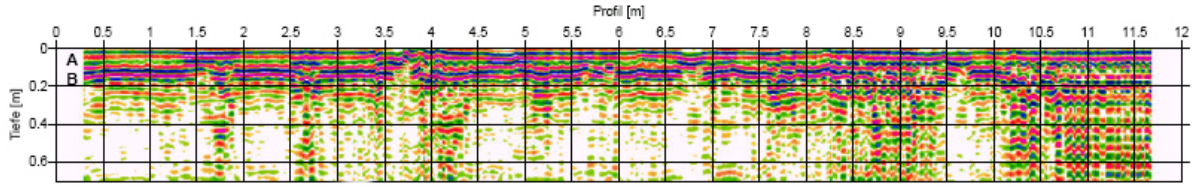


a) Holz h = 10 cm | b) MDF-Platte h = 10 cm | c) Styropor h = 10 cm | d) POM – Kunststoff h = 5 cm

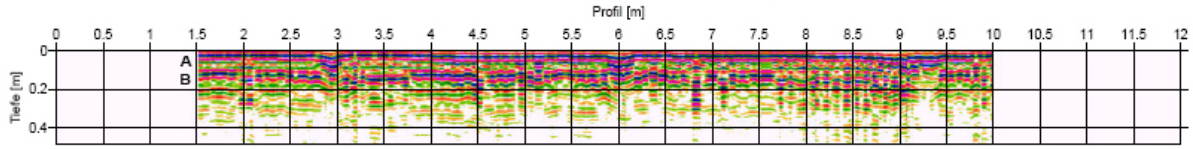
Abb. 23: Radar-Messungen in Längsrichtung der Prüfstrecke mit 1200-MHz-Antenne und Abstandhaltern aus unterschiedlichen Materialien (Messkampagne 2)

3.1.5 Ergebnisse

Messkampagne 1: Abbildung 24 zeigt das Längsprofil entlang der Prüfstreckensohle, gemessen mit 900 MHz und 1200 MHz, nach der Datenverarbeitung. Darin sind jeweils zwei horizontale „Bänder“ - gekennzeichnet mit den Buchstaben A und B - zu erkennen. Es kann unterschieden werden zwischen dem direkt an der Rohrschalenoberfläche gelaufenen Signal (A) und einer Reflexion in etwa 0,1 m Tiefe (B). In den darunter liegenden Bereichen bilden sich unregelmäßig aufgetretene Amplituden ab, die aber keine Unterscheidung der abschnittsweise eingebrachten Bettungsmaterialien (Kies-Sand 0-8, Kies 8-16, Splitt 2-5) erlauben. Das Radargramm in Abbildung 24 (b) zeigt in den Verbindungsbereichen bei 3 m, 6 m und 9 m geringfügige Laufzeitänderungen. Anhand der Messergebnisse ist zu erkennen, dass die Radarwellen nicht in das Bettungsmaterial eindrangen. Dies bestätigen auch die Daten der vermessenen Querprofile (hier nicht dargestellt).



a) Darstellung der Ergebnisse einer Messung unter Einsatz der 900-MHz-Antenne



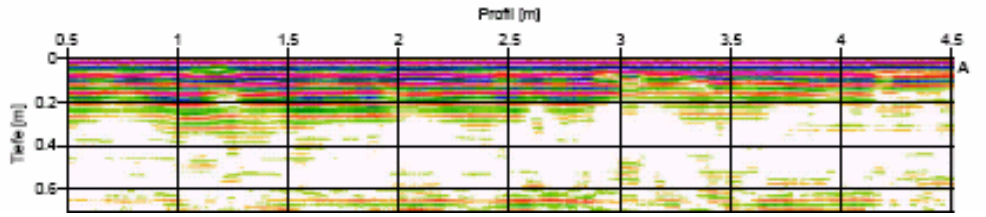
b) Darstellung der Ergebnisse einer Messung unter Einsatz der 1200-MHz-Antenne

Abb. 24: Radargramme entlang der Prüfstreckensohle auf der Grundlage von Messungen mit Antennen unterschiedlicher Frequenz (Messkampagne 1)

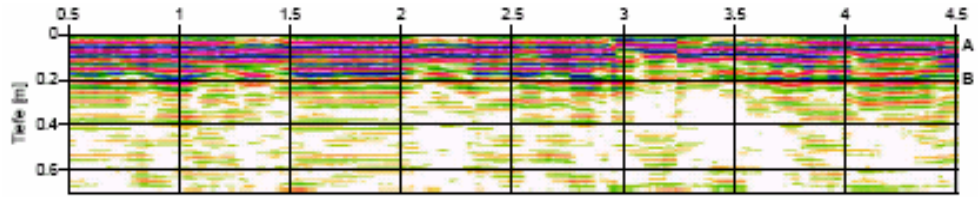
Messkampagne 2: Abbildung 25 zeigt Radargramme eines 4 m langen Abschnitts der Prüfstrecke, die auf der Grundlage von Messungen unter Einsatz der 1200-MHz-Antenne ermittelt wurden. Die Einzelmessungen unterschieden sich durch das Material des

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

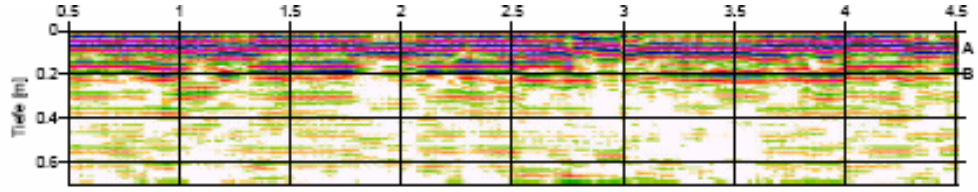
Abstandhalters zwischen der Antenne und Rohrschaleninnenwand (vgl. Abb. 23). Zum Vergleich ist in Abbildung 25 (e) das Radargramm dieses Abschnittes dargestellt, das im Rahmen der Messkampagne 1 ohne Abstandhalter ermittelt wurde.
Der Vergleich der graphisch dargestellten Daten zeigt, dass es sowohl Unterschiede zwischen Messungen mit und ohne Abstandhalter gibt als auch in Bezug auf das Material des Abstandhalters. Insbesondere Styropor hebt sich von den anderen Werkstoffen ab, denn im Gegensatz zu diesen bewirkt es nahezu strukturlose und horizontale Signalamplituden. Daher ist zu vermuten, dass die Radarwellen im Styropor stark gedämpft werden.
Bei den anderen Materialien (MDF-Platte, Holz, POM - Kunststoff) liegt das Reflexionsband (B) im Vergleich zur Messung ohne Zwischenmaterial aufgrund der Höhe der Abstandhalter um 10 cm tiefer. Die Signalstruktur ist jedoch ähnlich. Das auf die Anwendung des POM - Kunststoffes zurückgehende Radargramm unterscheidet sich von den anderen Messergebnissen durch sogenannte multiple Signale.
Anhand der Messergebnisse wird deutlich, dass unter den gegebenen Randbedingungen das Rohrprofil mit Hilfe des Radarverfahrens nicht erkannt werden kann.



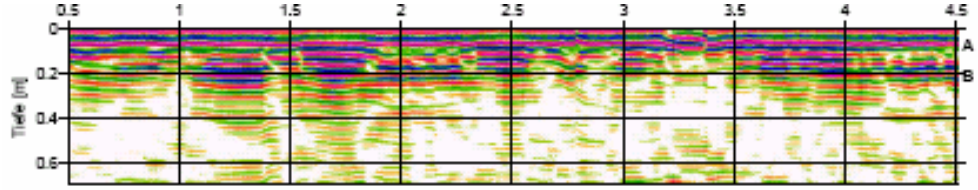
a) Material des Abstandhalters: Styropor



b) Material des Abstandhalters: MDF-Platte

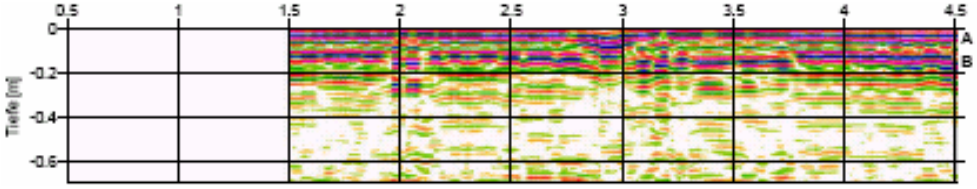


c) Material des Abstandhalters: Holz



d) Material des Abstandhalters: POM - Kunststoff

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



e) ohne Abstandhalter

Abb. 25: Radargramme entlang eines 4 m langen Abschnitts der Prüfstreckensohle auf der Grundlage von Messungen mit Abstandhaltern zwischen Antenne und Rohrschaleninnenwand aus unterschiedlichen Materialien

3.1.6 Zusammenfassung

Bisher lagen keine praktischen Erkenntnisse zu den Einsatzmöglichkeiten und -grenzen von geophysikalischen Methoden zur Erkundung von Kanalbauwerken aus profilierten Kunststoffrohren und den sie umgebenden Boden vor. Im Rahmen des Vorhabens sollten daher die am Markt verfügbaren Verfahren vor dem Hintergrund bereits vorliegender Erfahrungen bewertet und ggf. in Testeinsätzen weiter untersucht werden.
In einer nach oben offenen Versuchsstrecke aus Viertelschalen eines profilierten Kunststoffrohres (DN 1600), deren Bettung aus abschnittweise unterschiedlichen Materialien bestand, wurden entsprechend geophysikalische Untersuchungen mit dem Radarverfahren durchgeführt. Während die erste Messkampagne die Erkennung der Bettungsunterschiede zum Ziel hatte, sollte auf der Grundlage der zweiten Messkampagne die aufgelöste Wandstruktur (Profil) des Rohres ermittelt werden.
Beide Versuchsanordnungen haben gezeigt, dass die Radarwellen durch das Kunststoffmaterial der Rohre nahezu vollständig absorbiert wurden und somit die Rohrwandung kaum durchdringen konnten. Die untersuchten Rohre ließen demnach weder eine Erkundung des Rohrprofils noch der Bettung mit dem Radarverfahren zu.

Dieses Ergebnis kann jedoch nicht grundsätzlich auf alle für den Bau von Abwasserkanälen und -leitungen verwendeten Kunststoffe übertragen werden. Der entscheidende physikalische Parameter für die Ausbreitung und Dämpfung der Radarwellen ist die Dielektrizitätskonstante des Materials [50]. Während die Literatur ausreichende Angaben für natürliche Materialien, Minerale und Böden bereitstellt, stehen entsprechende Informationen für komplexe und variationsreiche Werkstoffe, wie z.B. Kunststoffe, kaum zur Verfügung. Offen bleibt daher, ob hier möglicherweise andere Kunststoffe weitergehende Messungen zulassen.

3.2 Kanalbegehungen und Sichtung von Inspektionsvideos

Um den Ist-Zustand bereits verlegter Kunststoffrohrleitungen mit Blick auf mögliche Auffälligkeiten zu erfassen, wurden sowohl Begehungen von Strecken mit profilierten Großrohren durchgeführt als auch zahlreiche Inspektionsvideos kleinerer Nennweiten gesichtet. Eventuelle Schwachpunkte, Schadensfälle (z.B. Undichtigkeiten) oder andere Besonderheiten wurden identifiziert und für eine spätere Bewertung detailliert dokumentiert. Bildmaterial von profilierten Großrohren aus Kunststoff stand im Vorfeld i.d.R. nicht zur Verfügung. In den Kapiteln 3.2.3 bis 3.2.7 werden die im Rahmen der Kanalbegehungen und

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

der Inaugenscheinnahme von Inspektionsvideos festgestellten Auffälligkeiten dargestellt und beschrieben.

3.2.1 Auswahl von Kanälen für In-situ-Untersuchungen

Im ersten Schritt erfolgte eine Recherche bei kommunalen Netzbetreibern und Wasserwirtschaftsverbänden bezüglich des Einsatzes profilierter Kunststoffrohre großer Nennweite in Abwasserkanälen. Als Grundlage der Recherche dienten Referenzlisten der Rohrhersteller bauku GmbH, Henze GmbH und Frank GmbH, bestehende Kontakte zu Netzbetreibern sowie netzbezogene Informationen aus bereits abgeschlossenen IKT-Projekten (z.B. [52]).
Im Rahmen der Gespräche mit den Kanalnetzbetreibern wurden auch örtliche Randbedingungen festgehalten. Als entscheidende Kriterien für die Auswahl der zu begehenden Kanäle wurden u.a. das Baujahr, die Nennweite, die Verkehrsbelastung und die Rohrhersteller identifiziert. Vorraussetzung für die Begehung waren niedrige Abwassermengen bzw. Wasserstandshöhen (Trockenwetter) sowie gute Zugänglichkeiten bzw. Einstiegsmöglichkeiten.
Zum Abschluss der Recherche wurden bei insgesamt sieben kommunalen Netzbetreibern und einem Wasserverband aus 15 Kanalstrecken insgesamt 24 Haltungen unter Berücksichtigung der örtlichen Randbedingungen für Begehungen ausgewählt (vgl. Tab. 9 und Abb. 26). Die Untersuchungsobjekte umfassten eine Gesamtlänge von 1.480 m. Bei den Kanälen handelte es sich entweder um Hauptsammler oder Stauraumkanäle. Ein Absperren der Kanäle für die Dauer der Inspektion war aufgrund des erhöhten Aufwandes für den Netzbetreiber und des beschränkten Rückstauvolumens in den meisten Fällen nicht möglich. Daher wurden die Kanalbegehungen i.d.R. im Betriebszustand durchgeführt.

Tab. 9: Übersicht zu den in situ untersuchten Kanälen aus profilierten Kunststoffrohren

Netzbetreiber	***Rohrhersteller***	***DN***	***Baujahr***	***Tiefenlage [m]***	***Verkehrsbelastung***	***Wasserstands-höhe [cm]***
Aggerverband	*bauku GmbH*	*1.800*	*1989*	*1,7 - 1,8*	*Busverkehr*	*ca. 5*
Bad Wildungen	*Frank GmbH*	*2.000*	*2003*	*2 - 2,9*	*ruhender Verkehr (Parkbuchten)*	*5 - 10*
	Henze GmbH	*1.400*	*1998*	*0,7 - 3,0*	*Anliegerstrasse / Wiese*	*ca. 5*
Höxter	*bauku GmbH*	*1.500*	*1997*	*0,8 - 2,0*	*Güterverkehr / landwirtschaftl. Verkehr*	*ca. 5*
	bauku GmbH	*2.300*	*1994*	*0,5 - 0,9*	*keine*	*5 - 10*
Kirchlengern	*bauku GmbH*	*1.800*	*1996*	*1,1 - 2,5*	*wenig befahrene Nebenstrecke*	*ca. 5*
	bauku GmbH	*1.400*	*1998*	*0,5 - 0,7*	*stark befahrene Straße*	*10 - 15*
Porta Westfalica	*bauku GmbH*	*1.400*	*1998*	*0,7 - 3,7*	*starker Busverkehr*	*5 -10*
	bauku GmbH	*1.400*	*1999*	*1,3 - 2,3*	*stark befahrene Straße*	*5 - 10*
Siegburg	*bauku GmbH*	*1.600*	*1999*	*k.A.*	*stark befahrene Straße*	*---*
	bauku GmbH	*2.000*	*1999*	*k.A.*	*Park- u. Gehwegbereich*	*benetzt*
Stemwede	*bauku GmbH*	*1.600*	*2000*	*2,0 - 2,3*	*nahezu keine*	*ca. 5*
	bauku GmbH	*1.600*	*2000*	*1,8 - 2,4*	*Wirtschaftsweg*	*5 - 10*
Warburg	*bauku GmbH*	*1.600*	*1999*	*0,5 - 1,5*	*Ackerland*	*10 - 15*
	bauku GmbH	*2.000*	*1997*	*1,1 - 1,6*	*landwirtschaftl. Verkehr*	*ca. 5*

** bezogen auf den Rohrscheitel*

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

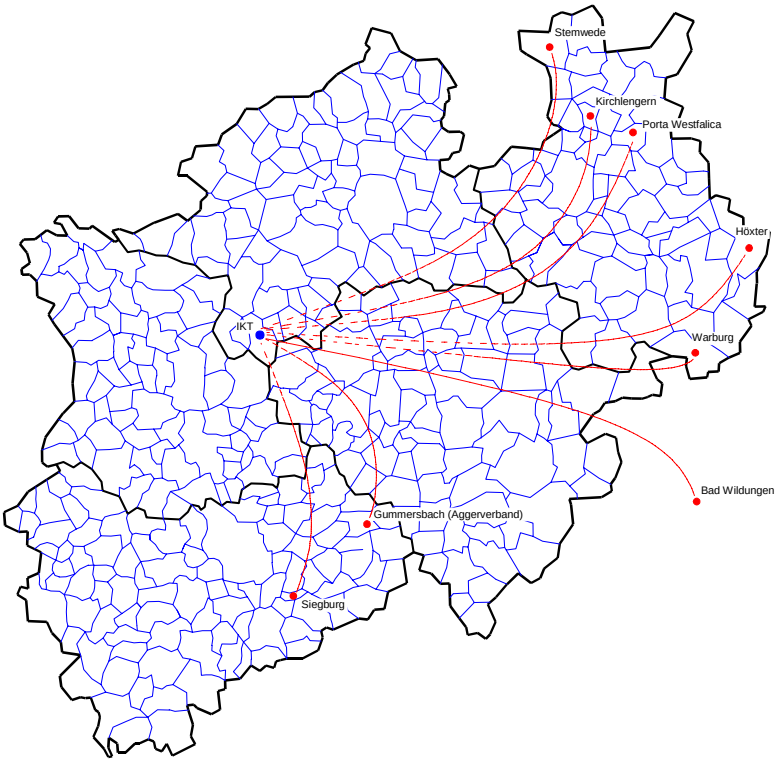


Abb. 26: Orte der In-situ-Untersuchungen

3.2.2 Umfang der Analyse von Inspektionsvideos

Mit dem Ziel, die im Rahmen der durchgeführten Kanalbegehungen aufgebaute Datenbasis zu erweitern, wurden auch nicht-begehbare Kanäle in die Erfassung des Ist-Zustandes aufgenommen. Zur Untersuchung von profilierten Kunststoffrohren auf Besonderheiten (z.B. bedeutsame Verformungen) oder Schäden (z.B. Undichtigkeiten) dienten Kanalinspektionsvideos, die dem IKT von insgesamt 10 Netzbetreibern aus drei Bundesländern zur Verfügung gestellt wurden (vgl. Tab. 10). Es handelte sich ausschließlich um Rohre, die von der bauku GmbH hergestellt wurden.

Tab. 10: Beteiligte Netzbetreiber

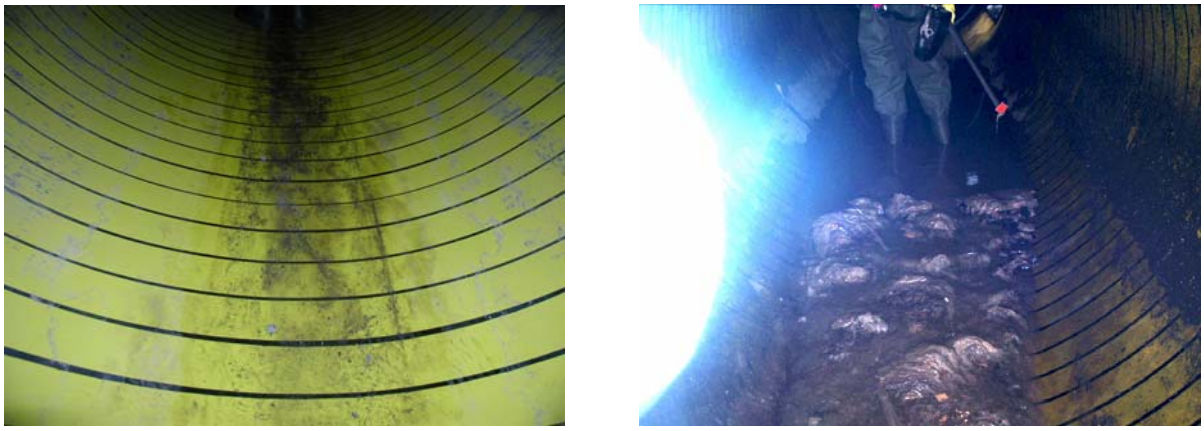
Nr.	Netzbetreiber	Bundesland
1	Altena	NRW
2	Arnsberg	NRW
3	Bielefeld	NRW
4	Göttingen	Niedersachsen
5	Hameln	Niedersachsen
6	Herford	NRW
7	Neuss	NRW
8	Idar-Oberstein	Bayern
9	Porta-Westfalica	NRW
10	Wiehl	NRW

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Das Bildmaterial umfasste 248 Haltungen mit einer Gesamtlänge von etwa 10 km. Die Verlegung der Untersuchungsobjekte erfolgte im Zeitraum von 1972 bis 2000. Der Untersuchungsumfang umfasste Nennweiten zwischen DN 200 bis DN 1200, mit einem überwiegenden Anteil zwischen DN 500 und DN 800.

3.2.3 Beobachtungen an Rohren

Die Begehung der Kanäle wurde im Betriebszustand durchgeführt. Die nachfolgenden Beobachtungen, Bewertungen und Empfehlungen beziehen sich ausschließlich auf die Bereiche, die im Rahmen der Inspektion in Augenschein genommen werden konnten. Mit Ausnahme zweier Kanäle, die eine minimale Wasserführung von Regenwasser aufwiesen (vgl. Abb. 27 (a)), führten die übrigen Kanäle Mischwasser in Höhen von 2 - 15 cm (vgl. Abb. 27 (b)). In diesen Fällen konnte der Sohlbereich zum Teil nur unzureichend in Augenschein genommen werden.



a) minimale Wasserführung (Regenwasser) b) Wasserstandshöhe von 15 cm

Abb. 27: Beispiele für unterschiedliche Wasserstandshöhen in den in situ untersuchten Kanälen

Zudem wiesen die nach Angaben der Netzbetreiber zuvor gereinigten Kanäle zum Teil erhebliche Unterschiede bezüglich der Reinigungsqualität auf (vgl. Abb. 28). Während in einigen Kanälen die Innenwand über den gesamten Rohrumfang vollständig sichtbar war (a), verdeckten in anderen Kanälen starke Ablagerungen sogar den Scheitelbereich des Kanals (b). Da viele Kanalnetzbetreiber nicht über spezielle Geräte für die HD-Reinigung von Großrohren verfügen, werden z.T. behelfsmäßige Lösungen (Wasserschlauch) gewählt oder Reinigungsgeräte verwendet, die lediglich für die HD-Reinigung kleiner Rohre geeignet sind. So zeigt Abbildung 28 (c) einen Kanal, in dem deutlich eine Spülspur in der Sohle und im Scheitel zu erkennen ist. Große Bereiche der Rohrwandung oberhalb und unterhalb der Kämpferlinie werden jedoch noch von Ablagerungen verdeckt.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) saubere Rohrwandung im Scheitel
b) stark verschmutzte Rohrwandung im Scheitel
c) Spülspur in Scheitel und Sohle

Abb. 28: Verschmutzungsgrad der Rohrinnenwand

3.2.3.1 Querschnittsverformungen

I. Kanalbegehungen

Nach Arbeitsblatt A 127 des DWA-Regelwerks [43] ist bei biegeweichen Rohren eine maximal zulässige Langzeitverformung von 6 % (unter besonderen Bedingungen, z.B. bei geringer Beulgefahr, auch 9 %) einzuhalten. Zur Kontrolle dieses Grenzwertes wurden die Kanäle im Rahmen der durchgeführten Begehungen nicht nur optisch inspiziert, sondern auch Vermessungen des Rohrinnendurchmessers in horizontaler und vertikaler Richtung an zuvor definierten, regelmäßigen Stationen (Rohranfang, -mitte und -ende) durchgeführt. Dabei wurde ein Teleskopmessstab eingesetzt (vgl. Abb. 78).
Zur Auswertung der gewonnen Messdaten wurde eine Vorgehensweise entwickelt, die anhand der Abbildung 29 nachvollzogen werden kann. Der erste Schritt beinhaltet die grafische Darstellung der Messwerte. Dabei werden in einem Diagramm die horizontal und vertikal gemessenen Durchmesserwerte auf der y-Achse aufgetragen; die Stationierung ist der x-Achse zu entnehmen. Im zweiten Schritt erfolgt die Festlegung der zulässigen Verformungsbandbreite (VBB = 2 * zul. δ_V). Dazu wird die zulässige Verformung (zul. δ_V), die entweder aus den Vorgaben nach [43] oder aus der statischen Berechnung hervorgeht, herangezogen. Um den Ist-Zustand der Rohre mit dem Soll-Zustand vergleichen zu können, wird die Verformungsbandbreite mittels zweier horizontaler Linien im Diagramm positioniert (vgl. Abb. 29). Dabei orientiert sich die Mittellage am Mittelwert aller Messwerte unter besonderer Berücksichtigung extremer Verformungen, nicht aber am Soll-Durchmesser laut Hersteller-Angabe (vgl. [53]). Auf diese Weise werden Fehlinterpretationen der Messwerte vermieden, denn in den meisten Fällen ist nicht bekannt, ob der Ausgangsdurchmesser tatsächlich dem Soll-Durchmesser entsprochen hat.

Abbildung 29 zeigt die Messkurven des horizontalen und vertikalen Rohrinnendurchmessers für den einzigen begangenen Kanal, bei dem die zulässigen Verformungstoleranzen überschritten wurden. Sämtliche Messstationen mit erkennbaren größeren Verformungen wurden in der graphischen Darstellung durch senkrechte rote Linien markiert.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

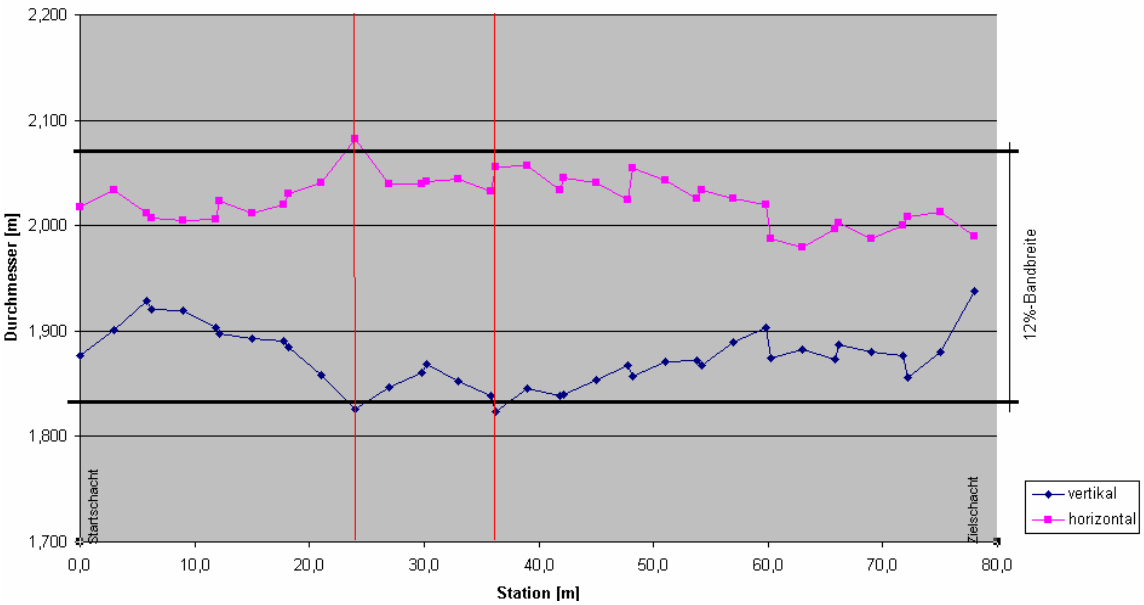


Abb. 29: Darstellung der horizontal- und vertikal gemessenen Durchmesserwerte im Vergleich zu der Toleranz nach [33], (Beispiel 1)

Abbildung 30 zeigt die grafische Auswertung der Verformungsmessungen eines Kanals, bei der sich die Messkurven der horizontalen und vertikalen Messwerte mehrfach schneiden. Bei der Betrachtung dieser Messstationen kann nochmals zwischen zwei Verformungsfiguren unterschieden werden. Bei einem vertikal gemessenen Durchmesserwert, der kleiner ist als der horizontal gemessene Durchmesserwert ($D_v < D_h$), ist davon auszugehen, dass als Verformungsfigur eine auf der breiten Seite liegenden Ellipse - horizontale Ellipse - angenommen werden kann. Bei einem vertikal gemessenen Durchmesserwert, der größer ist als der horizontal gemessene Durchmesserwert ($D_v > D_h$), ist anzunehmen, dass die Verformungsfigur einer stehenden Ellipse - vertikale Ellipse - entspricht.

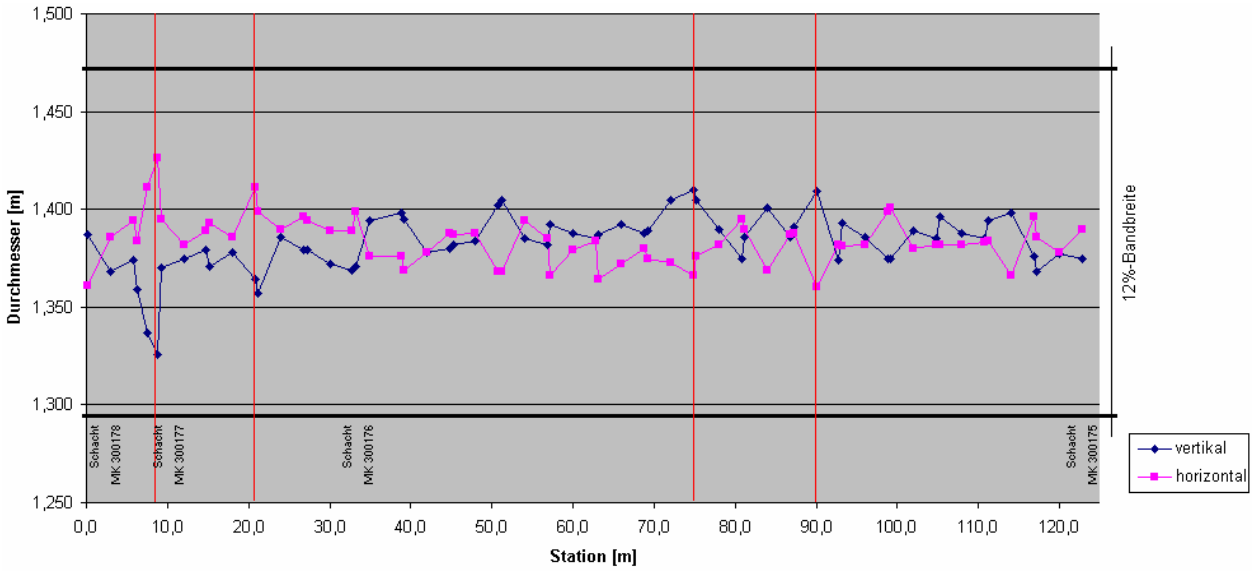
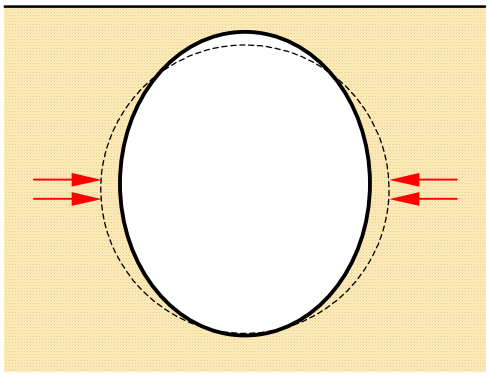


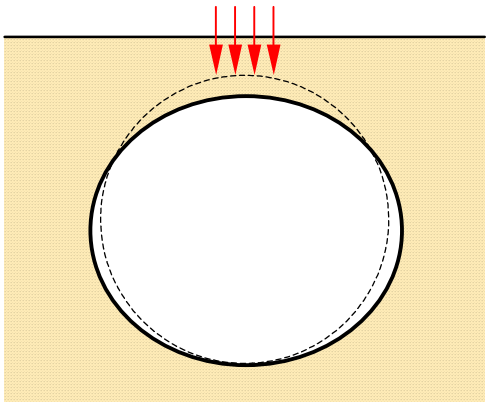
Abb. 30: Darstellung der horizontal- und vertikal gemessenen Durchmesserwerte im Vergleich zu der Toleranz nach [33], (Beispiel 2)

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Eine vertikale Ellipse ist möglicherweise auf eine hohe Verdichtung der seitlichen Leitungszone während des Bodeneinbaus zurückzuführen (vgl. Abb. 31 (a)). Horizontale Ellipsen lassen eine übermäßige Verdichtung über Rohrscheitel, hohe Beanspruchungen infolge Verkehrslasten bei geringen Überdeckungshöhen oder nachträgliche Setzungen der seitlichen Bettung vermuten (vgl. Abb. 31 (b)). Beide Verformungsmuster zeigten sich auch während der Begehungen (vgl. Abb. 31 (c) und (d)).



a) vertikale Ellipse, Belastung



b) horizontale Ellipse, Belastung



c) vertikale Ellipse, In-situ-Beobachtung

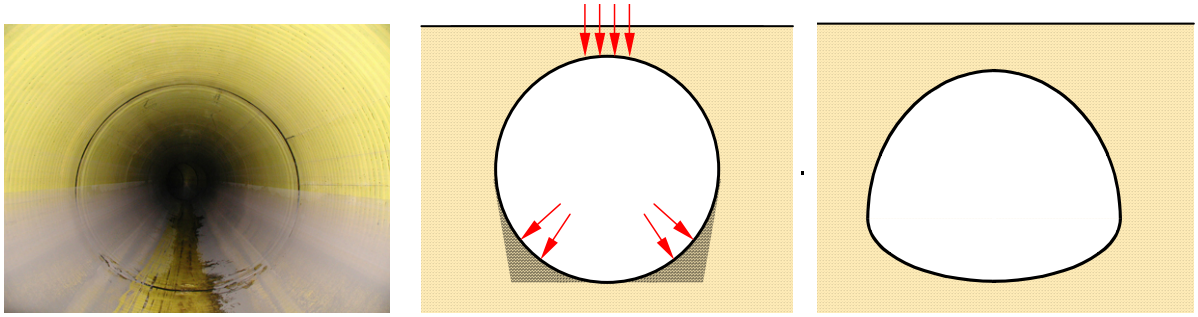


d) horizontale Ellipse, In-situ-Beobachtung

Abb. 31: Elliptische Verformungsfiguren

Ist der vertikal gemessene Durchmesser kleiner ist als der horizontal gemessener Durchmesser, kann es sich bei der Verformungsfigur auch um ein Maulprofil handeln. Abbildung 32 (a) zeigt ein Maulprofil, welches im Rahmen der Kanalbegehungen durch eine Inaugenscheinnahme des Rohrquerschnittes festgestellt wurde. Diese Verformungsfigur kann auf eine unzureichende Bodenverdichtung im Zwickelbereich zurückgeführt werden. Bei einer vertikalen Belastung führt dies dazu, dass die größten Verformungen des Rohres in diesem Bereich aufgenommen werden und dabei eine Verformungsfigur entsteht, die einem Maulprofil entspricht (vgl. Abb. 32 (b)).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Maulprofil in situ

b) Entstehung eines Maulprofils durch unverdichtetes Bodenmaterial im Zwickelbereich

Abb. 32: Maulprofil

Abbildung 33 zeigt die grafische Auswertung der Verformungsmessungen eines Kanals mit einem insgesamt gering verformten Rohrquerschnitt. Hier sind keine signifikanten Abweichungen der Messwerte von dem Nennmaß (DN 2000) über die gesamte Länge des Kanals erkennbar.

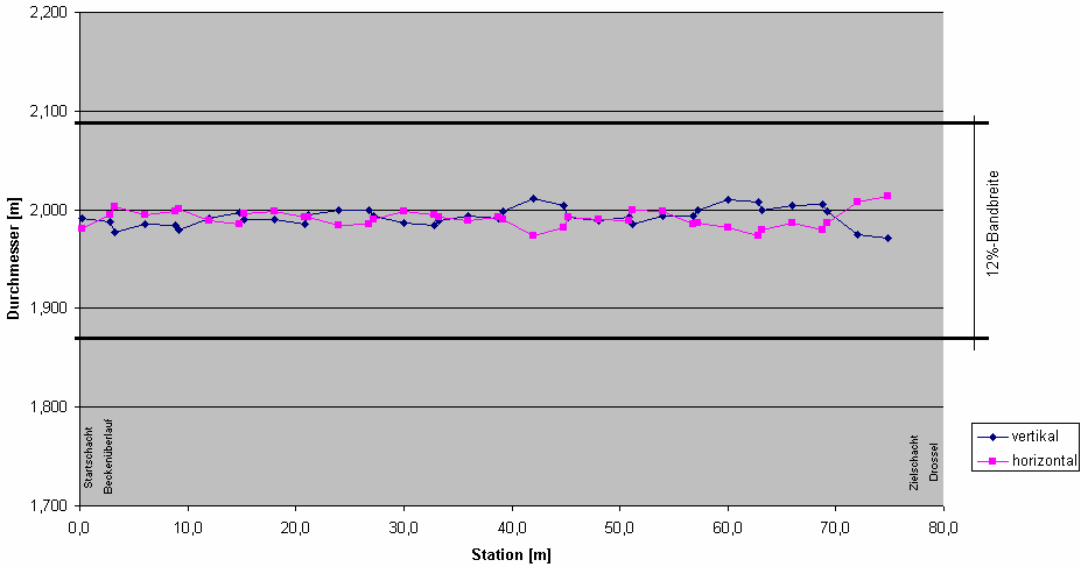


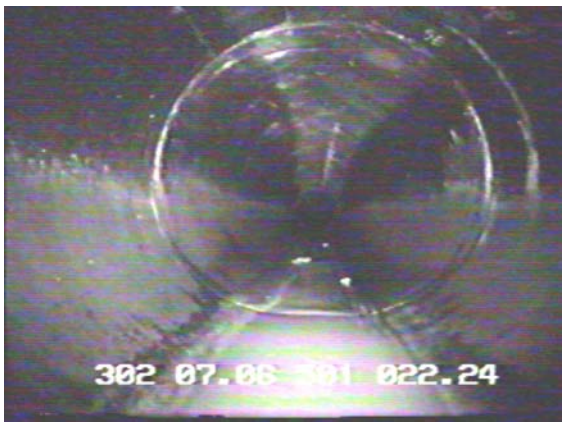
Abb. 33: Darstellung der horizontal- und vertikal gemessenen Durchmesserwerte ohne signifikante Abweichungen

II. Videoanalyse

Die Auswertung der Inspektionsvideos führte zu dem Ergebnis, dass in der Praxis eine Vielzahl von Querschnittsveränderungen auftreten können, die von der Annahme einer elliptischen und zur Vertikalachse symmetrischen Verformungsfigur (vgl. [33]) abweichen. Eine Auswahl von unterschiedlichen Verformungsfiguren ist in Abbildung 34 dargestellt.
Ein Großteil dieser Verformungen ist vermutlich bereits während des Rohreinbaus entstanden. So deutet ein Maulprofil (vgl. Abb. 34 (a)) auf unzureichend verdichtete Zwickelbereiche hin. Eine Ovalisierung nach oben lässt die Einleitung einer zu hohen Verdichtungsenergie im Bereich der seitlichen Bettung vermuten (vgl. Abb. 34 (b)). Eine vierwellige Verformungsfigur kann entstehen, wenn das Rohr zunächst infolge der seitlichen

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

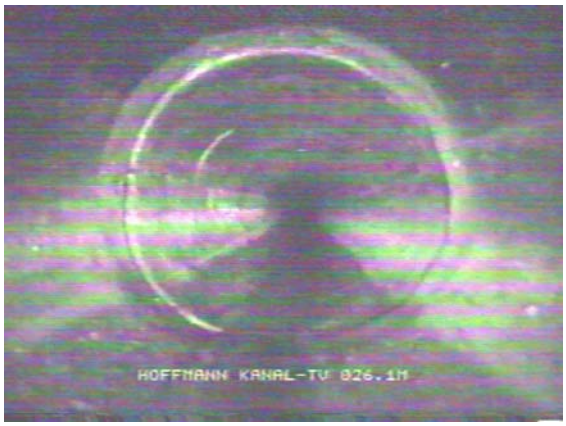
Verdichtung nach oben ovalisiert wird und durch die anschließende Verdichtung der Abdeckung - bei behinderter horizontaler Ausdehnung der Kämpfer - in vertikaler Richtung zusammengedrückt wird (vgl. Abb. 34 (c)). Auch die Verformungsfiguren in Abbildung 34 (d) und (e) gehen vermutlich auf die Verdichtung der Rohrbettung zurück. Inwieweit diese Erklärung auch für die sich über eine Länge von ca. 5 m erstreckende extreme Querschnittsreduzierung (vgl. Abb. 34 (f)) gilt, ist offen.



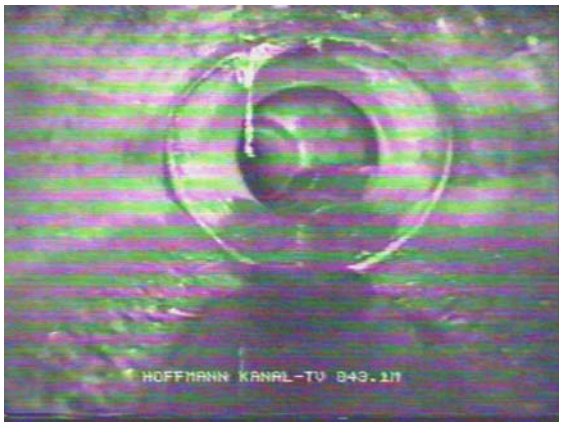
a) Maulprofil (DN 600, Bj. 1996)



b) Ovalisierung nach oben (DN 600, Bj. 1985)



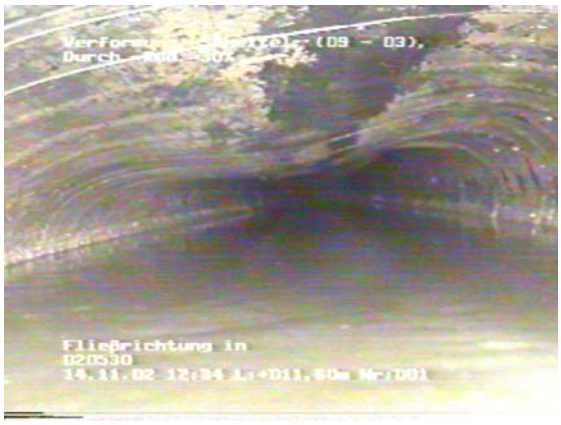
c) vierwellige Figur (DN 300, Bj. 1976)



d) asymmetrische Figur (DN 600, Bj. 1985)



e) dreiwellige Figur (DN 500, Bj. 1972)



f) Querschnittsreduktion ca. 30 % (DN 500, Bj. 1972)

Abb. 34: Querschnittsverformungen in nicht-begehbaren Rohren

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

3.2.3.2 Lageabweichungen

Bei der Inaugenscheinnahme der Inspektionsvideos wurden Abweichungen vom planmäßig geradlinigen Haltungsverlauf festgestellt. Diese zeigten sich u.a. anhand sichtbarer Mäander des Abwasserstromes und wechselnder Abwasserspiegelhöhen sowie durch Strömungswechsel. Die beobachteten Lageabweichungen waren zum einen horizontal und zum anderen vertikal gerichtet (vgl. Abb. 35). Die Ursache liegt vermutlich in der Bauausführung. Möglicherweise wurden die Rohre vor der Verdichtung der seitlichen Bettung nicht ausreichend gegen Auftrieb oder seitliche Verschiebung gesichert. Als weitere Ursache sind auch Vorverformungen des Rohres (Krümmung der Längsachse) denkbar.



a) DN 600, Bj. 1985



b) DN 300, Bj. 1976



c) DN 600, Bj. unbekannt



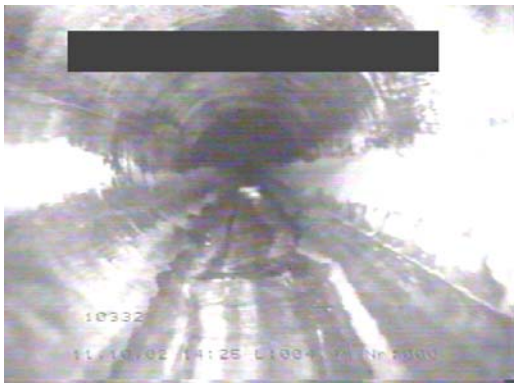
d) DN 600, Bj. 1985

Abb. 35: Lageabweichungen nicht-begehbarer Rohre in horizontaler Richtung (a, b) und vertikaler Richtung (c, d)

3.2.3.3 Lokale Verformungen

Im Rahmen der insgesamt 248 Haltungen umfassenden Videoanalyse wurden zwei lokale Verformungen im Bereich der Rohrsohle festgestellt (vgl. Abb. 36). Ursache sind vermutlich unplanmäßig im Boden verbliebene Kanthölzer, die im Rahmen der Bauausführung temporär zur Ausrichtung der Rohre im Graben benutzt wurden.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) DN 400, Bj. 1976



b) DN 300, Bj. 1976

Abb. 36: Lokale Verformungen im Bereich der Rohrsohle

3.2.3.4 Veränderungen an der Rohrwand

Abbildung 37 zeigt ein Loch und einen Riss in der Rohrwand eines inspizierten Regenwasserkanals (DN 1600). Der Riss erstreckt sich in Umfangsrichtung des Rohres über eine Länge von ca. 4 cm. Infolge des Loches, das einen Durchmesser und eine Tiefe von 5 mm aufweist, ist die Grundwand des Rohres sichtbar. Eine mögliche Ursache dieser Schäden sind mechanische Einwirkungen während der Bauphase. So können z.B. bei unsachgemäßem Umgang mit Spanngliedern, die beim Schweißen der Rohre zur Fixierung der Rohrverbindungen benötigt werden, Schäden an der Rohrwand auftreten. Weitere Möglichkeiten der mechanischen Beschädigung bestehen sowohl bei unvorsichtiger Rohrverladung im Werk als auch bei der Lageausrichtung im Rohrgraben mit Hilfe ungeeigneter Geräte (z.B. Bagger).

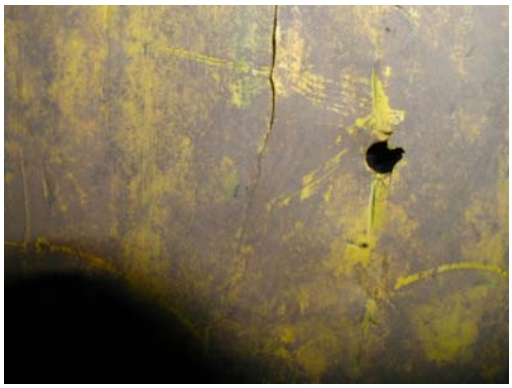


Abb. 37:
Riss in Umfangsrichtung und Loch



Abb. 38:
Riefe in der Rohrwand

In zahlreichen Kanäle waren Riefen zu erkennen (vgl. Abb. 38), die möglicherweise auch durch eine im Rahmen einer Hochdruckreinigung verwendete Düse verursacht worden sein könnten.

In Abbildung 39 ist eine Ablösung der gelben Innenauskleidung des Rohres im Sohlbereich zu erkennen. Diese Veränderung wurde möglicherweise durch die Kanalreinigung hervorgerufen, da bei einer Wasserhochdruckreinigung mit einem Druck von bis zu 120 bar

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

gearbeitet wird. Denkbar ist aber auch, dass die Ablösung der Innenbeschichtung durch den Transport von Geschiebe im Abwasser hervorgerufen wurde.



Abb. 39:
Ablösung der gelben Innenauskleidung

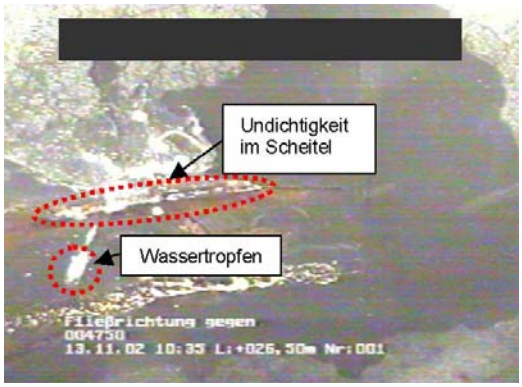


Abb. 40:
Schweißnähte auf der Innenwand

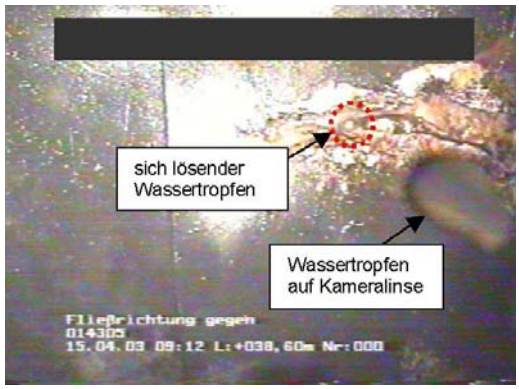
Im Rahmen der Inspektion eines Mischwassersammlers wurden außerhalb eines Verbindungsbereiches an der Rohrinnenwand in Höhe der Kämpferlinie verästelte Schweißnähte beobachtet (vgl. Abb. 40). Es ist zu vermuten, dass auf diese Weise Risse oder Undichtigkeiten, die bei der Bauausführung aufgetreten sind, abgedichtet wurden.

3.2.3.5 Undichtigkeiten

Bei der Inaugenscheinnahme der Inspektionsvideos wurde anhand von Wassertropfen, die sich in schneller Folge von der Rohrwandung lösten, in zwei Rohren jeweils eine Undichtigkeit im Scheitelbereich entdeckt (vgl. Abb. 41). Inwieweit diese Mängel auf Beschädigungen beim Einbau oder z.B. Punktlasten zurückzuführen sind, konnte nicht geklärt werden.



a) DN 500, Bj. 1972



b) DN 400, Bj. 1972

Abb. 41: Undichtigkeiten im Scheitelbereich von zwei nicht-begehbaren Rohren

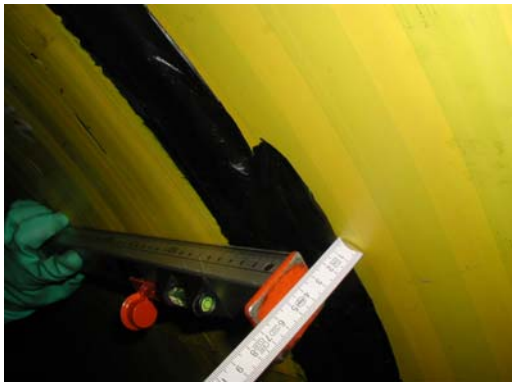
© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

3.2.4 Beobachtungen an Rohrverbindungen

3.2.4.1 Versätze

I. Kanalbegehungen

Im Bereich der Rohrverbindungen konnten bei einigen der inspizierten Kanäle Versätze festgestellt werden (vgl. Abb. 42). Die maximal gemessene Versatzhöhe betrug 3 cm.



a) Versatz, H = ca. 3 cm



b) Versatz, H = ca. 2 cm

Abb. 42: Versätze in Rohrverbindungen (bei Kanalbegehungen beobachtet)

Da sich die beobachteten Versätze i.d.R. über große Bereiche des Rohrumfanges erstrecken, sind Durchmessertoleranzen, die im Zusammenhang mit dem Herstellungsprozess stehen, eine mögliche Ursache. Bei der Rohrherstellung können aufgrund von Schrumpfvorgängen Abweichungen vom Soll-Durchmesser entstehen, die sich an der Rohrverbindung in Form von Versätzen bemerkbar machen. Gemäß [4] sind in Abhängigkeit von der Nennweite und der Profilrohr-Reihe Innendurchmesser-Toleranzen zwischen –90 mm und +72 mm zulässig.
Im Idealfall liegt in einer Rohrverbindung kein Versatz vor, da beidseitig die Durchmesser einer Rohrverbindung identisch sind (vgl. Abb. 43). D. h. in diesem Fall entspricht der tatsächliche Durchmesser des Rohres 1 im Bereich des Spitzendes dem tatsächlichen Durchmesser des Rohres 2 im Bereich der Muffe. Bei Rohren mit unterschiedlichen Abweichungen vom Soll-Durchmesser konzentriert sich der Versatz in bestimmten Bereichen der Rohrverbindung. Das in Abbildung 44 dargestellte Beispiel für einen Versatz zeigt eine Verschiebung des Rohrumfanges mit Schwerpunkt im Bereich oberhalb der Kämpferlinie. Der größte Versatz ist im Bereich des Scheitels zu erkennen. Die tatsächlichen Durchmesser von Rohr 1 und Rohr 2 sind in diesem Fall nicht identisch.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

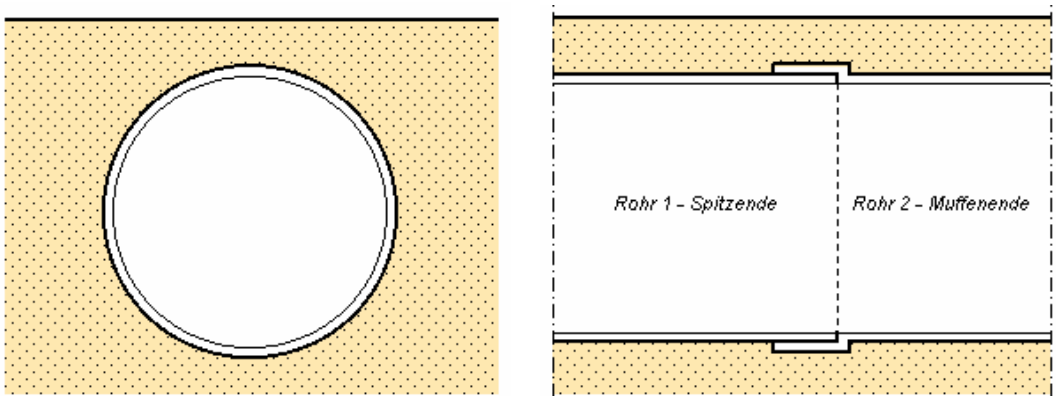


Abb. 43: Rohrverbindung ohne Versatz

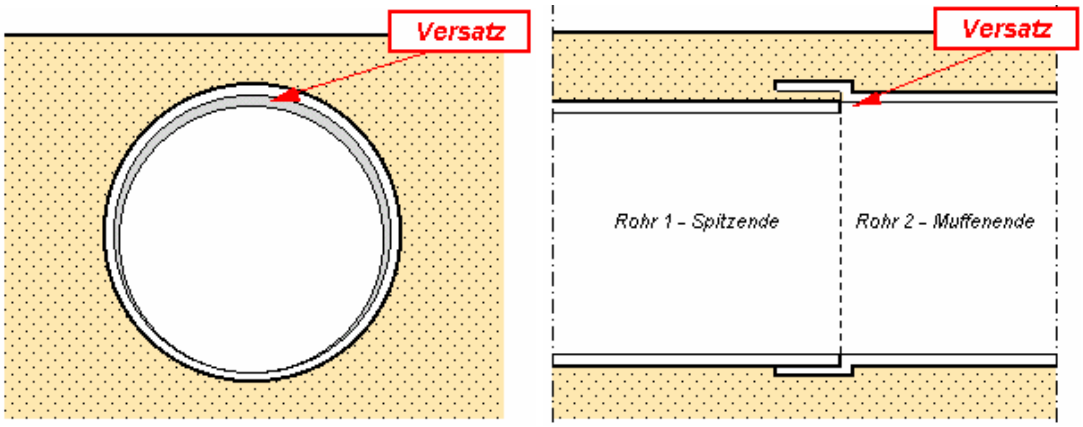


Abb. 44: Rohrverbindung mit Versatz

II. Videoanalyse

Im Rahmen der Inaugenscheinnahme von Inspektionsvideos wurden in 15 der erfassten Haltungen Versätze festgestellt. Mit einer Ausnahme beziehen sich diese Beobachtungen auf Sohlbereiche. Abbildung 45 zeigt in (a) und (b) Beispiele für Versätze im Sohlbereich. Aufgrund des Abwasserstromes konnte ihre Höhe nicht abgeschätzt werden. Abbildung 45 (c) zeigt einen Versatz im Rohrscheitel, hier verbunden mit erheblichen Querschnittsverformungen. Nach Angabe des Inspekteurs weist der Versatz eine Höhe von 3 cm auf.



a) Versatz in der Sohle
(DN 700, Bj. unbekannt)



b) Versatz in der Sohle
(DN 600, Bj. unbekannt)

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



c) Versatz im Scheitel, Höhe laut Inspektionskommentar: 3 cm (DN 500, Bj. 1972)

Abb. 45: Versätze in Rohrverbindungen (bei Videoanalysen festgestellt)

3.2.4.2 Lokale Verformungen

Im Rahmen der Inaugenscheinnahme von Inspektionsvideos wurden verschiedene Erscheinungsbilder von lokalen Verformungen beobachtet. In der Mehrheit (10 Fälle) handelte es sich dabei um Erhebungen im Bereich der Rohrsohle (vgl. Abb. 46). Diese **Bodenwellen** ähneln den in Kapitel 3.2.3.3 beschriebenen Beobachtungen und sind daher vermutlich ebenfalls auf unplanmäßig im Boden verbliebene Kanthölzer, die im Rahmen der Bauausführung temporär zur Ausrichtung der Rohre im Graben benutzt wurden, zurückzuführen.



a) DN 600, Bj. 1985 b) DN 1000, Bj. 1976

Abb. 46: Bodenwellen im Bereich von Rohrverbindungen

Darüber hinaus wurden zwei **verformte Spitzenden** festgestellt. Im ersten Fall ist das Spitzende örtlich ins Rohrinnere ausgewichen (vgl. Abb. 47). Diese Situation kann durch unsachgemäße Bodenverdichtung in unmittelbarer Nähe der Rohrverbindung entstanden sein. Als weitere Ursache kommt auch eine Punktlagerung (z.B. infolge eines Störkörpers in der Bettung) in Betracht. Im zweiten Fall ist das Spitzende mehrwellig verformt bzw. gebeult (vgl. Abb. 48). Dieses Erscheinungsbild entsteht unter der Voraussetzung einer im Vergleich zum Spitzende höheren Steifigkeit der direkten Umgebung. Im vorliegenden Fall handelt es sich dabei um die angrenzende Muffe. Es liegt daher die Vermutung nahe, dass im Bauzustand der Außendurchmesser des Spitzendes größer als der Innendurchmesser der

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Muffe war und infolge dessen während des Zusammenschiebens Zwängungen im Spitzende auftraten, die die mehrwellige Beulfigur verursachten.

Es ist festzuhalten, dass bei keiner der hier beschriebenen lokalen Verformungen Undichtigkeiten festgestellt wurden.

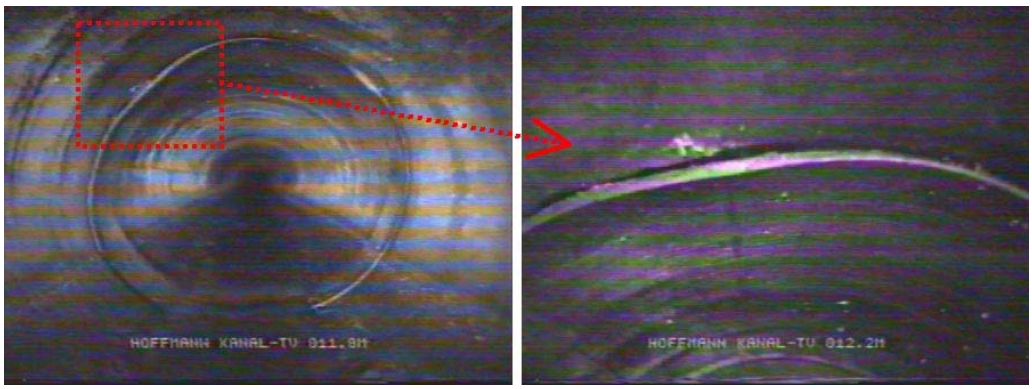


Abb. 47: Spitzende, lokal verformt (DN 300, Bj. 1976)

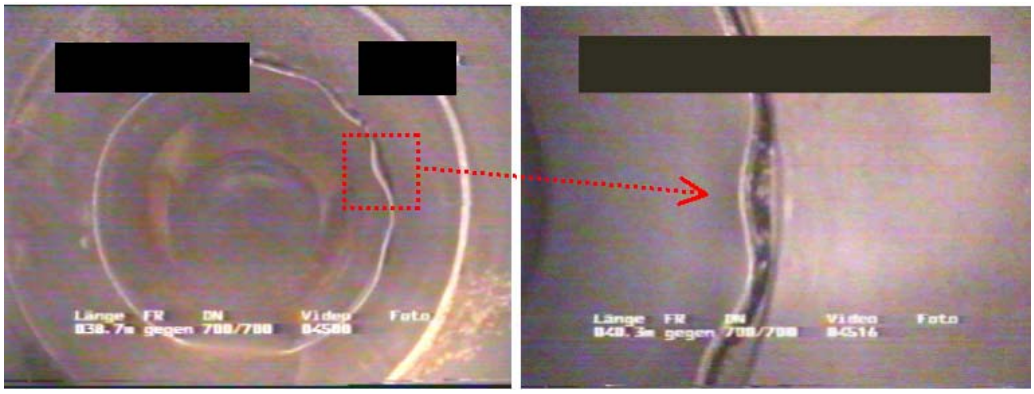


Abb. 48: Spitzende, mehrwellig verformt (DN 700, Bj. unbekannt)

3.2.4.3 Extrusions-Schweißnaht-Verbindung

I. Kanalbegehungen

Während der Bauausführung kann es zu planmäßigen oder unplanmäßigen Abwinkelungen in der Rohrverbindung kommen. Dadurch weist die Stoßfuge eine in Umfangsrichtung unterschiedliche Breite auf. Ist die Stoßfuge breiter als eine Extrusions-Schweißlage, so sind bei der Herstellung der Rohrverbindung mehrere Lagen zu schweißen (vgl. Abb. 49 (a)). Zum Vergleich zeigt Abbildung 49 (b) eine einlagige Schweißnaht. Bei den im Rahmen der Kanalbegehungen inspizierten Schweißnähten wurden keine Undichtigkeiten, Beschädigungen oder Risse festgestellt.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) mehrlagige Schweißnaht



b) einlagige Schweißnaht

Abb. 49: Extrusionsschweißnähte unterschiedlicher Breite bei begehbaren Kanälen

II. Videoanalyse

Im Rahmen der Inaugenscheinnahme von Inspektionsvideos nicht-begehbarer Kanäle wurden hinsichtlich des Erscheinungsbildes von Extrusionsschweißnähten ähnliche Beobachtungen wie bei den Kanalbegehungen gemacht. Auch hier zeigten sich unterschiedlich breite Schweißnähte (vgl. Abb. 50). Bis auf eine Ausnahme (vgl. Abb. 50 (b)) fanden sich in dem zur Verfügung stehenden Bildmaterial keine Hinweise auf mögliche Undichtigkeiten. Offen blieb, inwieweit es sich bei der dunklen Linie, die in Längsrichtung der Schweißnaht verläuft, tatsächlich um einen „1 mm breiten Längsriß“ (siehe Inspekteur-Kommentar) handelt, denn eindringendes Wasser wurde nicht beobachtet.



a) mehrlagige Schweißnaht
(DN 900, Bj. unbekannt)



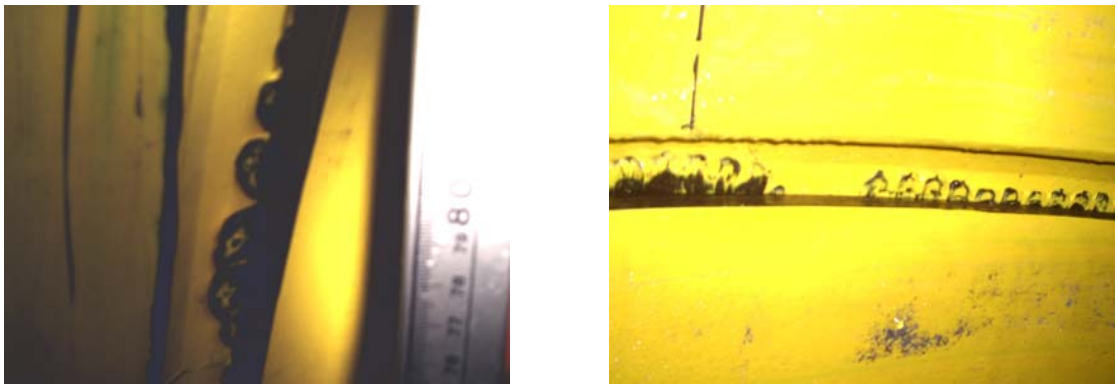
b) einlagige Schweißnaht
(DN 400, Bj. 1972)

Abb. 50: Extrusionsschweißnähte unterschiedlicher Breite bei nicht-begehbaren Kanälen

3.2.4.4 Heizwendel-Schweißmuffen-Verbindung

Im Rahmen der Begehung eines Stauraumkanals wurde in vier von insgesamt elf Rohrverbindungen, die unter Einsatz des Heizwendel-Schweißmuffen-Verfahrens hergestellt wurden, sichtbares Schweißgut festgestellt (vgl. Abb. 51).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) ausgetretenes Schweißgut im Kämpfer b) ausgetretenes Schweißgut im Scheitel

Abb. 51: Ausgetretenes Schweißgut an Heizwendel-Schweißmuffen-Verbindungen

Diese Beobachtung stellt aufgrund der verwendeten Verbindungstechnik eine Besonderheit dar, denn bei der Heizwendel-Schweißmuffen-Verbindung befindet sich die planmäßige Fügezone nicht im Bereich des Stoßes von Muffe und Spitzende (vgl. Extrusionsschweißung), sondern in deren Überlappungsbereich (vgl. Abb. 52).

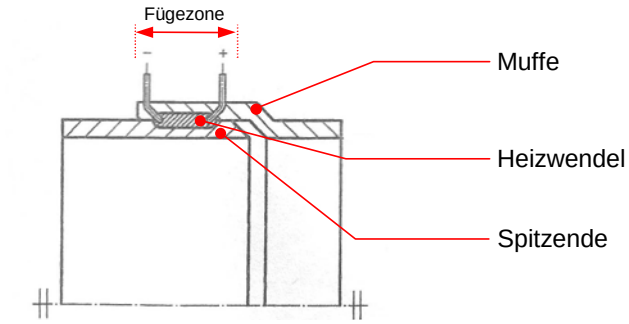


Abb. 52: Heizwendel-Schweißmuffen-Verbindung mit planmäßiger Fügezone [4]

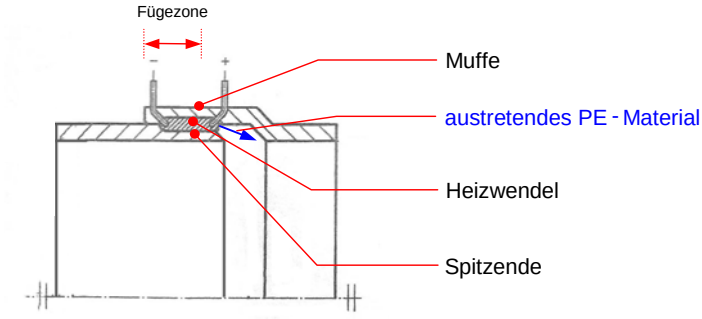


Abb. 53: Heizwendel-Schweißmuffen-Verbindung mit nicht planmäßiger Fügezone infolge Unterschreitung der Einstecktiefe

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

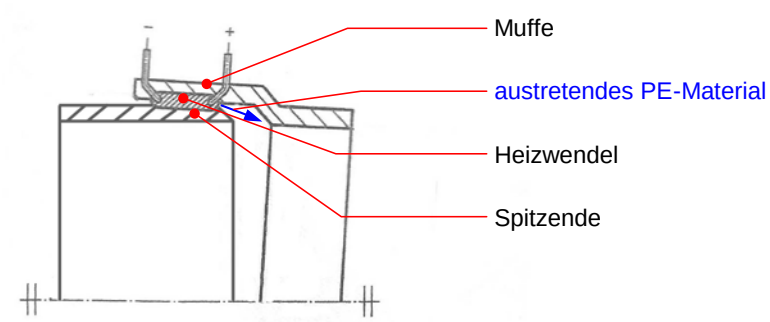


Abb. 54: Heizwendel-Schweißmuffen-Verbindung mit nicht planmäßiger Fügezone infolge einer Abwinkelung der Rohre

In der Verbindungsfuge sichtbares Schweißgut lässt darauf schließen, dass die Fügezone nicht planmäßig ausgebildet ist (vgl. Abb. 53 und Abb. 54). Abweichungen von den Vorgaben für die Herstellung der Schweißnaht können verschiedene Ursachen haben. Zum einen kann bei unzureichendem Anpressdruck zwischen Muffe und Spitzende während des Schweißvorganges das sich durch die Erwärmung ausdehnende PE-Material die Fuge auseinander drücken und sich in benachbarte Zonen ausbreiten. Zum anderen kann Schweißgut sichtbar werden, wenn der erforderliche Überlappungsbereich zwischen Muffe und Spitzende z.B. infolge einer Unterschreitung der Einstecktiefe oder infolge von Abwinkelungen der Rohre nicht eingehalten wird. In den beobachteten Fällen trat das Schweißgut in den Bereichen mit der auf den Umfang bezogenen größten Fugenbreite der Verbindung aus, so dass hier von einer Abwinkelung ausgegangen werden kann.

Abbildung 55 zeigt ausschnittsweise eine Rohrverbindungsfuge, die nach dem planmäßigen Einsatz des Heizwendel-Schweißverfahrens zum Teil zusätzlich mit Extrusions-Schweißgut ausgefüllt wurde. Diese Maßnahme wurde nach Angaben des für die Baumaßnahme zuständigen Ingenieurbüros auf Wunsch des Kanalnetzbetreibers zur Verfüllung einer relativ breiten - aber dichten - Fuge durchgeführt. Möglicherweise führten Sicherheitsbedenken z.B. in Bezug auf Beanspruchungen infolge Kanalreinigung zu dieser Entscheidung.



Abb. 55: Verbindungsfuge, nachträglich mit Schweißgut ausgefüllt

3.2.4.5 Undichtigkeiten

Bei der Sichtung der Inspektionsvideos zeigten sich in 7 Haltungen aus zwei Sammlern (Bj. 1972 bzw. 1976) undichte Rohrverbindungen mit Wassereintritt. Die Abbildungen 56 und 57

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

zeigen beispielhaft **Infiltrationen** in drei Scheitelbereichen bzw. unterhalb eines Kämpferbereichs. Als mögliche Ursachen dieser Undichtigkeiten in den hier vermutlich vorliegenden Steckverbindungen kommen u.a. unzureichender Anpressdruck der Dichtungen infolge Rohrverformungen in Betracht oder Beschädigungen der Dichtung beim Rohreinbau.

In einer Rohrverbindung des Sammlers aus dem Jahr 1972 wurde **Wurzeleinwuchs** in beiden Kämpferbereichen beobachtet (vgl. Abb. 58), der nach Einschätzung des Kanalinspekteurs zu einer Querschnittsreduzierung von 10 % (siehe Kommentareinblendung) geführt hat. Es ist zu vermuten, dass diese Rohrverbindung undicht ist, da durch das eingedrungene Wurzelwerk der Kontakt zwischen Dichtung und Spitzende bzw. Muffe aufgehoben wurde.



a) Beispiel 1



b) Beispiel 2

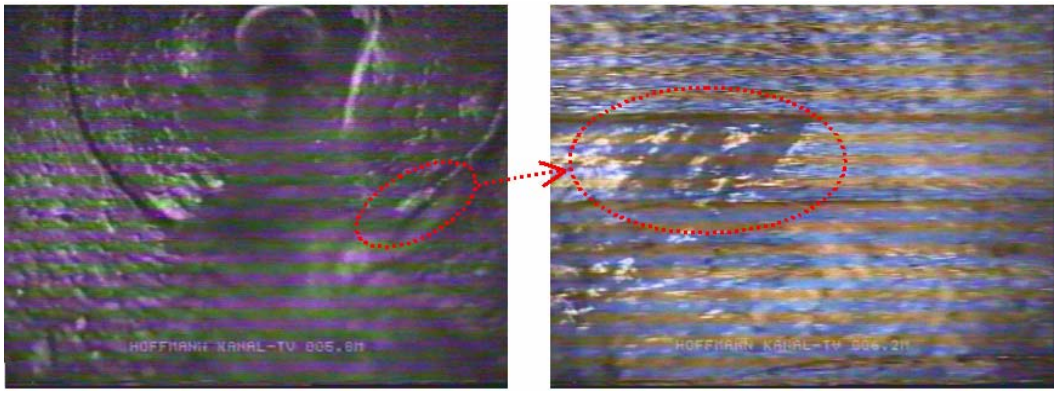




c) Beispiel 3 (links: Gesamtansicht, rechts: Detailansicht)

Abb. 56: Infiltration (siehe Markierungen) im Scheitelbereich undichter Rohrverbindungen eines Sammlers (DN 500, Bj. 1972)

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Gesamtansicht b) Detailansicht

Abb. 57: Infiltration (siehe Markierungen) unterhalb des Kämpferbereichs eines Sammlers (DN 300, Bj. 1976)



Abb. 58: Wurzeleinwuchs in den Kämpfern eines Sammlers (DN 500, Bj. 1972)

3.2.5 Beobachtungen an Seiteneinläufen

I. Kanalbegehung

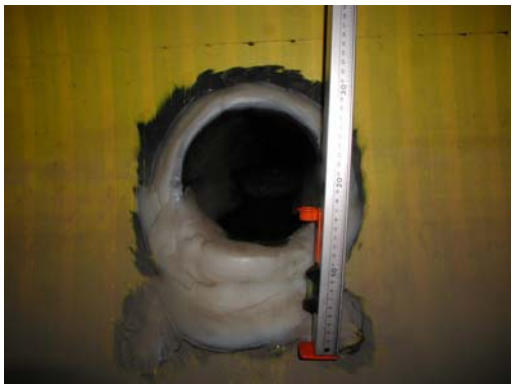
Im Rahmen der durchgeführten Inspektionen wurden insgesamt 18 Seiteneinläufe vorgefunden und in Augenschein genommen. Lediglich bei zwei Seiteneinläufen wurden Abweichungen vom Soll-Zustand festgestellt. So zeigt Abbildung 59 (a) einen im Scheitel befindlichen Seiteneinlauf, bei dem das Stutzenloch nicht fachgerecht hergestellt worden war. Es ist anzunehmen, dass bei der Herstellung des Loches die Bohrung mit einem dafür ungeeigneten Werkzeug durchgeführt wurde, d.h. eine Stichsäge o.ä. verwendet wurde.

Der in Abbildung 59 (b) dargestellte Seiteneinlauf weist eine extrem wulstige Schweißnaht auf. Es ist denkbar, dass beim Einbau des Seiteneinlaufes eine zu große Öffnung in die Rohrwand gebohrt wurde. Um Undichtigkeiten zu vermeiden, wurde vermutlich der nach dem Einsetzen des Seiteneinlaufes verbliebene Spalt mit Schweißgut verschlossen.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) ungleichmäßige Schnittkante am Stutzenloch



b) extreme Extrusionsschweißnaht

Abb. 59: Besonderheiten an Seiteneinläufen in begangenen Großrohren

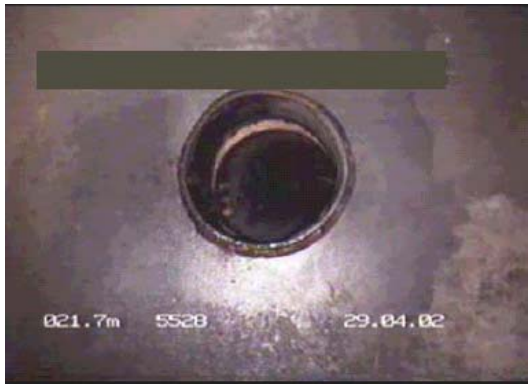
II. Videoanalyse

Im Rahmen der Sichtung von Inspektionsvideos nicht-begehbarer Kanäle wurden an Seiteneinläufen in Ausnahmefällen **Auffälligkeiten** erkannt. Dabei handelt es sich um Undichtigkeiten, einragende Stutzen sowie nicht fachgerecht verschlossene Stutzen.

- **Undichtigkeit:** In einer Kanalstrecke wurden Seiteneinläufe erfasst, bei denen aufgrund des Erscheinungsbildes des Anschlussbereiches auf eine Undichtigkeit geschlossen werden kann. So zeigen die Fotos in Abbildung 60 (a) und (b) Spalten an der Schnittstelle zwischen dem jeweiligen Stutzen und der Rohrinnenwand des Sammlers. Hinter diesen offenen Fugen ist insbesondere im linken, aber auch im rechten Bild der umgebende Boden erkennbar und damit die Vermutung einer Undichtigkeit bestätigt. Dagegen ist die Undichtigkeit im Anschlussbereich eines anderen Seiteneinlaufes direkt anhand des eindringenden Wassers erkennbar (vgl. Abb. 61 (a) und (b)).



a) Beispiel 1



b) Beispiel 2

Abb. 60: Undichtigkeiten im Anschlussbereich zwischen Sammler (DN 900, Bj. unbekannt) und Seiteneinlauf

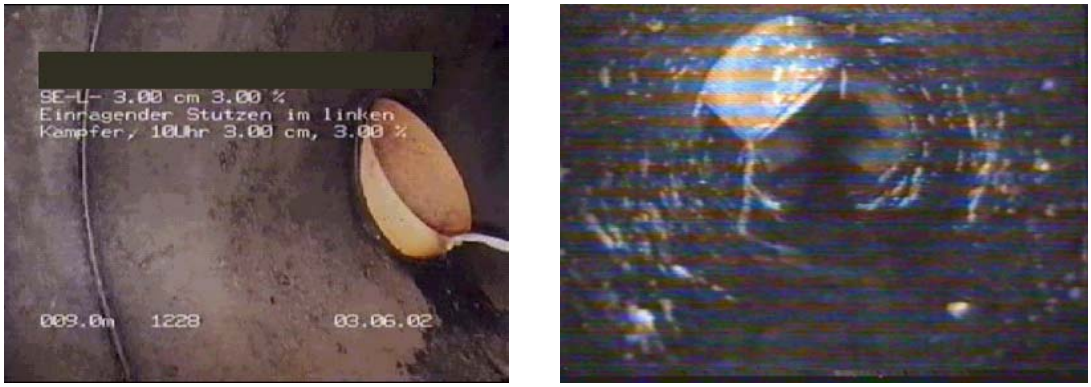
© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Seitenansicht b) Detailansicht

Abb. 61: Infiltration im Anschlussbereich zwischen Sammler (DN 500,Bj. 1985) und Seiteneinlauf

- **Einragender Stutzen:** In acht der gesichteten Haltungen wurden einragende Stutzen festgestellt. Abbildung 62 zeigt beispielhaft zwei dieser Fälle. Während die Querschnittsreduzierung in Beispiel 1 nach Schätzung des Kanalinspekteurs ca. 3 % beträgt (siehe Kommentar-Einblendung), liegt sie in Beispiel 2 mit ca. 30 % deutlich über diesem Wert.



a) Beispiel 1
Sammler: DN 600, Bj. unbekannt

b) Beispiel 2
Sammler: DN 300, Bj. 1976

Abb. 62: Einragende Stutzen

- **Nicht fachgerecht verschlossener Stutzen:** In einer Kanalstrecke wurden mehrere Stutzen entdeckt, die keine angeschlossenen Seiteneinläufe aufwiesen, sondern stattdessen - offensichtlich nicht fachgerecht - verschlossen worden waren. Als Hilfsmittel wurden dazu u.a. Segmente von profilierten Kunststoffrohren in Verbindung mit Plastiktüten (vgl. Abb. 63 (a)) verwendet. In Abbildung 63 (b) ist hinter dem vermutlich aus Kunststoff bestehenden Stutzen-„Deckel“ das angrenzende Bodenmaterial erkennbar.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Beispiel 1:
„Verschluss“ bestehend aus Profilrohrsegment und Plastiküte



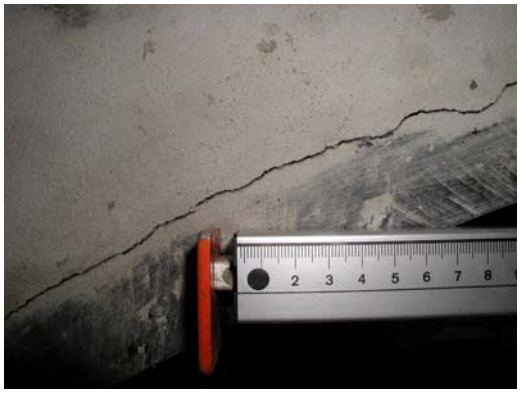
b) Beispiel 2:
„Verschluss“ bestehend aus Kunststoffelement ohne Plastiktüte

Abb. 63: Nicht fachgerecht verschlossene Stutzen an einem Sammler (DN 500, Bj. 1985)

3.2.6 Beobachtungen an Schachteinbindungen

I. Kanalbegehung

Im Rahmen der Kanalinspektionen wurden auch die Schachteinbindungen in Augenschein genommen. Von Interesse waren hier insbesondere Bereiche, bei denen ein Materialwechsel von PE-Rohren auf Schächte aus Beton oder Mauerwerk auftrat. Abbildung 64 zeigt Risse im Bereich der Schachteinbindung zwischen Kunststoffrohr und Beton bzw. Mauerwerk. Deren Ursache können z.B. Schwindvorgänge sein oder Zugspannungen, die durch Verformungen des biegeweichen Rohres in der Kontaktfläche zum umgebenden Material entstehen und vom Mörtel nicht aufgenommen werden können.



a) Betonschacht



b) gemauerter Schacht

Abb. 64: Risse im Bereich der Schachteinbindung

II. Videoanalyse

Die Sichtung von Inspektionsvideos ergab, dass die Übergänge zwischen profilierten Kunststoffrohren und Schächten mit gemauertem Gerinne häufig als Mörtelfuge ausgebildet wurden. In Abbildung 65 sind zwei entsprechend ausgeführte Schachteinbindungen aus verschiedenen Kanalstrecken dargestellt. Im Gegensatz zu diesen beiden Beispielen zeigten

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

andere Schachteinbindungsbereiche **Auffälligkeiten**. Neben **Spalten** und **Materialabtrag** wurden **Undichtigkeiten** sowie in einem Fall **Wurzeleinwuchs** beobachtet.



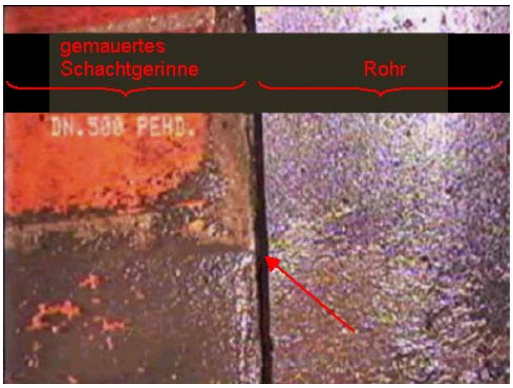
a) Beispiel 1:
Sammler: DN 800, Bj. 1996



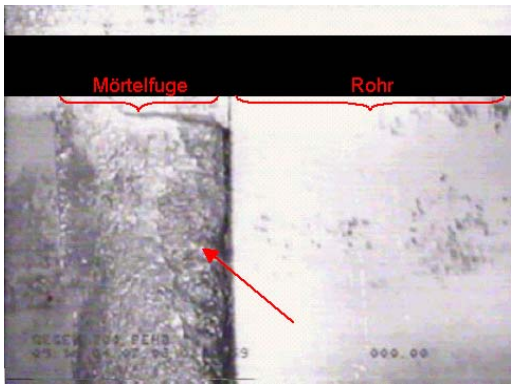
b) Beispiel 2:
Sammler: DN 900, Bj. unbekannt

Abb. 65: Mörtelfugen als Übergang zwischen Kunststoffrohr und Schachtgerinne

- **Spalten und Materialabtrag:** In mehreren Kanalstrecken wurden Schachteinbindungen erkannt, bei denen die Verfugung zwischen dem gemauerten Schachtgerinne und dem anschließenden Kunststoffrohr entweder vollständig oder in Teilen fehlt. Abbildung 66 zeigt in (a) einen Spalt zwischen Rohr- und Schachtgerinne sowie in (b) einen deutlich erkennbaren Materialabtrag in einer Mörtelfuge. Offen bleibt, inwieweit an diesen Stellen Undichtigkeiten vorliegen, da hier keine Infiltration zu erkennen ist.



a) Beispiel 1:
Spalt zwischen Rohr (DN 500, Bj. 1985) und gemauertem Schachtgerinne



b) Beispiel 2:
Materialabtrag in Mörtelfuge zwischen Rohr (DN 700, Bj. unbekannt) und gemauertem Schachtgerinne

Abb. 66: Auffälligkeiten am Übergang zwischen Kunststoffrohr und Schachtgerinne

- **Undichtigkeiten:** Bei insgesamt 11 der gesichteten Schachteinbindungen wurden anhand von eindringendem Wasser Undichtigkeiten festgestellt. Abbildung 67 zeigt Infiltrationen an zwei ausgewählten Beispielen. Während das eindringende Wasser in Beispiel 1 unmittelbar auffällt (vgl. mit roten Pfeilen markierte Wasserstrahlen), lässt sich die in Beispiel 2 markierte Infiltration nur aufgrund der Fließbewegung des Wassers im Video erkennen.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Beispiel 1:
Infiltration an Übergängen zwischen Rohr (DN 600, Bj. 1985) und gemauertem Schachtgerinne



b) Beispiel 2:
Infiltration im Bereich der Mörtelfuge zwischen Rohr (DN 400, Bj. 1972) und gemauertem Schachtgerinne

Abb. 67: Infiltration im Bereich der Schachteinbindung

- **Wurzeleinwuchs:** Lediglich in einer der gesichteten Schachteinbindungen wurde Wurzeleinwuchs festgestellt. Abbildung 68 zeigt den Scheitelbereich des Überganges zwischen Rohr und Schacht. Eindringendes Wasser als Indikator einer bestehenden Undichtigkeit wurde in diesem Fall nicht beobachtet.



Abb. 68: Wurzeleinwuchs im Scheitelbereich der Schachteinbindung eines Sammlers (DN 500, Bj. 1972)

3.2.7 Beobachtungen innerhalb von Schachtbauwerken

I. Kanalbegehung

Im Rahmen der Begehung von Kanälen aus profilierten Kunststoffrohren wurde festgestellt, dass bei vielen Schachtbauwerken lediglich das Schachtunterteil aus PE bestand. Oberhalb dieses Bauteils schlossen sich bis zur Geländeoberkante Betonringe an. Diese Beobachtung deckt sich mit den Erfahrungen zahlreicher Kanalnetzbetreiber (vgl. Kapitel 3.4). Wie die nachfolgenden Beispiele zeigen, wurden im Bereich des Materialwechsels Undichtigkeiten beobachtet.

Bei der Inspektion eines Stauraumkanals wurde in den Schachtbauwerken im Bereich des Materialwechsels von PE auf Beton sowohl Infiltration von Wasser beobachtet als auch

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Durchfeuchtung von Schachtringen (vgl. Abb. 69 und Abb. 70). Durch Undichtigkeiten im Bereich des Materialwechsels infolge der Verwendung eines ungeeigneten Dichtungssystems oder mangelhafter Bauausführung dringt Grundwasser in die Schachtbauwerke ein.

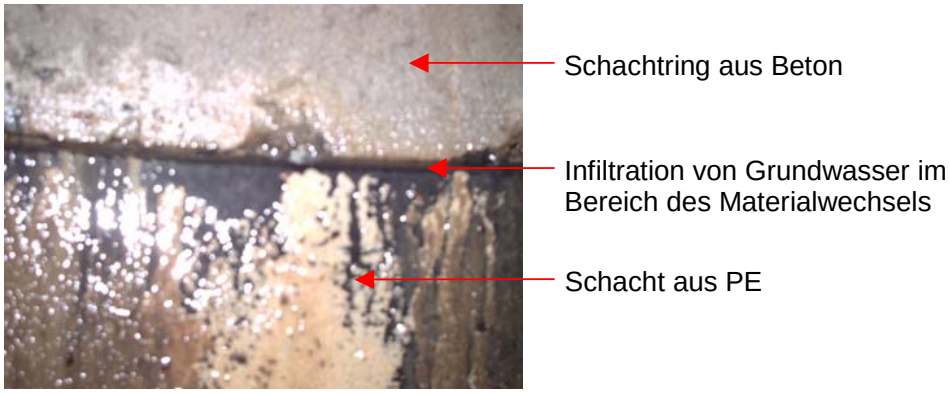


Abb. 69: Infiltration von Wasser im Bereich des Materialwechsels

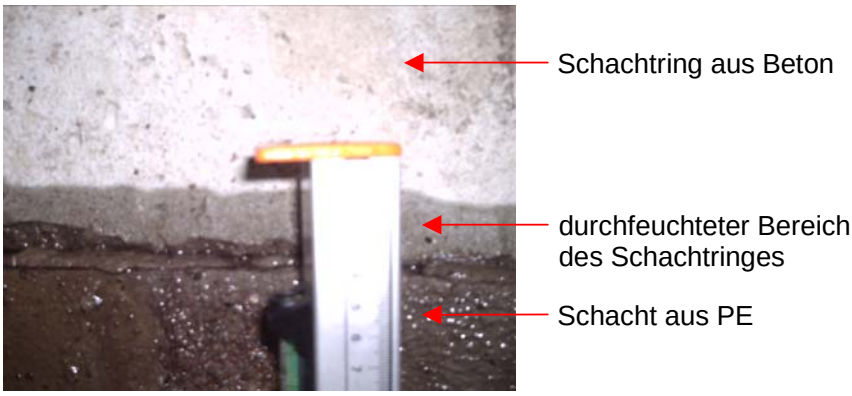


Abb. 70: Durchfeuchtung im Bereich des Materialwechsels

Abbildung 71 zeigt ein Schachtbauwerk, bei dem mittels einer Silikonmasse die Fuge zwischen PE und Beton nachträglich abgedichtet wurde. Um ein Herausdrücken des Silikons durch das anstehende Grundwasser zu vermeiden, wurde dieser Bereich offensichtlich mit einem mittels Schrauben fixierten Metallstreifen verstärkt. Nach Angaben des Netzbetreibers ist diese Maßnahme wahrscheinlich direkt während der Bauphase des Stauraumkanals durchgeführt worden. Dies legt die Vermutung nahe, dass bereits zu diesem Zeitpunkt eine Infiltration von Grundwasser zu beobachten war. Im Rahmen der Inspektion des Schachtes war allerdings wiederum eine leichte Durchfeuchtung in diesem Bereich zu erkennen.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

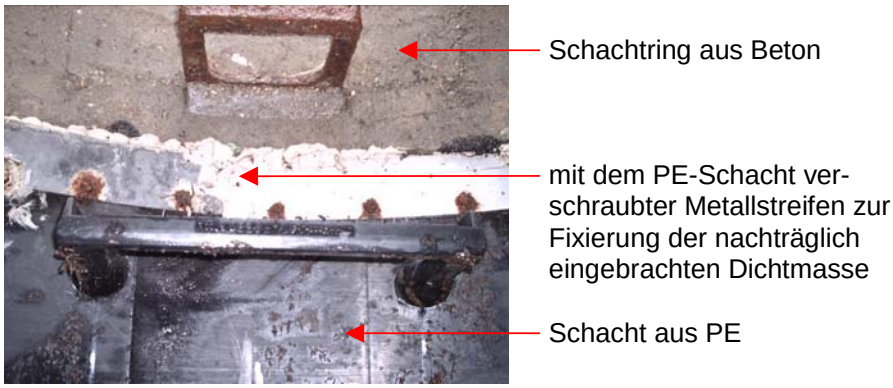


Abb. 71: Materialwechsel mit nachträglich abgedichteter Fuge

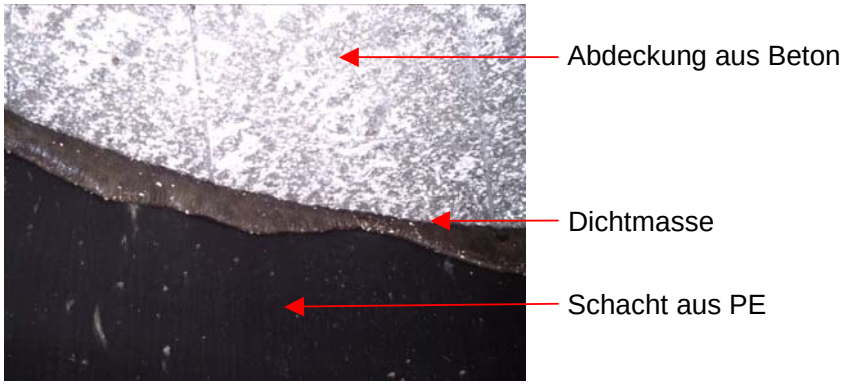


Abb. 72: Materialwechsel mit ungleichmäßig verteilter Dichtmasse

In Abbildung 72 ist eine ungleichmäßig verteilte Dichtmasse zu erkennen. Der Übergang vom PE-Schacht auf die Abdeckung aus Beton wurde vermutlich mit einem nicht geeigneten Dichtungsmaterial hergestellt. Als Folge der ungleichmäßigen Verteilung der Dichtmasse auf dem Rand des PE-Schachtes wurden beim Aufsetzen der Betonplatte unterschiedliche Mengen dieses Materials verdrängt.

Ein Großteil der inspizierten Schächte mit einem Materialwechsel von PE-Schachtbauteilen auf Betonschachtringe wies verdrehte oder unplanmäßig verformte Dichtungen auf. Die in Abbildung 73 erkennbare verdrehte Dichtung ist vermutlich auf einen Versatz in diesem Bereich zurückzuführen. Das Beton-Schachtteil wurde leicht exzentrisch auf das Kunststoff-Schachtunterteil gesetzt. Die in Abbildung 74 dargestellte unplanmäßig gewellte Dichtung ist darauf zurückzuführen, dass die Dichtung falsch herum eingebaut wurde.

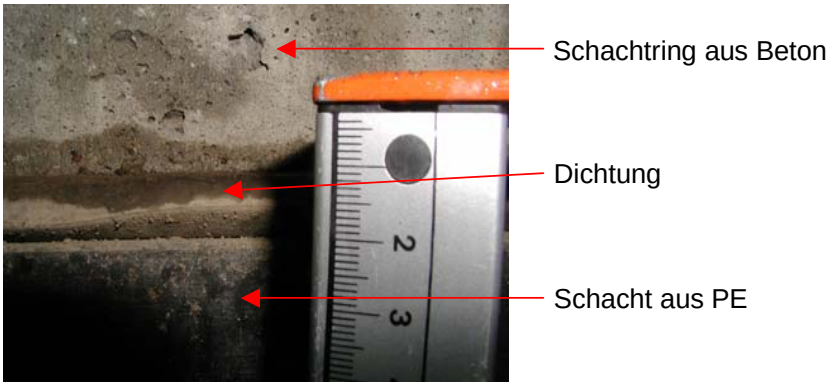


Abb. 73: Verdrehte Dichtung infolge Versatz

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

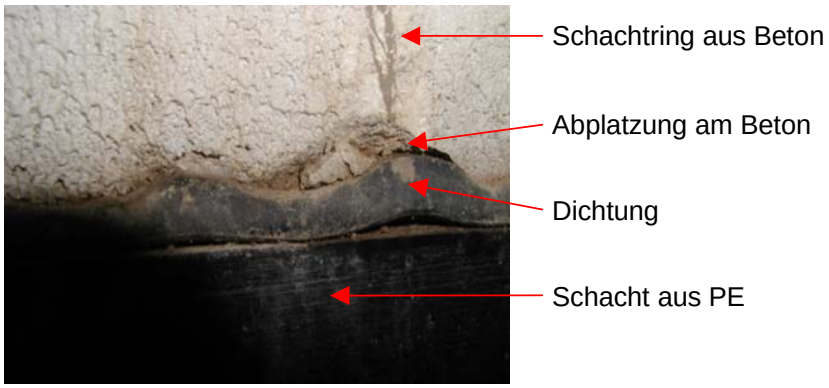


Abb. 74: Unplanmäßig gewellte Dichtung infolge falscher Einbaurichtung

II. Videoanalyse

Bei den Videoanalysen wurden, sofern es das vorliegende Untersuchungsmaterial ermöglichte, auch die Schächte in Augenschein genommen. Dabei wurden in mehreren Fällen Materialwechsel innerhalb des Schachtbauwerkes festgestellt. Im Gegensatz zu den Beobachtungen im Rahmen der Kanalbegehungen zeigten sich hier jedoch Wechsel von PE auf Mauerwerk (vgl. Abb. 75). Diese Lösung wurde vermutlich gewählt, um die Höhe des Schachtbauwerks an die Geländeoberkante anzupassen. Anhand der Videobilder konnte kein eindringendes Wasser beobachtet werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass diese Bereiche aufgrund schlechter Verbundeigenschaften zwischen Mauermörtel und PE undicht sind.



a) Beispiel 1 b) Beispiel 2 c) Beispiel 3

Abb. 75: Materialwechsel von PE auf Mauerwerk in unterschiedlichen Schächten

3.3 Erfahrungen der Netzbetreiber

In Kapitel 3.2 wurden auf der Basis von Begehungen und der Sichtung von Inspektionsvideos zahlreiche Auffälligkeiten an Kanälen aus profilierten Kunststoffrohren beschrieben. Da es sich hierbei lediglich um Momentaufnahmen an ausgewählten Haltungen handelt, ist nicht auszuschließen, dass weitere Auffälligkeiten im Rahmen dieser Erhebung nicht erfasst wurden. Aus diesem Grund wurden zusätzlich Gespräche mit ca. 130 öffentlichen Kanalnetzbetreibern (Kommunen und Wasserverbänden) - davon 80 % aus Nordrhein-Westfalen - geführt. Ziel war es, weitere Erfahrungen der Netzbetreiber aus Planung, Bau und Betrieb in die Betrachtung einzubeziehen. Im Folgenden sind die **Schwerpunkte der** zahlreichen **Hinweise** aus der Praxis aufgeführt.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

3.3.1 Planung

Ca. 30 der befragten Betreiber setzen profilierte Kunststoffrohre in ihren Kanalnetzen nicht oder nur in seltenen Fällen ein. Häufig wurden **Bedenken hinsichtlich** der **Rohrstabilität** sowie in Bezug auf die **Umsetzbarkeit von Verdichtungsvorgaben** der Planung - insbesondere im Bereich zwischen den Rippen - geäußert. Auch wurde ein **höherer Preis** profilierter Kunststoffrohre, z.B. beim Bau von Sammlern, als Ausschlag für die Wahl anderer Produkte angegeben. Als Vorteil profilierter Großrohre wurde durch die übrigen Netzbetreiber insbesondere das geringe Gewicht und die aufgrund der Schweißbarkeit erwartete Dichtheit der Verbindungen angeführt. Vorzugsweise wurden Kunststoffrohre bei beengten Platzverhältnissen oder notwendigem Verzicht auf schweres Baugerät eingesetzt.

Demgegenüber besitzen ca. 100 der befragten Betreiber Erfahrungen hinsichtlich des Einsatzes von profilierten Kunststoffrohren. Die Bandbreite der Berichte umfasste sowohl positive als auch negative Aspekte (vgl. Kapitel 3.3.2). In einigen Fällen führten Unsicherheiten oder negative Erfahrungen zur **Aufstellung** bzw. Ergänzung **von zusätzlichen technischen Vorschriften** für den Bau von Kanälen aus profilierten Kunststoffrohren. Darin werden u.a. besondere Anforderungen an das Bettungsmaterial gestellt. Dazu gehört z.B. ein Verbot scharfkantiger Materialien zur Vermeidung von Rohrbeschädigungen und eine Anweisung zum Einsatz von Materialien mit hoher Schüttdichte (z.B. Kraftwerk-Schlacke) zur Verbesserung der Verdichtung zwischen den Rippen. Die Regelungen beinhalten darüber hinaus Vorgaben zur Ausbildung des Rohrwandaufbaus (z.B. erhöhte Mindestwanddicke) und sie definieren insbesondere für die Phase der Bauausführung Maßnahmen der Baugrunderkundung zum Nachweis einer ausreichenden Verdichtung.

3.3.2 Bau

Hinsichtlich der Bauausführung wurden seitens der befragten Netzbetreiber insbesondere die folgenden Gesichtspunkte als bedeutsam herausgestellt:

- **Firmen-Know-How:** Eine wichtige Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige Verlegung von profilierten Rohren aus Kunststoff ist aus der Sicht der Befragten die Bauausführung durch ein Unternehmen, das mit dem Umgang und den Besonderheiten dieser Produktgruppe vertraut ist. Wiederholt wurde durch die Netzbetreiber auf das Risiko hingewiesen, dass Baufirmen ihre Erfahrungen aus dem Umgang mit biegesteifen Rohrprodukten ohne Weiteres auf den Einbau von Kunststoffrohren übertragen.
- **Vorverformungen:** Nach den Erfahrungen der befragten Kanalnetzbetreiber werden Vorverformungen profilierter Kunststoffrohre u.a. durch **unsachgemäße Lagerung** (z.B. Fehlen von vertikalen Stützen in Großrohren, Lagerung auf unebenen Flächen) auch in Verbindung mit direkter **Sonneneinstrahlung** verursacht. Abweichungen von der Soll-Geometrie können in Abhängigkeit ihrer Ausprägung zu Problemen bei der Herstellung eines geradlinigen Kanalverlaufs führen. So wurde u.a. von einer Baumaßnahme berichtet, bei der nicht-begehbare Rohre aufgrund stark verkrümmter Längsachsen im Rohrgraben aufwendig verkeilt werden mussten, um sie gerade ausrichten zu können.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

- **Lagesicherung:** Profilierte Rohre aus Kunststoff weisen aufgrund der aufgelösten Konstruktion des Wandaufbaus ein im Vergleich zu Rohren mit monolithischer Wandung geringeres Gewicht auf. Aus diesem Grund müssen diese Rohre vor Beginn des Bodeneinbaus in ihrer Lage fixiert werden. Als **Auftriebssicherung** werden Zusatzgewichte oder am Verbau verankerte Gurte und Querjoche eingesetzt. Zur **Vermeidung horizontaler Verschiebungen** infolge der Bodenverdichtung im Zwickel- und Seitenbereich bietet sich entweder eine Verkeilung gegen den Verbau oder eine auf beiden Seiten des Rohres parallel verlaufende Verdichtung an.
- **Verdichtung:** Die Herstellung und der Verdichtungsgrad der Rohrbettung beeinflussen entscheidend die Art und die Ausprägung der auftretenden Querschnittsverformungen. **Hauptursache bedeutender Verformungen** ist nach Ansicht der Befragten in den meisten Fällen eine unzureichende seitliche Verdichtung. Darüber hinaus hat sich insbesondere bei Großrohren die Verdichtung im Zwickel als schwierig erwiesen, da an diese engen Bereiche keine Baugeräte herangeführt werden können. Auch die Einleitung übermäßiger Verdichtungsenergie kann große Verschiebungen verursachen - z.B. in vertikaler Richtung im Zusammenhang mit der Verdichtung der Rohrabdeckung. Zur **Vermeidung bedeutender Rohrverformungen** als Folge unzureichender seitlicher Verdichtung werden von einigen Betreibern Kontrollen des Verdichtungsgrades im Rahmen der Bauausführung gefordert.
- **Schachtbauwerke:** Bei Schachtbauwerken zwischen Haltungen aus profilierten PE-Rohren besteht häufig aus Kostengründen lediglich das Schachtunterteil ebenfalls aus PE. Oberhalb dieses Bauteils schließen sich bis zur Geländeoberkante Betonringe an. Zwei Betreiber berichteten von anfänglichen Problemen hinsichtlich der Dichtheit der Verbindung zwischen dem PE-Schachtunterteil und dem angrenzenden Betonring. Als Ursache wurden Fehler bei der Montage der Dichtung angegeben. Andere Betreiber vermeiden Materialwechsel in Schachtbauwerken, indem sie deren vollständige Ausführung in PE vorschreiben.

3.3.3 Betrieb

Die wesentlichen Erfahrungen der befragten Kanalnetzbetreiber zum Betrieb von profilierten Rohren aus Kunststoff lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Reinigung:** Von nahezu allen befragten Betreibern wurden profilierte Rohre aus Kunststoff hinsichtlich des notwendigen Reinigungsaufwandes positiv bewertet. Demnach zeigen betriebliche Erfahrungen, dass sich im Vergleich zu anderen Rohrwerkstoffen **weniger Ablagerungen** bilden und diese darüber hinaus mit geringem Aufwand entfernt werden können.
- **Verformungen**: Viele Kanalnetzbetreiber berichteten über erkennbare Querschnittsverformungen in profilierten Kunststoffrohren. Demnach liegen die Abweichungen von der Kreis-Geometrie überwiegend innerhalb des zulässigen Bereiches nach [33], zum Teil wird der Grenzwert jedoch auch überschritten. In den meisten Fällen beruhen diese Angaben allerdings auf Schätzungen des Kanalinspekteurs, da nach Angaben der Betreiber Verformungsmessungen im

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Betriebszustand nur selten (z.B. zur Erfassung der zeitlichen Entwicklung von bedeutenden Anfangsverformungen) durchgeführt werden.

- **Dichtheit:** Nach Angaben der befragten Kanalnetzbetreiber treten nur sehr selten Probleme in Bezug auf die Dichtheit von profilierten Rohren und ihrer Verbindungen auf. Hierbei wird insbesondere auf die Vorteile geschweißter Verbindungen hingewiesen. Demgegenüber wurde über mehrere Fälle berichtet, in denen bei Materialwechseln im Bereich von Schachteinbindungen, d.h. bei Übergängen von profilierten Kunststoffrohren in Schächte aus beispielsweise Beton oder Mauerwerk, Undichtigkeiten aufgetreten sind.
- **Sanierung:** Einer der befragten Betreiber berichtete über einen hohen Zeit- und Kostenaufwand bei der Schadensbeseitigung an einem profilierten Kunststoffrohr mit gerippten bzw. gewellten Außenflächen und spiralförmig verlaufenden Kammern (vgl. Tab. 2, Typ B). Bei diesem Wandaufbau ist der Einsatz von Überschiebmuffen zur Einbindung eines kurzen, neuen Rohrteilstückes im Bereich des Rohrschaftes nicht möglich, da auf diese Weise Umläufigkeiten in den Rohrverbindungen auftreten. Aus diesem Grund war im beschriebenen Fall ein vollständiger Austausch des beschädigten Rohres (Länge: 6 m) erforderlich.

3.4 Analyse statischer Berechnungen

Die Wahl des Querschnittes leitet sich bei profilierten Großrohren aus Kunststoff üblicherweise aus den Randbedingungen des Projektes ab, d.h. die Profilierung entspricht den statischen Erfordernissen des jeweiligen Anwendungsfalles. Reserven für unvorhergesehene Ereignisse, wie z.B. nachträglich auf der Baustelle festgestellte Änderungen der Bodengruppe(n), Abweichungen bei der Wahl der Verbauart oder der Geometrie des Grabens usw. sind in der Regel nicht vorhanden. Dies bedeutet, dass der statischen Berechnung der hoch ausgenutzten Konstruktion eine besondere Bedeutung zukommt [54]. In Kapitel 2.4 wurden Nachweise angeführt, die bei der Bemessung von profilierten Rohren ergänzend bzw. zusätzlich zu führen sind.

Durch die Analyse statischer Berechnungen abgeschlossener Baumaßnahmen sollten Hinweise auf die gängige Bemessungspraxis gewonnen werden. Die Untersuchung umfasste die Sichtung und Gegenrechnung der statischen Berechungen von insgesamt sechs Kanalbauprojekten. Da aufgrund unterschiedlicher Eingabeparameter (z.B. Höhe der Verkehrsbelastung, Kurzzeit- bzw. Langzeitnachweis) oder der Verwendung verschiedener Nennweiten in einzelnen Projekten auch mehrere Bemessungsfälle vorlagen, wurden in der Summe 12 statische Berechnungen analysiert. Die in den Jahren zwischen 1996 und 2000 verlegten Rohre wiesen Nennweiten zwischen DN 1000 und DN 2000 auf.

Im Ergebnis zeigten die unabhängigen **Gegenrechnungen** der zur Verfügung stehenden statischen Berechnungen auf der Basis des Arbeitsblattes **ATV-A 127, 2. Auflage 1988** [55], im Wesentlichen gleiche Resultate für die Verformungen und Sicherheiten. Es wurde jedoch deutlich, dass eine Reihe von Annahmen bzw. Eingabeparametern zugunsten einer kostengünstigen, leichten Konstruktion des Profilquerschnittes gewählt wurden [54]:

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

- Die Bodengruppen werden in allen Statiken mit G2 (schwach bindig) für den anstehenden Boden sowie die Überschüttung und mit G1 (nicht bindig) für die Leitungszone angenommen. Die angenommene Proctordichte beträgt stets 97 %. Eine Bezugnahme auf eventuell vorhandene Bodengutachten ist nicht erkennbar.
- Der Einbaufall wird in allen Statiken mit A1/B1 angegeben, in den Berechnungen werden jedoch die Verformungsmoduln E_1 bis E_4 des günstigeren Einbaufalles A4/B4 verwendet.
- Es werden nur Biegezugspannungen nachgewiesen. Die Druckspannungen in der Rohrwand, die bei profilierten Rohren deutlich über den Biegezugspannungen liegen, werden dagegen ignoriert. Zwar liegen inzwischen neuere Erkenntnisse zum Versagen von Kunststoffen unter Druck vor (vgl. [56]) und ein geringerer Sicherheitsbeiwert ist daher möglich (vgl. [57]). Dennoch wird in den untersuchten statischen Berechnungen teilweise auch der Sicherheitsbeiwert $\gamma = 1{,}5$ noch unterschritten.
- Die Verformungsnachweise werden für alle untersuchten Konstruktionen erfüllt, wenn der Wert zul. $\delta_v = 6$ % nach [33] für Langzeitbedingungen zugrunde gelegt wird. In drei Fällen fiel der Nachweis allerdings knapp aus.
- Die Stabilitätsnachweise werden für alle untersuchten Konstruktionen erfüllt. In vier Fällen wurde auch hier der Nachweis nur knapp erfüllt.

Zum Vergleich wurden die zur Verfügung stehenden statischen Berechnungen auch auf der Basis der neuen Fassung des Arbeitsblattes **ATV-A 127, 3. Auflage 2000** [33] gegen gerechnet, da diese aktuelle Version eine größere Anzahl von Änderungen enthält, die insbesondere Kunststoffrohre betreffen. Dabei handelt es sich im Sinne der Rohrhersteller sowohl um Erleichterungen als auch um Verschärfungen der Anforderungen.

- Der Nachweis der Druckspannungen in der Rohrwand, der in den vorliegenden statischen Unterlagen nicht geführt wurde, wird bei Vergleich mit dem erforderlichen Sicherheitsbeiwert $\gamma = 1{,}5$ in allen Beispielen erfüllt.
- Beim Stabilitätsnachweis im Falle von Wasseraußendruck wird die erforderliche Sicherheit von 2,0 in drei Fällen unterschritten. Hier hätte das Profil verstärkt werden müssen.
- Die Verformungsnachweise der gewählten Konstruktionen werden in dieser Gegenrechnung besser erfüllt als bei Anwendung von A 127, 2. Auflage [55].

Insgesamt zeigt die Analyse der statischen Berechnungen von 12 abgeschlossenen Baumaßnahmen, dass die Einbaubedingungen (z.B. Bodengruppen und Verdichtungsgrad) in der Vergangenheit sehr optimistisch angesetzt, die Nachweisgrenzen (insbesondere Verformungs- und Stabilitätsnachweis) in der Regel ausgenutzt und die Möglichkeit eines Profilversagens bisher ausgeblendet wurden (vgl. [33]).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4 Entwicklung von Prüfkonzepten

In Kapitel 3 wird über Beobachtungen und Erfahrungen aus der Praxis hinsichtlich des Einsatzes von profilierten Rohren aus Kunststoff für Abwasserkanäle berichtet. Im Rahmen der durchgeführten Kanalbegehungen wurde erkannt, dass die detaillierte Erfassung des Zustandes mit einem hohen Aufwand verbunden sein kann. Dies betrifft insbesondere die Aufnahme des Verformungszustandes, denn die Vermessung des Innendurchmessers in vertikaler und horizontaler Richtung ist in Abhängigkeit der möglichen Verformungsfiguren nicht immer ausreichend. Darüber hinaus wurden in der Praxis globale und lokale Verformungen, unsachgemäße Anschlüsse sowie Auffälligkeiten an Schachteinbindungen (z.B. Undichtigkeiten und ungeeignete Materialübergänge) beobachtet.
Demgegenüber konnte im Rahmen der Inneninspektion nicht geklärt werden, ob äußere Beanspruchungen und ggf. auch Beeinträchtigungen des Rohrprofils aufgrund von Punkt- bzw. lokalen Außenlasten vorlagen. Es ist nicht auszuschließen, dass auch solche Belastungen die Ursache für eventuell beobachtete Abweichungen vom Soll-Zustand sind.

Bei Werkstoffen mit starker Kriechneigung (z.B. PE-HD) kann, auch bei zunächst geringen Anfangsverformungen, ein späteres Stabilitätsversagen nicht ausgeschlossen werden. So wurden im Rahmen der Kanalbegehung und der Inaugenscheinnahme von Inspektionsvideos vielfältige Querschnittsverformungen festgestellt, deren zeitabhängiges Verformungsverhalten ohne weitere Inspektionen grundsätzlich unsicher ist. Auch die Widerstandsfähigkeit gegenüber Betriebsbelastungen, z.B. aus Kanalreinigung, ist ungewiss, da in situ beobachtete Auffälligkeiten des Rohrzustandes nicht eindeutig derartigen Beanspruchungen zugeordnet werden können.

Die o.a. Fragestellungen werden im Folgenden zu **Hauptthemen** zusammengefasst, für die dann mit Blick auf eine ganzheitliche Lösung entsprechende Prüfkonzepte entwickelt werden:

I. Effiziente Erfassung in situ

Die Zustandserfassung von Großrohren aus Kunststoff beinhaltet die Aufnahme von Auffälligkeiten und Veränderungen des Rohrkörpers, der Rohrwandung sowie der daran angebundenen Seitenanschlüsse und der Verbindungen zu Schachtbauwerken. Die Erfassung des Verformungszustandes des Rohres stellt dabei eine besondere Schwierigkeit dar, da die aufzunehmenden Verformungsfiguren im Vorfeld meist unbekannt sind und der Einsatz der Messtechnik stets mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Dies gilt insbesondere, wenn die zu erfassenden Verformungsbilder von einer elliptischen und zur Vertikalachse symmetrischen Verformungsfigur abweichen.
Vor diesem Hintergrund wird in Kapitel 4.1 eine Vorgehensweise zur Inaugenscheinnahme und Querschnittsvermessung von Großrohren vorgestellt. Ziel ist die Auswahl einer geeigneten Messtechnik während des Inspektionsvorganges, um Rohrverformungen zunächst zu erkennen und anschließend detailliert aufnehmen zu können. Auf Basis der Messergebnisse sind dann kritische Rohrquerschnitte zu identifizieren, die bei künftigen Inspektionsplanungen besonders berücksichtigt werden.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

II. Globale Verformungen

Rohrverformungen, die den gesamten Querschnitt betreffen, werden als globale Verformungen bezeichnet. Hier ist es nicht auszuschließen, dass sich diese Verformungen sowohl auf konstruktions- bzw. fertigungsbedingte Besonderheiten des Rohres (z.B. Übergänge zwischen Profilbereichen und Schweißnähte) als auch auf die Rohrverbindungen und Anschlüsse negativ auswirken. Grundsätzlich lassen sich diese Einflüsse durch Berechnungsmodelle kaum beschreiben, insbesondere mit Blick auf die Dichtfunktion von Anschlüssen und Verbindungen. Daher werden im Rahmen von Laborversuchen Prüfrohre und -anschlüsse definierten äußeren Verformungszuständen ausgesetzt und ihre Dichtheit optisch bzw. mit Wasser überprüft. Die entsprechenden Prüfkonzepte sind in den Kapiteln 4.2 bis 4.5 dargestellt. Die einzelnen Prüfungen berücksichtigen unterschiedliche Rohrnennweiten sowie Kurz- bzw. Langzeitbeanspruchungen.

III. Betriebsbelastung, insbesondere Kanalreinigung

Die Betriebsbelastungen infolge Hochdruckreinigung werden in Anlehnung an den in [58] beschriebenen HD-Systemversuch simuliert (vgl. Kapitel 4.6). Im Rahmen der Versuche werden Sohlenreiniger in einer festgelegten Anzahl von Zyklen entlang einer aus profilierten Kunststoffrohren aufgebauten Prüfstrecke geführt. Dabei werden das Rohr und die Verbindungen durch das Schleifen der Düse und des Schlauches, durch die HD-Strahlen und durch beschleunigte Feststoffpartikel beansprucht.
Aufgrund der Schwierigkeit, diese komplexen Beanspruchungen realitätsnah in einem Berechnungsmodell zu berücksichtigen, und aufgrund des Einflusses aus der Fertigungstechnik (Herstellen der Rohrverbindung) wird die experimentelle Prüfung einem rechnerischen Nachweis der Widerstandsfähigkeit gegenüber Betriebsbelastungen aus Hochdruckreinigung vorgezogen.

IV. Zeitabhängiges Stabilitätsversagen

Grundsätzlich lässt sich das Tragverhalten von Großrohren auch durch großtechnische Versuche im Maßstab 1:1 erfassen (vgl. [59]). Allerdings ist dies mit besonderem Aufwand verbunden, der mit Blick auf die Vielfalt der in der Praxis eingesetzten Rohrgeometrien, Werkstoffvarianten und Bettungseigenschaften im vorliegenden Fall kaum gerechtfertigt erscheint. Auf entsprechende Versuche an profilierten Großrohren aus Kunststoff, z.B. unter hydrostatischem Außendruck im Großversuchsstand des IKT, wird daher verzichtet. Stattdessen wird in Kapitel 4.7 vorgeschlagen, den Stabilitätsnachweis für Großrohre grundsätzlich rechnerisch zu erbringen. Zur Verifizierung des Berechnungsmodells werden kleinmaßstäbliche Prüfkonzepte entwickelt, mit deren Hilfe die Einflüsse aus dem Werkstoffverhalten, der besonderen Rohrgeometrie und dem Beanspruchungsbild berücksichtigt werden können.
Das globale Stabilitätsversagen wird unter Berücksichtigung des speziellen Werkstoffverhaltens durch Scheiteldruckversuche und Beulversuche an **ungebetteten**, profilierten Kunststoffrohren der Nennweite DN 300 im Maßstab 1:1 untersucht. Auf dieser Basis können die Berechnungsgrundlagen eines für den rechnerischen Stabilitätsnachweis entwickelten FEM-Modells kalibriert sowie die Anwendbarkeit bestehender Berechnungskonzepte (vgl. [33]) untersucht werden. Offen bleibt jedoch der Einfluss bei

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

komplexen Profilgeometrien und hohen Normalkraftbeanspruchungen, die bei **gebetteten** Rohren entstehen können. So ist nicht auszuschließen, dass vor oder mit dem globalen Versagen auch ein Profilversagen eintritt, oder das Werkstoffverhalten nur unzureichend erfasst wird. Aus diesem Grund wird in Kapitel 4.8 ein Prüfkonzept entwickelt, mit dem eine ausgeprägte Verformung von Profilproben unter hoher Normalkraftbeanspruchung provoziert und auf dieser Basis die Aussagekraft des FEM-Modells überprüft werden kann. Zur Minimierung der Biegemomentenbelastung infolge der Prüfkörperkrümmung werden die Versuche an kleinformatigen Wandausschnitten durchgeführt. Durch lokale Lasteinleitung erzeugte Imperfektionen der Profilgeometrie werden in Kapitel 4.9 durch Querdruckversuche an ähnlichen Prüfkörpern erzeugt und mit dem FEM-Modell abgeglichen (vgl. Hauptthema V).

V. Lokale Belastungen von außen

Durch Störkörper in der Bettung können im Betriebszustand des Rohres lokale Belastungen verursacht werden. Die Auswirkungen auf ein profiliertes Kunststoffrohr hängen dabei u.a. von der Größe der Lasteinleitungsfläche ab. Während punktförmige Lasten (z.B. durch spitze Steine) zu einem Eindringen des Störkörpers in das Rohrmaterial führen können, lassen flächigere Lasten (z.B. durch Kanthölzer) eine Verformung des Profils erwarten.

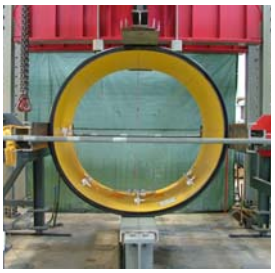
In Kapitel 4.9 wird das zeitabhängige Verformungsverhalten von Profilen unter Querdruck an Prüfkörpern aus Rohrsegmenten untersucht. Ziel des Versuchskonzeptes ist die Simulation typischer lokaler Lasten, um anhand der Versuchsergebnisse das Berechnungsmodell (vgl. Stabilitätsversagen, Hauptthema IV) hinsichtlich des Werkstoffverhaltens und der Geometriebeschreibung zu kalibrieren bzw. zu bestätigen.

Das zeitabhängige Eindringverhalten von Punktlasten in die Grundwand bzw. die Profile wird in Kapitel 4.10 im Rahmen von Kriechversuchen an Prüfkörpern aus Rohrsegmenten untersucht. Die Punktlasten beanspruchen dabei nur sehr kleine Bereiche des Prüfkörpers. Sowohl die Höhe der Prüflast als auch die Geometrie des Prüfstempels kann dem jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden. Aufgrund der einfachen Umsetzbarkeit des Versuches wird auf einen rechnerischen Nachweis der Widerstandsfähigkeit gegenüber Punktlasten verzichtet.

Sämtliche Prüfkonzepte zu den Hauptthemen I bis V sind in der Tabelle 11 zusammengefasst.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Tab. 11: Übersicht zu den Prüfkonzepten

Prüfkonzept Nr. 1: „In-situ-Inspektion“		**s. Kapitel 4.1**
Abbildung	*Beschreibung*	*Zweck*
	- Prüfkörper: Großrohre inklusive Verbindungen, Anschlüsse, Einbindungen, Schächte - Kanalbegehung zur Inspektion und Querschnittsvermessung	- Erfassung und Bewertung des Ist-Zustandes - Auswertung von Vermessungsdaten zur Identifikation kritischer Rohrquerschnitte
Prüfkonzept Nr. 2: „Querschnittsverformungen an Großrohren (Kurzzeitversuch)“		**s. Kapitel 4.2**
Abbildung	*Beschreibung*	*Zweck*
	- Prüfkörper: Großrohre - Einstellen von variablen, globalen Verformungszuständen durch Scheiteldruckversuch mit seitlicher Stützung - Dauer: Kurzzeitversuch	- Prüfung der Widerstandsfähigkeit des Gesamtquerschnittes, der Profile und der Schweißnähte gegenüber globalen Verformungen - Nachweis: optisch
Prüfkonzept Nr. 3: „Dichtheit der Verbindung Rohr - Stutzen“		**s. Kapitel 4.3**
Abbildung	*Beschreibung*	*Zweck*
	- Prüfkörper: Großrohre mit Stutzen - Einstellen von variablen, globalen Verformungszuständen durch Scheiteldruckversuch - Stutzen freibeweglich / verspannt - Dauer: Kurzzeitversuch	- Prüfung der Widerstandsfähigkeit der Verbindung Rohr - Stutzen gegenüber globalen Verformungen - Nachweis: Dichtheitsprüfung mit Wasser
Prüfkonzept Nr. 4: „Querschnittsverformungen an Großrohren (Langzeitversuch)“		**s. Kapitel 4.4**
Abbildung	*Beschreibung*	*Zweck*
	- Prüfkörper: Großrohre - Einstellen eines starren, globalen Verformungszustandes durch Scheiteldruckversuch mit seitlicher Stützung - Dauer: Langzeitversuch	- Prüfung der Widerstandsfähigkeit des Gesamtquerschnittes, der Profile, der Schweißnähte und Anschlüsse gegenüber globalen Verformungen - Nachweis: optisch / Dichtheitsprüfung mit Wasser

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Prüfkonzept Nr. 5: „Querschnittsverformungen an nicht-begehbaren Rohren“		**s. Kapitel 4.5**
Abbildung	*Beschreibung*	*Zweck*
	- Prüfkörper: nicht-begehbare Rohre - Einstellen von variablen, globalen Verformungszuständen durch Scheiteldruckversuch mit seitlicher Stützung - Dauer: Kurzzeitversuch / Langzeitversuch	- Prüfung der Widerstandsfähigkeit des Gesamtquerschnittes, der Profile und der Verbindungen gegenüber globalen Verformungen - Nachweis: optisch / Dichtheitsprüfung mit Wasser
Prüfkonzept Nr. 6: „Kanalreinigung“		**s. Kapitel 4.6**
Abbildung	*Beschreibung*	*Zweck*
	- Prüfkörper: Prüfstrecke aus verschweißten Großrohr-Segmenten - Hochdruckspülversuch mit Sohlenreiniger - Dauer: Kurzzeitversuche mit lebensdauer-orientierten Lastzyklen	- Prüfung der Widerstandsfähigkeit der Rohrinnenwand und der Verbindungsbereiche gegen Beanspruchungen infolge Hochdruckreinigung - Nachweis: optisch / Dichtheitsprüfung an Ausschnitten
Prüfkonzept Nr. 7: „Wasseraußendruckprüfung“		**s. Kapitel 4.7**
Abbildung	*Beschreibung*	*Zweck*
	- Prüfkörper: Rohre der Nennweite DN 300 - Beanspruchung durch hydrostatischen Außendruck - Dauer: Zeitstandversuch	- Herstellen des Zusammenhanges zwischen hydrostatischem Außendruck und Beulverhalten im Versuch - Kalibrierung / Bestätigung des FEM-Modells für den rechnerischen Stabilitätsnachweis für Großrohre
Prüfkonzept Nr. 8: „Profilbelastung durch Normalkraft“		**s. Kapitel 4.8**
Abbildung	*Beschreibung*	*Zweck*
	- Prüfkörper: kleinformatige Wandungsausschnitte von Großrohren - Beanspruchung durch Normalkraft - Dauer: Zeitstandversuch	- Experimentelle Untersuchung des Verformungsverhaltens - Kalibrierung / Bestätigung des FEM-Modells für den rechnerischen Nachweis der Profilstabilität bei Großrohren

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Prüfkonzept Nr. 9: „Profilbelastung durch lokalen Außendruck“		**s. Kapitel 4.9**
Abbildung	*Beschreibung*	*Zweck*
	- Prüfkörper: kleinformatige Wandungs-ausschnitte von Großrohren - Beanspruchung durch abschnittsweise Linienlast - Dauer: Zeitstandversuch	- Experimentelle Untersuchung des Verformungsverhaltens - Kalibrierung / Bestätigung des FEM-Modells für den rechnerischen Nachweis der Profilsteifigkeit und des Profilversagens bei Großrohren
Prüfkonzept Nr. 10: „Punktbelastung“		**s. Kapitel 4.10**
Abbildung	*Beschreibung*	*Zweck*
	- Prüfkörper: kleinformatige Wandungs-ausschnitte von Großrohren - Beanspruchung durch Punktlasten - Dauer: Zeitstandversuch	- Prüfung des zeitabhängigen Eindringverhaltens von Punktlasten in die Grundwand bzw. die Profile

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4.1 In-situ-Inspektion

4.1.1 Hintergrund

Nach dem Arbeitsblatt ATV-A 127 [33] werden Rohre als biegeweich eingestuft, wenn aufgrund ihrer Verformung der umgebende Boden Bestandteil des Tragsystems ist. Beim Nachweis der Langzeitverformungen ist eine vertikale Durchmesseränderung von 6 % (bzw. 9 % bei Beachtung zusätzlicher Nachweise) zulässig [33]. Aus der Praxis sind jedoch Überschreitungen dieses Grenzwerts bei erdverlegten Kunststoffrohren bekannt. Während im Rahmen der Begehung und Vermessung des Innendurchmessers profilierter Großrohre aus Kunststoff lediglich Verformungen von bis zu 7 % erkannt wurden, ergab die Inaugenscheinnahme von Inspektionsvideos nicht-begehbarer Kanäle aus profilierten Kunststoffrohren erheblich größere Verformungen von bis zu 30 % (vgl. Kapitel 3.2).

Vor dem Hintergrund möglicher negativer Auswirkungen extremer Verformungen auf die Standsicherheit, Funktionssicherheit und Dichtheit von profilierten Kunststoffrohren bestehen Unsicherheiten hinsichtlich der zeitabhängigen Entwicklung von Verformungen. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass die Vermessung des vertikalen Innendurchmessers profilierter Großrohre aus Kunststoff nur selten Bestandteil der Abnahme oder regelmäßiger Inspektionen ist (vgl. Kapitel 3.3). Bei nicht-begehbaren Rohren wird die Verformung bzw. Querschnittsreduktion auf der Basis von Bildern aus TV-Inspektionen geschätzt. Dieses Vorgehen ist nach ATV-Merkblatt M 149 [60] zulässig. Auf diese Weise sind jedoch keine zuverlässigen Angaben möglich. Darüber hinaus werden Verformungen aufgrund der ungünstigen optischen Eigenschaften der gängigen Polymerwerkstoffe (PVC, PE-HD) häufig nur im Bereich der Rohrverbindung erkannt [53].

Die quantitative Erfassung von Querschnittsverformungen kann unter der Annahme einer elliptischen Verformungsfigur, die zur Vertikalachse symmetrisch ist, durch Messung des vertikalen und horizontalen Rohrdurchmessers erfolgen. Von diesem Ansatz geht auch das Berechnungsverfahren nach ATV-Arbeitsblatt A 127 aus [33] (vgl. Abb. 76).

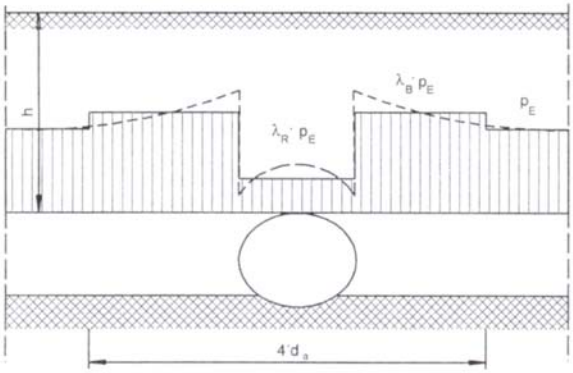
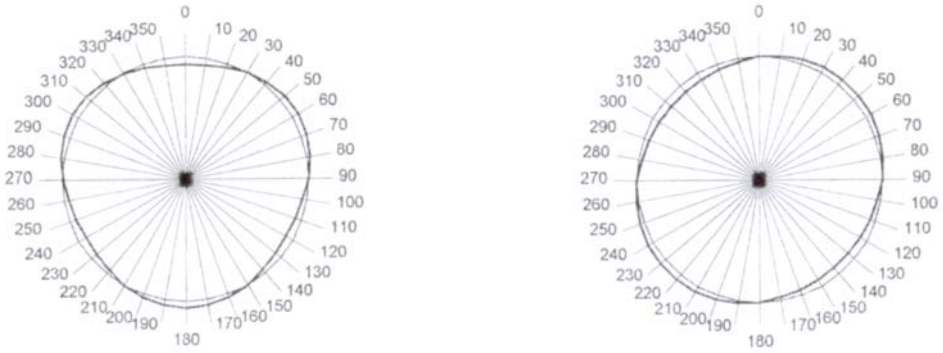


Abb. 76: Verformung biegeweicher Rohre nach ATV-Arbeitsblatt A 127 [33]

Von dieser Annahme können jedoch in der Praxis Abweichungen in Abhängigkeit der Einbaubedingungen auftreten (vgl. [61]). Beobachtungen im Rahmen der Kanalbegehung von profilierten Großrohren aus Kunststoff sowie der Inaugenscheinnahme von Inspektionsvideos nicht-begehbarer Rohre dieses Typs bestätigen das Auftreten

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

abweichender Verformungsfiguren in der Praxis (vgl. Kapitel 3). In [53] wird darüber hinaus gezeigt, dass die vertikale und horizontale Durchmesseränderung (δ_v bzw. δ_h) ungeradwellige Verformungsanteile nicht, und geradwellige „schiefe“ Verformungsanteile nicht ausreichend erfasst (vgl. Abb. 77).



a) dreiwellig und vertikalsymmetrisch b) zweiwellig, elliptisch, nicht-vertikalsymmetrisch

Abb. 77: Verformungsfiguren mit $\delta_v=\delta_h=0$, Beispiele aus [53]

4.1.2 Prüfkonzept

Ziel des vorgestellten Prüfkonzeptes ist die Erfassung und Bewertung des Ist-Zustandes von verlegten profilierten Großrohren aus Kunststoff auf der Grundlage einer Kanalbegehung unter besonderer Berücksichtigung von Querschnittsverformungen. In Abhängigkeit der festgestellten Verformungen und der tatsächlichen Randbedingungen (z.B. Verkehrslasten, Bettungsmaterial, Überbauung) können weiterführende Untersuchungen (z.B. zeitabhängige Verformungskontrollen) notwendig sein.

Der **Prüfablauf** umfasst grundsätzlich die folgenden Schritte:

- **Reinigung des Kanals:** Voraussetzung für eine aussagekräftige Aufnahme des Ist-Zustandes und die Durchführung von Querschnittsvermessungen im Rahmen der Kanalbegehung sind saubere Bauteiloberflächen. Aus diesem Grund ist der Kanal zunächst unter Einsatz eines geeigneten Verfahrens zu reinigen.
- **Erst-Begehung ohne Messtechnik:** Bei der ersten Begehung des Kanals werden im Hinblick auf lokale und globale Verformungen sowie Riefen, Risse und Versätze insbesondere die Rohrwand, der Rohrquerschnitt und die Verbindungen in Augenschein genommen. Mit Blick auf die späteren Querschnittsvermessungen sollen in diesem Schritt vorab Bereiche identifiziert werden, die z.B. durch ausgeprägte Verformungen oder besondere Verformungsfiguren (vgl. Abb. 77) gekennzeichnet sind. Auf dieser Basis kann eine geeignete Messtechnik ausgewählt und bedarfsgerecht eingesetzt werden.
- **Zweit-Begehung mit Messtechnik:** Die zweite Begehung dient neben der Vermessung von Besonderheiten, wie z.B. Rissen, Riefen und Versatzhöhen, vor allem der fortlaufenden Vermessung des Rohrquerschnittes. Für die Einhaltung eines angemessenen Zeitrahmens bei der Messwertaufnahme ist die Wahl des Messmittels, der Anzahl der zu vermessenden Rohrquerschnitte und der Anzahl der Messpunkte pro

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Rohrquerschnitt von entscheidender Bedeutung. Hinweise dazu werden im Rahmen der Erst-Begehung gesammelt.

Das **Standard-Messverfahren für den Rohrinnendurchmesser** umfasst z.B. den Einsatz eines Teleskopmessstabes (vgl. Abb. 78). Der Vorteil dieses Messmittels liegt in seiner einfachen Handhabung. Um einen zügigen Fortschritt der Begehung zu gewährleisten, wird der Rohrinnendurchmesser - sofern optisch keine außergewöhnlichen Verformungsfiguren erkennbar sind - in horizontaler und vertikaler Richtung an zuvor definierten, regelmäßigen Stationen (Rohranfang, -mitte und -ende) vermessen. Die Ausrichtung des Teleskopmessstabes erfolgt mit Hilfe von Libellen. Bei optischen Auffälligkeiten (mehrwellige Figuren) oder auffälligen Messwerten (z.B. Vertikalverformungen ohne Horizontalverformungen), werden zusätzlich Diagonalmessungen durchgeführt.



a) Teleskopmessstab



b) Messskala



c) Messung des horizontalen Durchmessers



d) Messung des vertikalen Durchmessers

Abb. 78: Teleskopmessstab zur Durchmesserbestimmung

In Einzelfällen (z.B. bei besonders ausgeprägten lokalen Verformungen oder auffälligen Verformungsfiguren) wird der Einzelquerschnitt detailliert vermessen. So kann ein **Laser-Messverfahren** zur Erfassung des Verformungsbildes eingesetzt werden. Dabei wird z.B. ein Laserdistanzmesser eingesetzt, der drehbar gelagert ist und mit Hilfe einer zwischen Scheitel und Sohle senkrecht zur Rohrlängsachse ausgerichteten Teleskopstange im Kanal verspannt wird (vgl. Abb. 79). Auf diese Weise wird der Rohrquerschnitt in Polarkoordinaten aufgenommen.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



Abb. 79: Messvorrichtung zur Erfassung der Querschnittsverformung durch Laserdistanzmessung (Beispiel)

Für die **Vermessung von Riefen** und **Rissen** kann ebenfalls der in Abbildung 78 dargestellte Teleskopmessstab eingesetzt werden (vgl. Abb. 80). Bei der Vermessung von **Versatzhöhen** ist zusätzlich ein Gliedermaßstab notwendig (vgl. Abb. 81).



Abb. 80:
Vermessung einer Riefe

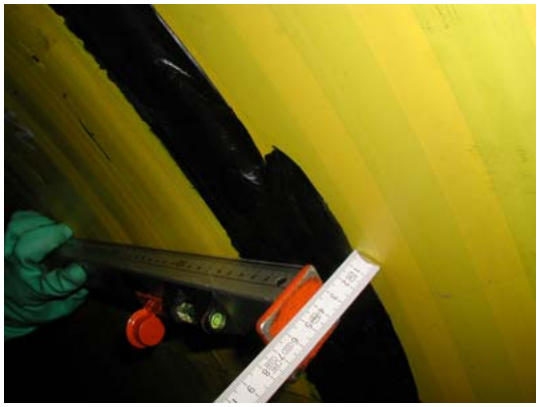


Abb. 81:
Vermessung einer Versatzhöhe

Für die **Lagebestimmung von Auffälligkeiten** im Rohrstrang empfiehlt es sich, jedem Rohr eine Nummer und seine Länge zuzuordnen. Beginnend beim Einstiegsschacht werden die inspizierten Rohre in Begehungsrichtung aufsteigend nummeriert (Einstiegsschacht, Rohr 1, Rohr 2, Rohr 3 ...) und dies entsprechend mit einem Diktiergerät festgehalten. Das Mitführen eines im Startschacht fixierten Maßbandes erwies sich demgegenüber als wenig praktikabel.

Auch zur **Dokumentation** der Messdaten und weiteren Beobachtungen wird ein **Diktiergerät** verwendet.

- **Auswertung der Messdaten:** Nach der Erfassung des Ist-Zustandes werden die dokumentierten Informationen ausgewertet. Die Beobachtungen des Ist-Zustandes werden mit den Angaben des Soll-Zustandes verglichen, um Abweichungen zu erkennen und zu klassifizieren. Die abschließende Bewertung erfolgt z.B. auf der Grundlage technischer Regelwerke (z.B. DWA). Dabei sind auch künftige Belastungssteigerungen (Überschüttung) bzw. zyklische Lasten (Verkehr) zu berücksichtigen, wenn hieraus weitere Verformungssteigerungen zu erwarten sind.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Die Auswertung beginnt mit der **grafischen Darstellung der Messwerte** (vgl. Beispiel, Abb. 82). Die horizontal und vertikal gemessenen Durchmesserwerte werden in einem Diagramm in Abhängigkeit der Stationierung aufgetragen.

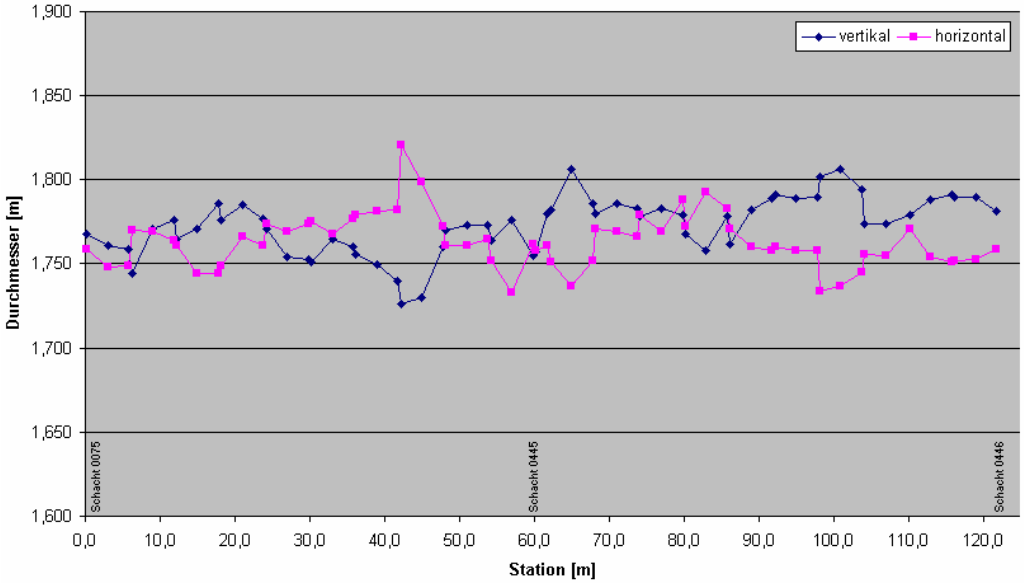


Abb. 82: Grafische Darstellung der gemessenen Durchmesserwerte

Anschließend erfolgt die **Festlegung der** zulässigen **Verformungsbandbreite** (VBB). Die zulässige Verformung (zul. δ_V) nach ATV-A 127 [33] bzw. aus der statischen Berechnung wird für die Ermittlung der VBB zu Grunde gelegt: VBB = 2 * zul. δ_V.
Um den Ist-Zustand der Rohre mit dem Soll-Zustand vergleichen zu können, wird die Verformungsbandbreite mittels zweier horizontaler Linien im Diagramm positioniert (vgl. Abb. 83). Die Mittellage orientiert sich dabei am Mittelwert aller Messwerte unter besonderer Berücksichtigung extremer Verformungen, nicht aber am Soll-Durchmesser laut Hersteller-Angabe (vgl. [53]).

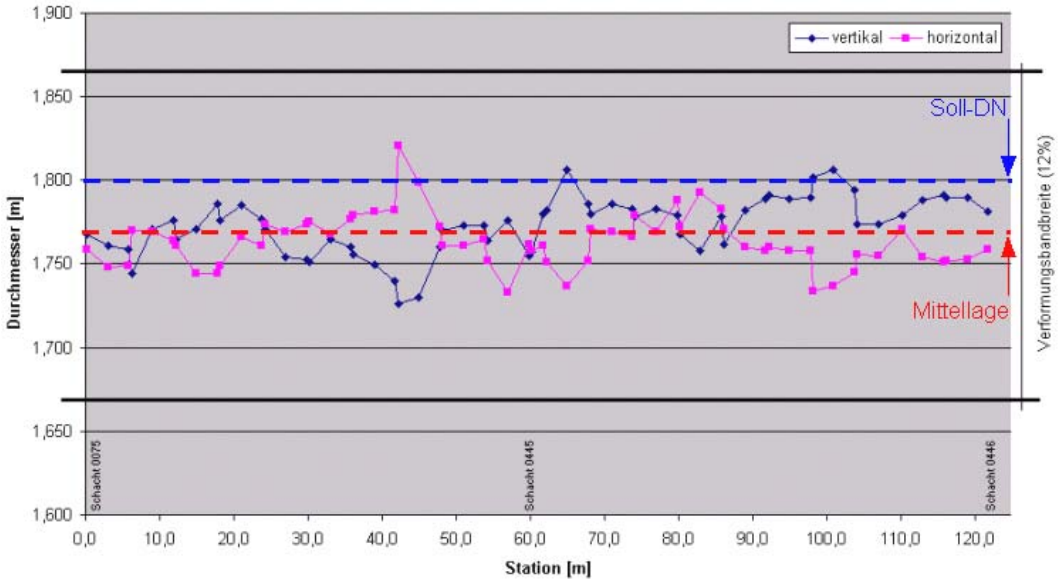


Abb. 83: Positionierung der Verformungsbandbreite

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Schließlich folgt die **Identifikation kritischer Rohrquerschnitte**. Dabei handelt es sich um Stationen, die außergewöhnliche Verformungsgrößen oder -bilder bzw. andere Auffälligkeiten, z.B. mangelhafte Anschlüsse oder Undichtigkeiten, aufweisen. Diese Stationen werden durch eine vertikale Linie im Diagramm markiert (vgl. Abb. 84). Insbesondere Abweichungen vom spiegelbildlichen Verlauf der Vertikal- und Horizontalverformungen können ein Indiz für Messfehler oder besondere Verformungsbilder sein. An den so identifizierten Stationen kann eine regelmäßige Detailinspektion und Messung auch Informationen zur Zustandsentwicklung des Rohrquerschnittes liefern.

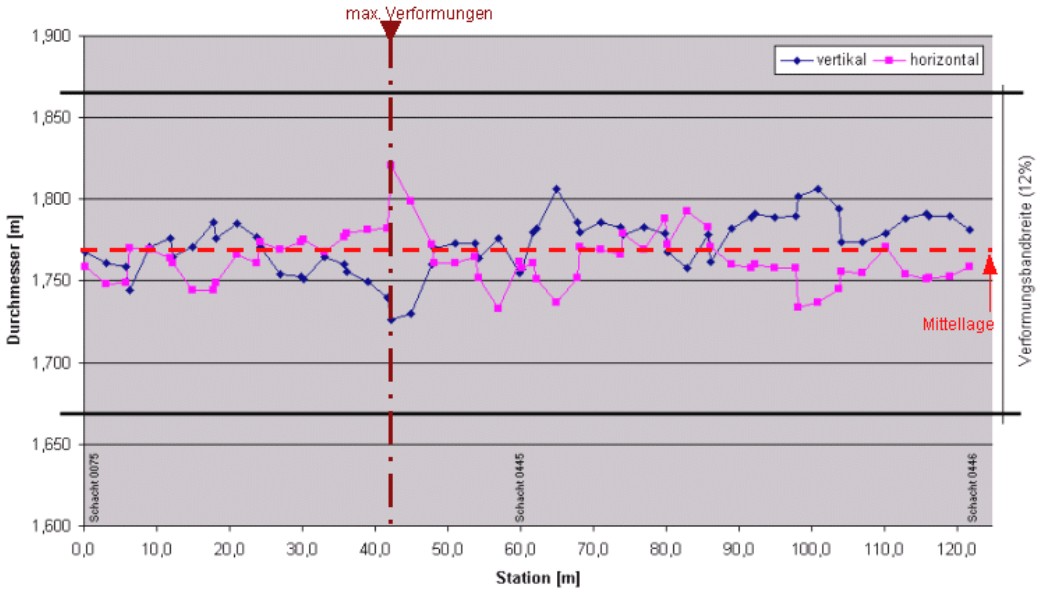


Abb. 84: Identifizierung von kritischen Rohrquerschnitten

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4.2 Querschnittsverformungen an Großrohren (Kurzzeitversuch)

4.2.1 Hintergrund

Biegeweiche Rohre verformen sich unter Belastung, da die Bettung des Rohres zur Standsicherheit des Gesamtsystems beiträgt und die entsprechende Systemsteifigkeit erst durch Verformung des Rohres aktiviert wird. Die Rohrverformungen sind jedoch aus statischen Gründen und aus Gründen der Funktionsfähigkeit (Rohrquerschnitt) auf ein zulässiges Maß zu beschränken. Das Arbeitsblatt A 127 [33] des DWA-Regelwerkes legt dazu für den Langzeitnachweis eine zulässige Änderung des vertikalen Durchmessers von 6 % (bzw. 9 % bei Beachtung zusätzlicher Nachweise) fest.

Die Steifigkeit profilierter Kunststoffrohre resultiert aus dem jeweiligen produktbezogenen Wandaufbau, der sich aus einzelnen, verhältnismäßig dünnwandigen Vollwandwandquerschnitten zusammensetzt. Aus der Sicht der Kanalnetzbetreiber stellt sich die Frage, welche Auswirkungen mögliche Abweichungen von der Soll-Geometrie auf das Verformungsverhalten und die Tragfähigkeit des Gesamtquerschnittes haben. Infolge von Rohrverformungen können u.a. Ablösungen (Delamination) zwischen Einzelteilen des Profils, - d.h. Verbundverlust -, lokale Verformungen und Profilversagen auftreten. Darüber hinaus ist zu hinterfragen, inwieweit die Schweißnähte zwischen den spiralförmigen Wicklungen der Grundwand (vgl. Kapitel 2.2.2) und die Rohrverbindungen bei größeren Verformungen Schwachstellen darstellen können.

Das Arbeitsblatt A 127 [33] des DWA-Regelwerkes enthält für profilierte Rohre ergänzende Hinweise, die Grundzüge des Eignungsnachweises der jeweiligen Profilabmessungen im Rahmen von Einzelgutachten beschreiben. Danach sind bei profilierten Rohren zum einen Ergänzungen zum Spannungs-/Dehnungsnachweis, Verformungsnachweis und Stabilitätsnachweis des Gesamtquerschnittes und zum anderen zusätzliche Nachweise zur Profilsteifigkeit und gegebenenfalls mehraxialer Spannungszustände zu führen. Dabei ist im Gegensatz zur Berechnung der Rohrsteifigkeit und der Biegeverformung die Verwendung der äquivalenten Wanddicke für den Nachweis der Spannungen und der Stabilität nicht zulässig. Allerdings werden Auswirkungen auf den Verbund zwischen Profil und Grundwand sowie die Dichtheit der Rohrverbindungen, z.B. aufgrund großer Rohrverformungen und Abweichungen von der elliptischen, zur Vertikalachse symmetrischen Verformungsfigur, im ATV-Arbeitsblatt A 127 [33] nicht betrachtet.

In der Praxis treten neben zulässigen Rohrverformungen auch solche auf, die oberhalb der in der statischen Bemessung festgelegten Grenze liegen. Entsprechende Verformungsbilder wurden sowohl bei Kanalbegehungen als auch bei der Inaugenscheinnahme von Inspektionsvideos beobachtet (vgl. Kapitel 3). Darüber hinaus wurden im Rahmen dieser Untersuchungen auch Verformungsfiguren erkannt, die vom Ansatz des ATV-Arbeitsblattes A 127 [33] abweichen. Ähnliche Verformungsbilder wurden auch in [62], [63], [64], [65], [66], [67], [68] festgestellt. Einen Überblick gibt [53].

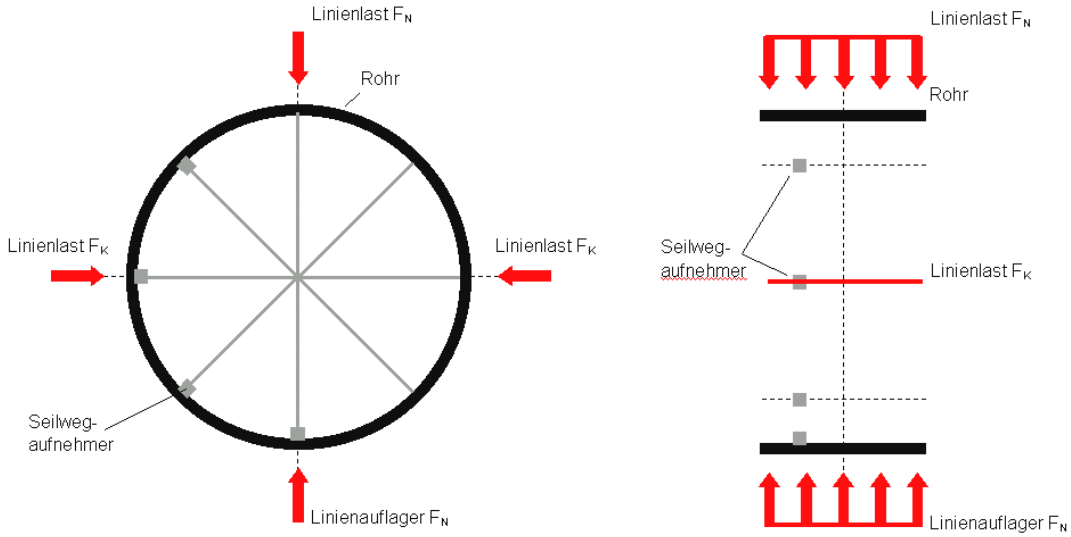
Aktuelle Prüfkonzepte zur Bestimmung der Ringsteifigkeit von thermoplastischen Rohren [69] bzw. von profilierten Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen [5] sowie zur Bestimmung des Kriechmoduls von Rohren aus PE-HD [32] sehen eine vertikale Belastung

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

der Prüfrohre über parallele Lastplatten vor. Die Lasteinleitung erfolgt dabei linienförmig im Rohrscheitel über die gesamte Rohrlänge. Das Rohrauflager ist ebenfalls linienförmig über die gesamte Länge des Probekörpers ausgebildet. Keines dieser standardisierten Prüfkonzepte berücksichtigt bisher die besondere Rohrbeanspruchung aus seitlicher Stützung des Rohres im eingebauten Zustand, d.h. insbesondere die bei einem ausreichend gebetteten Rohr auftretende höhere und über den Rohrumfang nahezu konstant verteilte Normalkraftbeanspruchung sowie mögliche Abweichungen von der rein elliptischen Verformungsfigur.

4.2.2 Prüfkonzept

Ziel des vorgestellten Konzeptes ist die Prüfung der Widerstandsfähigkeit der Profile und des Gesamtquerschnittes gegenüber äußeren Verformungszuständen in Kurzzeitversuchen. Dazu wurde ein Versuchsaufbau (vgl. Abb. 85) entwickelt, der auf den in [69], [5] und [32] beschriebenen Lastfällen basiert, jedoch zusätzlich zur Scheiteldrucklast F_N die Einleitung horizontaler Lasten F_K in die Kämpfer des Prüfrohres ermöglicht. Die gesamte Prüfung wird aus versuchstechnischen Überlegungen weggeregelt gefahren.



a) Querschnittsansicht b) Seitenansicht

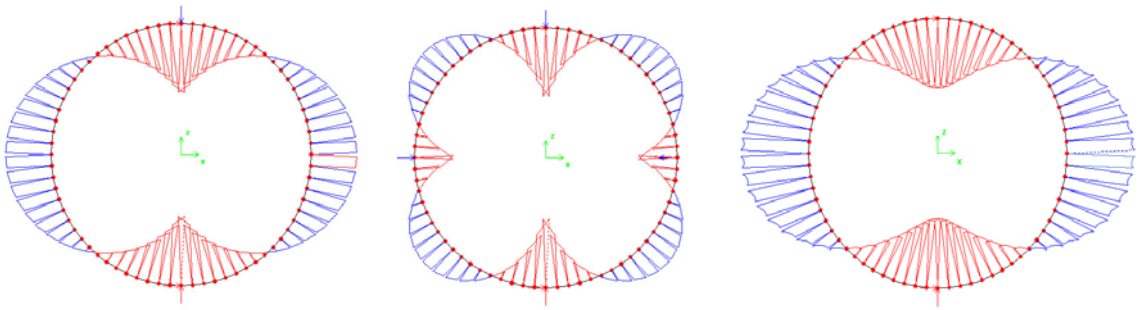
Abb. 85: Querschnittsverformung von Großrohren im modifizierten Scheiteldruckversuch, Skizze des Versuchsaufbaus

Ergebnisse begleitender **FEM-Berechnungen** [70] **bestätigen** den gewählten **Ansatz einer weggeregelten Versuchsdurchführung**. Danach ergeben sich für biegeweiche Rohre unter Variation des Verhältnisses von Kämpfer- und Scheitellinienlast F_K/F_N zwischen 0 und 1 im Vergleich zum Modell der Druckverteilung am Rohrumfang nach [33], in dem die Bodenspannungen korrekt berücksichtigt werden, die nachfolgenden Erkenntnisse:

- Es ist nicht möglich, durch Kombinationen aus Linienlasten F_N und F_K Spannungsverläufe zu erzeugen, die der Beanspruchung des im Boden gebetteten Rohres entsprechen. Insbesondere die Biegemomente liegen bei der Versuchsdurchführung in Abhängigkeit des Verhältnisses F_K/F_N um den Faktor 5 bis 10 höher als im gebetteten Zustand. Auch der Verlauf der Biegemomente unterscheidet

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

sich stark von der im Boden zu erwartenden Belastung (vgl. Abb. 86). Eine Übereinstimmung der Spannungsverläufe wäre jedoch Voraussetzung, um den Nachweis einer ausreichenden Profilsteifigkeit mit Hilfe des modifizierten Scheiteldruckversuches erbringen zu können, da nur dann die Gefahr örtlicher Beulerscheinungen realistisch in den Versuch einbezogen wird.



a) Scheiteldruckversuch

b) modifizierter Scheiteldruckversuch mit Verhältnis F_K/F_N=0,9

c) Kreisringmodell nach Arbeitsblatt A 127 des DWA-Regelwerks [33]

Abb. 86: Verteilung der Biegemomente bei unterschiedlicher Lagerung [70]

- Eine näherungsweise Übereinstimmung der Größenordnung der Verformungen zwischen dem Versuch und dem im Boden gebetteten Rohr ergibt sich erst bei ca. F_K/F_N = 1,0.

Zur Untersuchung des Einflusses einer seitlichen Stützung auf die Beanspruchung des Prüfkörpers im weggeregelten Scheiteldruckversuch wurden am IKT ergänzende Berechnungen durchgeführt (vgl. [71]). Ziel war die Ermittlung von Spannungsverteilungen innerhalb des Umfangs von profilierten Rohren aus Kunststoff in Abhängigkeit vertikaler und horizontaler Verformungen, wie sie entsprechend dem in Abbildung 85 dargestellten Versuchsaufbau aufgebracht werden können. Gegenstand der Untersuchungen waren drei Rohre der Nennweite DN 2000 unterschiedlicher Hersteller, die auch im Rahmen der Versuchsdurchführung zum Einsatz kamen (vgl. Wandaufbauten in Abb. 91). Untersucht wurden zwei Verformungszustände:

1) Scheiteldruckversuch mit 6 % Vertikalverformung ohne seitliche Stützung der Kämpfer,

2) Scheiteldruckversuch mit 6 % Vertikalverformung mit Fixierung der Kämpfer in ihrer horizontalen Ausgangslage (Annahme: unverformbare seitliche Bettung).

Aus den ermittelten Spannungsverläufen, die in Abbildung 87 beispielhaft für eines der betrachteten Großrohre dargestellt sind, und ihrem Vergleich untereinander ergeben sich die nachfolgenden Ergebnisse:

- Bei den betrachteten Rohren liegen die maximalen Spannungen im Verformungszustand 2 um den Faktor 3 bis 6 höher als im Verformungszustand 1, d.h. die **Fixierung der Kämpfer** in ihre horizontale Ausgangslage führt erwartungsgemäß zu einer **deutlichen Spannungserhöhung**.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

- Bei zwei Fällen liegen die maximalen Spannungen im Verformungszustand 2 im Bereich der durch den Hersteller angegebenen Grenzspannungen. Inwieweit diese Spannungsniveaus im Rahmen der Versuchsdurchführung erreicht werden, hängt von der **Relaxation** der Spannungen innerhalb der Prüfkörper ab.

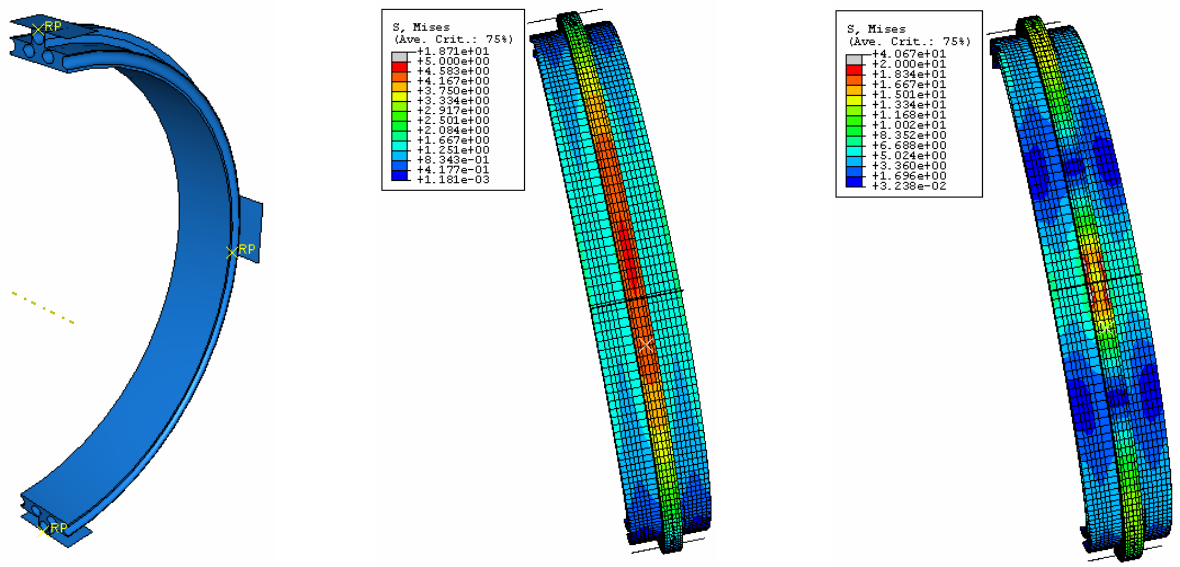
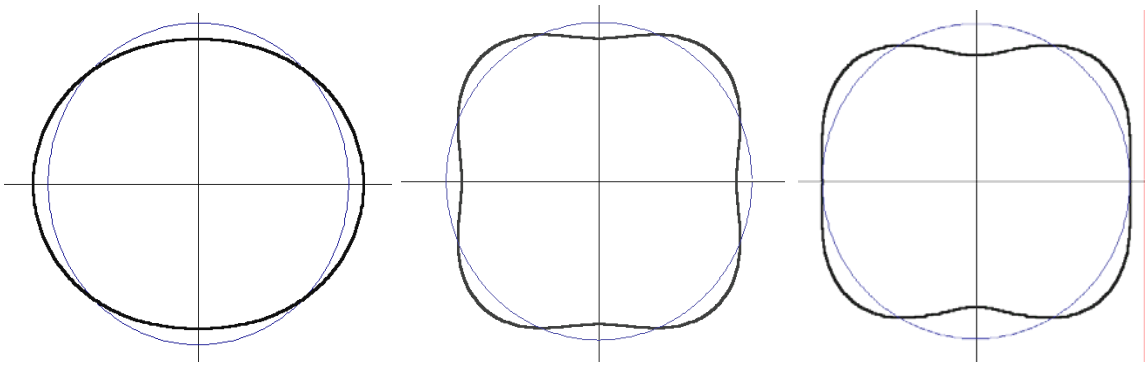


Abb. 87: Berechnungsbeispiel: FEM-Modell und Verteilung der van Mises-Spannungen infolge der Verformungszustände 1 und 2 für ein profiliertes Rohr (DN 2000), aus [71]

Für das vorliegende **Versuchskonzept** wurde ein **Verformungszustand** definiert, der durch Vorgaben hinsichtlich der prozentualen Änderung des Rohrinnendurchmessers in vertikaler und horizontaler Richtung (δ_v, δ_h) gekennzeichnet ist. Während δ_v der maximalen zulässigen Verformung in vertikaler Richtung nach [33] entspricht, wird δ_h zu null angenommen. D.h., die seitliche Bettung wird im Endzustand als unverformt angesetzt. Auf diese Weise ergibt sich ein Verformungszustand, der von der Annahme einer zweiwelligen Verformungsfigur nach [33] abweicht, denn er entsteht durch Überlagerung einer zweiwelligen und einer vierwelligen Verformungsfigur (vgl. Abb. 88). In der Praxis- bzw. in Laborversuchen wurde gerade eine Überlagerung dieser Verformungsanteile häufig beobachtet (vgl. [53]). Darüber hinaus tragen vierwellige Verformungsanteile in erhöhtem Maße zur inneren Biegearbeit und damit zur Beanspruchung der Profile bei. Nach [53] erhöht sich die innere Biegearbeit bei gleicher Amplitude überproportional zur Wellenanzahl einer Verformungsfigur. So ergibt sich beispielsweise für den Vergleich zwischen zwei- und vierwelliger Verformung der Faktor 25.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Teilfigur 1 - zweiwellig b) Teilfigur 2 - vierwellig c) Gesamtfigur

Abb. 88: Zusammensetzung des gewählten Verformungszustandes aus der Überlagerung einer zweiwelligen und einer vierwelligen Verformungsfigur zu einer Gesamtfigur

Der **Versuchsablauf** umfasst grundsätzlich die folgenden Schritte:

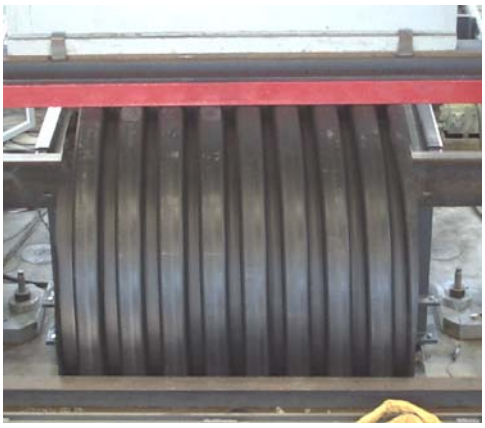
- **Versuchsaufbau:** Der Versuchsaufbau besteht im Wesentlichen aus dem Prüfrohr und zwei voneinander unabhängig steuerbaren Konstruktionen, die vertikale bzw. horizontale Kräfte über Linienauflager in den Scheitel bzw. die Kämpfer des Rohres einleiten (vgl. Abb. 89). Die erforderlichen Horizontal- und Vertikalkräfte werden von Druckzylindern erzeugt. Um die Horizontalkräfte gleichmäßig verteilt in beide Kämpfer einleiten zu können, sind die seitlichen Lasteinleitungskonstruktionen über Zugglieder miteinander verbunden (vgl. Abb. 89 (a)).

  Zunächst werden in zwei Rohrquerschnitten, die jeweils 0,5 m von den Enden des 1,5 m langen Prüfrohres entfernt liegen, jeweils vier Seilwegaufnehmer zur Messung der Innendurchmesseränderungen in den Achtelspunkten angeordnet (vgl. Abb. 85). Im nächsten Schritt wird das Rohr auf einem linienförmigen Sohlauflager platziert und in seiner Lage gesichert. Zuletzt wird das ebenfalls mit einem Linienauflager versehene und vertikal verschiebliche Belastungsschwert an den Scheitel des Rohres gefahren, so dass die Lagesicherung gelöst werden kann. Die Länge der Linienauflager entspricht mindestens der Länge des Rohres, ihre Breite muss mindestens der zu erwartenden Auflagebreite des Rohres während der Lasteinwirkung entsprechen.
  Im Ausgangszustand ($\delta_v = \delta_h = 0$) haben die seitlichen Linienauflager einen ausreichenden Abstand von den Kämpfern, um horizontale Verschiebungen infolge der ersten Verformungsphase nicht zu behindern (vgl. Abb. 89 (a)).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Ansicht von vorne



b) Ansicht von der Seite

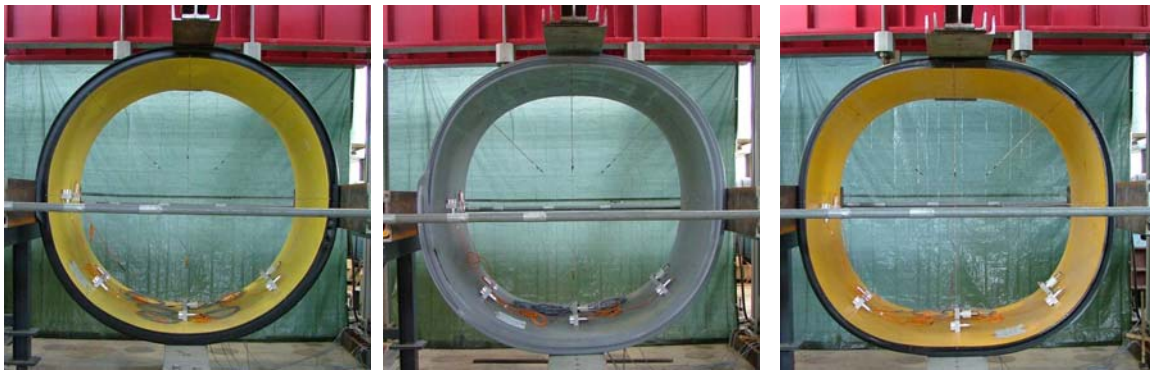
Abb. 89: Ausgangszustand ($\delta_v = \delta_h = 0$), Prüfrohr: Henze GmbH, DN 2000

- **Verformung des Rohres:** Das Rohr wird nacheinander durch insgesamt drei Verformungszustände beansprucht. Während die vertikale Rohrinnendurchmesseränderung δ_v von 3 % auf 6 % und schließlich auf 9 % gesteigert wird, gilt in allen Fällen $\delta_h = 0$.

  Jeder Verformungszustand wird weggeregelt in zwei aufeinander folgenden Phasen eingestellt, um vertikale Verschiebungsbehinderungen infolge der Reibung zwischen dem Prüfrohr und den seitlichen Linienauflagern zu vermeiden. Die Verformungsgeschwindigkeit beträgt in beiden Phasen 1 % des ursprünglichen Rohrinnendurchmessers pro Minute. In Phase 1 wird das Rohr in vertikaler Richtung verformt ohne die Verschiebung der Kämpfer zu behindern. Unter Beibehaltung der vertikalen Verformung wird in Phase 2 die horizontale Lasteinleitungskonstruktion an die Kämpfer gefahren und deren horizontalen Verschiebungen infolge Phase 1 vollständig zurückgenommen. Anschließend wird der Verformungszustand in Anlehnung an [5] über 24 h gehalten. Die Prüftemperatur beträgt 23°C (vgl. [72]). Abbildung 90 zeigt die drei Verformungszustände beispielhaft für Prüfrohre der Nennweite DN 2000 unterschiedlicher Hersteller.

  Während der Prüfung werden kontinuierlich die Kräfte und Wege der beiden Druckzylinder sowie die Messwerte der 8 Seilwegaufnehmer aufgenommen sowie die Umgebungstemperatur erfasst und aufgezeichnet. Darüber hinaus wird das Rohr in regelmäßigen Abständen in Augenschein genommen und dabei auf Veränderungen (z.B. lokale Verformungen, Ablösungen) hin untersucht. Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei den Lasteinleitungsbereichen und den Orten der größten Krümmungsänderungen, da an diesen Stellen die größten Beanspruchungen entstehen.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Verformungszustand 1: δ_v = 3 %, δ_h = 0 Prüfrohr: Henze GmbH

b) Verformungszustand 2: δ_v = 6 %, δ_h = 0 Prüfrohr: bauku GmbH

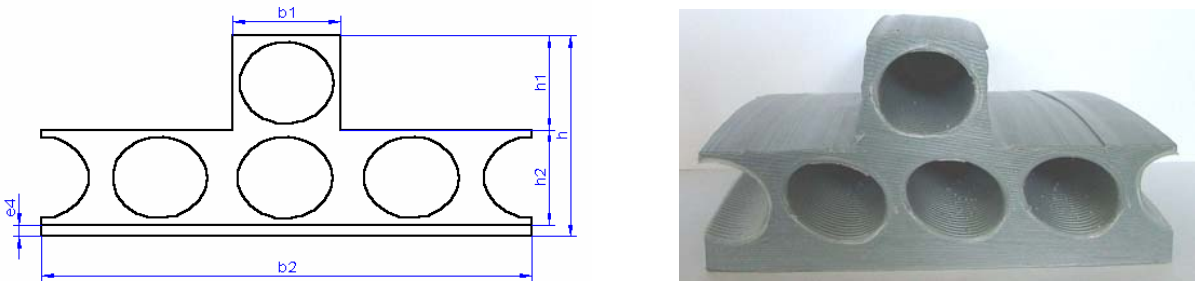
c) Verformungszustand 3: δ_v = 9 %, δ_h = 0 Prüfrohr: Frank GmbH

Abb. 90: Prüfrohre (DN 2000) in verschiedenen Verformungszuständen

- **Versuchsauswertung:** Anhand der Messkurven für die Druckzylinderkräfte kann das Relaxationsverhalten des Rohres beschrieben werden. Darüber hinaus werden mögliche Veränderungen des Rohres bzw. des Profils optisch erfasst und dokumentiert.

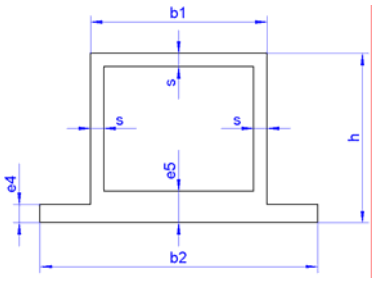
4.2.3 Ergebnisse

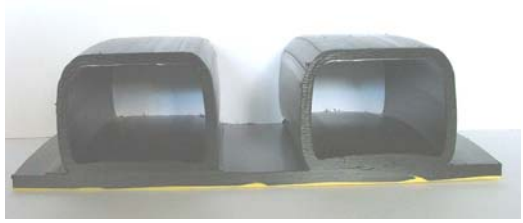
Bei der Entwicklung des Prüfkonzeptes wurden für die beispielhaft durchgeführten Versuche drei jeweils 1,5 m lange Abschnitte von profilierten Großrohren der Nennweite DN 2000 der Firmen bauku, Henze und Frank verwendet. Die aus PE-HD bestehenden Rohrtypen werden unter Einsatz verschiedener Varianten des Wickelrohrverfahrens (vgl. Kapitel 2.2.2) hergestellt. Optische Unterscheidungsmerkmale sind insbesondere die Konstruktion des Wandaufbaus und die Farbgebung des Materials (vgl. Abb. 91)



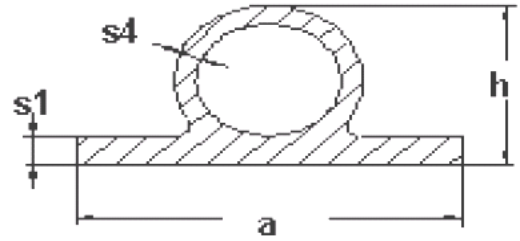
a) bauku GmbH: Profil SK 610, Profilhöhe h = 123 mm, Teilhöhen h1 = h2 = 58 mm, Profilbreite b1 = 66 mm, Profilabstand b2 = 300 mm, Grundwanddicke e4 = 7 mm [73]

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH





b) Henze GmbH: Profil 11 – R 100 - 180, Profilhöhe h = 103 mm, Profilbreite b1 = 110 mm, Profilabstand b2 = 180 mm, Profilwanddicke s = 8 mm, Wanddicke der Innenschicht e4 = 11,0 mm, Wanddicke der Innenschicht unter einem Hohlprofil e5 = 19 mm [26]





c) Frank GmbH: Rohrprofil PR 54-16.3, Profilhöhe h = 76,0 mm, Grundwanddicke s1 = 15,0 mm, Schlauchummantelung s4 = 10,0 mm [74]

Abb. 91: Wandaufbauten der Prüfrohre (DN 2000) unterschiedlicher Hersteller

Aus den Versuchen ergaben sich die nachfolgend beschriebenen **Beobachtungen**:

- Auch bei Verformungszuständen mit maximaler Beanspruchung (δ_v = 9 %, δ_h = 0) wurden weder Ablösungen (Delamination) zwischen Einzelteilen des Profils, noch Instabilitäten der Profile (Knicken/Beulen) und auch keine Veränderungen im Bereich der Schweißnähte zwischen den spiralförmigen Wicklungen der Grundwand beobachtet.
- Für das Einstellen der verschiedenen Verformungszustände waren Vertikal- und Horizontalkräfte notwendig, die mit der Größe der angestrebten Verschiebungen zunahmen. Bei allen Versuchen wurde beobachtet, dass die zum Halten der Verformungszustände erforderlichen Kräfte zeitabhängig sanken. So fiel innerhalb von 15 Minuten nach Erreichen der Verformungszustände das erforderliche Lastniveau um 15 bis 20 % und nach 120 Minuten um bis zu 30 % ab. Der Grund für hierfür liegt in der Relaxation der Spannungen innerhalb des Prüfkörpers.
- In den Bereichen der Lasteinleitung (Scheitel und Kämpfer) bzw. der Auflagerung (Sohle) zeigten sich bei allen Prüfrohren lokale Verformungen der Profile. Zum einen vergrößerte sich mit steigender Vertikal- und Horizontalverformung die Auflagefläche der Profile. Zum anderen reduzierte sich die Profilhöhe und die Profilstege wichen zur Seite aus. In Abbildung 92 sind lokale Profilverformungen der Prüfrohre im Bereich des Sohlauflagers dargestellt, die durch die Beanspruchung des Verformungszustandes 3 (δ_v = 9 %, δ_h = 0) hervorgerufen wurden.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH


a) Prüfrohr: bauku GmbH


b) Prüfrohr: Frank GmbH


c) Prüfrohr: Henze GmbH

Abb. 92: Lokale Profilverformung der Prüfohre am Sohlauflager unter Beanspruchung durch den Verformungszustand 3 (δ_v = 9 %, δ_h = 0)

Mit den Ergebnissen der beispielhaft durchgeführten Versuche ist weder eine Einzelbewertung noch ein Vergleich der verwendeten Produkte untereinander verbunden. Die Versuche dienten vorrangig dem Ziel, die Prüfabläufe und die Prüftechnik zu hinterfragen sowie die Einsatzbereiche des Prüfkonzeptes einzugrenzen.

Mit Blick auf **Prüftechnik und -ablauf** lassen sich aus den beispielhaften Prüfungen die folgenden Schlussfolgerungen ziehen und Verbesserungspotenziale ableiten:

- Mit Hilfe des gewählten Versuchsaufbaus lassen sich am Prüfkörper gezielt mehrwellige **Verformungszustände** einstellen. Erwartungsgemäß zeigte sich bei allen Versuchen nach Abschluss der Phase 1, d.h. der vertikalen Belastung des Rohres, eine im Vergleich zur Änderung des vertikalen Innendurchmessers (δ_v) um bis zu 15 % geringere horizontale Verschiebung der Kämpfer (δ_h). Dies ist bei der Auslegung der Prüftechnik für die Rückverformung der horizontalen Kämpferverschiebung zu beachten.
- Die Breite der **Linienauflager** (40 cm) war bei allen Versuchen größer als die Auflagebreite der Prüfrohre während der Lasteinwirkung. Dadurch wurde eine gleichmäßige Lasteinleitung gewährleistet.
- Das vorgestellte Prüfkonzept sieht eine **Beanspruchungsdauer** von 24 Stunden vor. Im Vergleich zur Nutzungsdauer (z.B. 50 Jahre) der Rohre in der Praxis ist dieser Versuch als Kurzzeit-Versuch einzustufen. Um Aussagen zum Langzeitverhalten treffen zu können, bietet sich eine Verlängerung der Versuchszeit auf 2000 Std. (vgl. [5]) an. Aufgrund der aufwendigen Prüfmaschinentechnik würde der hier beschriebene Versuch jedoch an wirtschaftliche Grenzen stoßen. Dies wurde im vorliegenden Projekt zum Anlass genommen, einen vereinfachten Versuchsaufbau für Langzeitversuche zu entwickeln (vgl. Kapitel 4.4).
- Der Versuchsaufbau ist für die Prüfung von Großrohren ausgelegt. Bei profilierten Kunststoffrohren **im nicht-begehbaren Nennweitenbereich** sind möglicherweise weitere besondere Verformungsbilder zu erwarten, da am Markt zahlreiche Produktvariationen hinsichtlich der Werkstoffarten, Wandaufbauten und Herstellmethoden angeboten werden. Aus diesem Grund wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, der an kleinere Rohrdimensionen angepasst ist und darüber hinaus auch die wirtschaftliche Durchführung von Langzeitversuchen ermöglicht (vgl. Kapitel 4.5).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Die **Einsatzbereiche des Prüfkonzeptes**, insbesondere mit Blick auf den notwendigen und beobachteten **Prüfaufwand,** lassen sich wie folgt näher beschreiben:

- Die Prüfung im Labor bietet die Möglichkeit, das Verhalten des **Gesamtquerschnittes**, des **Profils**, der **Schweißnähte der Grundwand** sowie von **Rohrverbindungen** und **Anschlüssen** (vgl. Kapitel 4.3) auch unter extremen, z.T. noch zulässigen Verformungszuständen zu beobachten, die in der Praxis vereinzelt und in der Regel unplanmäßig auftreten. Da vertikale Verformungen bis 9 % nach [33] zulässig sind, sollten deren Auswirkungen auf das Rohr und seine Verbindungen bereits im Rahmen der **Produktentwicklung** untersucht werden.
- Darüber hinaus kann die Prüfung im Rahmen der **Qualitätssicherung** Bestandteil einer regelmäßigen Eigen- und Fremdüberwachung sein.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4.3 Dichtheit der Verbindung Rohr–Stutzen

4.3.1 Hintergrund

Um die Dichtheit der Kanalisationen zu gewährleisten, ist das Gesamtsystem aus Rohren, Schächten und Anschlüssen zu betrachten. Insbesondere den Hausanschluss-Stutzen kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da diese häufig manuell angeschlossen werden und seitens der Kanalnetzbetreiber besondere Unsicherheiten hinsichtlich der Qualität dieser Verbindungen bestehen (vgl. [75]).

Mit Blick auf profilierte Großrohre aus Kunststoff stellt sich insbesondere die Frage, ob die zulässigen und möglicherweise zu erwartenden Verformungen des Rohres einen Einfluss auf die Dichtheit des Anschlusses haben können. So wurden im Rahmen der Begehung und fortlaufenden Vermessung des Innendurchmessers Rohrverformungen von bis zu 8 % beobachtet (vgl. Kapitel 3). Gerade unter großen Rohrverformungen ist zu erwarten, dass in kritischen Krümmungsbereichen des Rohrquerschnitts (vgl. Abb. 93, Bereich A-A) in der Folge auch die ggf. dort angeordneten Anschlusssysteme erheblichen Beanspruchungen ausgesetzt sind (vgl. Abb. 94). Bisherige Prüfkonzepte (vgl. [5], [69], [75]) berücksichtigen dieses Verhalten nicht. Darüber hinaus können besondere Wechselwirkungen zu den angeschlossenen Leitungssystemen bestehen, so z.B. eine Verschiebungsbehinderung in Längs- und Querrichtung bei fest im Gebäude eingebundenen bzw. biegesteifen Hausanschluss-Leitungen.

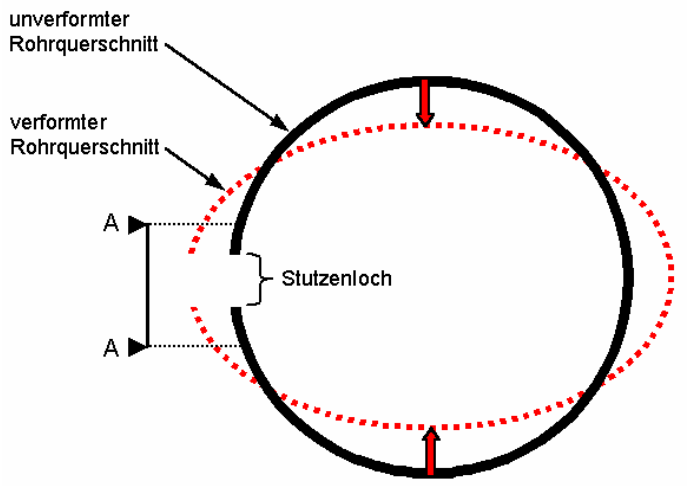


Abb. 93:
Rohrverformung unter vertikaler Last

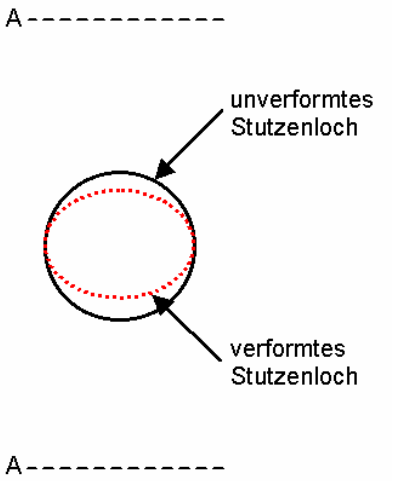


Abb. 94:
Verformung des Stutzenloches

4.3.2 Prüfkonzept

Ziel des nachfolgend dargestellten Prüfkonzeptes ist es, das Verformungsverhalten und die Dichtheit des Anschlussbereiches bei Verformung des Großrohres und möglicher Verschiebungsbehinderung der betrachteten Anschlüsse zu überprüfen. Dazu wurde der Prüfaufbau aus Kapitel 4.2 weiterentwickelt und ein neuartiges Dichtheitsprüfgerät (vgl. Bild 4.3.7 [76]) eingesetzt. Insgesamt werden zwei Anschlusspaare, d.h. vier Anschlüsse in zwei Bauarten (Typ1/Typ2), in unterschiedlichen Bereichen des Rohrumfangs eingebaut (vgl.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Abb. 95 bis Abb. 98). Die Anschlüsse gleicher Bauart liegen einander gegenüber, d.h. um 180° versetzt, und werden gemeinsam geprüft.

Während der Prüfung liegen die Anschlusspaare im Ort der maximalen Krümmungsänderung, da dort die größten Beanspruchungen des Anschlussbereichs zu erwarten sind. Der Ort der maximalen Krümmungsänderung kann unter der Annahme elastischen Werkstoffverhaltens als Weggröße aus dem jeweiligen Momentenverlauf abgeleitet werden. Er wurde für die gegebenen Randbedingungen in Sohle, Scheitel und den Kämpfern festgestellt. Im Rahmen des hier dargestellten Versuchskonzepts liegt der Schwerpunkt auf Untersuchungen im Kämpferbereich, da für diesen Fall die vertikale Lasteinleitung in das Rohr entsprechend Kapitel 4.2 ausgeführt werden kann und in der Praxis in diesem Bereich auch regelmäßig Anschlüsse zu erwarten sind (vgl. Kapitel 3).

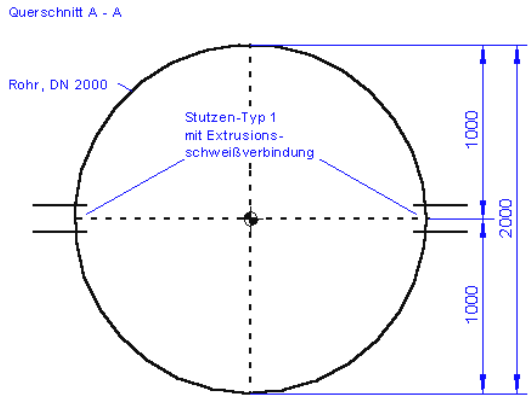


Abb. 95: Rohrquerschnitt A-A

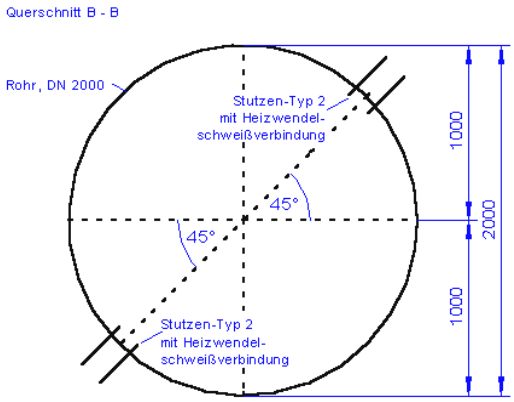


Abb. 96: Rohrquerschnitt B-B

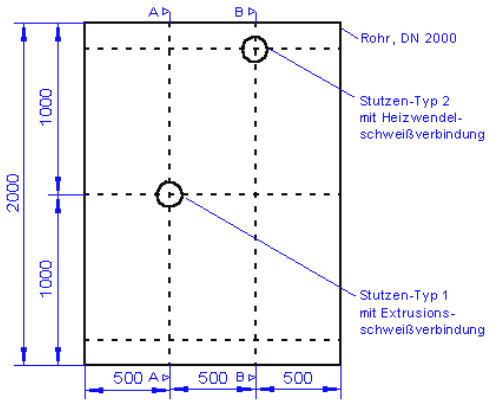


Abb. 97: Rohransicht von links

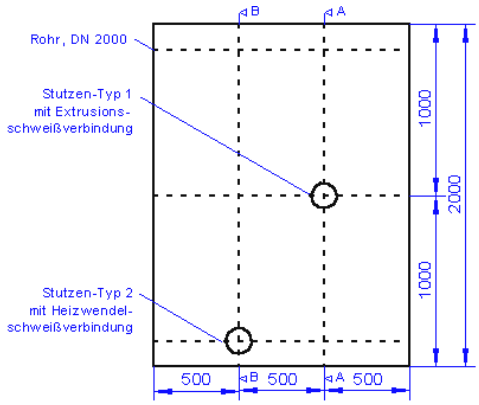


Abb. 98: Rohransicht von rechts

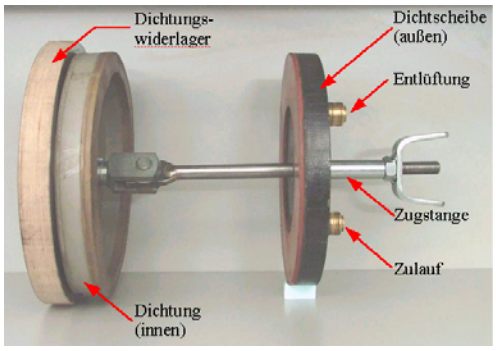
Der **Versuchsablauf** umfasst grundsätzlich die folgenden Schritte:

- **Versuchsaufbau:** Zunächst werden die Hausanschluss-Stutzen durch eine Fachfirma in das freiliegende Rohr einbaut und das Rohr auf ein Linienauflager platziert, zur Lagesicherung verkeilt sowie mittels Längsträger und vertikaler Baustütze gegen Kriechverformungen aus Eigengewicht gesichert. Anschließend werden in den Achtelspunkten innerhalb des Rohres vier Seilwegaufnehmer zur Messung der Durchmesseränderungen angeordnet. Als letzter Schritt wird das Belastungsschwert an das Rohr gefahren, so dass die Lagesicherung gelöst werden kann.

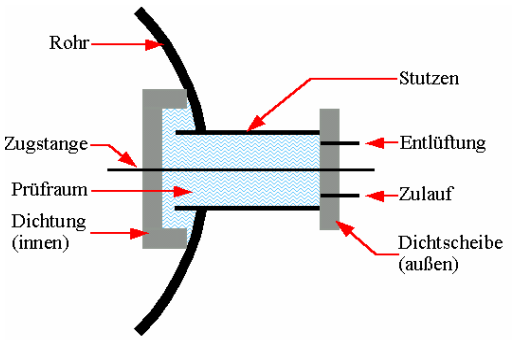
© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

- **Verformung des Rohres:** Die vertikale Verformung des Rohres wird weggesteuert in drei Schritten auf 3%, 6 % und schließlich auf 9 % gesteigert. Die Maximalverformung orientiert sich an den Bemessungsvorgaben nach ATV A 127 [33] (vgl. Kapitel 4.2). Die einzelnen Verformungsstufen werden in Anlehnung an [5] über 24 h gehalten. Abbildung 101 zeigt das Rohr bei einer Vertikalverformung von 6 %.

- **Stutzen-Dichtheitsprüfung**: 20 h nach Erreichen der jeweiligen Verformungsstufe werden die Anschlussbereiche zunächst optisch inspiziert und anschließend auf Dichtheit geprüft. Zur Dichtheitsprüfung wird der Prüfraum mit einem speziellen Prüfgerät (siehe Abb. 99 und [76]) abgeschlossen und der Prüfraum mit Wasser gefüllt. Der Anschlussbereich wird in Anlehnung an [77] vor und während einer 30-minütigen Prüfzeit auf Wasseraustritt untersucht. Ergänzend wird der Druck im Prüfraum mittels Drucksensor überwacht.



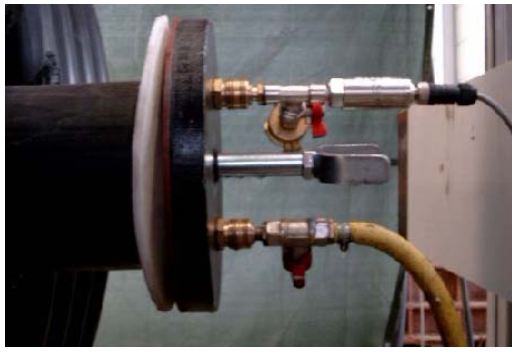
a) Gerätetechnik



b) Skizze des Einbauzustands



c) Einbauzustand, Ansicht von innen



d) Einbauzustand, Ansicht von außen

Abb. 99: Stutzen-Dichtheitsprüfgerät (vgl. [76]), Hersteller: Städtler und Beck GmbH, Speyer

Um sowohl die freie Beweglichkeit der Hausanschluss-Stutzen als auch eine Behinderung aufgrund der angeschlossenen Leitungssysteme zu berücksichtigen, wurden zwei Versuchsvarianten ausgeführt:

- **Variante A: Rohrverformung mit freibeweglichen Anschlussstutzen**

  Dieser Versuch entspricht dem o.a. grundsätzlichen Versuchsablauf. In Abbildung 100 und 101 ist eine entsprechende Prüfung des Rohr- bzw. Anschlusssystems beispielhaft dargestellt.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



Abb. 100:
Rohr im unverformten Ausgangszustand

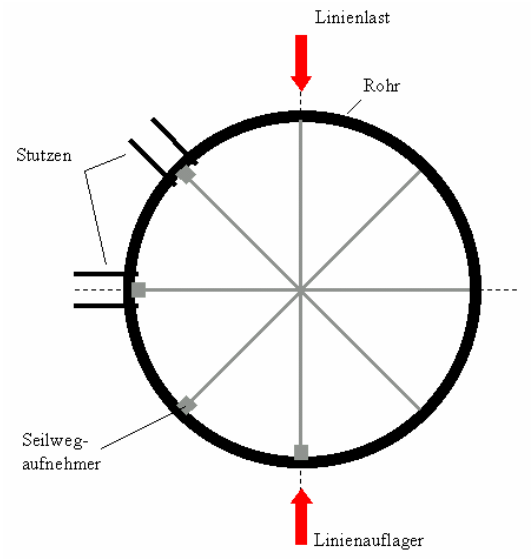


Abb. 101:
Rohr mit 6% Vertikalverformung

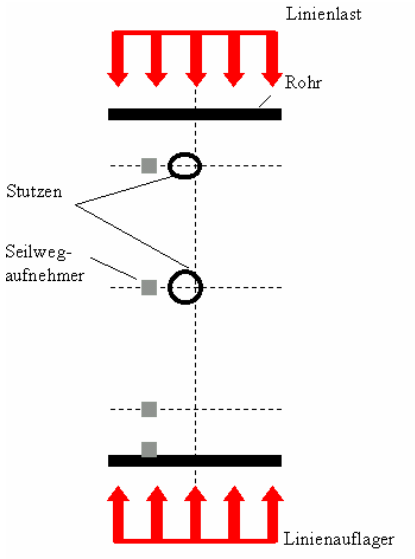
- **Variante B: Rohrverformung mit verspannten Hausanschluss-Stutzen**

  Als Weiterentwicklung der Variante A werden die Verschiebungen im Anschlussbereich behindert. Hierzu werden die einander gegenüberliegenden Stutzen über eine Zugstange verspannt (siehe Abb. 102), so dass horizontale Verschiebungen nahezu vollständig ausgeschlossen (vgl. Gebäudeeinbindung) und vertikale Verschiebung aufgrund der symmetrischen Rohrverformung nicht behindert (vgl. gelenkiger Anschluss) werden. Da die Zugstange die Anwendung des Dichtheitsprüfgeräts grundsätzlich verhindert, wird nach 20h Belastung zunächst der Anschlussbereich optisch inspiziert, das Rohr dann entlastet, die Zugstange entfernt und der Anschlussbereich auf Dichtheit geprüft. Nach Abschluss der Dichtheitsprüfung wird die Zugstange erneut montiert und die nächstfolgende Verformungsstufe angefahren. In Abbildung 103 und 104 ist ein entsprechend geprüftes Rohr- bzw. Anschlusssystem beispielhaft dargestellt.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Querschnittsansicht



b) Seitenansicht

Abb. 102: Rohrverformung mit verspannten Hausanschluss-Stutzen, Skizze des Versuchsaufbaus



Abb. 103:
Rohr im unverformten Ausgangszustand



Abb. 104:
Rohr mit 6% Vertikalverformung

4.3.3 Ergebnisse

Im Rahmen der Entwicklung des Prüfkonzepts wurde beispielhaft ein 1,5 m langes, profiliertes Kunststoffrohr der Nennweite DN 2000 aus dem Profilkanalrohrsystem (PKS) der Frank GmbH mit zwei Anschlusssystemen (Stutzen-Typ 1/ Stutzen-Typ 2) eingesetzt. Abbildung 105 zeigt das Rohrprofil (Bez.: PR 54-16.3) des aus Polyethylen (Bez.: Hostalen CRP 100 Black) hergestellten Rohres. Die Stutzen-Typen 1 (mit Extrusions-Schweißverbindung) und 2 (mit Heizwendelverbindung) sind in Abbildung 106 dargestellt.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

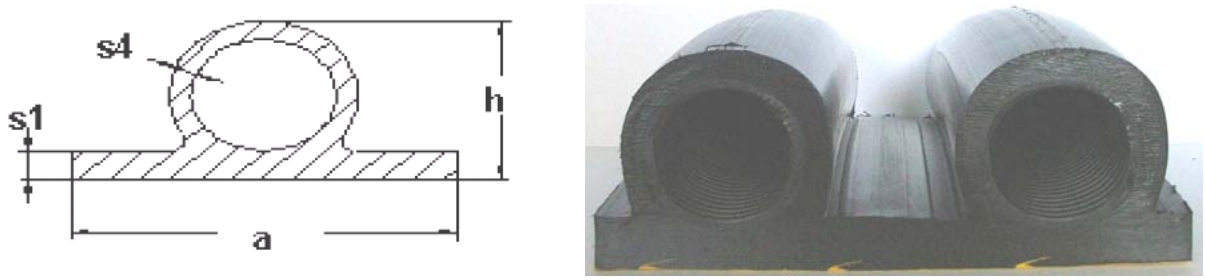
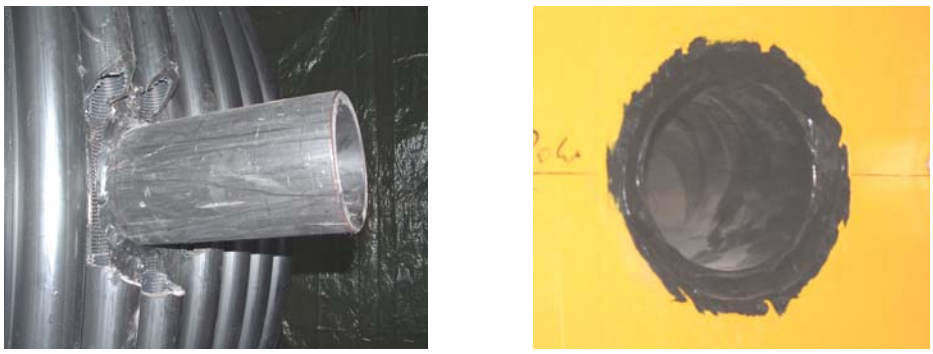


Abb. 105: Rohrprofil PR 54-16.3, Grundwanddicke s1 = 15,0 mm, Schlauchummantelung s4 = 10,0 mm, Profilhöhe h = 76,0 mm [49]



a) Stutzen-Typ 1: Vollwandrohr aus PE 80, da = 160 mm, s = 15 mm, L = 200 mm, Extrusions-Schweißverbindung



b) Stutzen-Typ 2: Condor-Abwassersattel aus PE 80, da = 160 mm, s = 5 mm, L = 210 mm, Heizwendel-Schweißverbindung

Abb. 106: Stutzen-Typen 1 und 2

Im Vordergrund der beispielhaften Prüfungen standen die Bewertung der Prüfabläufe, der Prüftechnik und die Eingrenzung der Einsatzbereiche des Prüfkonzepts. Auf eine Bewertung des eingesetzten Produkts wird verzichtet, da lediglich einzelne Prüfkörper unterschiedlicher Eigenschaften geprüft wurden.

Mit Blick auf **Prüftechnik und -ablauf** lassen sich aufgrund der beispielhaften Prüfungen die folgenden Schlussfolgerungen ziehen und Verbesserungspotenziale nennen:

- Als **Zugstange** hat sich der Einsatz einer Gewindestange mit Widerlagern aus runden Metallscheiben bewährt. Der Einbau war aufgrund des geringen Gewichtes zügig möglich.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

- Das **Dichtheitsprüfgerät** ist insbesondere bei Großrohren aufgrund des hohen Gewichts der äußeren Dichtscheibe noch schwer zu handhaben. Die Dichtung des Gerätes kann an den Klebefugen bei höheren Drücken noch undicht werden. Auch bietet sich eine geometrische Anpassung des Widerlagers der inneren Dichtung an den jeweiligen Rohrdurchmesser an.
- Die freie Zugänglichkeit des Prüfkörpers erlaubt bereits eine zuverlässige Bewertung der **Dichtheit** des Prüfkörpers durch **Inaugenscheinnahme** während der Prüfung. Aufgrund des sehr kleinen Prüfraums bietet die Messung der Wasserzugabe bzw. eines Druckabfalls keine aussagekräftigen Daten für die zuverlässige Bewertung der Dichtheit des Anschlusssystems. Sowohl Umläufigkeiten an der Dichtung des Prüfgeräts als auch die Relaxation der den Prüfraum begrenzenden Bauteile des Prüfgeräts (Dichtung) bzw. des Anschlussbereichs (Stutzen, Rohr) können zu geringen Wasserzugaben führen, die bereits die üblichen Grenzwerte übersteigen. So ergibt sich für einen Stutzen mit einem Innendurchmesser von 150 mm und einer Länge von 200 mm nach DIN EN 1610 [77] lediglich eine zulässige Wasserzugabe von 14 ml in 30 Minuten.

Die **Einsatzbereiche des Prüfkonzeptes**, insbesondere mit Blick auf den notwendigen und beobachteten **Prüfaufwand,** lassen sich wie folgt näher beschreiben:

- Die Prüfung im Labor bietet grundsätzlich die Möglichkeit, das Verhalten der Anschlussbereiche auch unter extremen Rohrverformungen zu beobachten, wie sie in situ nur vereinzelt und in der Regel ungewollt auftreten. Da große Rohrverformungen in Einzelfällen aber durchaus zulässig sind (vgl. [33]), empfiehlt sich eine Überprüfung der Anschlusssysteme nach o.a. Prüfkonzept insbesondere im Vorfeld der **Produktentwicklung** sowie als Basis für den **Markteintritt**.
- Erfordert der Einbau des Anschluss-Systems eine besondere Sorgfalt und Schulung des Personals, so bietet sich auch im Rahmen der **Personalschulung** eine Prüfung der abgelieferten Leistungsproben an. Hierzu können mit dem neuentwickelten Dichtheitsprüfgerät ggf. auch Teilstücke des Rohres einschließlich Anschlussbereich auf Dichtheit geprüft werden, dann allerdings ohne Verformung des Anschlussbereichs.
- Ergänzend kann auch der alleinige **Einsatz des Dichtheitsprüfgerätes** die **Qualitätssicherung auf der Baustelle** sowie die routinemäßige **Eigen- bzw. Fremdüberwachung im Werk** unterstützen. Bei einer Gesamtprüfdauer (einschließlich Ein- und Ausbau des Gerätes) von ca. 45 Minuten je Stutzen lassen sich ca. 10 Stutzen je Arbeitstag zuverlässig prüfen. Eine stichprobenartige Prüfung im Rahmen der Bauüberwachung bietet sich z.B. an, wenn besondere Anforderungen an die Dichtheit des Rohrsystems (vgl. Wasserschutzzonen) gestellt werden.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4.4 Querschnittsverformungen an Großrohren (Langzeitversuch)

4.4.1 Hintergrund

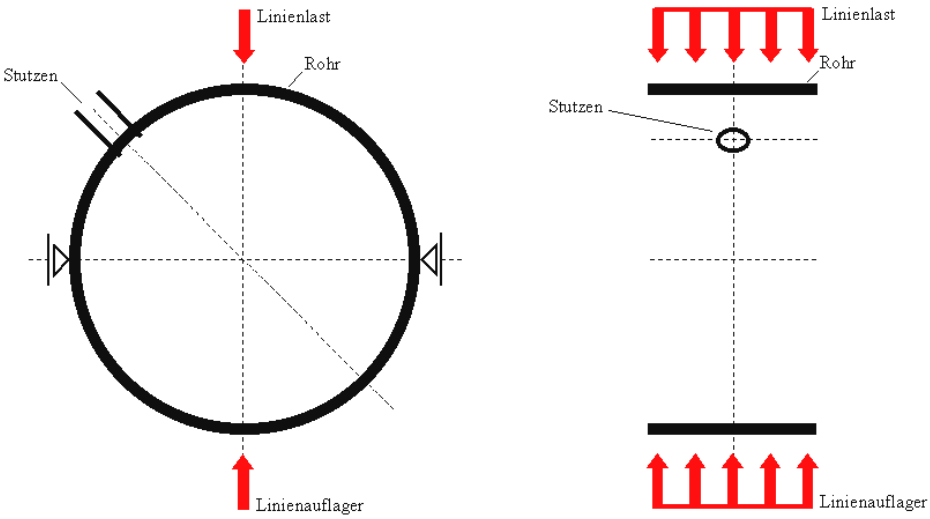
Das in Kapitel 4.2 beschriebene Versuchskonzept beinhaltet die Durchführung von Kurzzeit-Scheiteldruckversuchen (24 Stunden) mit seitlicher Stützung zur Beanspruchung von profilierten Großrohren aus Kunststoff durch äußere Verformungszustände. Auch die Weiterentwicklung dieses Prüfkonzeptes zur Untersuchung der Dichtheit von Anschlüssen im verformten Rohrzustand sieht die Durchführung von Kurzzeitversuchen vor (vgl. Kapitel 4.3).

Auf Seiten der Kanalnetzbetreiber bestehen jedoch insbesondere Unsicherheiten hinsichtlich der Dauerhaftigkeit von Leitungssystemen aus profilierten Kunststoffrohren im eingebauten, d.h. verformten Zustand. Um das Langzeitverhalten untersuchen zu können, ist eine deutliche Verlängerung der Versuchszeit notwendig.

Die für Kurzzeitversuche entwickelten Versuchsaufbauten bieten aufgrund der Verwendung von Druckzylindern zur Lasteinleitung den Vorteil einer großen Variabilität hinsichtlich der einstellbaren Verformungszustände. Jedoch ist ihr Einsatz für die Durchführung von Langzeitversuchen aufgrund der aufwändigen Maschinentechnik unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht sinnvoll.

4.4.2 Prüfkonzept

Das vorliegende Prüfkonzept sieht die Entwicklung eines einfachen Versuchsaufbaus vor, mit dem Langzeit-Scheiteldruckversuche mit seitlicher Stützung vergleichsweise kostengünstig durchgeführt werden können. Ziel ist die Prüfung des Langzeitverhaltens des Gesamtquerschnittes, der Profile sowie insbesondere der Anschlüsse und der Rohrverbindungen gegenüber äußeren Verformungszuständen.



a) Querschnittsansicht b) Seitenansicht

Abb. 107: Querschnittsverformung von Großrohren im Langzeitversuch, Skizze des Versuchsaufbaus

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 107 skizziert. Das profilierte Großrohr aus Kunststoff wird durch eine linienförmige Scheiteldruckkraft definiert vertikal verformt. Dabei verhindern seitliche Stützungen das horizontale Ausweichen der Kämpfer, ohne deren Verschieblichkeit in vertikaler Richtung zu beeinträchtigen. Auf diese Weise wird der Prüfkörper durch einen definierten Verformungszustand beansprucht.
Im Gegensatz zu den in den Kapiteln 4.2 und 4.3 beschriebenen Versuchsaufbauten werden hier für das Einstellen der Verformungen keine Druckzylinder verwendet. Die Vertikalverschiebung wird durch eine Gewichtslast unter Einhaltung definierter Weggrenzen einmalig eingestellt, d.h. sie wird während des Versuches nicht variiert. Dies gilt ebenso für die Horizontalverschiebung der Kämpfer, da die seitlichen Stützungen als starre Auflager ausgebildet sind.

Der **Versuchsablauf** umfasst grundsätzlich die folgenden Schritte:

- **Versuchsaufbau**: Als Prüfkörper kommt ein einzelner Rohrabschnitt oder ein eigens hergestellter Rohrverbindungsbereich zum Einsatz. Zunächst werden in diesen Prüfkörper oberhalb des Kämpfers zwei Hausanschluss-Stutzen in den Achtelspunkten eingebaut (vgl. Abb. 107). Anschließend wird der Prüfkörper auf einem Linienauflager platziert und durch zwei Bauelemente auf beiden Seiten des Rohres gestützt. Diese Elemente dienen darüber hinaus sowohl als Auflager für die später aufzubringende vertikale Gewichtslast als auch als Widerlager gegenüber Horizontalverformungen des Rohres. Die Höhe des unteren Linienauflagers wird daher so gewählt, dass der Rohrscheitel im unbelasteten Zustand die seitlichen Stützelemente um das Maß der einzustellenden Vertikalverformung überragt.
- **Verformung des Prüfkörpers**: Unter Einsatz von Gewichten wird das Rohr um 9% vertikal verformt (vgl. [33]). Um die vertikale Verschiebung der Kämpfer nicht wesentlich zu behindern, wird die Reibung zwischen ihnen und der seitlichen Stützung durch den Einsatz von kunststoffbeschichteten Platten und Schalöl minimiert. Der eingestellte Verformungszustand wird in Anlehnung an [5] z.B. für eine Dauer von 2000 Stunden gehalten. Abbildung 108 zeigt die beispielhafte Umsetzung des Versuchsaufbaus im Rahmen der Entwicklung des Prüfkonzeptes. Soll auch das Relaxationsverhalten des Rohres unter den hier betrachteten Verformungen erfasst werden, können ergänzend im Scheitel- und Sohlauflager Kraftmessdosen zur fortlaufenden Aufnahme der Auflager- bzw. Widerlagerkräfte angeordnet werden.
- **Stutzen-Dichtheitsprüfung**: Unmittelbar nach Erreichen der Verformungsstufe werden die Anschlussbereiche optisch inspiziert und anschließend nach der in Kapitel 4.3 beschriebenen Vorgehensweise auf Dichtheit geprüft. Dieser Vorgang wird bis zum Abschluss des Versuches in regelmäßigen Zeitabständen (z.B. alle 500 Stunden) wiederholt.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

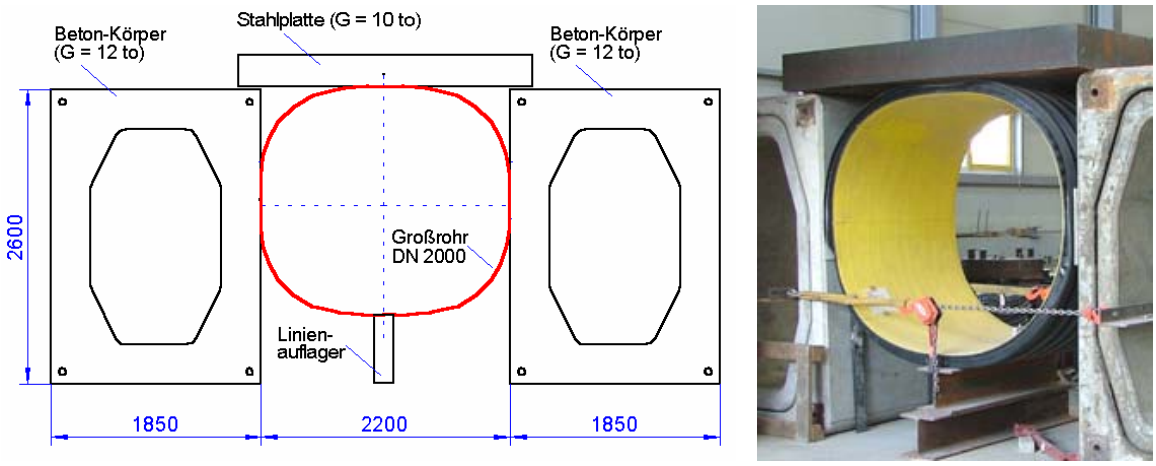


Abb. 108: Langzeitversuch für Großrohre, Beispielhafte Umsetzung des Versuchsaufbaus

4.4.3 Ergebnisse

Beispielhaft wurde im Rahmen der Entwicklung des Prüfkonzeptes ein profiliertes Großrohr aus Kunststoff der Henze GmbH eingesetzt (vgl. Abb. 91 (b)). Es handelte sich um eine 1,5 m langes Rohr der Nennweite DN 2000. Auf die Anordnung von Hausanschlussstutzen und Kraftmessdosen sowie die Einbeziehung einer Rohrverbindung wurde zunächst verzichtet. Der Schwerpunkt lag hier auf der Auswahl geeigneter Auf- und Widerlager sowie der Reduzierung der Reibung zwischen den Rohrkämpfern und der seitlichen Stützung, um den Verformungszustand δ_v = 9 % / δ_h = 0 einstellen zu können (vgl. Abb. 108).

Im Rahmen erster Versuche an einem Rohrstück ohne Verbindungstechnik und Anschlussstutzen über eine Dauer von 3 Monaten wurden keine Auffälligkeiten hinsichtlich der Verformung des Gesamtquerschnitts und der Profile festgestellt. Mit Blick auf die **Prüftechnik** lassen sich jedoch bereits die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

- Beton-Körper haben sich als seitliche Stützung sowie als Auflager für die scheiteldruckkraft-erzeugende Stahlplatte bewährt. In Kombination mit den Maßnahmen zur Reibungsreduktion zwischen Rohrkämpfern und seitlicher Stützung konnte der Verformungszustand δ_v = 9 % / δ_h = 0 eingestellt und gehalten werden.

- Während die Anordnung von Kraftmessdosen im Scheitel- und Sohlbereich problemlos möglich erscheint, erfordert eine Aufnahme der horizontalen Widerlagerkräfte ggf. weitere Überlegungen.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4.5 Querschnittsverformungen an nicht-begehbaren Rohren

4.5.1 Hintergrund

Das in Kapitel 4.2 beschriebene Versuchskonzept sieht die Prüfung von profilierten Großrohren aus Kunststoff gegenüber äußeren Verformungszuständen vor. Es basiert auf Zusammenhängen, die in dem genannten Abschnitt ausführlich erläutert und durch Beobachtung bedeutender Rohrverformungen in der Praxis gestützt werden.

Diese Argumentation gilt ebenfalls für nicht-begehbare, profilierte Kunststoffrohre, da vergleichbare Verformungsbilder – mit zum Teil extremen Durchmesseränderungen bzw. Querschnittsreduzierungen von bis zu 30 % - auch in diesem deutlich kleineren Nennweitenbereich beobachtet wurden (vgl. Kapitel 3). Allerdings ist das Marktangebot hinsichtlich nicht-begehbarer, profilierter Kunststoffrohre im Vergleich zu Großrohren dieses Typs durch eine höhere Produktvielfalt gekennzeichnet (vgl. Kapitel 2). Diese drückt sich u.a. in den Herstellungsmethoden, den Wandaufbauten und den eingesetzten Rohrwerkstoffen aus. Daher ist das Widerstandsverhalten von profilierten Großrohren aus Kunststoff gegenüber äußeren Verformungszuständen nicht grundsätzlich auf nicht-begehbare Rohre übertragbar.

Für die Durchführung entsprechender Prüfungen ist der in Kapitel 4.2 beschriebene Versuchsaufbau nicht geeignet, da er für profilierte Großrohre ausgelegt ist. Modifikationen mit dem Ziel seiner Anwendung auf Rohre des nicht-begehbaren Nennweitenbereichs wären mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand verbunden. Nachfolgend ist daher ein auf kleinere Nennweiten ausgelegtes Prüfkonzept dargestellt.

4.5.2 Prüfkonzept

Das vorliegende Prüfkonzept sieht die Entwicklung eines Versuchsaufbaus nach dem Prinzip des modifizierten Scheiteldruckversuches vor, der an kleinere Rohrdimensionen angepasst ist und darüber hinaus die wirtschaftliche Durchführung von Langzeitversuchen ermöglicht (vgl. Abb. 109).

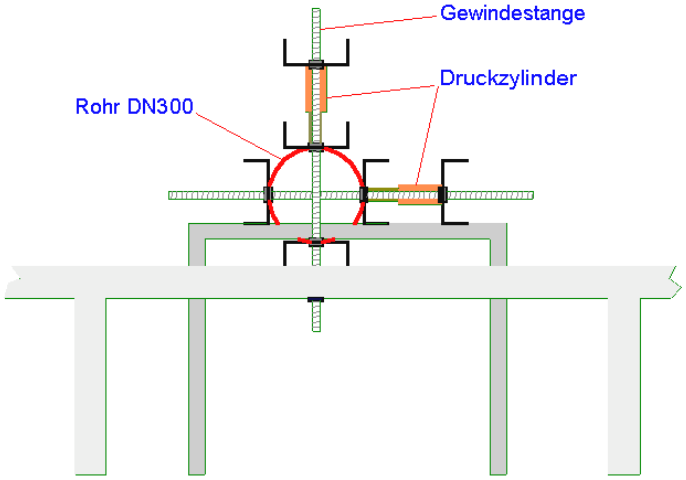


Abb. 109: Querschnittsverformungen an nicht-begehbaren Rohren, Skizze des Versuchsaufbaus

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Der **Versuchsablauf** entspricht größtenteils dem des Prüfkonzeptes für Großrohre (vgl. Kapitel 4.2) und umfasst grundsätzlich die folgenden Schritte:

- **Versuchsaufbau:** Der Versuchsstand besteht aus zwei voneinander unabhängig steuerbaren Konstruktionen, die über zwei manuell betriebene Druckzylinder vertikale bzw. horizontale Kräfte über Linienauflager (Träger mit U200-Profilen) in den Scheitel bzw. die Kämpfer des Rohres einleiten. Abbildung 110 zeigt den Aufbau des Versuchsstands.
  Zunächst wird das maximal 1,0 m lange Prüfrohr auf dem Sohlauflager platziert, parallel zu dessen Längsachse ausgerichtet und in seiner Lage gesichert. Anschließend wird die vertikale Lasteinleitungskonstruktion in Kontakt mit dem Rohrscheitel gebracht, waagerecht ausgerichtet und die temporäre Lagesicherung gelöst.



a) Ansicht von vorne b) Seitenansicht

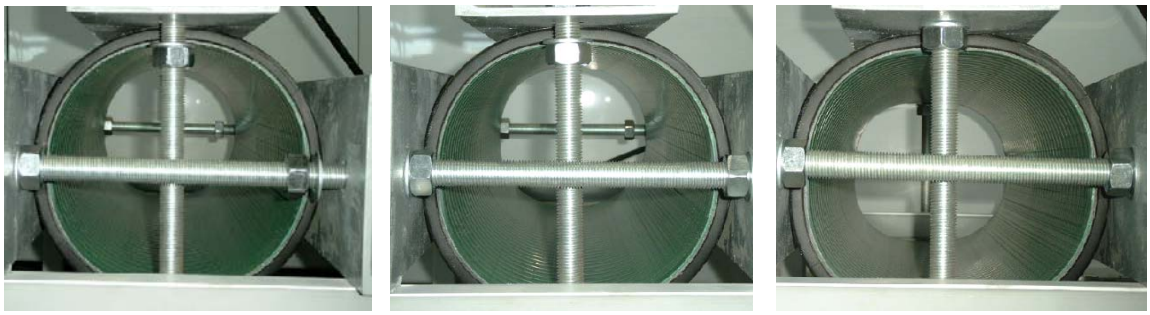
Abb. 110: Aufbau des modifizierten Scheiteldruckversuchs mit seitlicher Stützung, Prüfrohr der Nennweite DN 300

- **Verformung des Rohres:** Das Rohr wird nacheinander durch insgesamt drei Verformungszustände beansprucht. Während die vertikale Rohrinnendurchmesseränderung δ_v von 3% auf 6% und schließlich auf 9 % gesteigert wird, gilt in allen Fällen $\delta_h = 0$.

  Jeder Verformungszustand wird weggeregelt in zwei aufeinander folgenden Phasen eingestellt. Dabei erfolgt die Kontrolle des horizontalen und vertikalen Innendurchmessers durch manuelle Vermessung an den Prüfkörperenden. In Phase 1 wird das Rohr in vertikaler Richtung verformt ohne die Verschiebung der Kämpfer zu behindern. Unter Beibehaltung der vertikalen Verformung werden in Phase 2 mit Hilfe der horizontalen Lasteinleitungskonstruktion die seitlichen Verschiebungen der Kämpfer infolge Phase 1 vollständig zurückgenommen. Anschließend wird der Verformungszustand über 24 h gehalten. Die Prüftemperatur sollte 23°C betragen (vgl. [72]). Abbildung 111 zeigt die drei Verformungszustände beispielhaft für ein Prüfrohr der Nennweite DN 300.

  Während der Prüfung können die erforderlichen Pumpendrücke am Manometer der Hydraulikpumpe abgelesen werden. Darüber hinaus wird das Rohr in regelmäßigen Abständen in Augenschein genommen und dabei auf Veränderungen (z.B. lokale Verformungen, Ablösungen) hin untersucht.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Verformungszustand 1: $\delta_v = 3$ %, $\delta_h = 0$

b) Verformungszustand 2: $\delta_v = 6$ %, $\delta_h = 0$

c) Verformungszustand 3: $\delta_v = 9$ %, $\delta_h = 0$

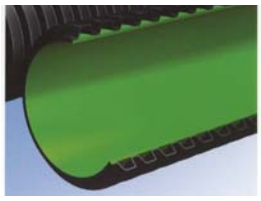
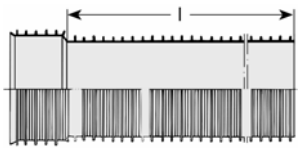
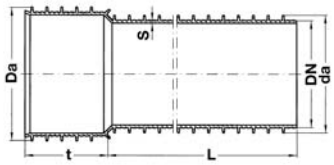
Abb. 111: Prüfrohr in verschiedenen Verformungszuständen (Uporen, DN 300, Fa. Uponor)

- **Versuchsauswertung / Dichtheitsprüfung:** Auf Basis der Messwerte für die Drücke am Hydraulikzylinder kann das Relaxationsverhalten des Rohres erfasst werden. Ergänzend kann nach Abschluss der Versuche eine vereinfachte Dichtheitsprüfung als Wasserfüllstandsprüfung am senkrecht aufgerichteten verformten Prüfrohr durchgeführt werden.

4.5.3 Ergebnisse

Für die beispielhaft durchgeführten Versuche wurden drei jeweils 1,0 m lange Abschnitte von profilierten Kunststoffrohren der Nennweite DN 300 der Firmen Uponor und Wavin verwendet (vgl. Tab. 12). Die Produkte unterscheiden sich hinsichtlich des Rohrwerkstoffs, des Wandaufbaus sowie der Farbgebung (vgl. Abb. 112) und werden unter Einsatz verschiedener Varianten des Wellrohrverfahrens (vgl. Kapitel 2.2.1) hergestellt.

Tab. 12: Übersicht zu den Prüfkörpern

	Probekörper		
	1	2	3
			
Hersteller	Uponor	Wavin	Wavin
Produktname	Uporen	Ultra Rib 1	Ultra Rib 2
Werkstoff	PP	PVC-U	PP-B
Nennweite /d_i	DN 300 / 295	DN 300 / 300	DN 300 / 295

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Die Beanspruchung der Prüfrohre durch die im Prüfkonzept festgelegten Verformungszustände führte zu den nachfolgend beschriebenen **Ergebnissen**:

- Bei allen Prüfkörpern vergrößerte sich die Auflagefläche der Rohre an den Widerlagern mit zunehmender Vertikalverformung. Auch unter der Beanspruchung durch den laut Prüfkonzept extremsten Verformungszustand (δ_v = 9%, δ_h = 0) wurden weder bedeutende Profilverformungen festgestellt noch zeigten sich erkennbare Materialveränderungen oder Risse.
- Sämtliche Prüfkörper zeigten nach Entlastung, auch unter bleibenden Verformungen, keine Undichtigkeiten bei einer vereinfachten Wasserfüllstandsprüfung am senkrecht aufgestellten Prüfkörper.

4.5.4 Dichtheitsprüfung der Rohrverbindung unter Verformung

Im Rahmen des in Kapitel 4.5.2 beschriebenen Prüfkonzeptes wurden weder Rohrverbindungen noch -anschlüsse auf Dichtheit unter Verformungen geprüft. Schwierigkeiten bestehen hinsichtlich der Abdichtung der verformten Rohrenden bzw. der Integration von Seitenanschlüssen in den Versuchsaufbau.

Um zumindest die in diesem Nennweitenbereich weit verbreiteten Steckverbindungen zwischen den Rohren in die Untersuchung einzubeziehen, wurde der vorgenannte Versuchsaufbau so modifiziert, dass eine vertikale Verformung (z.B. δ_v = 6%) im Verbindungsbereich aufgebracht werden kann. Die unverformten Rohrenden werden im Versuch mit kreisförmigen Dichtscheiben abgedichtet (vgl. Abb. 112). In beispielhaften Versuchen hat sich dieser Versuchsbau bewährt.



a) Skizze b) Seitenansicht c) Dichtscheibe

Abb. 112: Versuchsaufbau zur Dichtheitsprüfung unter vertikaler Verformung des Rohrendes

Ein ähnlicher Versuchsaufbau ist auch in DIN EN 1277 [78] beschrieben (vgl. Abb. 113), so dass grundsätzlich auf die dort beschriebene Vorgehensweise zurückgegriffen werden kann.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

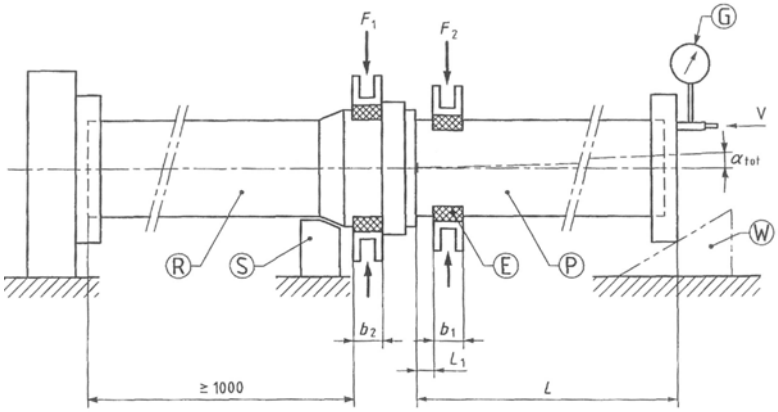


Abb. 113: Dichtheitsprüfung unter Rohrverformung nach DIN EN 1277 [78]

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4.6 Kanalreinigung

4.6.1 Hintergrund

Die Kanalreinigung ist ein wesentlicher Bestandteil der Wartung von Kanalisationen und stellt die Betriebs- und Leistungsfähigkeit eines Entwässerungsnetzes sicher. So wird in Nordrhein-Westfalen das ca. 90.000 km lange öffentliche Kanalnetz fast vollständig innerhalb von 2-3 Jahren gereinigt [52]. Bei den bundesdeutschen Netzbetreibern erfolgt die Kanalreinigung zu 95 % durch das Hochdruckspülverfahren [3]. Da jedoch Hochdruckstrahlen die Rohrleitung in besonderem Maße beanspruchen, bestehen seitens der Netzbetreiber erhebliche Unsicherheiten, ob die vor Ort eingesetzten Materialien den üblichen Drücken und Durchzugsgeschwindigkeiten tatsächlich standhalten. Umfangreiche Untersuchungen in [58] bestätigen, dass hier insbesondere Rohrverbindungen und Anschlüsse Schwachstellen darstellen können. Bisherige Versuche beschränkten sich allerdings auf kleinere Rohr-Nennweiten (z.B. DN 300). So ist weiterhin offen, inwieweit Schadensrisiken an typischen Angriffspunkten profilierter Großrohre zu erwarten sind. Dazu gehören z.B. ausgeprägte Versätze in der bei Großrohren innenliegenden Schweißnaht infolge von zulässigen Maßtoleranzen des Rohrinnendurchmessers (vgl. [4]). Im Rahmen der durchgeführten Kanalbegehungen wurden Versätze bis zu einer Höhe von ca. 3,0 cm beobachtet (siehe Kapitel 3.2). Auch sind Auswirkungen auf die Rohrwandung nicht auszuschließen. Hinweise darauf liefern sowohl in situ beobachtete Ablösungen der gelben Rohrinnenbeschichtung als auch ein im Rahmen der Inaugenscheinnahme von Inspektionsvideos festgestellter Materialabtrag an einer Rohrinnenwand.

Die Technik zur Hochdruck-Reinigung von Großrohren unterscheidet sich von derjenigen, die bei Rohren kleinerer Nennweite eingesetzt wird, durch die Art der verwendeten Düsen. Es kommen vorwiegend flachstrahlende Düsen - so genannte Sohlenreiniger (vgl. Abb. 114) - zum Einsatz.



a) „Super-Bully" (Foto: IKT)
Gewicht: 28,5 kg
Maße: 490*145*140 mm
Fa. Ehle



b) „Bagger-Max 1012" [79]
Gewicht: 45 kg
Maße: 680*340 mm
Fa. USBDüsen



c) „Power-Bulldozer B 04 NA" [80]
Gewicht: 38,5 kg
Maße: 600*240*210 mm
Fa. Brendle-Dübre

Abb. 114: Beispiele für Sohlenreiniger

Diese Geräte sind im Vergleich zu den anderen Düsentypen meistens größer und massiger, um in Abwasserströmen nicht aufzuschwimmen [58], und unterscheiden sich darüber hinaus durch die Ausrichtung der Wasserstrahlen [vgl. [81]. Bezüglich der Beanspruchung von profilierten Großrohren aus Kunststoff durch Sohlenreiniger liegen zur Zeit keine

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Erkenntnisse vor. Auch im Rahmen des Forschungsvorhabens „Kanalreinigung - Düsen, Drücke, Hochdruckstrahlen“ [58] wurde die Wirkung dieser Geräte nur im Rahmen von Praxiseinsätzen oder Laborversuchen an anderen Werkstoffen mit Blick auf die Düsenleistung erfasst.

4.6.2 Prüfkonzept

Ziel des nachfolgend dargestellten Prüfkonzeptes ist die Untersuchung der Widerstandsfähigkeit der Innenwand profilierter Großrohre und deren Verbindungsbereiche gegen Beanspruchungen infolge der Hochdruckreinigung mit Sohlenreinigern.

Der Versuchsablauf sieht die Hochdruckreinigung einer Prüfstrecke mit variierenden Versatzhöhen (vgl. Abb. 115) unter Einsatz eines Sohlenreinigers in Anlehnung an den HD-Systemversuch (vgl. Tab. 13) vor. Anschließend werden die Rohrinnenwand und die Schweißnähte auf Veränderungen hin untersucht. Als Variationsmöglichkeiten kommen u.a. die nachstehend aufgeführten Parameter in Frage:

- Typ des Sohlenreinigers
- Anzahl der Reinigungszyklen
- Zug-Geschwindigkeit
- Wasserdruck- und Volumenstrom
- Versatzhöhe

In [58] werden **fünf Grundbelastungsarten** genannt, die beim Einsatz der HD-Reinigung auftreten können. Es handelt sich dabei um Beanspruchungen aus dem:

a) Auftreffen des HD-Strahls auf die Rohroberfläche

Die aus der HD-Düse austretenden Wasserstrahlen treffen auf die Ablagerungen an der Rohrwand oder in ablagerungsfreien Bereichen unmittelbar auf die Rohroberfläche.

b) Auftreffen von Feststoffpartikeln aus Ablagerungen auf die Rohroberfläche

Aus den aufgewirbelten Ablagerungen werden Feststoffpartikel beschleunigt und treffen mit hoher Geschwindigkeit ebenfalls auf die Rohroberfläche.

c) Schleifen von Düse und Schlauch über die Rohroberfläche

Schlauch und Düse werden entweder durch die Umlenkung des Wasserstrahls im Düsenkörper oder mittels Winde über die Kanaloberfläche gezogen.

d) Fall einer schwebenden Düse auf die Rohrsohle

Der Düsenkörper selbst kann während des Reinigungsvorgangs schweben bzw. abheben und auf die Rohroberfläche fallen.

e) Prall einer stark beschleunigten Düse gegen die Rohrwand

Im Extremfall kann eine Düse durch Fehlverhalten des Bedienpersonals so stark beschleunigt werden, dass sie unkontrolliert gegen die Rohrwandung oder auch gegen seitliche Anschlüsse prallt.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Die in den Punkten a) bis d) beschriebenen Belastungen wurden als praxisrelevant eingestuft und in Prüfmethoden umgesetzt. Das Prallen der Düse wurde dagegen auf grundsätzliche Anwendungsfehler des Bedienungspersonals zurückgeführt, das durch geeignete Betriebsmaßnahmen ausgeschlossen werden muss. Die Umsetzung in eine Prüfmethode wurde deshalb nicht weiterverfolgt [58].

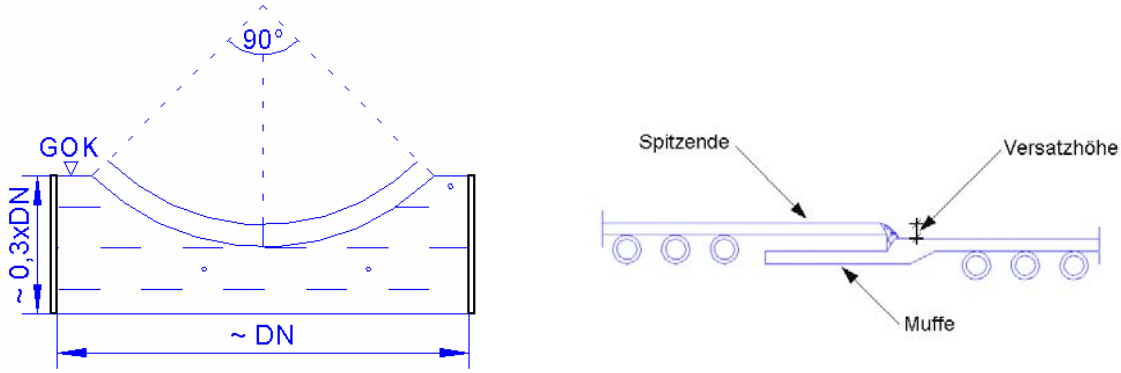
Bei der Anwendung von Sohlenreinigern zur Hochdruckreinigung von Großrohren sind vorwiegend Beanspruchungen der Rohrsohle zu erwarten. Dies gilt nicht nur für das Schleifen von Düse und Schlauch sowie den Fall einer schwebenden Düse, sondern auch für das Auftreffen der HD-Strahlen und von Feststoffpartikeln. Die Einzeldüsen sind im Gegensatz zu rundumstrahlenden Düsen ausschließlich auf den Sohlbereich ausgerichtet. Allerdings treffen die HD-Strahlen in diesem Ausschnitt des Rohrumfangs in der Regel nicht auf Anbindungsstellen von Hausanschlüssen, da diese nach DIN EN 1610 [77] in der oberen Hälfte des Rohrumfangs anzuordnen sind. Lediglich durch HD-Strahlen beschleunigte Feststoffpartikel können auf seitliche Anschlüsse treffen. Die daraus resultierende Beanspruchung ist jedoch bei Großrohren im Vergleich zu Rohren kleiner Nennweite als geringer einzuschätzen, da die Aufprallenergie infolge des größeren Abstands zwischen Rohrsohle und seitlichem Anschluss deutlich niedriger ist.

Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen des vorliegenden Prüfkonzeptes eine nach oben offene Prüfstrecke ohne Anschlüsse aufgebaut, die den Sohlbereich eines Großrohres wiedergibt. Dieser Ansatz trägt darüber hinaus zur Reduzierung des Kostenaufwandes für den Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung bei.

Der **Versuchsablauf** umfasst grundsätzlich die folgenden Schritte:

- **Versuchsaufbau:** Zunächst wird aus Bodenmaterial (z.B. Sand) ein Auflager für die 12,0 m lange Prüfstrecke (< 20 m, vgl. [58]) hergestellt. Die Auflagerbreite richtet sich nach der Nennweite des Prüfprodukts. Anschließend werden auf dieser Bettung vier Rohrviertelschalen von jeweils 3,0 m Länge so aneinandergelegt, dass ihre Lage der einer geradlinig verlaufenden Rohrsohle entspricht. Auf diese Weise entsteht eine nach oben offene Prüfstrecke (vgl. Abb. 115). Schließlich werden die einzelnen Elemente durch Verschweißen miteinander verbunden. Dabei wird an jeder der drei Rohrverbindungen eine vorgegebene Versatzhöhe eingestellt (Rohrstoß 1: 0 / Rohrstoß 2: ½ x max.V_H / Rohrstoß 3: max.V_H). Die maximale Versatzhöhe ergibt sich entweder aus Herstellerangaben oder anhand der zulässigen Maßtoleranzen für den Rohrinnendurchmesser nach [5].

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Querschnitt der Versuchsstrecke b) Verbindungsbereich

Abb. 115: Aufbau der Prüfstrecke

- **Versuchsdurchführung:** Um die möglichen Auswirkungen der verschiedenen Grundbelastungsarten auf die Prüfstrecke getrennt voneinander untersuchen zu können, wurden in Anlehnung an [58] die folgenden **vier** nacheinander durchzuführenden **Prüfmethoden** (Randbedingungen, vgl. Tab. 13) definiert:

  Methode 1: Bei der Prüfmethode **„Düsen-Schleif-Versuch“** wird ein Sohlenreiniger ohne Wasserdruck an der Düse in 50 Zyklen entlang der Prüfstrecke geführt (vgl. Abb. 116). Ein Zyklus umfasst dabei einen Vorlauf (1,0 m/s) und einen Rücklauf (0,1 m/s) der Düse. Unmittelbar vor der Prüfung wird die Rohroberfläche mit Wasser benetzt. Ziel des Versuches ist die Simulation des Schleifens der Düse und des Schlauches.



Abb. 116: Durchführung des „Düsen-Schleif-Versuches“

  Methode 2: Die Prüfmethode **„Düsen-Strahlversuch“** beinhaltet 50 Spülvorgänge mit einem Sohlenreiniger entlang der Prüfstrecke bei einem Druck von 120 bar und einem Durchfluss von ca. 320 l/min (vgl. Abb. 117). Die Geschwindigkeiten des Vorlaufes und des Rücklaufes entsprechen denen der Methode 1. Ziel des Versuches ist die Simulation der Belastung durch den HD-Strahl sowie durch das Schleifen der Düse und des Schlauchs.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH




Abb. 117: Durchführung des „Düsen-Strahlversuches“

Mit Blick auf die Vergleichbarkeit von Ergebnissen unterschiedlicher Versuche ist es notwendig, vor der Prüfung den Druck und den Durchfluss des Spülwassers unter Betriebsbedingungen unmittelbar vor der Düse zu bestimmen. Dazu kann z.B. ein Durchflussmessgerät und ein digitales Druckmanometer eingesetzt werden (vgl. Abb. 118). Um eventuelle zeitliche Schwankungen der Messgrößen bei der Auswertung berücksichtigen zu können, wird die Messung über einen Zeitraum von ca. 10 Minuten durchgeführt.




Abb. 118: Drucksensor (links) und Durchflussmessgerät (rechts)

Methode 3: Die Prüfmethode **„HD-Systemversuch“ beinhaltet zwei Teilprüfungen:**

Bei der **instationären Prüfung** werden bei einem Druck von 120 bar und einem Durchfluss von ca. 320 l/min an der Düse 50 Spülvorgänge mit einem Sohlenreiniger entlang der Prüfstrecke unter Zugabe von Splitt durchgeführt (vgl. Abb. 119). Die Geschwindigkeiten des Vorlaufes und des Rücklaufes entsprechen auch hier denen der Methode 1. Ziel des Versuches ist die Simulation der Belastung durch den HD-Strahl, durch Feststoffpartikel und durch das Schleifen von Düse und Schlauch.




Abb. 119: Durchführung des „HD-Systemversuchs“, instationäre Prüfung

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Bei der **stationären Prüfung** werden eine Stelle der Rohrinnenwand und die drei Schweißnähte bei stillstehender Düse über einen Zeitraum von 3 Minuten durch den HD-Strahl belastet (vgl. Abb. 120).



Abb. 120: Durchführung des „HD-Systemversuchs“, stationäre Prüfung

Methode 4: Bei der Prüfung **„Fallende Düse“** wird der Sohlenreiniger aus einer Höhe von 30 cm (vgl.[58]) auf die Rohrsohle fallen gelassen. Da als Auftrefforte sowohl die Rohrinnenwand als auch der Verbindungsbereich in Betracht kommen, wird der Versuch in jedem dieser Bereiche jeweils ein Mal durchgeführt.

- **Inaugenscheinnahme / Dichtheitsprüfung:** Nach Abschluss jeder der vier angeführten Methoden wird die Prüfstrecke unter besonderer Beachtung der Verbindungsbereiche in Augenschein genommen. Eventuell aufgetretene Veränderungen (z.B. Materialabtrag) werden dokumentiert sowie in Abhängigkeit ihrer Qualität lagemäßig erfasst und vermessen (Ausdehnung, Tiefe).
  Bestehen nach der Inaugenscheinnahme Zweifel an der Dichtheit eines Prüfstreckenbereichs, so sind ggf. nach Abschluss des vollständigen Prüfprogramms Probestücke zu entnehmen und weiteren Untersuchungen zu unterziehen. Denkbar wäre z.B. ein Prüfaufbau nach Abbildung 121. Dabei wird der Probekörper mit der Rohraußenfläche nach unten unverschieblich gelagert. Anschließend wird auf der Prüffläche (Rohrinnenfläche) eine Dichtung mit umlaufendem Rand positioniert. Während der Prüfung, d.h. der Beaufschlagung des Prüfraumes mit Luft- oder Wasserüberdruck, wird die Dichtung mit Hilfe eines Dichtungswiderlagers und einer Anpresskonstruktion an den Probekörper gedrückt.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

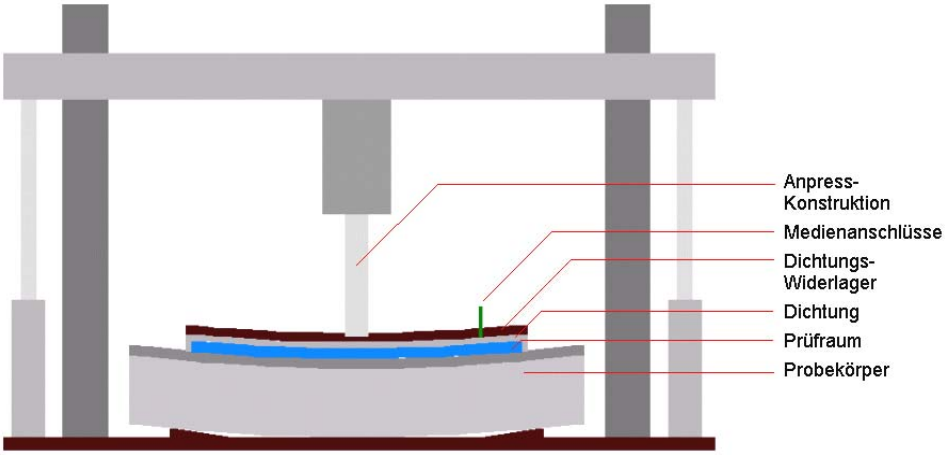
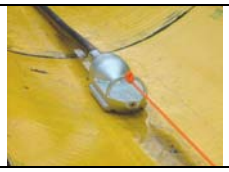
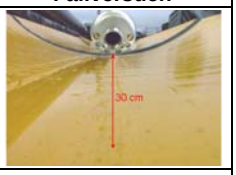


Abb. 121: Skizze eines Aufbaus zur Durchführung von Dichtheitsprüfungen an Probestücken von profilierten Rohren

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

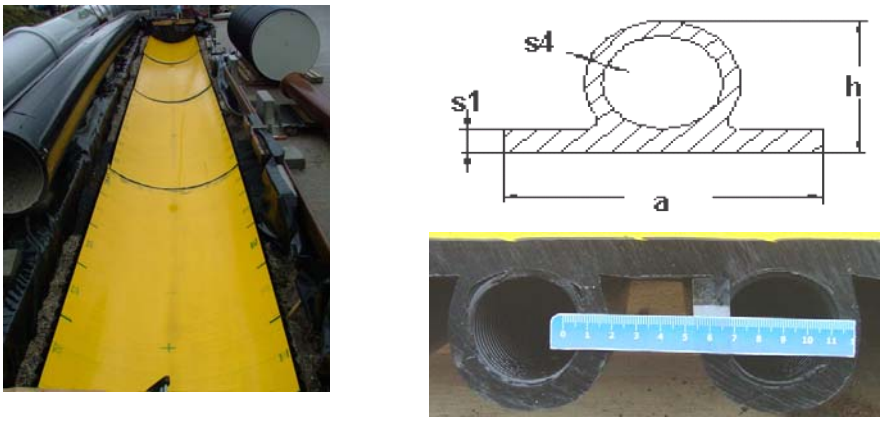
Tab. 13: Randbedingungen der Prüfmethoden in Anlehnung an [58]

Prüfmethode	Nummer	**I.**	**II.**	**III.**	**IV.**
	Bezeichnung	**Düsen-Schleifversuch**	**Düsen-Strahlversuch**	**HD-Systemversuch**	**Düsen-Fallversuch**
	Foto				
Düse	Druck an der Düse	---	(120 ± 3) bar		---
	Durchfluss	---	ca. 320 l/min		---
	Abstrahlwinkel	---	abhängig vom Sohlenreiniger		---
	Anzahl der Düseneinsätze	---	abhängig vom Sohlenreiniger		---
	Durchmesser der Düseneinsätze	---	abhängig vom Sohlenreiniger		---
	Vorlauf-geschwindigkeit	1,0 m/s			---
	Rückzugs-geschwindigkeit	0,1 m/s			---
Prüfgeschiebe	Art	---	---	Winterstreusplitt, gebrochenes Material, Korngröße 2 – 5 mm	---
	Menge	---	---	5 Liter je Spülgang	---
Prüfhaltung	Geometrie	nach oben offene Prüfstrecke aus Viertelschalen eines Großrohrs (Nennweite: in Abhängigkeit des Prüfprodukts)			
	Prüfstrecke	12,0 m			
	Rohrstöße	3			
	Versatzhöhe	Rohrstoß 1: 0 / Rohrstoß 2: ½ x max. V_H /Rohrstoß 3: max. V_H (maximale Versatzhöhe max. V_H nach Herstellerangaben oder DIN 16961-2 [5])			
	Hausanschlüsse	---			
Allgemeines	Anzahl der Reinigungszyklen	50			---
	Stationäre Belastung	---	---	3-minütiger Stillstand der Düse an 4 Stellen: Rohrinnenwand + 3 Rohrstöße	---
	Fallhöhe	---	---	---	30 cm
	Auftreffort	---	---	---	1. Rohrschaft 2. Rohrverbindung

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

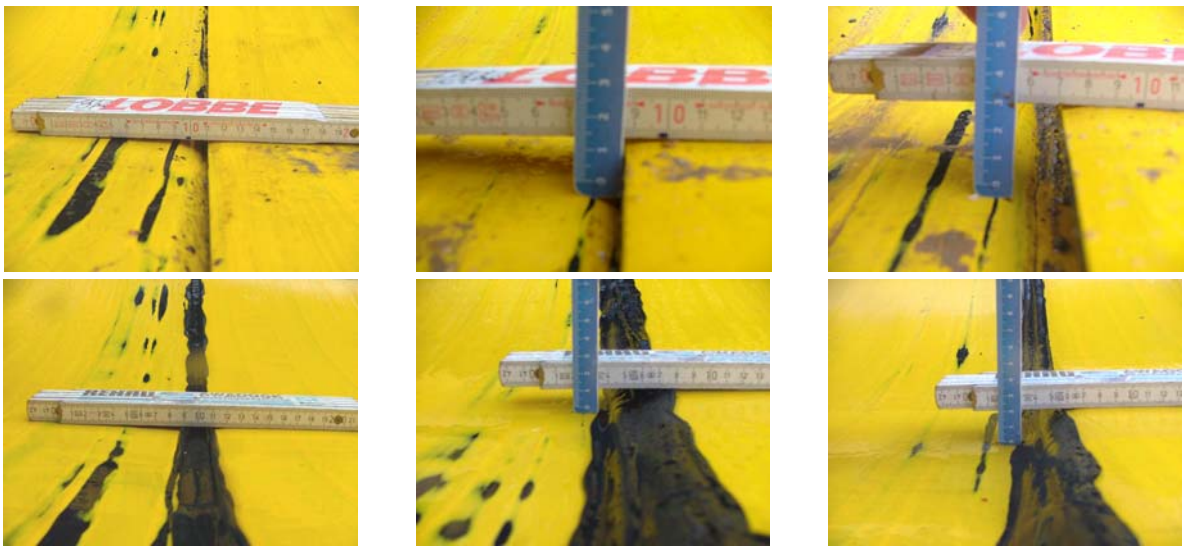
4.6.3 Ergebnisse

Im Rahmen der Entwicklung des Prüfkonzepts wurde beispielhaft eine 12,0 m lange Versuchstrecke auf dem Außengelände des IKT genutzt, die auch für geophysikalische Untersuchungen verwendet wurde (vgl. Kapitel 3.1). Sie bestand aus vier Viertelschalen à 3,0 m Länge eines Rohres der Nennweite DN 1600 aus dem Profilkanalrohrsystem (PKS) der Frank GmbH. Abbildung 122 zeigt zum einen die Prüfstrecke und zum anderen das Rohrprofil (Bez.: PR 54-11.8) des aus Polyethylen (PE 80) hergestellten Rohres. Bei der Verlegung wurden die Rohrviertelschalen so ausgerichtet, dass in den drei Verbindungen Versatzhöhen von 0 cm, 1,5 cm bzw. 3,0 cm (Maximalwert aus Kanalbegehungen an Rohren eines anderen Herstellers, vgl. Kapitel 3) vorlagen. Schließlich wurden die Rohrelemente durch Anwendung des Extrusionsschweißverfahrens miteinander verbunden (vgl. Abb. 123).



a) Ansicht in Längsrichtung b) Grundwanddicke s1 = 10 mm, Profilhöhe h = 70 mm, Schlauchummantelung s4 = 9 mm

Abb. 122: Versuchsstrecke, Länge: 12,0 m, Breite: 1,3 m, Rohrprofil PR 54-11.8



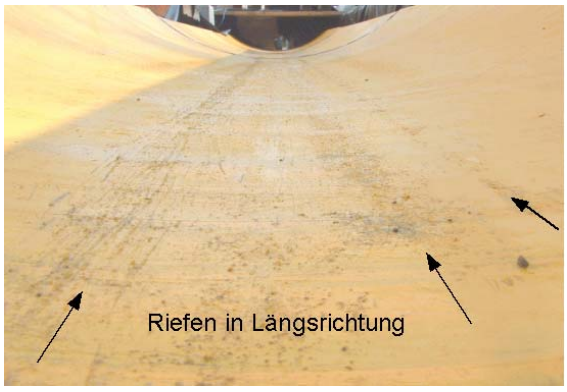
a) Versatzhöhe: 0 cm b) Versatzhöhe: ca. 1,5 cm c) Versatzhöhe: ca. 3 cm

Abb. 123*: Verbindungsbereiche mit unterschiedlichen Versatzhöhen im Bauzustand (Reihe oben) und mit Extrusionsschweißnaht (Reihe unten)*

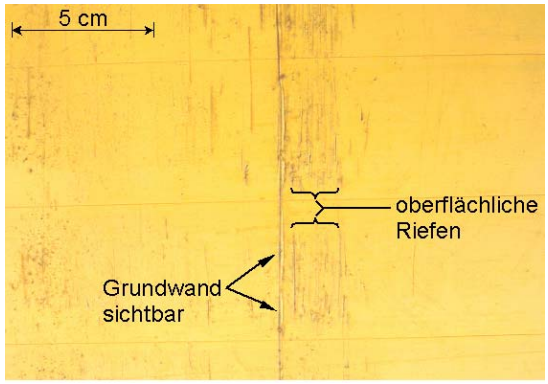
© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Im Vordergrund der Versuche stand die grundsätzliche Überprüfung des Versuchskonzepts. Bei der beispielhaften Umsetzung der in Kapitel 4.6.2 beschriebenen Prüfmethoden kam daher lediglich ein Sohlenreiniger („Super-Bully“, Ehle Vertriebsgesellschaft) zum Einsatz (vgl. Abb. 114). Auf eine Bewertung des Rohrprodukts sowie der Verbindungen hinsichtlich der Widerstandsfähigkeit gegenüber den hier aufgebrachten Beanspruchungen aus HD-Reinigung wird entsprechend verzichtet. Um dennoch einen ersten Eindruck über mögliche Auswirkungen der Kanalreinigung zu geben, werden nachfolgend einige Beobachtungen zusammengefasst:

- Nach den insgesamt 50 Zyklen des **Düsen-Schleifversuchs** zeigten sich infolge des Schleifens der Düse sowohl an der Rohrinnenwand als auch an den Schweißnähten geringfügige Veränderungen. Die Rohrinnenwand wies in Düsen-Zugrichtung verlaufende Riefen auf, die in einem Streifen von der Breite des Sohlenreinigers über die gesamte Prüfstreckenlänge festgestellt wurden (vgl. Abb. 124 (a)). In den meisten Fällen war die gelbe Innenschicht durch diese Veränderungen lediglich oberflächlich betroffen. An einigen Stellen erreichte die Riefentiefe auch die darunter liegende schwarze Grundwand (vgl. Abb. 124 (b)). An den Schweißnähten wurde als Folge des Düsenschleifens geringer Materialabtrag beobachtet (vgl. Abb. 125 (a-c)).

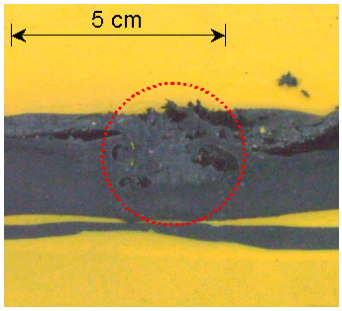


a) Riefen in der Prüfstreckensohle

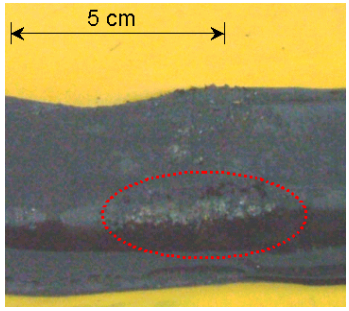


b) Detailansicht von Riefen unterschiedlicher Tiefe

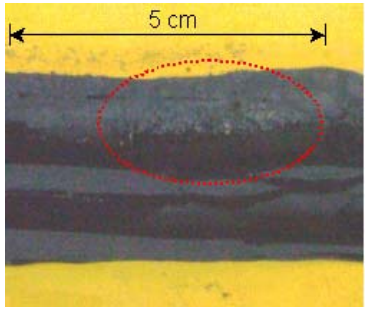
Abb. 124: Riefen auf der Rohrinnenwand nach dem Düsen-Schleifversuch



a) Schweißnaht 1
Versatzhöhe: 0 cm



b) Schweißnaht 2
Versatzhöhe: 1,5 cm



c) Schweißnaht 3
Versatzhöhe: 3,0 cm

Abb. 125: Materialabtrag an den Schweißnähten nach dem Düsen-Schleifversuch

- Nach dem **Düsen-Strahlversuch** zeigten sich aufgrund des geringen Abstrahlwinkels erwartungsgemäß keine Materialveränderungen infolge der HD-Strahlen. Darüber

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

hinaus wurde kein weiterer Materialabtrag durch das Schleifen der Düse festgestellt. Die Ursache hierfür liegt vermutlich in der im Vergleich zum Düsen-Schleifversuch reduzierten Reibung zwischen der Düse und der Prüfstrecke durch das Reinigungsmedium (Wasser).

- Der **HD-Systemversuch** umfasste zum einen **stationäre** (mit unbewegter Düse) **und** zum anderen **instationäre Belastungen** (mit bewegter Düse). Im Rahmen der stationären Versuche wurden nacheinander drei verschiedene Stationen der Prüfstrecke für jeweils drei Minuten durch eine HD-Strahl-Dauerbelastung der stillstehenden Düse beansprucht. Nach keinem dieser drei Einzelversuche zeigten sich an den ausgewählten Stationen (1. Rohrverbindung mit Versatzhöhe 0 cm; 2. Rohrinnenwand; 3. Rohrverbindung mit Versatzhöhe 3,0 cm) Materialveränderungen. Der instationäre Versuch beinhaltete die Simulation von Geschiebe durch die Verteilung einer definierten Menge von Winterstreusplitt auf der Prüfstrecke. Bereits während des ersten Düsenvorlaufs wurde das Prüfgeschiebe durch die HD-Strahlen aus der nach oben offenen Prüfstrecke geschleudert. Da nur wenige der beschleunigten Feststoffpartikel auf die Rohroberfläche trafen wurde der Versuch vorzeitig abgebrochen. Vor diesem Hintergrund zeigten sich bei der anschließenden Inaugenscheinnahme der Prüfstrecke erwartungsgemäß keine Materialveränderungen.

Die Versuche dienten vorrangig dem Ziel, die Prüfabläufe und die Prüftechnik zu hinterfragen sowie die Einsatzbereiche des Prüfkonzepts einzugrenzen. Mit Blick auf **Prüftechnik und -ablauf** lassen sich aus den beispielhaften Prüfungen die folgenden Schlussfolgerungen ziehen sowie Diskussionspunkte und Verbesserungspotenziale nennen:

- Beim **Düsen-Schleifversuch** ist für den Düsenvorlauf eine äußere Zugkraft erforderlich. Sollte die geforderte konstante Vorlaufgeschwindigkeit durch manuelles Ziehen nicht erreichbar sein, so bietet sich als geeignetes Hilfsmittel die Verwendung einer maschinell betriebenen Zugvorrichtung (z.B. Seilwinde) an, wie sie auch auf dem HD-Spülfahrzeug für den Rücklauf der Düse angeordnet ist.
- Werden als Ergebnis der verschiedenen Einzelprüfungen bedeutende Veränderungen an der Rohrinnenwand oder an Schweißnähten beobachtet, die Anlass zur Unsicherheit hinsichtlich der **Dichtheit** der Prüfstrecke geben, so können nach Abschluss des gesamten Prüfprogramms beispielsweise Dichtheitsprüfungen an kritischen Teilbereichen durchgeführt werden. Dazu werden aus der Prüfstrecke Probestücke entnommen und einer Unterdruckprüfung unterzogen.
- Die Verwendung einer nach oben offenen **Prüfstrecke aus Rohrviertelschalen** hat sich vor dem Hintergrund der Kostenreduzierung für den Versuchsaufbau bewährt. Einsparungen ergeben sich nicht nur hinsichtlich des Materials, sondern auch in Bezug auf das Personal, denn der Zeitaufwand für das Rohrverschweißen wird durch die geringere Schweißnahtlänge erheblich verkürzt. Neben diesem positiven Gesichtspunkt können sich aus dem o.g. Versuchsaufbau jedoch auch Einschränkungen hinsichtlich der Umsetzung des Prüfkonzeptes ergeben. So zeigte sich im Rahmen des instationären HD-Systemversuchs, dass die Beanspruchung der Prüfstrecke durch beschleunigte Feststoffpartikel nicht realitätsnah simuliert werden konnte.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

- Die **lebensdauer-orientierten Kurzzeitversuche** mit jeweils 50 Lastzyklen dienen der Simulation der während des Kanalbetriebs zu erwartenden **Reinigungsmaßnahmen**. Bei der Prüfung werden allerdings Viertelschalen eines Neurohres eingesetzt, so dass das Langzeitverhalten des Materials, und hier insbesondere Effekte aus Werkstoffalterung, nicht berücksichtigt werden.
- Die **Anzahl** der **Reinigungszyklen** ist bei der Prüfung von profilierten Großrohren aus Kunststoff ggf. auch in Abhängigkeit der Nutzungsart zu wählen. So werden Großrohre häufig auch für den Bau von Stauraumkanälen verwendet, die höheren Reinigungshäufigkeiten unterliegen.

Die **Einsatzbereiche des Prüfkonzeptes** lassen sich wie folgt näher beschreiben:

- Der Einsatz des Prüfkonzeptes bietet sich sowohl im Rahmen von **Tests bestehender Rohrprodukte** (z.B. zur Bestätigung zulässiger Versatzhöhen) als auch der **Entwicklung neuer Rohrprodukte** an. So können z.B. Veränderungen beim Profilaufbau, dem verwendeten Kunststoffmaterial oder dem Verbindungssystem die Widerstandsfähigkeit des Rohrsystems gegenüber Beanspruchungen aus der Kanalreinigung beeinflussen.
- Auch Veränderungen auf der Seite der **HD-Reinigungstechnik** können ein Anlass für die Durchführung von Reinigungsversuchen sein. Hierzu gehören beispielsweise höhere Reinigungsdrücke oder konstruktive Änderungen an den Sohlreinigern (z.B. Erhöhung der Masse).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4.7 Wasseraußendruckprüfung

4.7.1 Hintergrund

An profilierte Kunststoffrohre mit großen Durchmessern werden besondere Anforderungen hinsichtlich der Standsicherheit gestellt. Ein Einsturz des Rohr-Boden-Systems kann hier weitreichende Konsequenzen haben, wie Bodeneinbrüche und Setzungen an der Bodenoberfläche mit möglichen Gefährdungen für den Verkehr und angrenzende Bauwerke. Besondere Unsicherheiten bestehen bei den Netzbetreibern hinsichtlich eines allmählichen Versagens durch Kriecherscheinungen, wie es z.B. unter Wasseraußendruck als Stabilitätsversagen bekannt ist.

Das Arbeitsblatt A 127 des DWA-Regelwerks [33] enthält in Kapitel 9.6 für die Bemessung von profilierten Rohren ergänzende Hinweise, nach denen die Eignung der Profilabmessungen in Einzelgutachten nachzuweisen ist. Von zentraler Bedeutung ist dabei, dass der Ansatz der äquivalenten Wanddicke, d.h. eines glattwandigen Rohres gleicher Rohrsteifigkeit, sowohl für Spannungs- als auch für Stabilitätsnachweise nicht zulässig ist. Darüber hinaus wird ein experimenteller oder rechnerischer Nachweis der Profilsteifigkeit (Beulwiderstand dünnwandiger Profilteile) gefordert. Für rechnerische Grundlagen können Regelwerke wie DIN 18800-3 [82] bzw. DIN 18800-4 [83] zu Hilfe genommen werden. Allerdings sind die dort angegebenen Abminderungsfaktoren nicht auf Kunststoffe ausgelegt. Um die erforderlichen Nachweise rechnerisch erbringen zu können, müsste daher in diese Richtung noch Grundlagenarbeit geleistet werden.

Die bisher allgemein gehaltenen Regelungen sollen in einem ATV-Merkblatt M 127-3 zur statischen Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen aus profilierten Kunststoffrohren, das sich derzeit in der Bearbeitung befindet, präzisiert werden. Da bisher allerdings erst wenige Erkenntnisse hinsichtlich des Beulverhaltens von profilierten Rohren vorliegen, wurden Untersuchungen zur Erfassung einzelner Profilrohrtypen durchgeführt (vgl. [84]). Diese beschränkten sich jedoch bisher auf kleinformatige Rohre (DN 300) mit Mehrschichtquerschnitt. Inwieweit ähnliche Ergebnisse auch für profilierte Rohre mit aufgelösten Querschnitten und Rohre größeren Durchmessers zu erwarten sind, bleibt demnach offen. Die nachfolgend dargestellten Untersuchungen beschränken sich ebenfalls auf die Untersuchung kleinformatiger Rohre, allerdings mit aufgelöstem Querschnitt.

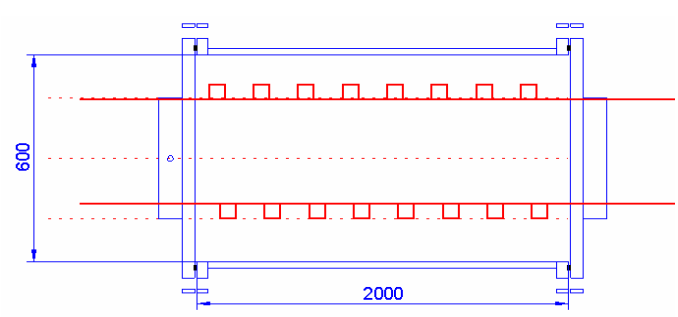
4.7.2 Prüfkonzept

Ziel des vorliegenden Prüfkonzeptes ist es, für profilierte Kunststoffrohre der Nennweite DN 300 einen Zusammenhang zwischen hydrostatischem Außendruck und Beulverhalten herzustellen. Dazu werden Beulversuche im Maßstab 1:1 durchgeführt, um anhand der Ergebnisse bereits existierende theoretische Modelle für den rechnerischen Nachweis überprüfen zu können.

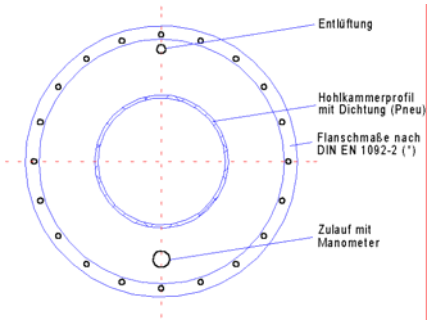
Der in Abbildung 126 dargestellte Versuchsstand wurde mit Blick auf seine Dichtheit und Standsicherheit für Drücke bis 10 bar dimensioniert. Um Randstörungen durch die Lagerung der Prüfrohre zu vermeiden, wurde die Prüfraumlänge so bemessen, dass ein Einfluss auf die Beullasten nahezu ausgeschlossen ist. Vorberechungen in [85] ergaben, dass diese

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Effekte ab einer Prüfraumlänge von 2,0 m im vorliegenden Fall (Nennweite DN 300) vermieden werden. Die Durchgänge der an den Stirnseiten angeordneten Dichtscheiben ermöglichen sowohl die Inaugenscheinnahme als auch die Zugänglichkeit des Prüfrohrinnenraumes während der Prüfung (vgl. Abb. 126).



a) Skizze des Längsschnittes



b) Skizze der Stirnseite (*[86])



c) Seitenansicht



d) Ansicht einer Stirnseite

Abb. 126: Versuchsstand für Beulversuch, Gussrohr (DN 600, L = 2000 mm, Druckstufe: PN 10) mit Dichtscheiben an den Stirnseiten

Der **Versuchsablauf** umfasst grundsätzlich die folgenden Schritte:

- **Voruntersuchung:** Profilierte Kunststoffrohre für die Abwassertechnik bestehen aus viskoelastischen Werkstoffen (Thermoplaste, vgl. Kapitel 2.3). Es handelt sich dabei um Materialien mit relativ hoher Kriechneigung, d.h. der rechnerische Elastizitätsmodul E und damit auch die Ringsteifigkeit S_R sind abhängig von der Belastungsdauer t. Zur Erfassung dieses zeitabhängigen Materialverhaltens wird zunächst an einem Rohrabschnitt, der dem Typ des Prüfrohrs entspricht, ein 24-Stunden-Scheiteldruckversuch nach DIN 16961-2 [5] durchgeführt (vgl. Abb. 127).



a) Versuchsaufbau



b) Lasteinleitung



c) Lage der Wegaufnehmer

Abb. 127: Ringsteifigkeitsversuch an Ultra Rib 1-Rohr (DN 300) nach [5]

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Mit Hilfe der dabei kontinuierlich gemessenen Vertikalverschiebungen d_v wird die **Ringsteifigkeit S_R** berechnet:

$$S_R(t) = \frac{F}{\Delta d\ (t) * L} * \xi \qquad \text{(Gleichung 4.7.1)}$$

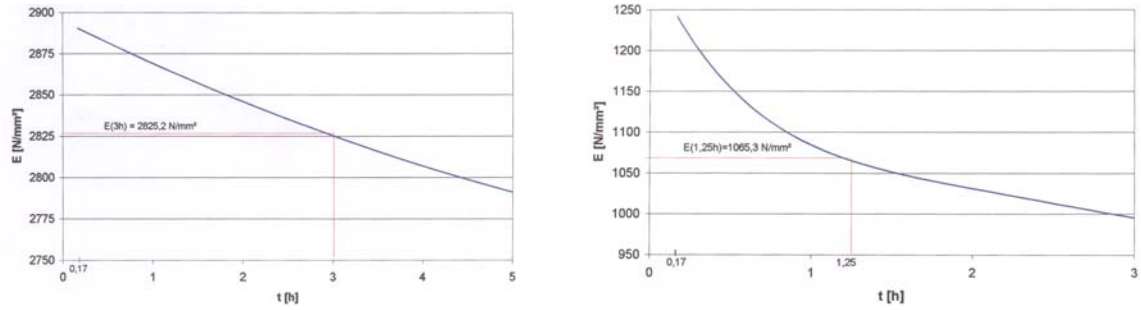
mit F = Scheiteldruckkraft in N
Δd = Mittelwert der erfassten Vertikalverschiebungen in mm
L = Länge des Probestücks
ξ = 0,1488 + 0,2 x $\Delta d_m(t) / d_i$ = Verformungsbeiwert nach [5]
d_i = Innendurchmesser des Probestücks

Im nächsten Schritt wird mit der Ringsteifigkeit S_R der **Kriechmodul E(t)** ermittelt (vgl.[33]):

$$E\ (t) = \frac{S_R(t) * r^3}{I} \qquad \text{(Gleichung 4.7.2)}$$

mit $S_R(t)$ = Ringsteifigkeit nach Gleichung 4.7.1
r = Radius bis zur neutralen Faser der Rohrwandung in mm
I = Trägheitsmoment der Rohrwandung in mm^4/mm

Abbildung 128 zeigt beispielhaft die graphische Darstellung von E(t) der Werkstoffe PVC-U und PP für Belastungszeiten von 0,17 bis 5 Stunden bzw. 0,17 bis 3 Stunden.



a) PVC-U (Probekörper: Ultra Rib 1) b) PP (Probekörper: Uporen)

Abb. 128: Durch Scheiteldruckversuche an Rohrabschnitten der Nennweite DN 300 ermittelte Kriechmoduln [87]

Nach Arbeitsblatt A 127 des DWA-Regelwerks [33] kann die **Beullast** krit p_a (kritische Last) **für ein ungebettetes Rohr** auf der Grundlage der Ringsteifigkeit $S_R(t)$ bzw. des rechnerischen E-Moduls E(t) ermittelt werden:

$$krit\ p_a(t) = 3 * S_R(t) = 3 * \frac{E(t) * I}{r_m^3} \qquad \text{(Gleichung 4.7.3)}$$

D.h., anhand der Gleichung 4.7.3 kann im Vorfeld eines Wasseraußendruckversuchs für einen bestimmten hydrostatischen Wasserdruck die zugehörige Beanspruchungsdauer bis zum Einsetzen des Beulens abgeschätzt werden. Bei der Versuchsauswertung ist jedoch zu beachten, dass sich die Beanspruchungen eines Probekörpers infolge

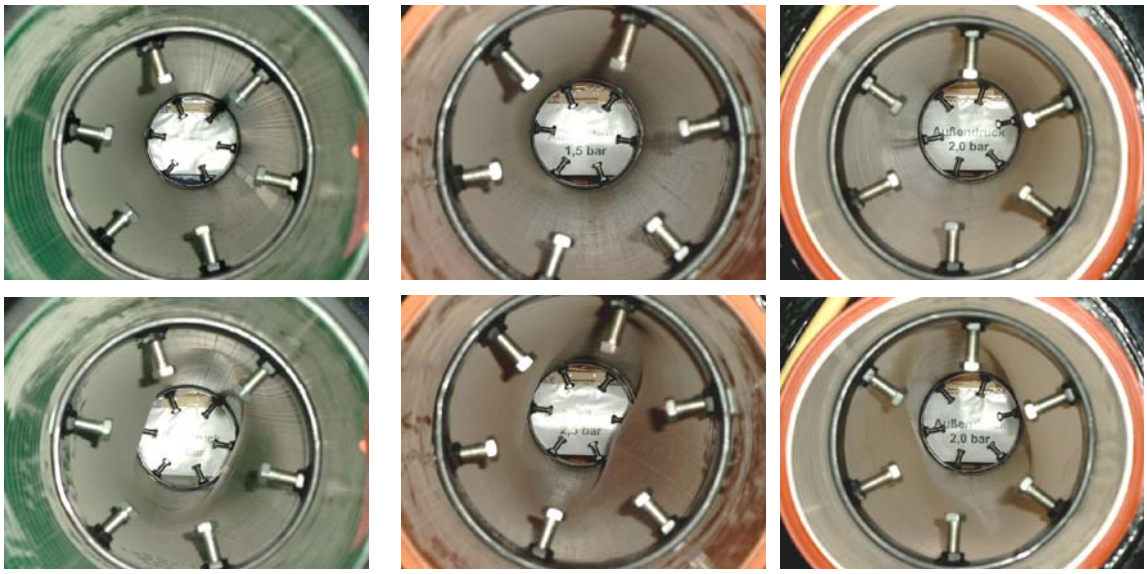
© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Wasseraußendruck wesentlich von denen unterscheiden, die durch Scheiteldruck hervorgerufen werden. Aus diesem Grund kann das **Ergebnis eines Wasseraußendruckversuches** von der Vorausberechnung nach Gleichung 4.7.3 abweichen. In diesem Fall dient dieser Versuch als **Indikator**, ob unter Wasseraußendruck möglicherweise **Profilversagen** auftreten kann oder bei stark **nicht-linearem Werkstoffverhalten** in der Bemessung entsprechende Werkstoffgesetze zu berücksichtigen sind (z.B. nicht-lineares Spannungs-Dehnungs-Diagramm).

- **Versuchsaufbau:** Der Versuchsstand (vgl. Abb. 126) besteht aus einem 2,0 m langen Gussrohr der Nennweite DN 600, das für die Druckstufe PN 10, d.h. einen Wasserdruck von maximal 10 bar, ausgelegt ist. An beiden Rohrenden sind über Flanschverbindungen speziell angefertigte Dichtscheiben montiert. Diese Bauelemente verfügen über kreisrunde Durchgänge mit innenliegenden Pneus zur äußeren Abdichtung von Prüfrohren mit Außendurchmessern zwischen 330 bis 340 mm. Darüber hinaus sind an den Dichtscheiben Anschlüsse für den Wasserzulauf (inkl. Manometer) und die Entlüftung montiert.
  Das Prüfrohr wird auf 2,6 m abgelängt und zwischen den Profilen in den Bereichen der Dichtscheiben-Pneus mit umlaufenden Ringdichtungen versehen. Nach dem Einschieben des Prüfrohres in den Behälter werden die Pneus der Dichtscheiben mit Luftdruck beaufschlagt. Um ein Einbeulen des Prüfrohres aufgrund des Dichtscheibendrucks zu verhindern, werden zwei Stahlringe im Prüfrohr als Widerlager positioniert und verspannt. Im letzten Schritt wird der Prüfraum mit Wasser gefüllt und per Augenschein auf eventuelle Undichtigkeiten kontrolliert. Der Druck im Prüfraum wird von einem Manometer angezeigt. Hinsichtlich der Erfassung der Rohrverformungen besteht noch Entwicklungsbedarf, da die exakte Lage des sich beim Beulversagen deutlich verformenden Rohrquerschnitts im Voraus nicht bekannt und die Positionierung von Sensoren daher unbestimmt ist (vgl. [88]).

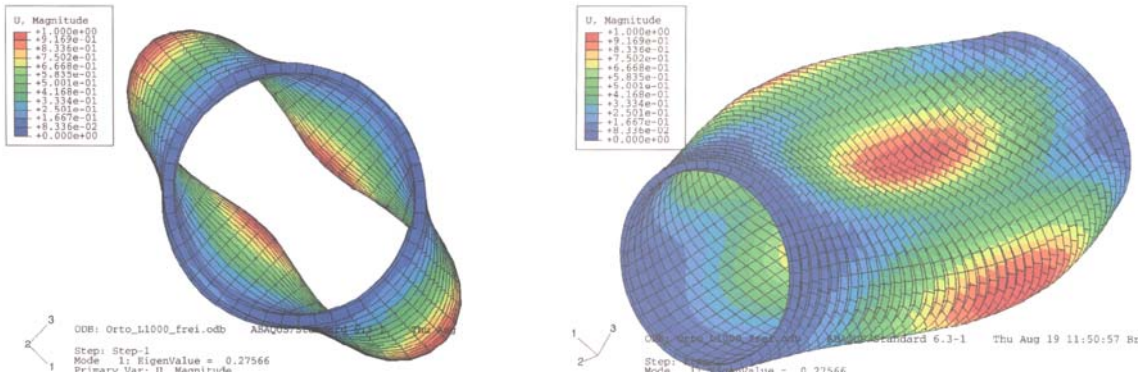
- **Versuchsdurchführung:** Der geforderte, hydrostatische Wasserdruck wird in kurzer Zeit stufenweise aufgebracht und danach konstant gehalten. Die Laststufe und die Dauer des Kriechversuches orientieren sich dabei an Berechnungen nach Gleichung 4.7.3 bzw. FEM-Berechnungen. Da Abweichungen zwischen der tatsächlichen und der vorausberechneten Beanspruchbarkeit möglich sind, wird die Laststufe im Versuch 0,5 bar niedriger als der errechnete Wert angesetzt, um ein vorzeitiges Versagen während der Lastaufbringung zu vermeiden. Der Versuch wird beendet, wenn Rohrverformungen erkennbar sind bzw. der Druck im Prüfraum abfällt. Abbildung 129 stellt Bilder von unverformten und verformten Rohren einander gegenüber. Die Rohre versagen bei Erreichen der Beullast zweiwellig, d.h. in Form einer Ellipse. Diese Verformungsfigur stimmt mit dem theoretisch hergeleiteten Eigenwert und der zugehörigen Eigenform (s. Beispiel in Abb. 130) überein (vgl.[87], [85]).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Rohr 1: Uporen b) Rohr 2: Ultra Rib 1 c) Rohr 3: Ultra Rib 2

Abb. 129: Vergleich unverformter und verformter Prüfrohrquerschnitte



a) Ansicht von vorne b) Isometrische Ansicht

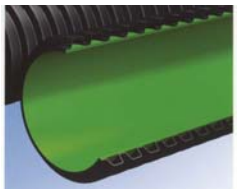
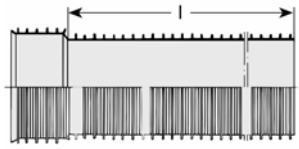
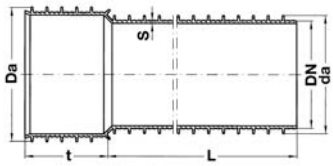
Abb. 130: Beulform einer orthotropen Schale (Ultra Rib 2, DN 300), aus [85]

4.7.3 Ergebnisse

Im Rahmen der Versuchsdurchführung wurde von drei unterschiedlichen Produkten beispielhaft je ein Probekörper der Nennweite DN 300 eingesetzt (vgl. Tab. 14). Die Probekörper unterschieden sich hinsichtlich des Werkstoffes und des Profils.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Tab. 14: Prüfrohre unterschiedlicher Hersteller

	Probekörper		
	1	2	3
Profil			
Hersteller	Uponor	Wavin	Wavin
Produktname	Uporen	Ultra Rib 1	Ultra Rib 2
Werkstoff	PP	PVC-U	PP-B
Nennweite /d_i	DN 300 / 295	DN 300 / 300	DN 300 / 295

Im Vordergrund der beispielhaften Prüfungen standen die Bewertung der Prüfabläufe und Prüftechnik sowie die Eingrenzung der Einsatzbereiche des Prüfkonzepts. Auf eine Bewertung der eingesetzten Produkte wird verzichtet, da lediglich einzelne Prüfkörper unterschiedlicher Eigenschaften geprüft wurden.

Mit Blick auf **Prüftechnik**, **Prüfablauf** und **FEM-Berechnungen** lassen sich aus den beispielhaften Prüfungen die folgenden Schlussfolgerungen ziehen und Verbesserungspotenziale ableiten:

- Die Dichtheit des **Versuchsaufbaus** konnte bis zu einem Wasserdruck von 3,0 bar **bestätigt** werden. Insbesondere die äußere Abdichtung der Prüfrohre mit Hilfe der Pneus, den eingelegten Dichtringen und den innen angeordneten Stahlringen als Widerlager hat sich bewährt.
- Die **Versuchsergebnisse** und die kritischen Beullasten nach Arbeitsblatt A 127 des DWA-Regelwerks (Gl. 4.7.3) stimmen bei Berücksichtigung der im Scheiteldruckversuch ermittelten Kriechmoduln gut überein. Die Abweichungen liegen zwischen ±6 %. Dagegen konnten die zwischen 20 - 30 % geringeren Beullasten aus FEM-Berechnungen durch die im Rahmen des vorliegenden Projektes durchgeführten Versuche nicht bestätigt werden (vgl. [87]).
- Die maximalen Rohrverformungen wurden bei allen Versuchen in etwa in Rohrmitte beobachtet (vgl. Abb. 129). Die unterschiedliche Lage der maximalen Verformungen bestätigt das Problem einer aussagekräftigen **Erfassung der Verformungen** mittels Messtechnik. Wegen der großen Bedeutung der Verformungen und des Zeitpunktes ihres Beginns für die Versuchsauswertung sollten jedoch bei zukünftigen Versuchen die Verformungsamplituden und ihre zeitliche Entwicklung messtechnisch erfasst werden. Hinsichtlich der Umsetzung dieser Anforderung besteht noch Entwicklungsbedarf.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

- Im Rahmen eines der drei durchgeführten Versuche versagte das Prüfrohr bei der Steigerung des Prüfdruckes um 0,2 bar schlagartig. Um die Beullast exakter ermitteln zu können, ist eine Verfeinerung der **Prüfdruckeinstellung** erforderlich.
- Die **Nutzung des** beschriebenen **Prüfaufbaus** ist auf Rohre mit Außendurchmessern zwischen 330 und 340 mm beschränkt. Aufgrund dieser engen Grenzen und der großen Unterschiede im Wanddickenaufbau einzelner Produkte können derzeit nicht alle am Markt angebotenen Rohre dieser Nennweite getestet werden. Durch Einsatz von Dichtscheiben mit anderen Durchgangsdurchmessern könnte der Einsatzbereich des Versuchsstandes auf kleinere und größere Prüfrohr-Abmessungen erweitert werden. Die Obergrenze wird dann zum einen durch den Durchmesser des Prüfraumes bestimmt und zum anderen durch die aus den Beulrandbedingungen abgeleitete Mindest-Prüfraumlänge.

Die **Einsatzbereiche des Prüfkonzeptes**, insbesondere mit Blick auf den **Prüfaufwand,** lassen sich wie folgt näher beschreiben:

- Die Anwendung des Prüfkonzeptes bietet sich bei der **Produkt-Neuentwicklung** bzw. bei der Bestimmung der **Anwendungsgrenzen** bestehender Produkte an.
- Auf der Grundlage des Prüfkonzeptes können Versuchsreihen durchgeführt werden, um das **FEM-Modell** zur Simulation des Lastfalles „hydrostatischer Außenwasserdruck“ mit Blick auf die **Anwendung auf Großrohre** zu **optimieren**. Dies beinhaltet insbesondere die Berücksichtigung möglicher geometrischer Imperfektionen, wie z.B. Wanddickenschwankungen und Schweißnähte, innerhalb eines einzelnen Rohres.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4.8 Profilbelastung durch Normalkraft

4.8.1 Hintergrund

Mit Hilfe des in Kapitel 4.7 beschriebenen Prüfkonzeptes wird der Zusammenhang zwischen hydrostatischem Außendruck und globalem Beulverhalten für profilierte Kunststoffrohre der Nennweite DN 300 im Maßstab 1:1 untersucht. Auf dieser Basis können die Berechnungsgrundlagen des für den rechnerischen Stabilitätsnachweis entwickelten FEM-Modells bzw. die Anwendbarkeit der Gleichung 4.7.3 kalibriert bzw. bestätigt werden.
Bei diesem Versuchskonzept bleibt jedoch der Einfluss aus komplexen Profilgeometrien und hohen Normalkraftbeanspruchungen, die bei gebetteten Rohren entstehen können, unberücksichtigt. Dadurch ist nicht auszuschließen, dass vor oder mit dem globalen Versagen ein Profilversagen eintritt, und es besteht das Risiko einer Fehlkalibrierung des Berechnungsmodells.

4.8.2 Prüfkonzept

Ziel des vorliegenden Prüfkonzeptes ist die Entwicklung eines Versuchsaufbaus zur Erfassung des Verformungsverhaltens des Profils unter hoher Normalkraftbeanspruchung, um auf der Basis der Versuchsergebnisse die Aussagekraft des FEM-Modells für den rechnerischen Stabilitätsnachweis in Bezug auf diesen Beanspruchungszustand zu überprüfen. Zur Minimierung der durch die Prüfkörperkrümmung bedingten Biegemomentenbelastung werden die Versuche an kleinformatigen Wandausschnitten (Druckkassetten) durchgeführt. Abbildung 131 zeigt eine Skizze des Versuchsaufbaus.

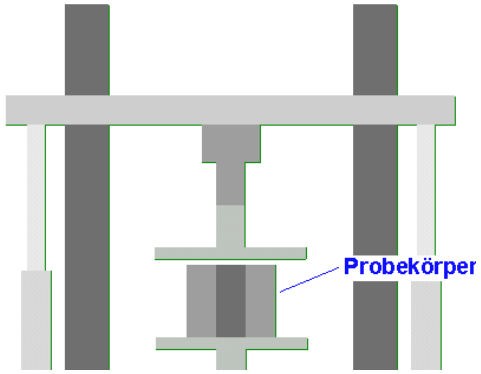


Abb. 131: Skizze des Versuchsaufbaus

Der **Versuchsablauf** umfasst grundsätzlich die folgenden Schritte:

- **Versuchsaufbau:** Im ersten Schritt wird aus dem zu untersuchenden profilierten Großrohr ein kleinformatiger Wandausschnitt herausgetrennt. Dessen Breite entspricht der eines Profils. Die Länge des gekrümmten Druckstabes wird so gewählt, dass die rechnerischen Spannungen im Wesentlichen durch die Normalkraft bestimmt werden. Nach Voruntersuchungen in [89] ist diese Voraussetzung bei einem Verhältnis des Bogenstiches zur Sehnenlänge in Höhe von ca. 1/40 bzw. der Sehnenlänge zur Nennweite von 1/10 gegeben. Daraus ergibt sich beispielsweise für ein Rohr der Nennweite DN 2000 eine Sehnenlänge von ca. 200 mm. Die Profilschnittflächen sind eben und parallel zueinander herzustellen.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Im nächsten Schritt wird der Probekörper so zwischen zwei ebenen, horizontal ausgerichteten und zueinander parallelen Lastplatten positioniert, dass die Prüfkraft senkrecht auf die Profilschnittflächen wirken kann (vgl. Abb. 132).



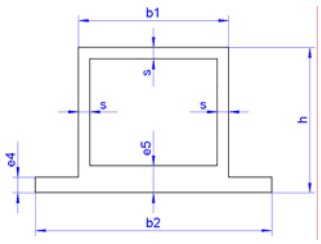
a) Gesamtansicht b) Detailansicht 1 c) Detailansicht 2

Abb. 132: Versuchsaufbau zur Belastung von Profilen durch Normalkraft

- **Versuchsdurchführung:** Zunächst wird der Kontakt zwischen der oberen Lastplatte und der Druckkassette hergestellt. Anschließend wird die Belastung innerhalb von 10 Minuten kontinuierlich, d.h. mit konstanter Kraftzunahme, bis zur Prüfkraft F gesteigert und zur Berücksichtigung des Kriechverhaltens für 24 Stunden gehalten. Die Prüfkraft wird dabei - in Anlehnung an FEM-Berechnungen - so gewählt, dass eine ausgeprägte Verformung zu erwarten ist. Während der Prüfung werden kontinuierlich die Kraft und der Weg der Lastplatte gemessen. Darüber hinaus wird auch die Umgebungstemperatur erfasst und aufgezeichnet.
- **Versuchsauswertung:** Anhand der Messkurven für die Prüfkraft und den Weg der Lastplatte kann das zeitabhängige Verformungsverhalten des Probekörpers erfasst werden. Vor dem Hintergrund der Erfassung der Verformungsfigur sollte die Inaugenscheinnahme des Probekörpers unmittelbar nach dem Versuchsende erfolgen, da nach der Entlastung die Rückbildung des viskoelastischen Verformungsanteils beginnt.

4.8.3 Ergebnisse

Gegenstand der beispielhaft durchgeführten Versuche waren 3 Probekörper, die aus einem von der Henze GmbH hergestellten, profilierten Kunststoffrohr der Nennweite DN 2000 (vgl. Abb. 133) gewonnen wurden. Jede Druckkassette war 200 mm lang und 150 mm breit. Jeder Einzelversuch wurde mit einer konstanten vertikalen Prüflast in Höhe von 25 kN, 50 kN bzw. 75 kN durchgeführt.



Profilhöhe h = 103 mm, Profilbreite b1 = 110 mm, Profilabstand b2 = 180 mm, Profilwanddicke s = 8 mm, Wanddicke der Innenschicht e4 = 11,0 mm, Wanddicke der Innenschicht unter einem Hohlprofil e5 = 19 mm [26]

Abb. 133: Wandaufbau des geprüften Produkts (DN 2000, Profil 11–R 100–180)

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Nach Abschluss der auf jeweils 24 Stunden angesetzten Versuche zeigten sich hinsichtlich der Messung der vertikalen Gesamtverformung des Probekörpers δ_v und der Beobachtung der Profilverformung die in Tabelle 15 zusammengestellten Ergebnisse.

Tab. 15: Ergebnisse und Beobachtungen aus Versuchen mit Druckkassette

Laststufe [kN]	Versuchsdauer [s]	Gesamtverformung des Probekörpers d_v *[mm]	Beschreibung der Profilverformung
$F_1 = 25$	86400 (1d)	4,8	- keine wesentlichen Verformungen
$F_2 = 50$	86400 (1d)	11,8	- geringe Zunahme der Krümmung des Probekörpers, - geringes seitliches Ausweichen der Profilstege
$F_3 = 75$	600 s	> 100 * (letzter Wert vor dem Wegknicken: 17,9)	- deutliche Zunahme der Krümmung - deutliches Ausweichen der Profilstege, - Profilschnittflächen sind deutlich verformt (vgl. Abb. 134)

* Verformungen erreichen Weggrenze der Prüfmaschine

Im Ergebnis zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen den Verformungsbildern im Versuch und den mittels FEM-Berechnung simulierten Verformungszuständen (vgl. Abb. 134).



a) Verformung im Versuch unter $F_3 = 75$ kN



b) Ergebnis einer FEM-Berechnung, aus [89]

Abb. 134: Verformung der Druckkassette unter vertikaler Belastung der Schnittflächen

Mit Blick auf **Prüftechnik und -ablauf** lassen sich aus den beispielhaften Prüfungen und Vergleichsrechnungen die folgenden Schlussfolgerungen ziehen bzw. Diskussionspunkte ableiten:

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

- Mit Hilfe des gewählten Versuchsaufbaus können Probekörper unter Normalkraftbeanspruchung so verformt werden, dass eine Plausibilitätsprüfung des FEM-Modells möglich wird.
- Unter großen Verformungen entzogen sich im vorliegen Fall Teile des Profils der Lastaufnahme. Dieser Effekt wurde auch durch die FEM-Berechnungen [89] bestätigt.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4.9 Profilbelastung durch lokalen Außendruck

4.9.1 Hintergrund

Unter der Voraussetzung identischer Nennweiten und Werkstoffe sowie der Verwendung gleicher Materialmengen ist das Trägheitsmoment des Wandaufbaus und damit die Steifigkeit eines profilierten Rohres höher als die eines Vollwandrohres (vgl. Abb. 17). In gleicher Weise kann durch die Konstruktion so genannter „aufgelöster“ Wandquerschnitte dieselbe Steifigkeit wie die eines Vollwandrohres auch bei Einsatz geringerer Materialmengen erreicht werden. Dadurch sind die Kosten für das Ausgangsmaterial geringer und das Rohr ist leichter. Auf Seiten der Kanalnetzbetreiber bestehen allerdings Unsicherheiten, ob die im Vergleich zu Vollwandrohren filigraneren Wandkonstruktionen durch außerplanmäßige, aber durchaus denkbare Zusatzlasten (z.B. Kanthölzer) übermäßig beansprucht werden. Insbesondere können Verformungen des Wandaufbaus infolge unzureichender Profilsteifigkeit auch zu einer Abminderung des Trägheitsmomentes mit negativen Auswirkungen auf die Standsicherheit des Gesamtquerschnittes führen. Lokale Querschnittsverformungen wurden allerdings nur in zwei Fällen bei nicht-begehbaren Kanälen beobachtet (siehe Kapitel 3.2).

Die Prüfung des Profilwiderstands gegenüber lokalem Außendruck ist weder Bestandteil der gültigen Produktnorm DIN 16961-2 [5] noch der als Schlussentwurf vorliegenden europäischen Norm prEN13476-1 [8]. Im Gegensatz dazu definiert die zurückgezogene DIN 19566-2 [7] sowohl Anforderungen an die Profilsteifigkeit als auch eine entsprechende Prüfung. Damit nicht die Tragfähigkeit des gesamten Rohrprofils abgemindert wird, müssen die einzelnen Profile den Beanspruchungen aus äußeren Lasten standhalten. Die Prüfung beinhaltet die Belastung eines Einzelprofils der Wandkonstruktion durch einen Prüfstempel, der an den Außendurchmesser des Profils angepasst ist. Es werden Vorgaben zur Höhe der Prüflast (0,12 N/mm²), der Prüfdauer (2000 h) und der zulässigen Verformung (5 %) gemacht. Um Verformungen des halbkreisförmigen Prüfkörpers auszuschließen, ist dieser auszusteifen (z.B. durch Füllen mit Gips). Der so beschriebene Versuchsaufbau ist allerdings aufgrund der Produktvielfalt und Abmessungen der hier betrachteten profilierten Großrohre mit erheblichem Aufwand verbunden. Dies gilt sowohl für die notwendige Anpassung des Prüfstempels an unterschiedliche Außendurchmesser als auch für die Aussteifung des Probekörpers. Für den vorliegenden Anwendungsfall wurde daher ein spezielles Prüfkonzept entwickelt.

4.9.2 Prüfkonzept

Ziel des vorliegenden Prüfkonzeptes ist die Untersuchung des Widerstands der Rohrprofile gegenüber direkter Auflast. Es steht nicht im Zusammenhang mit dem in Kapitel 4.10 beschriebenen Konzept zur Untersuchung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Punktlasten, denn bei den betrachteten Beanspruchungen ist nicht mit Durchdringungen oder Rissen zu rechnen. Im Vordergrund steht vielmehr die experimentelle Untersuchung der Profilsteifigkeit. Dazu soll die zeitabhängige Verformung des Profils unter einer konstanten Prüfkraft ermittelt werden. Abbildung 135 zeigt eine Skizze des Versuchsaufbaus.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

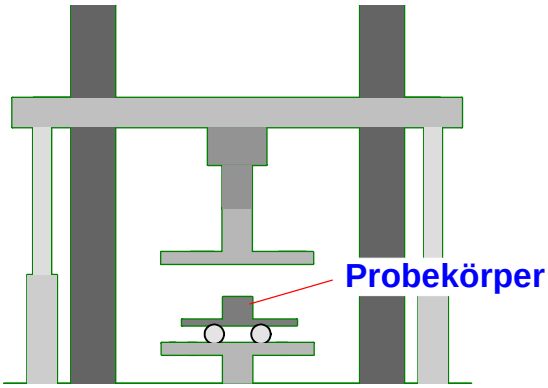
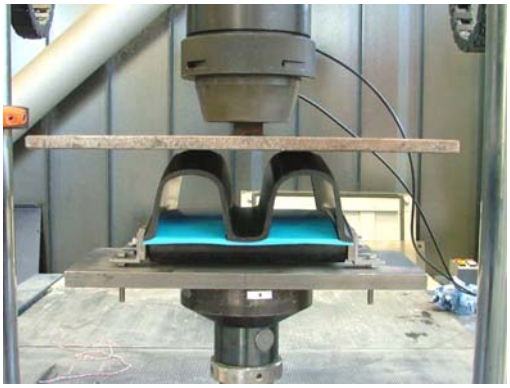


Abb. 135: Skizze des Versuchsaufbaus

Der **Versuchsablauf** umfasst grundsätzlich die folgenden Schritte:

- **Versuchsaufbau:** Im ersten Schritt wird aus dem zu untersuchenden Rohr ein Segment herausgetrennt. Die Sehnenlänge entspricht ca. 300 mm, die Breite sollte mindestens ein Profil umfassen. Anschließend wird der Probekörper auf einem Rollenauflager platziert, um die unter der Belastung zu erwartende Krümmungsänderung in Umfangsrichtung nicht zu behindern. Im nächsten Schritt wird der Probekörper zusammen mit dem Auflager mittig unter der Lasteinleitungskonstruktion ausgerichtet (vgl. Abb. 136). Die vertikal wirkende Prüflast wird über eine ebene Stahlplatte eingeleitet, deren Abmessungen so gewählt sind, dass sich der Probekörper unter Verformung gleichmäßig an diese anlegen kann.



a) Ansicht von vorne



b) Ansicht von der Seite

Abb. 136: Versuchsaufbau

- **Versuchsdurchführung:** Nach Herstellen des Kontakts zwischen Lastplatte und Probekörper wird die Belastung innerhalb von 10 Minuten kontinuierlich, d.h. mit konstanter Kraftzunahme, bis zur Prüfkraft F gesteigert und anschließend zur Berücksichtigung des Kriechverhaltens 24 Stunden gehalten. Während der Prüfung werden kontinuierlich die Kraft und der Weg der Lastplatte gemessen. Darüber hinaus wird auch die Umgebungstemperatur erfasst und aufgezeichnet.

  Die **Prüflast** wird auf der Grundlage der mittleren vertikalen Spannung infolge Erdlast nach Arbeitsblatt A 127 des DWA-Regelwerks [33] berechnet.

$$p_E = \kappa * \gamma_B * h \qquad \text{(Gl. 4.9.1)}$$

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Unter Vernachlässigung des abmindernden Einflusses der Reibungskräfte an den Grabenwänden (χ = 1) und unter der Annahme einer Bodenwichte von 20 kN/m³ ergibt sich für eine übliche Überdeckungshöhe von Kanälen in Höhe von 4,0 m ein vertikaler Erddruck von 80 kN/m². Die Auflast F ergibt sich aus dem Bezug dieser Spannung auf die projizierte Grundfläche des gekrümmten Probekörpers. Diese Fläche berechnet sich aus dem Produkt der Sehnenlänge L_S und der Breite B des Probekörpers.

$$F = p_E * L_S * B \cdot \qquad \text{(Gl. 4.9.2)}$$

Unter der Annahme, dass die Auflast in situ allein über die Profilkuppen abgetragen wird und die im Profiltal auftretenden Lasten vernachlässigbar klein sind (vgl. [90]), entspricht die so ermittelte Auflast der Prüflast F im Versuch. Verkehrslasteinflüsse sind ggf. ergänzend zu betrachten.

- **Versuchsergebnis:** Anhand der Messkurven für die Prüfkraft und die Lastplatten-Verschiebung kann das zeitabhängige Verformungsverhalten des Probekörpers erfasst werden. Die Lastplatte behindert während des Versuchs insbesondere die Beobachtung der Profilverformungen im Lasteinleitungsbereich. Vor dem Hintergrund der Erfassung der Verformungsfigur sollte die Inaugenscheinnahme des Probekörpers unmittelbar nach dem Versuchsende erfolgen, da nach der Entlastung die Rückbildung des viskoelastischen Verformungsanteils beginnt.

4.9.3 Ergebnisse

Im Rahmen der Entwicklung des Prüfkonzeptes wurden für die beispielhafte Versuchsdurchführung Probestücke von einem profilierten Kunststoffrohr des Typs „Magnum“ (Vertrieb: EuroPlast GmbH, Deutschland; Hersteller: ITALIANA CORRUGATI, Italien) verwendet. Die Nennweite DN 1200 entsprach der laut Produktkatalog größten verfügbaren Dimension. Den schematischen Aufbau des Rohrprofils und ein Foto eines Probekörpers zeigt Abbildung 137. Die Probenbreite variierte zwischen einem (Proben-Typ 2) und zwei Profilen (Proben-Typ 1), d.h. zwischen 120 und 240 mm. Die Sehnenlänge entsprach jeweils 250 mm.



a) Skizze b) Proben-Typ 1 c) Proben-Typ 2

Abb. 137: Profil des Rohres vom Typ „Magnum“, SN 8, DN/OD 1200, di = 1030 mm, Wanddicke der Innenschicht e4 = 5 mm, Wanddicke der Innenschicht unter einem Hohlprofil e5 = 5 mm [91], (vgl. Kapitel 4.10)

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Ergebnisse für Proben-Typ 1 (2 Profile)

Für den Proben-Typ 1 wurde zunächst die Prüfkraft nach der im Prüfkonzept angegebenen Vorgehensweise ermittelt. Um das Verformungsverhalten bei unterschiedlichen Laststufen erfassen zu können, wurden im Rahmen der beispielhaft durchgeführten Prüfungen Überdeckungshöhen von 2 m, 4 m und 8 m gewählt. Es ergaben sich damit Prüflasten von F_1 = 2,4 kN, F_2 = 4,8 kN und F_3 = 9,6 kN.

Nach Abschluss der 24h-Versuche zeigten sich für die drei Laststufen hinsichtlich der Messung der vertikalen Gesamtverformung des Probekörpers δ_v und der Beobachtung der Profilverformung die in Tabelle 16 zusammengestellten Ergebnisse.

Tab. 16: Ergebnisse und Beobachtungen aus Versuchen mit lokalem Außendruck an Probekörpern vom Proben-Typ 1

Laststufe	Gesamtverformung des Probekörpers δ_v *	beobachtete Profilverformung
F_1 = 2,4 kN	5,7 mm	keine wesentlichen Verformungen
F_2 = 4,8 kN	11,4 mm	geringe Abplattung der Profildecke im Bereich der Lasteinleitung
F_3 = 9,6 kN	16 mm	- deutliche Abplattung der Profildecke im Bereich der Lasteinleitung über die gesamte Profilbreite, - Ausweichen der Profilwände nach außen (vgl. Abb. 138)

* *vgl. Diagramm in Abb. 139*



Abplattung der Profildecke



Ausweichen der Profilwände nach außen

Abb. 138: Verformung des Proben-Typs 1 unter der Laststufe F = 9,6 kN

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

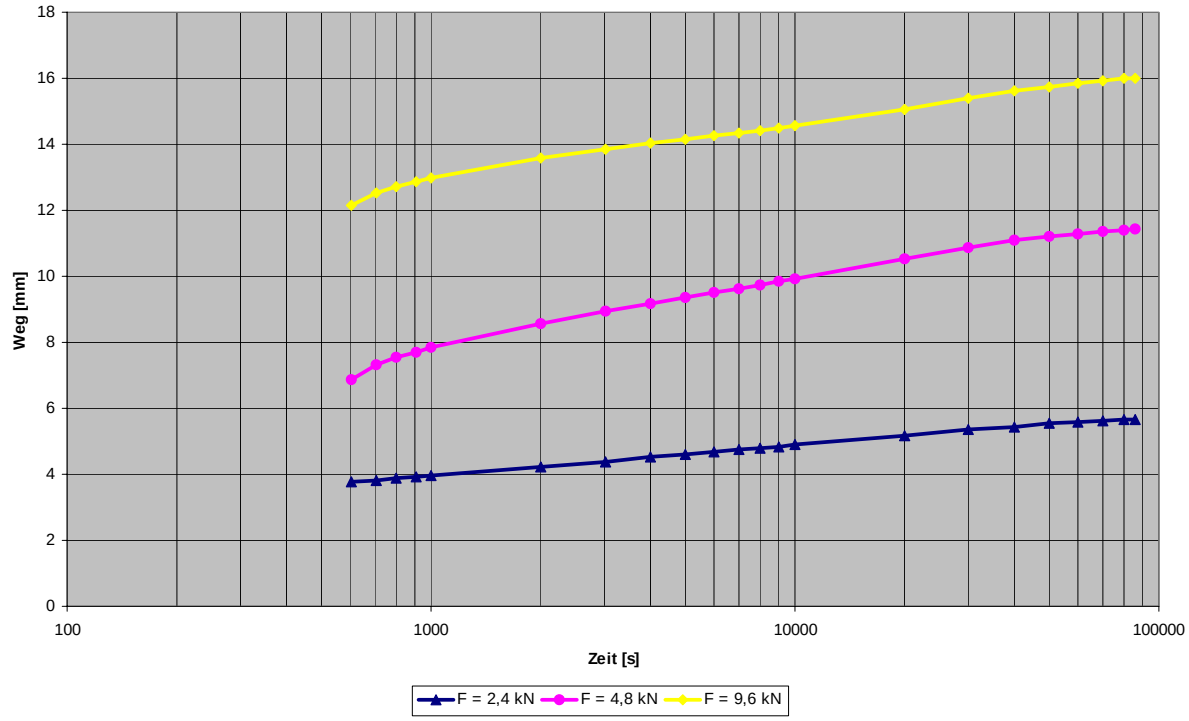


Abb. 139: Zeitlicher Verlauf der Probekörperverformung (Probentyp 1) in Abhängigkeit der Laststufe bei 24h-Stunden-Versuchen

Unabhängig von der Laststufe zeigte sich eine deutliche Abnahme der Verformungsgeschwindigkeit über die Zeit. Die Ursache hierfür liegt im Wesentlichen in dem typischen Kriechverhalten des Rohrwerkstoffes (vgl. [28]). Dieser Effekt wird außerdem durch die Vergrößerung der Lasteinleitungsfläche infolge der Abplattung des Rohrprofils noch verstärkt. In logarithmischer Darstellung ergibt sich für die Verformung ein nahezu linear ansteigender Verlauf über den Prüfzeitraum. Eine Extrapolation der Messwerte ist allerdings nicht ohne Weiteres möglich, da aufgrund des Kriechverhaltens ein späteres Stabilitätsversagen nicht ausgeschlossen werden kann. Allerdings lässt der lineare Verlauf der Verformungen unter einer Last von F = 9,6 kN vermuten, dass bei den deutlich geringeren Lasten von 2,4 kN bzw. 4,8 kN auch nach deutlich längerer Prüfzeit kaum mit einem entsprechenden Versagen zu rechnen ist.

Ergebnisse für Proben-Typ 2 (1 Profil)

Bei der Verwendung des Probentyps 1 wurden auch bei der maximalen Laststufe F_3 = 9,6 kN, die einer Verdoppelung der üblichen Überdeckungshöhe von 4 m entspricht, nur relativ geringe Profilverformungen beobachtet. Um das grundsätzliche Verformungsverhalten des Profils erfassen zu können, wurden daher weitere Versuche unter Einsatz des Proben-Typs 2 durchgeführt. Diese Probekörper sind nur halb so breit wie die des Proben-Typs 1 und weisen lediglich ein Profil auf. Als Prüflasten wurden F_2 = 4,8 kN und F_3 = 9,6 kN gewählt. Aufgrund der im Vergleich geringeren Abmessungen der projizierten Grundfläche entsprechen diese Kräfte unter den hier vorliegenden Randbedingungen Überdeckungshöhen von 8 m bzw. 16 m.

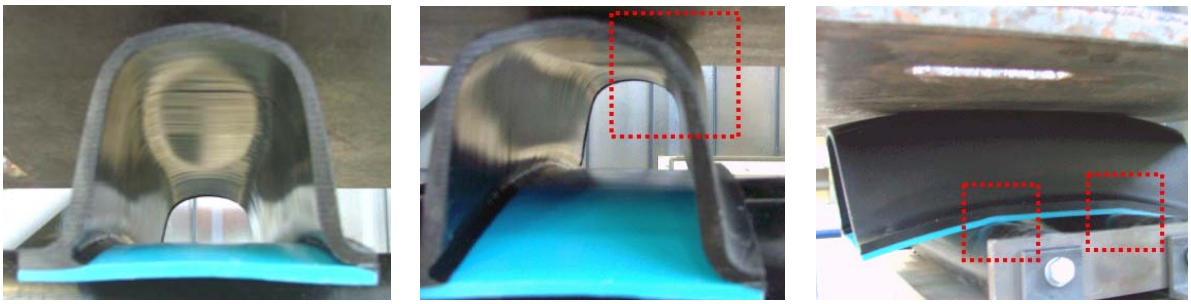
© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Nach Abschluss der 24h-Versuche zeigten sich bei den zwei Laststufen hinsichtlich der Messung der vertikalen Gesamtverformung des Probekörpers δ_v und der Beobachtung der Profilverformung die in Tabelle 17 zusammengestellten Ergebnisse.

Tab. 17: Ergebnisse und Beobachtungen aus Versuchen mit lokalem Außendruck an Probekörpern vom Proben-Typ 2

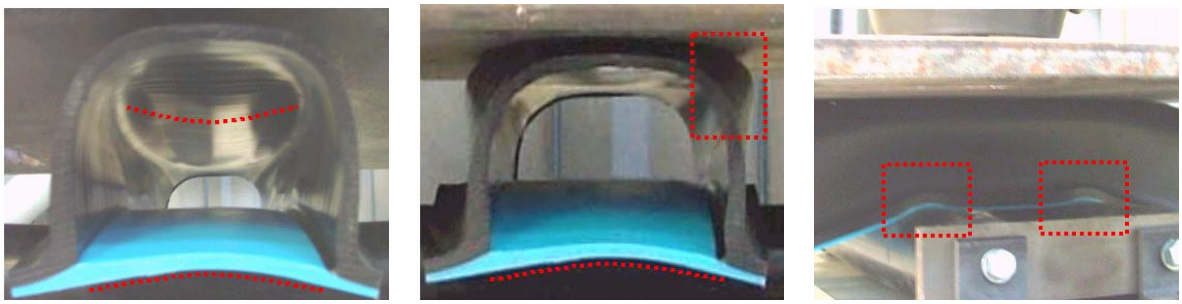
Laststufe	Gesamtverformung des Probekörpers δ_v *	beobachtete Profilverformung **
F_1 = 4,8 kN	15 mm	- geringe Abplattung der Profildecke im Bereich der Lasteinleitung, - geringes Ausweichen der Profilwände nach außen, - kleine Krümmungssprünge an den Auflagern
F_2 = 9,6 kN	28 mm	- Beulen der Profildecke im Bereich der Lasteinleitung nach innen, - deutliches Ausweichen der Profilwände nach außen, - Beulen der Grundwand nach innen, - deutliche Krümmungssprünge an den Auflagern

* *vgl. Diagramm in Abb. 142,* ** *vgl. Abb. 140 bzw. Abb. 141*



Abplattung der Profildecke | Ausweichen der Seitenwand | Krümmungssprünge

Abb. 140: Verformung des Proben-Typs 2 unter der Laststufe F = 4,8 kN



Beulen der Profildecke und der Grundwand | Ausweichen der Seitenwand, Verformung der Grundwand | Krümmungssprünge an den Auflagern

Abb. 141: Verformung des Proben-Typs 2 unter der Laststufe F = 9,6 kN

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

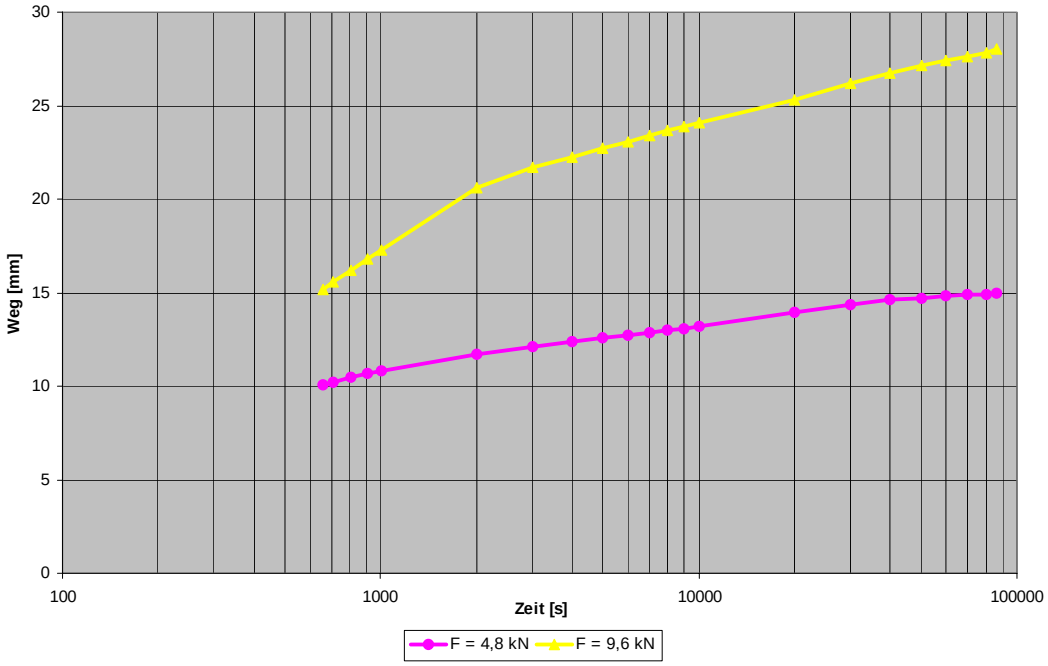


Abb. 142: Zeitlicher Verlauf der Probekörperverformung (Probentyp 2) in Abhängigkeit der Laststufe bei 24h-Stunden-Versuchen

Bei beiden Laststufen zeigte sich wiederum die bereits bei den Probestücken vom Proben-Typ 1 beobachtete deutliche Abnahme der Verformungsgeschwindigkeit. Wird für die Zeitachse eine logarithmische Darstellung gewählt, so ergibt sich auch hier, nach ca. 30 Minuten Versuchszeit, für die Verformung ein nahezu linear ansteigender Verlauf.

Bewertung und Einsatzbereiche des Prüfkonzeptes

Mit den Ergebnissen der durchgeführten Versuche ist keine Bewertung der Widerstandsfähigkeit des verwendeten Produkts gegenüber lokalem Außendruck verbunden. Die Versuche dienten vorrangig dem Ziel, die Prüfabläufe und die Prüftechnik zu hinterfragen sowie die Einsatzbereiche des Prüfkonzepts einzugrenzen.

Mit Blick auf **Prüftechnik und -ablauf** lassen sich aus den beispielhaften Prüfungen die folgenden Schlussfolgerungen ziehen sowie Diskussionspunkte und Verbesserungs-potenziale ableiten:

- Vor dem Hintergrund der Produktvielfalt und den daraus resultierenden geometrischen Unterschieden profilierter Kunststoffrohre hinsichtlich Außendurchmesser, Profilbreite, Profilform und Profilabstand wurde zur Vereinfachung des Versuchsaufbaus eine einheitliche **Lasteinleitung** bestehend aus einer ebenen Stahlplatte gewählt. In der Folge wirkt die Prüflast nicht gleichmäßig auf den Probekörper, sondern greift bei Versuchsbeginn auf der vergleichsweise kleinen Kontaktfläche zwischen ebener Stahlplatte und gekrümmter Probekörperoberfläche an. Unter diesem Gesichtspunkt bildet der Versuchsaufbau die in der Praxis auftretende Belastungssituation zwar vereinfachend und aufgrund der Lastkonzentration für das Profil zunächst ungünstig,

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

d.h. auf der sicheren Seite, ab. Dennoch handelt es sich um ein praxisnahes Belastungsbild, wie auch Labor- und Feldversuche in [90] bestätigen.
Mit zunehmender Prüfdauer stellt sich eine Abplattung der Profildecke ein (vgl. Versuchsergebnisse), d.h. die Kontaktfläche zwischen Lasteinleitung und Probekörper vergrößert sich. Diese Veränderung des Lasteinleitungsbereiches kann die Widerstandsfähigkeit des Profils erhöhen, da sich die Last auf eine größere Fläche verteilt. Dieser Effekt ist bei der Versuchsauswertung zu berücksichtigen.

- Die beobachteten **Probekörperverformungen** setzten sich aus Verformungen des Profils und Verschiebungen infolge der Probekörperdurchbiegung zusammen (vgl. Krümmungssprünge an den Auflagern in Abb. 140 und Abb. 142). D.h., der gemessene vertikale Weg der Lastplatte gibt nicht unmittelbar das Verformungsverhalten des Profils wieder. Aus diesem Grund ist bei der Weiterentwicklung des Prüfkonzeptes eine Anpassung der Messtechnik (Wegaufnehmer unten) oder eine Veränderung der Auflagerkonstruktion zu empfehlen.
- Gegenstand des vorliegenden Prüfkonzepts ist die Untersuchung der Widerstandsfähigkeit des Profils gegenüber lokaler Außenlast. Aufgrund der gewählten **Auflagerkonstruktion** kann sich der Probekörper jedoch verkrümmen, d.h. es treten zusätzliche Spannungen infolge von Biegemomenten auf.
  Voraussetzung für die Vermeidung von Krümmungsänderungen ist die Lagesicherung der Grundwand. Ein Ansatz dazu kann z.B. in der Ausbildung eines steifen Auflagers, das an die Ausgangskrümmung des Probekörpers angepasst ist (vgl. [7]), liegen. Dabei ist jedoch die Möglichkeit eines Abhebens der Endbereiche des Probestücks unter der mittig angreifenden Belastung zu beachten. Die Herstellung eines vollflächigen Verbunds zwischen der Grundwand und dem steifen Auflager stellt keine sinnvolle Lösung dar, weil dadurch das Ausweichen der Grundwand, wie es unter extremen Verformungen beobachtet wurde (vgl. Abb. 141), behindert werden würde.
- Bei den durchgeführten 24h-Versuchen traten deutliche Profil-Verformungen erst bei der Laststufe auf, die einer Überdeckungshöhe von 16 m entspricht. Um das Verformungsverhalten bei einer realitätsnahen **Laststufe** (z.B. Ü=4,0 m) untersuchen zu können, wird eine Erhöhung der Temperatur des Prüfkörpers zur Versuchsbeschleunigung vorgeschlagen (vgl. [38], [39], [92]).

Die **Einsatzbereiche des Prüfkonzeptes** lassen sich wie folgt näher beschreiben:

- In Abhängigkeit des Produkts (z.B. Profiltyp) kann ein unterschiedliches Verformungs- bzw. Versagensverhalten vorliegen. Die Versuche können hier eine Grundlage bieten, um die Plausibilität von FEM-Berechnungen beispielhaft zu überprüfen.
- Die Prüfung bietet sich als Bestandteil der Eignungsprüfung im Rahmen der **Produktentwicklung**, d.h. beispielsweise bei der Konstruktion neuer Wandaufbauten oder der Verwendung weiterentwickelter Werkstoffe, an.
- Darüber hinaus kann die Prüfung auch im Rahmen der Qualitätssicherung bei regelmäßigen Wiederholungsprüfungen (Eigen- und Fremdüberwachung) zum Einsatz

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

kommen. Zur Untersuchung des Langzeitverhaltens bietet sich die Anwendung prüfzeitverkürzender Methoden, z.B. unter Ausnutzung von Temperatureinflüssen, an.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4.10 Punktbelastung

4.10.1 Hintergrund

Die Dichtheit ist eine der wesentlichen Anforderungen an das aus Rohren, Verbindungen, Anschlüssen und Schächten bestehende Kanalnetz. Undichtigkeiten können insbesondere auch infolge der Bauteil-Beanspruchung durch Punktbelastungen, die zusätzlich zu den planmäßigen Betriebslasten wirken, entstehen. Als mögliche Schadensbilder können in Abhängigkeit der Werkstoffeigenschaften z.B. Risse (vgl. Abb. 143 und Abb. 144) oder Durchdringungen auftreten. Schäden aus Punktlasten werden häufig mit der Rohrwanddicke in Zusammenhang gebracht, so dass diesbezüglich insbesondere Profilrohre häufig in der Diskussion stehen. Andererseits können „Doppelwand"-Geometrien, wie sie von einzelnen Rohrherstellern z.B. für den Einsatz in Wasserschutzgebieten angeboten werden, auch besondere Sicherheitsvorteile bieten (vgl. [93]).

Auslöser von Punktlasten können unplanmäßig in der Bettung vorliegende Störkörper (z.B. Steine, Bauschutt, Nägel) sein, die in unmittelbarem Kontakt zur Rohraußenwand stehen. Diese Situation kann nicht nur bei der Anwendung eines Bauverfahrens der geschlossenen Bauweise auftreten, sondern auch bei der Verlegung in offener Bauweise, wenn dabei beispielsweise der anstehende Boden wieder verwendet wird.

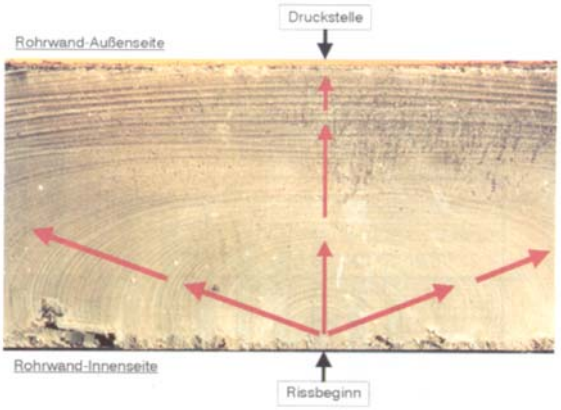


Abb. 143:
Bruchfläche in der Wand eines PE-Rohres nach Belastung durch eine lokale Druckstelle [95]

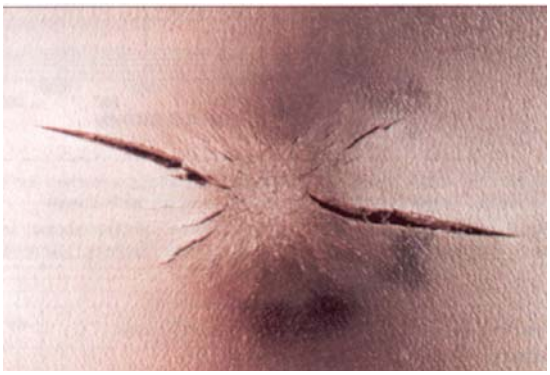


Abb. 144:
Bruchfläche in einem PE 100-Rohr nach äußerer Punktbelastung [94]

In verschiedenen Normen und Regelwerken finden sich mit Blick auf die Vermeidung von Punktlasten Hinweise zur Ausführung der Rohrbettung. Nach DIN EN 1610 [77] dürfen die Baustoffe der Leitungszone das Rohr nicht beeinträchtigen und ihm keinen Schaden zufügen. So ist beispielsweise die Wiederverwendung des anstehenden Bodens für die Leitungszone nur erlaubt, wenn der Boden frei von Überkorn ist. Darüber hinaus werden 3 Bettungstypen definiert, deren Anwendung an die Einhaltung der Bedingung „Unterstützung der Rohre über deren gesamte Länge" geknüpft ist. Die DIN EN V 1046 [96] fordert speziell für Kunststoffrohr-Systeme außerhalb von Gebäuden eine Grabenauflage, die frei von Stein- und Geröllbrocken ist. Das Arbeitsblatt A 139 [97] des DWA-Regelwerkes begrenzt für Rohre ≥ DN 1000 das Größtkorn bei der Verwendung von Brechsand-Splitt-Gemischen für die

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Leitungszone auf 20 mm. Darüber hinaus wird eine gleichmäßige Druckverteilung unter dem Rohr im Auflagerbereich gefordert, da auf diese Weise u.a. Punktlasten vermieden werden können. Diese Forderung stellt auch [33] für das in diesem Regelwerk beschriebene Verfahren zur statischen Berechnung von Abwasserkanälen und Leitungen.
Auch in den Verlegeanleitungen der Hersteller bzw. Anbieter profilierter Großrohre aus Kunststoff werden z.T. Hinweise zum Material für die Grabenverfüllung gegeben. So soll beispielsweise bei Rohren des Typs „RAUVIA Special“ nach [22] der Verfüllboden bis zu 30 cm über Rohrscheitel eine Korngröße von höchstens dem 0,8-fachen der Wellentalbreite des außenliegenden Profils aufweisen. Darüber hinaus wird als Voraussetzung für eine „korrekte und dauerhafte Verlegung“ die Verwendung von Verfüllmaterial für die Leitungszone ausgeschlossen, das spitze Kanten, Steine oder Geröll enthält. Die Frank GmbH fordert für Rohre des Profilkanalrohrsystems (PKS) [25] bei der Lagerung explizit die Vermeidung von Punktlasten und hinsichtlich der Verlegung ausschließlich die Verwendung von steinfreiem Material der Gruppe G1 oder G2 für die Bettung bis zu 15 cm über dem Rohrscheitel. Demgegenüber verzichtet die bauku GmbH in Bezug auf profilierte Kunststoffrohre vom Typ „Profileen“ auf spezielle Angaben zum Thema Punktlasten und lässt in der Bettungszone die Verwendung aller Bodenarten nach DIN EN 1610 zu [27].

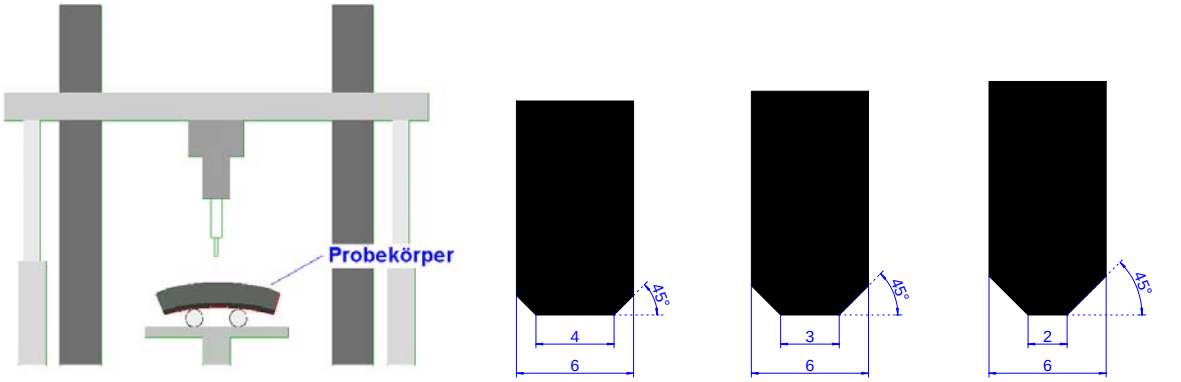
Das Auftreten von Punktlasten kann trotz dieser beispielhaft dargestellten Hinweise und Vorschriften nicht in allen Fällen vollständig ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund war das Widerstandsverhalten von Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen für erdverlegte Druck- und Freispiegelleitungen gegenüber unplanmäßig auftretenden, lokalen Beanspruchungen bereits Gegenstand verschiedener Untersuchungen (vgl. [98], [99], [100], [95], [94], [101]). Die durchgeführten Versuche unterscheiden sich hinsichtlich der Prüfkonzepte, d.h. u.a. in Bezug auf die Probekörper, die Versuchsdauer und die Beanspruchungsart. Als Probekörper kommen sowohl vollwandige als auch profilierte Kunststoffrohre bis zu einer Nennweite von DN 250 zum Einsatz. Hessel (vgl. [100], [95], [94]) berichtet darüber hinaus über Versuche an stabförmigen Proben aus Kunststoff-Rohren zur Bestimmung des Widerstands gegenüber langsamem Rissfortschritt im Full Notch Creep Test (FNCT) nach Beiblatt 2 der Richtlinie DVS 2203 Teil 4 [102]. Bei der Verwendung von Probekörpern in Form von Rohren werden diese durch von außen im Scheitel angreifende Punktlasten, die sich durch die Ausbildung des Prüfstempels und die Höhe der Prüflast unterscheiden, beansprucht. Bei der Untersuchung von Druckrohren (vgl. [98], [95], [94]) werden die Probekörper zusätzlich durch Wasserinnendruck belastet und zur Beschleunigung der Versuche auf 80°C erhitzt. Die Versuchsdauer umfasst in Abhängigkeit des Prüfkonzeptes bis zu mehrere 1000 Stunden. Die verschiedenen Versuche liefern als Ergebnis entweder Angaben zum zeitabhängigen Eindringverhalten des Prüfstempels oder zur Standzeit, d.h. dem Zeitraum bis zum Versagen des Probekörpers.

Für Rohre, die unter Einsatz des Berstverfahrens verlegt werden sollen, werden derzeit Prüfgrundlagen zum Nachweis ihrer Eignung unter Berücksichtigung verfahrensrelevanter Eigenschaften, wie z.B. der Widerstandsfähigkeit gegen Punktlasten, erarbeitet (vgl. [103], [104], [105]). Für in offener Bauweise verlegte profilierte Großrohre aus Kunststoff existiert ein entsprechender normativer Nachweis bisher nicht.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

4.10.2 Prüfkonzept

Ziel des vorliegenden Prüfkonzeptes ist die Untersuchung des Widerstandes sowohl der Grundwand als auch der Profile profilierter Großrohre aus Kunststoff gegenüber unplanmäßigen Punktlasten. Erfasst werden soll das Eindringverhalten von Prüfstempeln mit unterschiedlichen Spitzengeometrien in den Prüfkörper (vgl. Abb. 145).



Prüfmaschine und Probenlagerung Prüfstempel 1 Prüfstempel 2 Prüfstempel 3

Abb. 145: Versuchsaufbau und Spitzengeometrien von Prüfstempeln

Vor dem Hintergrund der Abmessungen profilierter Großrohre aus Kunststoff stellte sich mit Blick auf die Umsetzung des Prüfkonzeptes zunächst die Frage, ob als Prüfkörper für die Durchführung von Punktlast-Versuchen ein vollständiger Kreisring eines Großrohres zu verwenden ist oder als Alternative auch ein vergleichsweise kleines Rohrsegment zum Einsatz kommen kann. Eine kleinformatige Probe ist nicht nur billiger und einfacher zu handhaben, die geringere Größe des Versuchsaufbaus nimmt darüber hinaus weniger Platz in Anspruch und führt in der Regel zu geringeren Betriebskosten.

Aus diesen Gründen wurden am IKT Vorberechnungen zur Untersuchung der durch Punktlasten verursachten Spannungsverteilungen innerhalb des Umfangs von profilierten Großrohren aus Kunststoff mit Hilfe der Finite-Element-Methode durchgeführt [71]. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Abbildung 146 beispielhaft für jeweils ein Rohr der Nennweite DN 2000 der Firmen Frank, bauku und Henze dargestellt. Bei allen untersuchten Beispielen treten die maximalen Spannungen im Bereich der Lasteinleitung auf. Unterschiede zeigen sich dagegen hinsichtlich der Spannungsverteilung. Während sich die Spannungen bei den Rohren a und c fast ausschließlich lokal verteilen, erstrecken sich die Spannungen im Rohr b über einen deutlich größeren Bereich. In allen Fällen reicht aber zur Umsetzung des vorliegenden Prüfkonzeptes die Verwendung von Großrohr-Segmenten aus. Allerdings sollte dieses Vorgehen nicht pauschal auf andere Nennweiten und Profiltypen übertragen werden und die Versuchsdurchführung ggf. durch FEM-Berechnungen begleitet werden.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



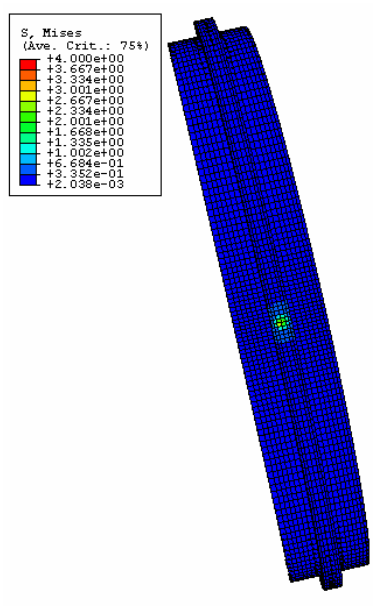
Profil: SK 610



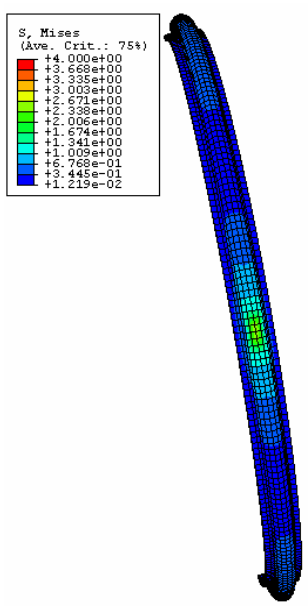
Profil: PR 54-16.3



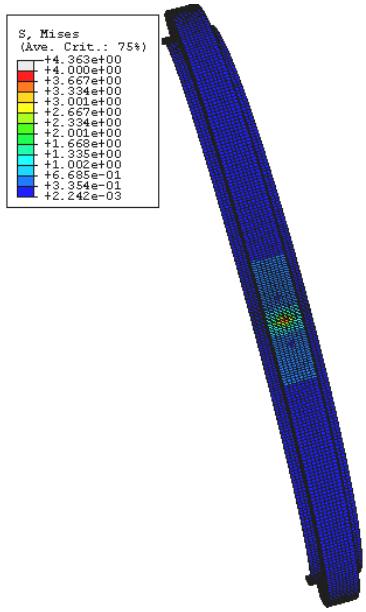
Profil: 11 - R 100 - 180



a) bauku GmbH



b) Frank GmbH



c) Henze GmbH

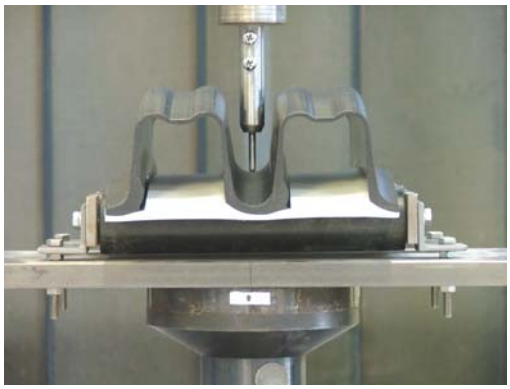
Abb. 146: Verteilung der van Mises-Spannungen infolge einer punktuellen Belastung von profilierten Rohren der Nennweite DN 2000 unterschiedlicher Hersteller [71]

Der **Versuchsablauf** umfasst grundsätzlich die folgenden Schritte:

- **Vorberechnung:** Die erforderliche Länge des Probestückes bzw. des Rohrsegmentes steht in Zusammenhang mit den durch die Punktlast verursachten Verformungen bzw. der maßgebenden Spannungsverteilung innerhalb des Rohrumfangs. Vor diesem Hintergrund kann die Probenlänge beispielsweise mit Hilfe einer FEM-Berechnung ermittelt werden. Als Alternative ist auch die Durchführung von Vorversuchen mit Probestücken unterschiedlicher Länge möglich, um auf diese Weise die Größe des Einflussbereichs von Punktlasten experimentell zu ermitteln.
- **Versuchsaufbau:** Zunächst wird aus dem zu untersuchenden Rohr ein Segment herausgetrennt. Die Länge geht z.B. aus der oben genannten Vorberechnung oder Vorversuchen hervor, die Breite sollte zwei Profile umfassen, um nicht nur das Profil, sondern auch die Grundwand durch Punktlasten beanspruchen zu können. Aufgrund von zulässigen, produktionsbedingten Schwankungen ist vor Beginn des Versuches die Dicke der belasteten Rohrwand zu messen. Dieser Messwert dient bei der Versuchsauswertung als Vergleichswert für die Eindringtiefe des Prüfstempels.
  Anschließend wird der Probekörper auf einem Rollenauflager platziert, um die unter der Belastung zu erwartende Krümmungsänderung in Umfangsrichtung nicht zu behindern. Im nächsten Schritt wird der Probekörper zusammen mit dem Auflager so ausgerichtet,

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

dass der Prüfstempel mittig auf der Grundwand (Variante A) bzw. mittig auf dem Profil (Variante B) angreifen kann (vgl. Abb. 147). Als Prüfstempel stehen Spitzen mit unterschiedlichen Geometrien zur Verfügung, die über einen Adapter in die Prüfmaschine eingebaut werden (vgl. Abb. 145).



a) Variante A: Belastung der Grundwand



b) Variante B: Belastung des Profils

Abb. 147: Versuchsaufbau

- **Versuchsdurchführung:** Nach Herstellen des Kontakts zwischen Prüfstempel und Probekörper wird die Belastung innerhalb von 10 Minuten kontinuierlich, d.h. mit konstanter Kraftzunahme, bis zur Prüfkraft F gesteigert und anschließend zur Berücksichtigung des Kriechverhaltens 24 Stunden gehalten. Während der Prüfung werden kontinuierlich die Kraft und der Weg des Prüfstempels gemessen und dokumentiert sowie die Umgebungstemperatur erfasst und aufgezeichnet.

  Zur Ermittlung der Prüflast wird davon ausgegangen, dass eine Punktlast sich durch Lastkonzentration aus den ursprünglich gleichmäßig verteilten Bodenspannungen aufbaut. Diese Lastkonzentration kann z.B. durch die Übertragung von Bodenspannungen über einen Festkörper mit geringer Kontaktfläche zum Rohr entstehen. Die wesentlichen Einflussgrößen für die Höhe der Punktlast sind damit die durchschnittlichen Bodenspannungen sowie die Größe der Einzugsfläche des Störkörpers und die Anzahl der Kontaktpunkte zum Rohr.

  Die mittlere vertikale Spannung infolge Erdlast kann z.B. nach Arbeitsblatt A 127 des DWA-Regelwerkes [33] berechnet werden zu

$$p_E = \chi * \gamma_B * h \qquad \text{(Gl. 4.10.1)}$$

  Im vorliegenden Fall werden beispielhaft folgende Annahmen getroffen:

  - Vernachlässigung des abmindernden Einflusses der Reibungskräfte an den Grabenwänden, d.h. $\chi = 1$,
  - Vernachlässigung der nach [33] für biegeweiche Rohre ($V_{RB} \leq 1$) zulässigen Abminderung der Bodenspannung über dem Rohr infolge Umlagerung und
  - Ansatz der Überdeckungshöhe h über dem Rohrscheitel:
    h = 4,5 m > max. h_{INSITU} =3,7 m (vgl. Kapitel 3.2).

  Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich mit (Gl. 4.10.1) bei einer Bodenwichte γ_B = 20 kN/m³ nach [33], Tab. 1, ein Erddruck von

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

$$p_E = 20\frac{kN}{m^3} * 4{,}5m = 90\frac{kN}{m^2}.$$

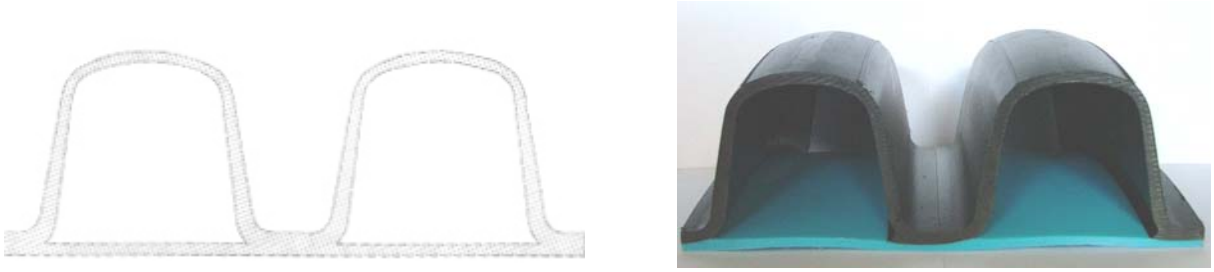
Da keine Angaben zur Größe von Störkörpern in der Bettung vorliegen, wird beispielhaft auf die Angaben in [101] (Scherbengrößen beim Berstverfahren) zurückgegriffen mit einer Einflussfläche pro Kontaktpunkt von 16,3 cm². Unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors von γ = 2,0 ergibt sich dann die Prüflast zu F = 300 N.

- **Versuchsauswertung:** Nach der Entlastung beginnt die Rückbildung des viskoelastischen Verformungsanteils. Aus diesem Grund wird die Probe unmittelbar nach dem Versuchsende in Augenschein genommen. Gegenstand dieser Untersuchung sind sowohl die Eindringtiefe des Prüfstempels als auch sichtbare Verformungen des Prüfkörpers außerhalb des direkten Lasteinleitungsbereichs. Wurde die Rohrwand nicht durchdrungen, so wird die Eindringtiefe des Prüfstempels gemessen. Eine sehr genaue Methode bietet hierfür z.B. die Fotogrammetrie (vgl. [101]). Darüber hinaus werden bedeutsame Verformungen des Prüfkörpers erfasst. Zur Beurteilung der Widerstandsfähigkeit der untersuchten Probe gegenüber der gewählten Punktlast kann sowohl die Eindringtiefe durch Vergleich mit der ursprünglichen Wanddicke herangezogen werden als auch die Verformung außerhalb des Lasteinleitungsbereiches. Anhand der zur Verfügung stehenden Messkurven für die Prüfkraft und den Weg des Prüfstempels kann das zeitliche Eindringverhalten unter Berücksichtigung der Probekörperverformung erfasst werden.

4.10.3 Ergebnisse

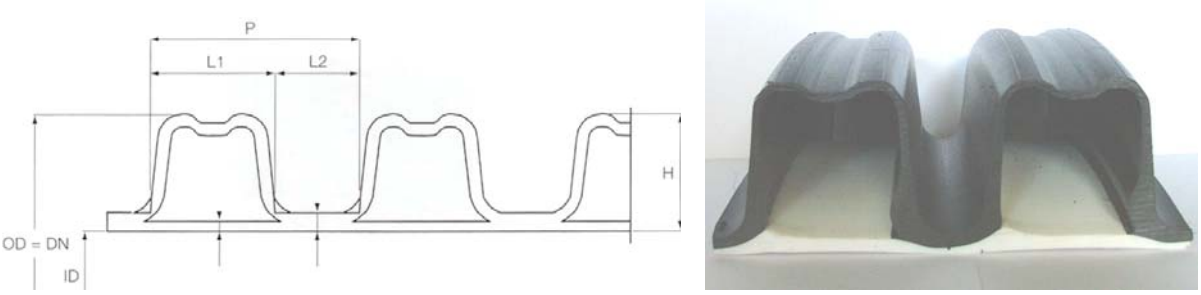
Im Rahmen der Entwicklung des Prüfkonzeptes wurden für die Durchführung von Punktbelastungsversuchen beispielhaft Probestücke von zwei profilierten Kunststoffrohren unterschiedlicher Anbieter verwendet. Dabei handelte es sich zum einen um ein Rohr des Typs „Magnum“ (Vertrieb: EuroPlast GmbH, Deutschland; Hersteller: ITALIANA CORRUGATI, Italien) und zum anderen um ein Rohr des Typs „RAUVIA Special“ (Vertrieb: REHAU AG & Co., Deutschland; Hersteller: Polieco, Italien, Produktname: Ecopal). Für beide Rohre wurde die laut der Produktkataloge größte verfügbare Nennweite DN 1200 gewählt. Der schematische Aufbau der Rohrprofile und Fotos der Probekörper sind in Abbildung 148 und 149 dargestellt. Die Breite der Probekörper umfasste jeweils zwei der zueinander parallel verlaufenden Profile, die Bogenlänge entsprach in beiden Fällen einem Achtel des auf den Innendurchmesser bezogenen Rohrumfangs.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Schematischer Aufbau [21] b) Foto

Abb. 148: Profil des Rohres vom Typ „Magnum“, SN 8, DN/OD 1200, di = 1030 mm, Wanddicke der Innenschicht e4 = 5 mm, Wanddicke der Innenschicht unter einem Hohlprofil e5 = 5 mm [91]



a) Schematischer Aufbau [23] b) Foto

Abb. 149: Profil des Rohres vom Typ „RAUVIA Special“, SN 8, DN/OD 1200, di = 1030 mm, Wanddicke der Innenschicht e4 = 13 mm, Wanddicke der Innenschicht unter einem Hohlprofil e5 = 5 mm, Profilhöhe H = 85 mm, Profilbreite L1 = 80 mm, Profilabstand L2 = 31 mm [23]

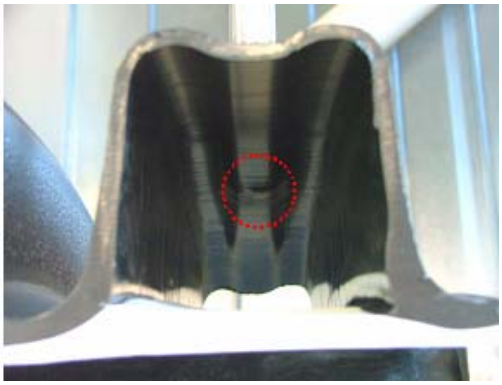
Beide Probekörper wurden sowohl auf der Grundwand (Variante A) als auch auf dem Profil (Variante B) mit Punktlasten beaufschlagt. Bei allen Versuchen betrug die Prüfkraft F = 300 N. Zum Einsatz kam der Prüfstempel Nr. 3 (vgl. Abb. 145), da er im Vergleich zu den anderen Prüfstempeln die kleinste Stempelfläche aufweist und dadurch die größten Spannungen bzw. die maximale Beanspruchung erzeugt.

Abbildung 150 und 151 zeigen beispielhaft die Ergebnisse eines 24-Stunden-Versuches nach Variante B. Nach Ablauf der Prüfzeit war der Prüfstempel ca. 2 mm in das Material eingedrungen. Der absolute Weg des Prüfstempels lag jedoch mit ca. 8,3 mm (vgl. Diagramm in Abb. 151) deutlich über diesem Wert. Die Differenz von ca. 6 mm erklärt sich aus der trichterförmigen Verformung des Profils im Umfeld des Lasteinleitungsbereiches. Sowohl auf dem Foto der Außenansicht des Profils als auch auf dem der Innenansicht ist diese Verformung zu erkennen.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH



a) Eindringmarke des Prüfstempels



b) lokale Verformung des Profils

Abb. 150: Verformung des Lasteinleitungsbereiches unter Punktbelastung
Probekörper „RAUVIA Special“, Prüfkraft F = 300 N

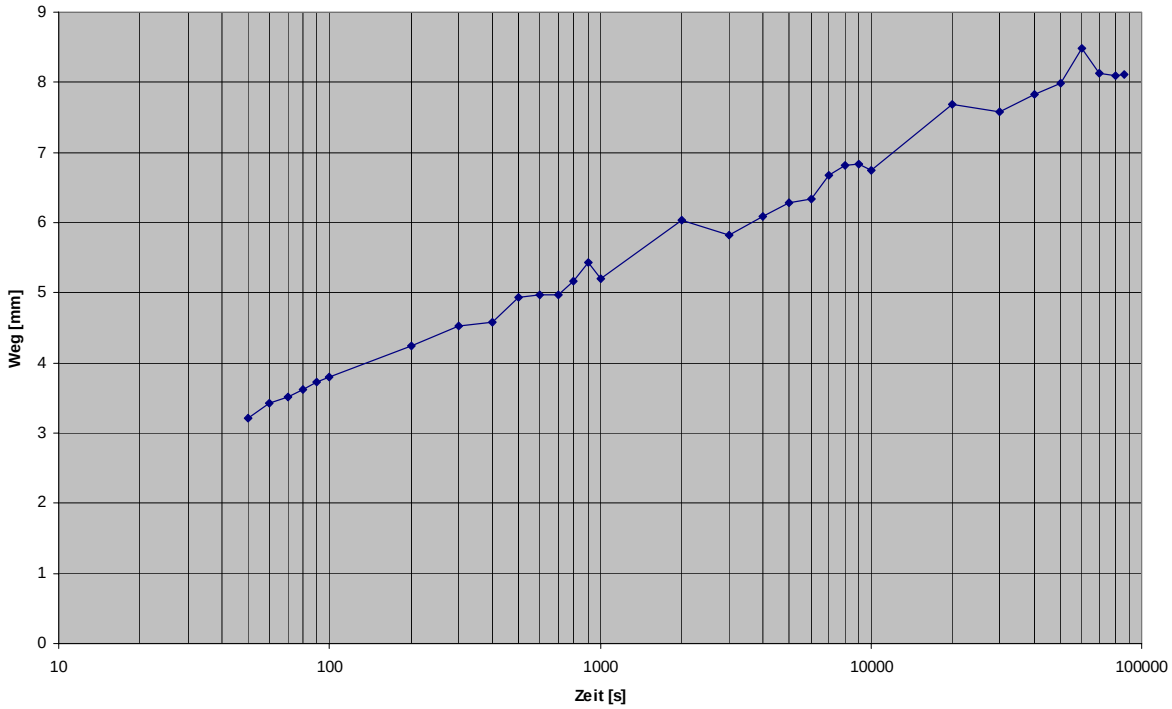


Abb. 151: Verformungsentwicklung bei Punktbelastung des Profils (Variante B)
Probekörper „RAUVIA Special“, Prüfkraft F = 300 N

Mit den Ergebnissen der durchgeführten Versuche ist weder eine Einzelbewertung noch ein Vergleich der Widerstandsfähigkeit der eingesetzten Produkte gegenüber Punktbelastungen verbunden. Die Versuche dienten vorrangig dem Ziel die Prüfabläufe und die Prüftechnik vor dem Hintergrund beobachteter Auffälligkeiten und produktspezifischer Besonderheiten zu hinterfragen sowie die Einsatzbereiche des Prüfkonzepts einzugrenzen.

Mit Blick auf **Prüftechnik und -ablauf** lassen sich aus den beispielhaften Prüfungen die folgenden Schlussfolgerungen ziehen sowie Diskussionspunkte und Verbesserungspotenziale nennen:

- Die Verwendung von Probekörpern aus Rohrsegmenten als Alternative zu vollständigen Rohrabschnitten hat sich bewährt, denn die festgestellten Verformungen erstreckten

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

sich weder bei den Versuchen nach Variante A noch nach Variante B über den gesamten **Probekörper**, sondern konzentrierten sich auf den Bereich der Lasteinleitung und dessen unmittelbare Umgebung.

- Die Beanspruchung eines profilierten Kunststoffrohres in der Punktlast-Prüfung wird maßgeblich durch die Höhe der **Prüflast** und die Form des **Prüfstempels** bestimmt. Zur allgemeingültigen Festlegung dieser Randbedingungen sind ggf. noch weitere Untersuchungen erforderlich, z.B. mit Blick auf die vor Ort variierenden Bettungsbedingungen sowie die vielfältigen Formen und Eigenschaften möglicher Störkörper.
- Es stellt sich die Frage, inwieweit eine kraftgeregelte **Versuchssteuerung** praxisgerecht ist, denn infolge der Punktbelastung treten bei biegeweichen Rohren Verschiebungen – z.B. durch Verformungen des Profils und/oder Eindringen des Störkörpers – auf, die zur Umlagerung von Bodenspannungen (vgl. [33]) und damit zur Abminderung der Beanspruchung führen können. Allerdings kann die Verwendung einer konstanten Prüfkraft als ein auf der sicheren Seite liegender Ansatz betrachtet werden.
- Bei einer **Versuchsdauer** von 24 Stunden und Normalklimabedingungen (z.B. Lufttemperatur: 23°C nach [72]) können Aussagen zur Widerstandsfähigkeit profilierter Kunststoffrohre gegenüber kurzzeitig wirkenden Punktlasten getroffen und erste Anhaltspunkte zur Beanspruchungsreaktion infolge des zeitabhängigen Werkstoffverhaltens gewonnen werden. Eine Übertragung von Ergebnissen und Erkenntnissen aus diesen Kurzzeitversuchen auf eine übliche Nutzungsdauer von z.B. 50 Jahren ist ohne Weiteres nicht möglich. Hierfür ist entweder eine deutliche Verlängerung der Versuchsdauer notwendig oder die Durchführung von Zeitraffer-Versuchen, d.h. der Einsatz von Methoden zur Beschleunigung der Werkstoffalterung bzw. des Kriechverhaltens (vgl. [38], [39], [92]).
- Für die Bewertung der Widerstandsfähigkeit von profilierten Kunststoffrohren gegenüber Punktlasten ist das zeitabhängige **Eindringverhalten des Prüfstempels** in das Material von Bedeutung. Dies gilt in Bezug auf die untersuchten Probestücke insbesondere für die Grundwand (Variante A), da im Gegensatz zur Belastung der Profilwand (Variante B) ein Durchdringen dieses Bereiches unmittelbar eine Undichtigkeit des Rohres zur Folge hat. Durch das ausschließliche Messen des Prüfstempelweges ist die direkte Erfassung dessen Eindringtiefe, d.h. unabhängig von der Verformung in der Umgebung des Lasteinleitungsbereiches, nicht möglich. Um Fehlinterpretationen auszuschließen, empfiehlt sich die nachträgliche Messung der Restwanddicke mit Hilfe von Ultraschall (vgl. [101]).
- Bei Rohren mit geringer Überdeckung (vgl. Kapitel 3.2.1) ist infolge von Verkehrslasten auch eine Beanspruchung durch **dynamische Punktlasten** vorstellbar. Inwieweit eine solche Belastung als praxisnah einzustufen ist, wurde im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht weiterverfolgt. Künftige Untersuchungen setzen hier an (vgl. [106]).

Die **Einsatzbereiche des Prüfkonzeptes** lassen sich wie folgt näher beschreiben:

- Die Kurzzeit-Prüfung bietet sich als Bestandteil von Vorprüfungen im Rahmen der **Produktentwicklung**, d.h. beispielsweise bei der Konstruktion neuer Wandaufbauten

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

oder der Verwendung weiterentwickelter Werkstoffe, an. Durch Sie können erste Hinweise auf das Widerstandsverhalten des Profils gewonnen werden. Im Rahmen einer abschließenden Eignungsprüfung sind jedoch auch Langzeitversuche notwendig.

- Darüber hinaus kann die Prüfung auch im Rahmen der **Qualitätssicherung** (Eigen- und Fremdüberwachung) zum Einsatz kommen. Mit Blick auf das Langzeitverhalten ist die Anwendung prüfzeitverkürzender Methoden anzustreben.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Für den Bau von Abwasserkanälen und -leitungen werden Rohre aus verschiedenen Werkstoffen angeboten. Neben Beton, Stahlbeton und Steinzeug werden u.a. auch Kunststoffe (z.B. aus PE-HD: Polyethylen hoher Dichte, PP: Polypropylen, PVC-U: weichmacherfreies Polyvinylchlorid) eingesetzt. Der Kunststoffrohrbestand beschränkt sich allerdings derzeit noch auf deutlich weniger als 10 % des öffentlichen Kanalnetzes (vgl. [2]). Im Nennweitenbereich $\geq$ DN 800 (Großrohre) liegt der Anteil der Kunststoffrohrleitungen sogar lediglich bei 1 %. Für diesen Nennweitenbereich werden neben Rohren mit monolithischem Wandaufbau (Vollwandrohre) überwiegend Rohre mit aufgelöstem Wandaufbau (profilierte Rohre) angeboten.

Der geringe Einsatz insbesondere profilierter Großrohre aus Kunststoff wird von Seiten öffentlicher Kanalnetzbetreiber mit Unsicherheiten hinsichtlich des Einbaus sowie des späteren Verhaltens im Betrieb begründet. Wesentliche Diskussionspunkte sind die dauerhafte Standsicherheit, Verformungsentwicklung, Bettungsanforderungen, mögliche Einbauschwierigkeiten sowie das Verhalten unter Punktlastbeanspruchung und HD-Reinigung. Diesen Unsicherheiten steht auf der anderen Seite der Wunsch gegenüber, die möglichen Vorteile der angebotenen Kunststoffrohre, wie z.B. das geringere Gewicht, die Schweißbarkeit (PE, PP) und die chemische Beständigkeit, bei entsprechenden bautechnischen Aufgabenstellungen nutzen zu können.

Da zahlreiche der o.a. Fragestellungen der Netzbetreiber in den derzeit gültigen Normen für profilierte Kunststoffrohre nicht oder nur unvollständig berücksichtigt sind, beauftragte das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen das IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur mit dem Forschungsprojekt „Versagensmechanismen von profilierten Großrohren aus Kunststoff - Erkennen, Bewerten, Prüfen“, dessen Ergebnisse in dem vorliegenden Endbericht dargestellt sind.

Ziel des Vorhabens ist es, die Erfahrungen mit Bau- und Betrieb von Großrohren aus Kunststoff zu erfassen und auf dieser Basis praxisnahe Methoden zur Prüfung dieser Rohre zu entwickeln. Die tatsächlichen Bau- und Betriebsbeanspruchungen sollen so bereits im Rahmen der Produktentwicklung und -zulassung simuliert werden können. Im Ergebnis werden den Netzbetreibern zuverlässige Hinweise gegeben, wie das Verhalten profilierter Kunststoffrohre bereits im Vorfeld einer Baumaßnahme überprüft und während der betrieblichen Inspektion in geeigneter Weise überwacht werden kann. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine **praxisorientierte Vorgehensweise** gewählt. Zunächst wurden Erfahrungen von öffentlichen Kanalnetzbetreibern hinsichtlich des Einsatzes von profilierten Kunststoffrohren erfasst und die am Markt verbreiteten Produkttypen zusammengestellt. Anschließend wurden im Rahmen von Ortsterminen zahlreiche Kanalstrecken inspiziert und umfangreiche Querschnittsvermessungen durchgeführt. Hinweise der Netzbetreiber ließen darüber hinaus auch für kleinere Nennweiten vermuten, dass Auffälligkeiten wie Lageabweichungen und starke Querschnittsverformungen zu beobachten sind. Daher wurden in einem weiteren Arbeitsschritt auch nicht-begehbare Kanäle in die Untersuchung einbezogen. Über diese Momentaufnahme hinaus wurden ca. 130 Kanalnetzbetreiber

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

persönlich befragt, um weitere Erfahrungen aus Bau und Betrieb von Kanälen aus profilierten Kunststoffrohren zu berücksichtigen. In ergänzenden Laborversuchen wurden der Einsatz geophysikalischer Verfahren zur Erkundung der Rohrbettung an Kunststoffrohrsegmenten erprobt sowie anhand statischer Berechnungen abgeschlossener Baumaßnahmen die Bemessungspraxis für profilierte Großrohre aus Kunststoff erfasst und analysiert. Auf der Grundlage der vorgenannten Praxiserfahrungen wurden insgesamt zehn Konzepte zur Prüfung von profilierten Großrohren aus Kunststoff entwickelt, beispielhaft umgesetzt und mit Blick auf prüftechnische Verbesserungspotenziale bewertet. Die einzelnen Projektinhalte sind nachfolgend zusammengefasst.

Nach einem Überblick zum **Stand der Technik** in Kapitel 2 werden in Kapitel 3 **Praxiserfahrungen** aus In-situ-Beobachtungen und Labortests dargestellt.

Zunächst wurde untersucht, inwieweit die **Erfassung der Bettungssituation** profilierter Großrohre durch den Einsatz **geophysikalischer Methoden** aus dem Kanalinneren heraus möglich ist (vgl. Kapitel 3.1). Die Zustandsbewertung eines Kanals basiert in vielen Fällen auf einer rein optischen Inspektion. Weitergehende Informationen über das Kanalbauwerk (z.B. Wanddicke, Wandaufbau, Fehlstellen) und den umgebenden Bodenkörper (z.B. Lagerungsdefekte, Hohlräume), die beispielsweise für die Auswahl geeigneter Sanierungsmaßnahmen oder die Beurteilung der Standsicherheit des Rohr-Boden-Systems erforderlich sind, können punktuell durch Kernbohrungen bzw. Sondierungen gewonnen werden. Bisher lagen keine praktischen Erkenntnisse zu den Einsatzmöglichkeiten und -grenzen von geophysikalischen Methoden zur Erkundung von Kanalbauwerken aus profilierten Kunststoffrohren und den sie umgebenden Boden vor. Die Übertragung bisheriger Erfahrungen mit geophysikalischen Messverfahren auf den vorliegenden Anwendungsfall zeigte allerdings, dass sich lediglich das **Radarverfahren** für den Einsatz im Laborversuch anbot. In einer nach oben offenen Versuchsstrecke aus Viertelschalen eines profilierten Kunststoffrohres (DN 1600), deren Bettung aus abschnittweise unterschiedlichen Materialien bestand, wurden entsprechend geophysikalische Untersuchungen mit dem Radarverfahren durchgeführt. Während die erste Messkampagne die Erkennung der Bettungsunterschiede zum Ziel hatte, sollte auf der Grundlage der zweiten Messkampagne die aufgelöste Wandstruktur (Profil) des Rohres ermittelt werden. Beide Versuchsanordnungen haben gezeigt, dass die Radarwellen durch das Kunststoffmaterial der Rohre nahezu vollständig absorbiert wurden und somit die Rohrwandung kaum durchdringen konnten. Die untersuchten Rohre ließen demnach weder eine Erkundung des Rohrprofils noch der Bettung mit dem Radarverfahren zu. Dieses Ergebnis kann jedoch nicht grundsätzlich auf alle für den Bau von Abwasserkanälen und -leitungen verwendeten Kunststoffe übertragen werden. Der entscheidende physikalische Parameter für die Ausbreitung und Dämpfung der Radarwellen ist die Dielektrizitätskonstante des Materials. Während die Literatur ausreichende Angaben für natürliche Materialien, Minerale und Böden bereitstellt, stehen entsprechende Informationen für komplexe und variationsreiche Werkstoffe, wie z.B. Kunststoffe, kaum zur Verfügung. Offen bleibt daher, ob hier möglicherweise andere Kunststoffe weitergehende Messungen zulassen.

Um den Ist-Zustand bereits verlegter Kunststoffrohrleitungen mit Blick auf mögliche Auffälligkeiten zu erfassen, wurden sowohl **Kanalbegehungen** durchgeführt als auch

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Inspektionsvideos gesichtet (vgl. Kapitel 3.2). Im Rahmen der Begehung von Strecken mit profilierten Großrohren wurden 24 Haltungen mit einer Gesamtlänge von ca. 1,5 km inspiziert und darüber hinaus umfangreiche Querschnittsvermessungen durchgeführt. Die gesichteten Videos beinhalteten TV-Inspektionen von insgesamt 248 Haltungen mit einer Gesamtlänge von ca. 10 km. Bei diesen Untersuchungen festgestellte Schwachpunkte, Schadensfälle (z.B. Undichtigkeiten) oder andere Besonderheiten wurden identifiziert sowie detailliert dargestellt und beschrieben (vgl. Kapitel 3.2.3 bis 3.2.7). Nachfolgend werden die wesentlichen **Auffälligkeiten** im Bereich der Rohre, Rohrverbindungen, Seiteneinläufe, Schachteinbindungen und Schachtbauwerke zusammengestellt:

- Es wurden zahlreiche **Verformungsfiguren** (z.B. Maulprofil, drei- bzw. vierwellige Figuren, Ovalisierung nach oben) von Rohrquerschnitten festgestellt, die von der elliptischen, zur Vertikalachse symmetrischen Verformungsfigur abweichen (vgl. [33]). Überschreitungen des zulässigen Verformungsgrenzwertes wurden im Rahmen der Begehungen lediglich in einer Haltung festgestellt. In diesem Fall lagen an zwei von insgesamt 40 Messquerschnitten Verformungen von ca. 7 % vor. Bei der Sichtung der zahlreichen TV-Inspektionsvideos wurde ein einzelner ca. 5 m langer Haltungsabschnitt mit einer Verformung von ca. 30 % beobachtet.
- Insbesondere an nicht-begehbaren Kanälen zeigten sich zum Teil vertikal bzw. horizontal gerichtete **Lageabweichungen**, deren Ursache vermutlich in der Bauausführung (z.B. unzureichende Lagesicherung) liegt. Darüber hinaus wurden bei der Sichtung von TV-Inspektionsvideos 12 Haltungen mit jeweils einer **lokalen Verformung** im Bereich der Rohrsohle erfasst. Die Ursache dieser Auffälligkeit geht vermutlich ebenfalls auf die Bauausführung zurück (z.B. im Boden verbliebene Kanthölzer).
- Im Rahmen der Kanalbegehungen wurden unterschiedliche Veränderungen an der Rohrinnenwand beobachtet. Es handelte sich dabei zum einen um **Riefen**, die auf mechanische Einwirkungen im Rahmen des Transports bzw. der Bauausführung zurückgeführt werden können. Zum anderen zeigten sich in einer Haltung - vermutlich als Folge der Beanspruchung durch Kanalreinigungsmaßnahmen - **Ablösungen der** gelben **Innenbeschichtung**.
- **Undichtigkeiten innerhalb des Rohrschaftes** wurden nur in zwei Fällen im Scheitelbereich von nicht-begehbaren Haltungen aufgrund eintropfenden Wassers erkannt. Inwieweit diese Mängel auf Beschädigungen beim Einbau oder z.B. Punktlasten zurückzuführen sind, bleibt offen.
- Sowohl in Großrohren als auch in nichtbegehbaren Rohren wurden im Bereich der Rohrverbindungen **Versätze** (maximale Höhe: ca. 3 cm) festgestellt. Sie gehen vermutlich auf Durchmessertoleranzen zurück, die im Zusammenhang mit dem Herstellungsprozess stehen.
- An Rohrverbindungen, die durch Einsatz des Extrusions-Schweißverfahrens hergestellt wurden, zeigten sich **unterschiedlich breite Schweißnähte**. Dies kann z.B. dadurch begründet sein, dass in der Rohrverbindung eine Abwinkelung vorliegt und in der Folge die Stoßfuge eine in Umfangsrichtung unterschiedliche Breite aufweist. Sowohl im

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Rahmen der Kanalbegehungen als auch der Sichtung von TV-Inspektionsvideos wurden jedoch keine Undichtigkeiten beobachtet.

- In einem Fall wurde bei der Begehung eines Stauraumkanals in vier von insgesamt elf Rohrverbindungen, die unter Einsatz des **Heizwendel-Schweißmuffen-Verfahrens** hergestellt wurden, **sichtbares Schweißgut** festgestellt. Diese Auffälligkeit resultiert vermutlich aus einer Abweichung während des Zusammenfügens der Rohre. Undichtigkeiten wurden in diesen Bereichen nicht festgestellt.
- **Undichtigkeiten in Steckverbindungen** wurden in 7 Haltungen anhand von Infiltrationen bzw. Wurzeleinwuchs festgestellt. Als mögliche Ursachen kommen u.a. unzureichender Anpressdruck der Dichtungen infolge Rohrverformungen in Betracht oder Beschädigungen der Dichtungen beim Rohreinbau.
- Sowohl im Rahmen der Kanalbegehungen als auch bei der Sichtung von Inspektionsvideos wurden Auffälligkeiten an **Seiteneinläufen** nur in Ausnahmefällen beobachtet. So zeigte sich in Großrohren nur in einem Fall eine **ungleichmäßige Schnittkante** am Stutzenloch und in einem anderen Fall eine extrem breite Schweißnaht. In nicht-begehbaren Rohren wurden allerdings neben zwei **einragenden Stutzen** mehrere **undichte Anschlussbereiche** erfasst.
- An **Schachteinbindungen**, bei denen ein Materialwechsel von PE-Rohren auf Schächte aus Beton oder Mauerwerk vorlag, wurden im Übergangsbereich zwischen Rohr und Schachtbauwerk Auffälligkeiten in Form von **Rissen**, **Spalten**, **Materialabtrag** und **Wurzeleinwuchs** beobachtet.
- **Undichtigkeiten innerhalb von Schachtbauwerken** traten i.d.R. im Bereich des Materialwechsels zwischen PE-Schachtunterteil und dem aufgesetzten Betonschachtring bzw. Mauerwerk auf. Als Ursache konnte meist die Verwendung eines ungeeigneten Dichtmittels oder eine mangelhafte Bauausführung (z.B. Dichtung mit falscher Einbaurichtung) vermutet werden.

Um neben dieser Momentaufnahme auch weitere Erfahrungen der Netzbetreiber aus Planung, Bau und Betrieb in die Betrachtung einzubeziehen, wurden persönliche **Gespräche mit** ca. 130 öffentlichen **Kanalnetzbetreibern** (Kommunen und Wasserverbänden) - davon 80 % aus Nordrhein-Westfalen - geführt (vgl. Kapitel 3.3). Im Gesamtblick ist festzustellen, dass auf Seiten der Kanalnetzbetreiber insbesondere Unsicherheiten in Bezug auf die Rohrstabilität, die Umsetzbarkeit von Verdichtungsvorgaben und das erforderliche Firmen-Know-How bei der Verlegung (z.B. Verdichtung, Lagesicherung) bestehen. Darüber hinaus wurde auf mögliche Schwierigkeiten bei der Sanierung (Verfahren und Kosten) hingewiesen. Als Vorteile wurden andererseits das geringere Gewicht und die Schweißbarkeit sowie positive Erfahrungen hinsichtlich der Kanalreinigung und der Dichtheit genannt. Herauszustellen ist, dass zwar zahlreiche Kanalnetzbetreiber über erkennbare Querschnittsverformungen berichteten, jedoch im Rahmen der Abnahme oder Inspektion nur selten Querschnittsvermessungen durchgeführt werden. In den meisten Fällen lagen keine Aussagen zur zeitlichen Verformungsentwicklung von Kunststoffrohren vor.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Um schließlich die gegenwärtige **Praxis der Bemessung** von profilierten Großrohren aus Kunststoff in die Betrachtung einzubeziehen, wurden die bei den Netzbetreibern verfügbaren statischen Berechnungen mit Blick auf die Berechnungsannahmen und -randbedingungen sowie die rechnerische Nachweisführung analysiert (vgl. Kapitel 3.4). Insgesamt zeigt die Analyse der statischen Berechnungen von 12 abgeschlossenen Baumaßnahmen, dass die Einbaubedingungen (z.B. Bodengruppen und Verdichtungsgrad) in der Vergangenheit sehr optimistisch angesetzt, die Nachweisgrenzen (insbesondere Verformungs- und Stabilitätsnachweis) in der Regel ausgenutzt und die Möglichkeit eines Profilversagens in keinem Fall berücksichtigt wurden.

Vor dem Hintergrund der o.a. Beobachtungen und Erfahrungen aus der Praxis wird in Kapitel 4 ein **ganzheitlicher Ansatz zur Prüfung von profilierten Großrohren aus Kunststoff** vorgestellt. Im Einzelnen lassen sich die Prüfkonzepte zu folgenden fünf Schwerpunkten mit insgesamt 10 Einzelprüfungen zusammenfassen (vgl. Tabelle 11).

I. Effiziente Erfassung in situ

Die Zustandserfassung von Großrohren aus Kunststoff beinhaltet in situ die Aufnahme von Auffälligkeiten und Veränderungen des Rohrkörpers, der Rohrwandung sowie der daran angebundenen Seitenanschlüsse und der Verbindungen zu Schachtbauwerken. Die Erfassung des Verformungszustandes des Rohres stellt dabei eine besondere Schwierigkeit dar, da die aufzunehmenden Verformungsfiguren im Vorfeld meist unbekannt sind und der Einsatz der Messtechnik stets mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Dies gilt insbesondere, wenn die zu erfassenden Verformungsbilder von einer elliptischen und zur Vertikalachse symmetrischen Verformungsfigur abweichen.
Vor diesem Hintergrund wird in Kapitel 4.1 eine Vorgehensweise zur Inaugenscheinnahme und Querschnittsvermessung von Großrohren vorgestellt. Ziel ist die Auswahl einer geeigneten Messtechnik während des Inspektionsvorganges, um Rohrverformungen zunächst zu erkennen und anschließend detailliert aufnehmen zu können. Auf Basis der Messergebnisse sind dann kritische Rohrquerschnitte zu identifizieren, die bei künftigen Inspektionsplanungen besonders berücksichtigt werden.

II. Globale Verformungen

Rohrverformungen, die den gesamten Querschnitt betreffen, werden als globale Verformungen bezeichnet. Hier ist es nicht auszuschließen, dass sich diese Verformungen sowohl auf konstruktions- bzw. fertigungsbedingte Besonderheiten des Rohres (z.B. Übergänge zwischen Profilbereichen und Schweißnähte) als auch auf die Rohrverbindungen und Anschlüsse negativ auswirken. Grundsätzlich lassen sich diese Einflüsse durch Berechnungsmodelle kaum beschreiben, insbesondere mit Blick auf die Dichtfunktion von Anschlüssen und Verbindungen. Daher werden im Rahmen von Laborversuchen Prüfrohre und -anschlüsse definierten äußeren Verformungszuständen ausgesetzt und ihre Dichtheit optisch bzw. mit Wasser überprüft. Die entsprechenden Prüfkonzepte sind in den Kapiteln 4.2 bis 4.5 dargestellt. Die einzelnen Prüfungen berücksichtigen unterschiedliche Rohrnennweiten sowie Kurz- bzw. Langzeitbeanspruchungen.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

III. Betriebsbelastung, insbesondere Kanalreinigung

Die Betriebsbelastungen infolge Hochdruckreinigung werden in Anlehnung an den in [58] beschriebenen HD-Systemversuch simuliert (vgl. Kapitel 4.6). Im Rahmen der Versuche werden Sohlenreiniger in einer festgelegten Anzahl von Zyklen entlang einer aus profilierten Kunststoffrohren aufgebauten Prüfstrecke geführt. Dabei werden das Rohr und die Verbindungen durch das Schleifen der Düse und des Schlauches, durch die HD-Strahlen und durch beschleunigte Feststoffpartikel beansprucht.
Aufgrund der Schwierigkeit, diese komplexen Beanspruchungen realitätsnah in einem Berechnungsmodell zu berücksichtigen, und aufgrund des Einflusses aus der Fertigungstechnik (Herstellen der Rohrverbindung) wird die experimentelle Prüfung einem rechnerischen Nachweis der Widerstandsfähigkeit gegenüber Betriebsbelastungen aus Hochdruckreinigung vorgezogen.

IV. Zeitabhängiges Stabilitätsversagen

Grundsätzlich lässt sich das Tragverhalten von Großrohren auch durch großtechnische Versuche im Maßstab 1:1 erfassen. Allerdings ist dies mit besonderem Aufwand verbunden, der mit Blick auf die Vielfalt der in der Praxis eingesetzten Rohrgeometrien, Werkstoffvarianten und Bettungseigenschaften im vorliegenden Fall kaum gerechtfertigt erscheint. Auf entsprechende Versuche an profilierten Großrohren aus Kunststoff, z.B. unter hydrostatischem Außendruck im Großversuchsstand des IKT, wird daher verzichtet. Stattdessen wird in Kapitel 4.7 vorgeschlagen, den Stabilitätsnachweis für Großrohre grundsätzlich rechnerisch zu erbringen. Zur Verifizierung des Berechnungsmodells werden kleinmaßstäbliche Prüfkonzepte entwickelt, mit deren Hilfe die Einflüsse aus dem Werkstoffverhalten, der besonderen Rohrgeometrie und dem Beanspruchungsbild berücksichtigt werden können.
Das globale Stabilitätsversagen wird unter Berücksichtigung des speziellen Werkstoffverhaltens durch Scheiteldruckversuche und Beulversuche an **ungebetteten**, profilierten Kunststoffrohren der Nennweite DN 300 im Maßstab 1:1 untersucht. Auf dieser Basis können die Berechnungsgrundlagen eines für den rechnerischen Stabilitätsnachweis entwickelten FEM-Modells kalibriert sowie die Anwendbarkeit bestehender Berechnungskonzepte untersucht werden. Offen bleibt jedoch der Einfluss bei komplexen Profilgeometrien und hohen Normalkraftbeanspruchungen, die bei **gebetteten** Rohren entstehen können. So ist nicht auszuschließen, dass vor oder mit dem globalen Versagen auch ein Profilversagen eintritt, oder das Werkstoffverhalten nur unzureichend erfasst wird. Aus diesem Grund wird in Kapitel 4.8 ein Prüfkonzept entwickelt, mit dem eine ausgeprägte Verformung von Profilproben unter hoher Normalkraftbeanspruchung provoziert und auf dieser Basis die Aussagekraft des FEM-Modells überprüft werden kann. Zur Minimierung der Biegemomentenbelastung infolge der Prüfkörperkrümmung werden die Versuche an kleinformatigen Wandausschnitten durchgeführt. Durch lokale Lasteinleitung erzeugte Imperfektionen der Profilgeometrie werden in Kapitel 4.9 durch Querdruckversuche an ähnlichen Prüfkörpern erzeugt und mit dem FEM-Modell abgeglichen (vgl. Hauptthema V).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

V. Lokale Belastungen von außen

Durch Störkörper in der Bettung können im Betriebszustand des Rohres lokale Belastungen verursacht werden. Die Auswirkungen auf ein profiliertes Kunststoffrohr hängen dabei u.a. von der Größe der Lasteinleitungsfläche ab. Während punktförmige Lasten (z.B. durch spitze Steine) zu einem Eindringen des Störkörpers in das Rohrmaterial führen können, lassen flächigere Lasten (z.B. durch Kanthölzer) eine Verformung des Profils erwarten.

In Kapitel 4.9 wird das zeitabhängige Verformungsverhalten von Profilen unter Querdruck an Prüfkörpern aus Rohrsegmenten untersucht. Ziel des Versuchskonzeptes ist die Simulation typischer lokaler Lasten, um anhand der Versuchsergebnisse das Berechnungsmodell (vgl. Stabilitätsversagen, Hauptthema IV) hinsichtlich des Werkstoffverhaltens und der Geometriebeschreibung zu kalibrieren bzw. zu bestätigen.

Das zeitabhängige Eindringverhalten von Punktlasten in die Grundwand bzw. die Profile wird in Kapitel 4.10 im Rahmen von Kriechversuchen an Prüfkörpern aus Rohrsegmenten untersucht. Die Punktlasten beanspruchen dabei nur sehr kleine Bereiche des Prüfkörpers. Sowohl die Höhe der Prüflast als auch die Geometrie des Prüfstempels kann dem jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden. Aufgrund der einfachen Umsetzbarkeit des Versuches wird auf einen rechnerischen Nachweis der Widerstandsfähigkeit gegenüber Punktlasten verzichtet.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

6 Fazit und Ausblick

Auf Grundlage der erhobenen Praxiserfahrungen und Beobachtungen aus beispielhaft durchgeführten Laborprüfungen lässt sich folgendes **Fazit** für die **Praxis** ziehen:

- Die in den Praxisbeobachtungen und Laborversuchen untersuchten Großrohre zeigten in vielen Fällen deutliche **Abweichungen von der Sollgeometrie** (Profile und Rohrdurchmesser). Während die Nennweitenschwankungen stets im Rahmen der zulässigen Toleranzen lagen, zeigten sich in der Profilform und –verarbeitung z.T. auch Abweichungen, die eine Schwächung des Profilquerschnitts vermuten ließen.
- Häufig sind den Netzbetreibern die unterschiedlichen **Werkstoff- bzw. Rohreigenschaften** der eingesetzten Kunststoffrohre nicht bekannt. Darüber hinaus wird vor Ort grundsätzlich auf eine **Identifikation der verbauten Werkstoffe** verzichtet. In der Regel werden die verschiedenen Materialien durch die Netzbetreiber pauschal unter dem Begriff „Kunststoffe“ zusammengefasst, so dass Probleme mit einem Werkstoff- oder Rohrtyp häufig auf die gesamte Werkstofffamilie bezogen werden.
- Die Analyse der **statischen Berechnungen** von 12 abgeschlossenen Baumaßnahmen zeigte, dass die Einbaubedingungen (z.B. Bodengruppen und Verdichtungsgrad) in der Vergangenheit sehr optimistisch angesetzt, die Nachweisgrenzen (insbesondere Verformungs- und Stabilitätsnachweis) in der Regel ausgenutzt und die Möglichkeit eines Profilversagens in keinem Fall berücksichtigt wurden.
- Eine **detaillierte Inspektion von Großrohren aus Kunststoff** findet kaum statt. Verformungen an profilierten Großrohren aus Kunststoff werden im Rahmen der Bauabnahme nur selten und während der Betriebsphase nahezu gar nicht vermessen. Kanalbegehungen werden aufgrund der betrieblichen Situation (z.B. hohe Teilfüllung) sowie der glatten Rohroberfläche (Rutschgefahr) nur vereinzelt durchgeführt.
- Die im Rahmen der Begehungen und Sichtung von Inspektionsvideos beobachteten **Querschnittsverformungen** lagen i.d.R. innerhalb der zulässigen Grenzen nach ATV-A 127 [33]. Negative Einflüsse auf die Standsicherheit, Dichtheit und Funktionsfähigkeit waren allein aufgrund des optischen Eindrucks nicht zu erkennen.
- **Kritische Verformungszustände**, z.B. große Vertikalverformungen, lassen sich letztlich nur zuverlässig bewerten, wenn auch Informationen zur Lieferqualität, dem Einbau und dem zeitlichen Verformungsverlauf vorliegen. Eine besondere Bedeutung kommt daher der Abnahme bei Anlieferung, der Bauabnahme sowie – bei erkennbar großen Verformungen – der regelmäßigen Inspektion und Querschnittsvermessung zu.
- In situ wurden neben Querschnittsverformungen vielfach auch **Lageabweichungen** und in wenigen Fällen **lokale Verformungen** beobachtet. Im Rahmen der **Bauausführung** sollte verstärkt auf eine ausreichende Lagesicherung der Rohre ohne Verbleib von Störkörpern (z.B. Kanthölzer), eine gleichmäßige Verdichtung und die Minimierung von Vorverformungen (z.B. bei Sonneneinstrahlung) geachtet werden.
- Zur zerstörungsfreien Erkundung des Rohrprofils und der Bettung schien von allen **geophysikalischen Messverfahren** im vorliegenden Anwendungsfall lediglich das

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Radarverfahren überhaupt einsetzbar. Allerdings wurden die Radarwellen durch das eingesetzte Kunststoffmaterial nahezu vollständig absorbiert. Eine geophysikalische Erkundung der Wandung des Kanals und des ihn umgebenden Bodens scheint daher bei diesem Rohrtyp mit vorhandener Technik nicht möglich.

- Im Rahmen der Kanalbegehungen wurden nur geringfügige Veränderungen an der Rohrinnenwand beobachtet. Erkannte **Riefen** sind höchstwahrscheinlich bereits durch mechanische Einwirkungen im Rahmen des Transports bzw. bei der Bauausführung entstanden. Demgegenüber lassen **Ablösungen** der gelben Innenbeschichtung in der Sohle entsprechende Beanspruchungen aus Kanalreinigung vermuten.
- **Undichtigkeiten innerhalb des Rohrschaftes** wurden nur in zwei Fällen im Scheitelbereich von nicht-begehbaren Haltungen aufgrund eintropfenden Wassers erkannt. Inwieweit diese Mängel auf Beschädigungen beim Einbau oder z.B. Punktlasten zurückzuführen sind, konnte nicht geklärt werden.
- **Schachteinbindungen und Schachtbauwerke** sollten in erhöhtem Maße bei der Planung, Bauausführung und Produktentwicklung berücksichtigt werden. Erhebliche Schwachstellen zeigten sich, insbesondere mit Blick auf die Dichtheit des Gesamtsystems, an den Materialübergängen zwischen PE-Rohren und Beton- bzw. Mauerwerksschächten bzw. PE-Schachtunterteilen und aufgesetzten Beton- bzw. Mauerwerksringen.

Mit Blick auf die im Rahmen des Vorhabens entwickelten **Prüfkonzepte** lässt sich folgendes **Fazit** ziehen:

- Die **Prüfkonzepte** orientieren sich im Wesentlichen an den mechanischen Beanspruchungen der Rohre, Rohrverbindungen und –anschlüsse unter äußeren und inneren Belastungen (z.B. Außenlast, Setzungen, HD-Reinigung).
- Die **Einbauqualität** im Einzelfall ist maßgebend für die Sicherheit des Gesamtsystems aus Rohrleitung, Bettung und Schachtbauwerken. Entsprechend kommt der **In-situ-Inspektion** eine besondere Bedeutung zu.
- Um bei vertretbarem Aufwand in situ **aussagekräftige Inspektionsergebnisse** zu erzielen, empfiehlt sich eine Kombination aus optischer Inspektion und Verformungsmessung. Auf dieser Basis lassen sich dann kritische Bereiche für weitere detailliertere Beobachtungen identifizieren.
- Zur Überprüfung der **Standsicherheit** von profilierten Großrohren, bietet sich eine Kombination aus Berechnungsmodellen und ergänzenden Laborversuchen an. Die Ergebnisse der Laborprüfungen dienen dann als Grundlage für die Optimierung bzw. Bestätigung des FEM-Modells, so dass schließlich ein rechnerischer Nachweis gegen **Wasseraußendruck, Profilbelastung durch Normalkraft und lokalen Außendruck** geführt werden kann.
- Zur Überprüfung der **Dichtheit** von profilierten Großrohren unter üblichen und extremen Belastungen werden praxisnahe Laborversuche vorgeschlagen. Einen Schwerpunkt bildet dabei die Untersuchung der **Schweißnähte und Anschlüsse** unter großen

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Verformungen sowie das Beanspruchungsverhalten bei Kanalreinigung und Punktbelastung.

- **Punktbelastungen** stellen einen im Rahmen der Prüfung nur schwer beschreibbaren Sonderfall dar. Unter Einsatz üblicher Verfüllmaterialien ist kaum mit nennenswerten lokalen Lastkonzentrationen zu rechnen, so dass die zu wählenden Randbedingungen einen erheblichen Interpretationsspielraum aufweisen. Dies betrifft z.B. Angaben zur Größe der Einzugsfläche möglicher Störkörper und der Anzahl ihrer Kontaktpunkte zum Rohr.

Vor dem Hintergrund der vorgenannten Erkenntnisse lassen sich als **Ausblick** die folgenden, noch offenen Fragestellungen zusammenfassen:

- Bisher wird im Rahmen der **Bauüberwachung** auf die Identifikation des Rohrwerkstoffes, d.h. des eingesetzten Kunststoffs, verzichtet. Zur **Werkstoffbestimmung** bieten sich – ähnlich wie z.B. bei der Abnahme von Schlauchlinern – sowohl thermische Verfahren, wie z.B. Differenzthermoanalyse (DTA), Thermogravimetrie (TG) oder Differential Scanning Calorimetry (DSC), als auch die Infrarotspektroskopie an (vgl. [41]). Inwieweit diese Verfahren in wirtschaftlich sinnvoller Weise zur Bestimmung der **Lieferqualität** genutzt werden können, ist ggf. durch weitere Untersuchungen zu klären.
- **Materialübergänge** von PE auf Beton oder Mauerwerk stellen mit Blick auf die Dichtheit des Gesamtsystems insbesondere in Schachtbauwerken eine Schwachstelle dar. Hier sollten die am Markt angebotenen Lösungen zur Herstellung dichter Materialübergänge im Rahmen von Systemtests auf ihre grundsätzliche Eignung untersucht werden. Für die Bauabnahme stellt sich dann auch die Frage nach handhabbaren Methoden zur Dichtheitsprüfung dieser Übergangsbereiche.

Im **Gesamtblick** lässt sich feststellen, dass mit den im Rahmen des Vorhabens entwickelten Prüfkonzepten erstmalig eine umfassende Prüfung und Bewertung der am Markt angebotenen Produkte möglich ist. Künftig kann auf diese Konzepte im Rahmen von Produktentwicklungen und -vergleichen, Zulassungsprüfungen sowie stichprobenartigen Qualitätskontrollen zurückgegriffen werden.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

7 Literatur

[1] Statistisches Bundesamt: Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2001, Umwelt, Fachserie 19, Reihe 2.1, SFG - Servicecenter Fachverlage GmbH, Reutlingen (2003).

[2] Berger, C.; Lohaus, J.: Zustand der Kanalisation, Ergebnisse der DWA-Umfrage 2004; KA -Abwasser, Abfall (2005), Heft 5, S. 528-539.

[3] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen, 3. Auflage, Ernst & Sohn (1998).

[4] DIN 16961-1: Rohre und Formstücke aus thermoplastischen Kunststoffen mit profilierter Wandung und glatter Rohrinnenfläche, Teil 1: Maße; Berlin, Beuth Verlag (März 2000).

[5] DIN 16961-2: Rohre und Formstücke aus thermoplastischen Kunststoffen mit profilierter Wandung und glatter Rohrinnenfläche, Teil 2: Technische Lieferbedingungen; Berlin, Beuth Verlag (März 2000).

[6] DIN 19566-1: Rohre und Formstücke aus Thermoplastischen Kunststoffen mit profilierter Wandung und glatter Rohrinnenoberfläche für Abwasserkanäle und -leitungen, Teil 1: Maße; Entwurf; Berlin, Beuth Verlag (Februar 1996).

[7] DIN 19566-2: Rohre und Formstücke aus Thermoplastischen Kunststoffen mit profilierter Wandung und glatter Rohrinnenoberfläche für Abwasserkanäle und -leitungen, Teil 2: Allgemeine Anforderungen, Prüfung; Entwurf; Berlin, Beuth Verlag (Februar 1996).

[8] prEN 13476-1: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und Leitungen - Rohrleitungssystem mit profilierter Wandung aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE), Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem; Schluss-Entwurf; Berlin, Beuth Verlag (September 2002).

[9] prEN 13476-2: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und Leitungen - Rohrleitungssystem mit profilierter Wandung aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE), Teil 2: Empfehlungen für die Beurteilung der Konformität; Schluss-Entwurf; Berlin, Beuth Verlag (September 2002).

[10] prEN 13476-3: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und Leitungen - Rohrleitungssystem mit profilierter Wandung aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE), Teil 3: Empfehlungen für die Verlegung; Schluss-Entwurf; Berlin, Beuth Verlag (September 2002).

[11] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Merkblatt M 143, Teil 2: Optische Inspektion - Inspektion,

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen; Hennef, GFA (April 1999).

[12] Deutscher Verband für Schweißtechnik und verwandte Verfahren e.V. (DVS), Richtlinie DVS 2207, Teil 1: Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen, Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE-HD; Düsseldorf, DVS-Verlag (August 1995).

[13] Deutscher Verband für Schweißtechnik und verwandte Verfahren e.V. (DVS), Richtlinie DVS 2207, Teil 11: Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen, Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PP; Düsseldorf, DVS-Verlag (Februar 1999).

[14] Deutscher Verband für Schweißtechnik und verwandte Verfahren e.V. (DVS), Richtlinie DVS 2207, Teil 4: Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen, Extrusionsschweißen, Tafeln und Rohre; Düsseldorf, DVS-Verlag (Juli 1993).

[15] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): CO_2-Minderung durch rationelle Energienutzung in der Kunststoff-verarbeitenden Industrie, Augsburg (2002).

[16] Internetauftritt der Uponor Anger GmbH: www.uponor-anger.de (Stand März 2005).

[17] Internetauftritt der Unicor GmbH: www.unicor.de (Stand März 2005).

[18] Firmeninformation Fränkische Rohrwerke Gebr. Kirchner GmbH + Co KG, Königsberg/Bayern, Produktbeschreibung 26.1/02 / Produkt robukan (Stand 2002).

[19] Internetauftritt der Firma Profile Pipe Machinery Ltd.: www.profilepipe.com (Stand März 2005).

[20] Internetauftritt der Firma GeoPolieco: www.geopolieco.ch (Stand März 2005).

[21] Firmeninformation EuroPlast GmbH, Ehringshausen, Lieferprogramm des Produkts „Magnum“ (Mai 2004).

[22] Firmeninformation REHAU AG & Co, Rehau, Katalog 840.050 / Produkt: „RAUVIA“ (April 2004).

[23] Firmeninformation REHAU AG & Co, Rehau, Technische Information 840.600 / Produkt „RAUVIA“.

[24] Krämer, E: Untersuchung von profilierten Großrohren aus Kunststoff; 1. Teilbericht der Fachhochschule Gelsenkirchen / Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften FB 12 im Auftrag des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Recklinghausen (April 2004, unveröffentlicht).

[25] Firmeninformation Frank GmbH, Mörfelden, Katalog zum Profilkanalrohrsystem (Dezember 2000).

[26] Firmeninformation Henze GmbH, Troisdorf.

[27] Firmeninformation bauku Troisdorfer Bau- und Kunststoff GmbH, Wiehl-Drabenderhöhe, Katalog zum „Profileen“-Kanalrohrsystem (2002).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

[28] Kunststoffrohrverband e.V. Bonn: Kunststoffrohr Handbuch - Rohrleitungssysteme für die Ver- und Entsorgung sowie weitere Anwendungsgebiete; 3. Auflage, Essen, Vulkan Verlag (1997).

[29] Wesche, K.: Baustoffe für tragende Bauteile, Band 4 - Holz und Kunststoffe; 2. Auflage, Wiesbaden und Berlin, Bauverlag (1988).

[30] Domininghaus, H.: Die Kunststoffe und ihre Eigenschaften; 4. Auflage, Düsseldorf, VDI-Verlag (1992).

[31] Wesche, K.: Baustoffe für tragende Bauteile, Band 1 - Grundlagen; 3. Auflage, Wiesbaden und Berlin, Bauverlag (1996).

[32] DIN 19537-2: Rohre und Formstücke aus Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) für Abwasserkanäle und Leitungen, Teil 2: Technische Lieferbedingungen; Berlin, Beuth Verlag (Januar 1988).

[33] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Arbeitsblatt A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen, 3. Auflage, Hennef, GFA (August 2000).

[34] DIN 50035-1: Begriffe auf dem Gebiet der Alterung von Materialien, Teil 1: Grundbegriffe; Berlin, Beuth Verlag (März 1989).

[35] Krebs, C.; Avondet, M.; Leu, K. W.: Langzeitverhalten von Thermoplasten, Alterungsverhalten und Chemikalienbeständigkeit; München, Carl Hanser Verlag (1999).

[36] Franck, A.: Kunststoff-Kompendium; 5. Auflage, Würzburg, Vogel Verlag (2000).

[37] DIN EN 921: Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Rohre aus Thermoplasten - Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens bei konstanter Temperatur; Deutsche Fassung EN 921, Berlin, Beuth Verlag (1994).

[38] DIN 8075: Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung; Berlin, Beuth Verlag (August 1999).

[39] Gondro, C.; u. A.: Das Kunststoffrohr im Trinkwasser- und Kanalsektor sowie in der Gasversorgung; Expert Verlag (2001).

[40] Kämpf, G.: Industrielle Methoden der Kunststoff-Charakterisierung; München, Hanser Verlag (2001).

[41] Krämer, E: Untersuchung von profilierten Großrohren aus Kunststoff; 2. Teilbericht der Fachhochschule Gelsenkirchen / Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften FB 12 im Auftrag des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Recklinghausen (April 2005, unveröffentlicht).

[42] E DIN 19586-100: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U), Polypropylen (PP) und Polyethylen (PE) mit profilierter Wandung und glatter Rohrinnenoberfläche, Teil 1:

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem (Vorschlag für eine europäische Norm); Entwurf; Berlin, Beuth Verlag (Mai 1998).

[43] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Arbeitsgruppe ES-5.8: Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen in der Umgebung erdverlegter Abwasserkanäle (Arbeitsbericht); KA - Abwasser, Abfall (2003), Heft 5, S. 641-644.

[44] Konsortium Gläserner Kanal (HOCHTIEF Construction AG, Deutsche Montan Technologie GmbH, Gesellschaft zur Erforschung der Kanalisationstechnik mbH): Quantitative Inspektion von Abwasserkanälen und -leitungen mittels geophysikalischer Verfahren; Endbericht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (September 2003).

[45] Bertelsmann Universal Lexikon; Bertelsmann Lexikothek Verlag (1990).

[46] Fricke, S.; Schön, J.: Praktische Bohrlochgeophysik; Stuttgart, ENKE im Georg Thieme Verlag (1999).

[47] Lenz, J. [Hrsg.]: Ortung; Schriftenreihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau an der Fachhochschule Oldenburg (Band 9); Essen, Vulkan-Verlag (1995).

[48] Gordziel, W.; Redmann, A.; Kabbe, T.; Lehmann, Bodo: Geophysikalische Methoden zur Erkundung der Kanalbettung- und -umgebung; tis - Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau (2004), Heft 10, S. 10 - 15.

[49] Firmeninformation Frank & Krah Wickelrohr GmbH, Schutzbach.

[50] Elsen, R.: Geophysikalische Messungen zur Bettungsuntersuchung an Kanalohren in Gelsenkirchen; Ergebnisbericht der DMT (Deutsche Montan Technologie GmbH) im Auftrag des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur (März 2005, unveröffentlicht).

[51] Internet-Auftritt der Firma von der Lieck: www.vonderlieck.de (Stand April 2005)

[52] Bosseler, B.; Birkner, T.: Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwVKan) bei den kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW; Endbericht des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (Dezember 2003), Download unter www.ikt.de.

[53] Bosseler, B.: Beitrag zur Darstellung, Analyse und Interpretation von Verformungsmessdaten aus der Inneninspektion biegeweicher Abwasserleitungen. Technisch-wissenschaftliche Berichte, IKT-Bericht 97/4 (Juni 1997).

[54] Falter, B.; Holthoff, F.: Statiken für profilierte Rohre; Bericht der Fachhochschule Münster / Fachbereich Bauingenieurwesen im Auftrag des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Münster (November 2004, unveröffentlicht).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

[55] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Arbeitsblatt A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen, 2. Auflage, Hennef, GFA (Dezember 1988).

[56] Süddeutsches Kunststoff-Zentrum: Anlage 1 zu Prüfbericht Nr. 26461 / 91.

[57] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Merkblatt M 127, Teil 1: Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwasser aus Deponie, Hennef, GFA (März 1996).

[58] Bosseler, B.; Schlüter, M.: Kanalreinigung - Düsen, Drücke, Hochdruckstrahlen; Endbericht des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (Dezember 2004).

[59] Bosseler, B.; Liebscher, M.: Unterirdischer Vortrieb von Stahlbetonrohren mit Rechteckquerschnitt - Teil II; Endbericht des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (März 2002), Download unter www.ikt.de.

[60] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Merkblatt M 149: Zustandserfassung, -klassifizierung, und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden; Hennef, GFA (April 1999).

[61] Rogers, C. D. F.: The response of buried uPVC pipes to surface loading. Thesis (Ph. D.), University of Nottingham (1985).

[62] Rau, P. J.: Zum Tragverhalten biegeweicher Rohre im Boden. Dissertation. TH Darmstadt (1987).

[63] Rogers C. D. F.. Some observations on flexible pipe response to load. Transportation Research Record 1191, TRB (1988).

[64] Carlström, B. I.: Structural Design Of Underground GRP Pipe. Underground Plastic Pipe Conference, New Orleans (1981).

[65] Zanzinger, H.; Gartung, E.: Large-Scale Model Test of Leachate Pipes in Landfills under Heavy Load. Advances In Underground Pipeline Engineering, II. Int. Conf., Bellevue, Washington (1995).

[66] Lang, D. C.; Howard, A. K.: Buried fiberglass pipe response to field installation methods. Advances in underground pipeline engineering, Madison (1985).

[67] Fourie, A. B.; Beer, G.: The importance of the failure criterion in the analysis of buried pipelines. Research Report No. CE 90, Dep. Civ. Eng., University of Queensland (1988).

[68] Kienow, K. K.; Prevost, R.: Pipe/Soil stiffness ratio effect on flexible pipe buckling threshold. Journal of Transportation engineering 115 (1989) H. 2.

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

[69] DIN EN ISO 9969: Thermoplastische Rohre, Bestimmung der Ringsteifigkeit; Berlin, Beuth Verlag (August 1995).

[70] Falter, B.; Holthoff, F.: Geometrisch nichtlineare Berechnung von profilierten Rohren unter Linienbelastung, Teil 1: glattwandige Rohre; Bericht der Fachhochschule Münster / Fachbereich Bauingenieurwesen im Auftrag des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Münster (April 2004, unveröffentlicht).

[71] Bosseler, M.: FEM-Berechnungen an profilierten Kunststoffrohren; IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur (Juli 2004, unveröffentlicht).

[72] DIN EN ISO 291: Kunststoffe - Normalklimate für Konditionierung und Prüfung; Berlin, Beuth Verlag (November 1997).

[73] Firmeninformation bauku - Troisdorfer Bau- und Kunststoff GmbH, Wiehl-Drabenderhöhe.

[74] Firmeninformation Frank & Krah Wickelrohr GmbH, Schutzbach.

[75] Bosseler, B.; Homann, D.; Kaltenhäuser, G.; Puhl, R.: IKT-Warentest - Hausanschlussstutzen; Endbericht des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur (Juni 2002), Download unter www.ikt.de.

[76] Forschungsprojekt des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur: Entwicklung eines Gerätes zur Prüfung der Dichtheit von angebohrten Hausanschlussstutzen; Auftraggeber: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (in Bearbeitung).

[77] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; Berlin, Beuth Verlag (Oktober 1997).

[78] DIN EN 1277: Kunststoff-Rohrleitungssysteme - Erdverlegte Rohrleitungssysteme aus Thermoplasten für drucklose Anwendungen - Prüfverfahren für die Dichtheit von elastomeren Dichtringverbindungen; Deutsche Fassung; Berlin, Beuth Verlag (März 2004).

[79] Preiskatalog, Fa. USBDüsen, Bretzfeld-Schwabbach (Stand 06/2002).

[80] Hochdruckkatalog, Fa. Brendle-Dübre GmbH, Hülben (Stand 2002).

[81] IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur: Marktübersicht HD-Düsen, Download unter www.ikt.de.

[82] DIN 18800-3: Stahlbauten - Stabilitätsfälle, Pl(Stand 05/2005)attenbeulen; Berlin, Beuth Verlag (November 1990)

[83] DIN 18800-4: Stahlbauten - Stabilitätsfälle, Schalenbeulen; Berlin Beuth Verlag (November 1990).

[84] Falter, B.; Scheipers, I.: Theoretische Untersuchungen und Versuche im Zusammenhang mit ATV-DVWK-M 127-3 (Statische Berechnung von erdgebetteten profilierten Rohren); Bericht der Fachhochschule Münster / Fachbereich

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

Bauingenieurwesen im Auftrag der GFA - Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik; Münster (Dezember 2003, unveröffentlicht).

[85] Falter, B.; Holthoff, F.: FEM-Berechnungen zum Beulverhalten von außen profilierten Rohren der Nennweite DN 300; Bericht der Fachhochschule Münster / Fachbereich Bauingenieurwesen im Auftrag des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Münster (September 2004, unveröffentlicht).

[86] DIN EN 1092-2: Flansche und ihre Verbindungen - Runde Flansche für Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet - Teil 2: Gusseisenflansche; Berlin Beuth Verlag (Juni 1997).

[87] Falter, B.; Holthoff, F.: Beulversuche an ungebetteten profilierten Kunststoffrohren der Nennweite DN 300; Berichtsentwurf der Fachhochschule Münster / Fachbereich Bauingenieurwesen im Auftrag des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Münster (Februar 2005, unveröffentlicht).

[88] Steffens, K. (Hrsg.); Falter, B.; Grunwald, G.; Harder, H.: Abwasserkanäle und -leitungen, Statik bei der Substanzerhaltung und Renovierung (ASSUR). Kooperatives Forschungsprojekt 01RA 9803/8, gefördert durch das BMB+F. Abschlussbericht, Eigenverlag Inst. für Experimentelle Statik, Hochschule Bremen (2002).

[89] Falter, B.; Holthoff, F.: FEM-Berechnungen zum Beulverhalten von profilierten Rohren der Nennweite DN 2000; Bericht der Fachhochschule Münster / Fachbereich Bauingenieurwesen im Auftrag des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur; Münster (September 2004, unveröffentlicht).

[90] Heyer, M.; Jürling, D.: Rohrbettung und Bodenverdichtung bei Kunststoffrohren mit profilierter Außenwandung, Diplomarbeit an der Fachhochschule Oldenburg-Ostfriesland-Wilhelmshaven, Oldenburg (2004).

[91] Firmeninformation Italiana Corrugati S.r.A., Piandimeleto (Italien), Technical Card Of Magnum Pipe D.1200-SN8.

[92] Schwarz, O.: Kunststoffkunde, 5. Auflage, Vogel Buchverlag (1997).

[93] Firmeninformation bauku Troisdorfer Bau- und Kunststoff GmbH, Wiehl-Drabenderhöhe, Katalog zum „bauku-Safe“-Doppelwandsystem (2002).

[94] Hessel, J.: Mindestlebensdauer von erdverlegten Rohren aus Polyethylen ohne Sandbettung, Teil 2; 3R International 40 (2001), Heft 6, S. 360-366.

[95] Hessel, J.: Mindestlebensdauer von erdverlegten Rohren aus Polyethylen ohne Sandbettung, Teil 1; 3R International 40 (2001), Heft 4, S. 178-184.

[96] DIN ENV 1046: Kunststoff-Rohrleitungs- und Schutzrohr-Systeme - Systeme außerhalb der Gebäudestruktur zum Transport von Wasser oder Abwasser - Verfahren zur ober- und unterirdischen Verlegung; Berlin, Beuth Verlag (2001).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH

[97] Regelwerk der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Arbeitsblatt A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; Hennef, GFA (Juni 2001).

[98] Lenz, J.: Langzeit-Punktbelastungsversuche an Kunststoffrohren (Institut für Rohrleitungsbau, Oldenburg); Plastic Pipes XI, München (2001).

[99] Stein, D.; Körkemeyer, K.: Bemessung der Mindestwanddicke erdverlegter Kunststoffrohre für Freispiegelleitungen; 3R International 38 (1999), Heft 1, S. 42-47.

[100] Hessel, J.: Zeitstandverhalten von Polyethylen unter dem Einfluss lokal konzentrierter Spannungen; 3R International 34 (1995), Heft 10/11, S. 573-579.

[101] Bosseler, B.; Liebscher, M.: Erneuerung mit dem Berstverfahren - Bemessung, Prüfung und Qualitätssicherung von Abwasserrohren; Endbericht des IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (November 2003), Download unter www.ikt.de.

[102] Richtlinie DVS 2203, Teil 4, Beiblatt 2: Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen - Zeitstandzugversuch, Prüfen des Widerstands gegen langsames Risswachstum im Full Notch Creep-Test (FNCT); Düsseldorf, DVS-Verlag (12/2001).

[103] Bosseler, B.; Liebscher M.: Leitungserneuerung mit dem Berstverfahren; bbr - Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau (Januar 2004), S. 24-31.

[104] DVGW-Prüfgrundlage VP 641, in Bearbeitung.

[105] DVGW Arbeitsblatt GW 323-E: Grabenlose Erneuerung von Gas- und Wasserversorgungsleitungen durch Berstlining - Anforderungen, Gütesicherung und Prüfung; Entwurf (August 2003).

[106] Forschungsprojekt der Fachhochschule Münster, Fachbereich Bauingenieurwesen, in Kooperation mit dem IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur: Mindestüberdeckung und Belastungsansätze für flachüberdeckte Abwasserkanäle; Auftraggeber: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (als Forschungsvorhaben genehmigt).

© 2005 All rights reserved by GEK GmbH