

Flach überdeckte Abwasserkanäle

Flache Überdeckungen sind von besonderem Interesse, da solche Anwendungen einerseits zunehmen, andererseits auf die Rohrleitungen hohe Bodenspannungen aus Verkehrslasten einwirken. In einem kürzlich abgeschlossenen Forschungsprojekt konnte mit Hilfe von Versuchen im Maßstab 1:1 und FE-Simulationen die Lastsituationen auf das Rohr bei verschiedenen Überdeckungshöhen ermittelt werden.

In Teil 1 der Artikel-Reihe „Mindestüberdeckung von Abwasserkanälen“ werden das Forschungsprojekt „MIBAK“ [1] und die Versuche im Maßstab 1:1 behandelt.

Seitlicher Erddruck aus Verkehrslasten

Die statische Berechnung von erdbebeteten Abwasserleitungen und -kanälen erfolgt in Deutschland seit 1984 nach dem Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 [2]. Im Rahmen der CEN/TC165/WG12 wurden zwar zwei Optionen für eine „europäische Rohrstatik“ erarbeitet, es konnte jedoch keine Einigung auf ein endgültiges Verfahren erzielt werden. Zur Berücksichtigung von Weiterentwicklungen bei der Rohrherstellung und beim Rohreinbau sowie der Notwendigkeit einer Anpassung an europäisch übliche Regelungen zur Standsicherheit wird daher von der Arbeitsgruppe DWA ES 5.5 eine 4. Auflage des Arbeitsblattes A 127 vorbereitet. Dabei können auch neuere Erkenntnisse bezüglich der Tragwirkung des Rohr-Boden-Systems einbezogen werden.

Die Untersuchungen sollen außerdem Aussagen über die Reststandsicherheit von geschädigten Rohren und die Berechnung von Sanierungssystemen bei nicht mehr allein tragfähigen Altrohren liefern. Typische Belastungen flach überdeckter Kanäle sind vertikale Scheitelbelastungen mit nur geringer seitlicher Stützung aus Erddruck, Längstragwirkung der Rohre aus konzentrierten Flächenlasten und Lastkonzentrationen im Rohrscheitel (Lastbrücke), vgl. [3].

Zunächst soll die horizontale Stützung aus Radlasten auf der Geländeoberkante (GOK) näher betrachtet werden: Wird nach Bild 1 die Überdeckung h konstant gehalten und der Rohraußendurchmesser vergrößert, so nehmen die Vertikalspannungen neben den Rohrkämpfern ab. Für den stützend wirkenden seitlichen Druck gilt daher ein geometrisches Kriterium, das die Werte h , d_a und a enthält. Zur Verifizierung der Gleichungen liefern die durchgeführten Versuche ausreichende Messergebnisse. Bei biegeweichen Rohren werden Seiten- und Bettungsreaktionsdruck gemeinsam gemessen, daher werden diese Untersuchungen an einem biegesteifen Rohrwerkstoff durchgeführt.

Verkehrslasten nach DIN-Fachbericht 101

Die Größe und Verteilung der Lasten aus den Doppelachsen der beiden Schwerlastwagen ist Bild 2 zu entnehmen. Gegenüber der bisherigen Regelung sind u.a. Radaufstandsflächen von $40 \times 40 \text{ cm}^2$ vorgesehen, der Achsabstand ist verringert, die Gesamtlast der Fahrzeuge beträgt $4 \times F_1 = 480$ bzw. 320 kN (früher $6 \times F_1 = 600$ bzw. 300 kN) und der Stoßbeiwert ist nunmehr enthalten (früher: 1,2 für SLW 60 bzw. 1,5 für LKW 12).

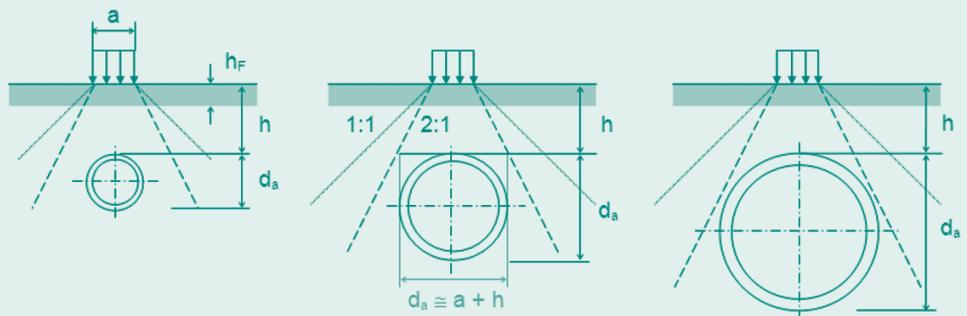


Bild 1 Spannungsverteilung der Teilflächenlast im Boden bei konstanter Überdeckung und unterschiedlichen Nennweiten (Prinzipiskizze)



Versuchsaufbau zur Mindestüberdeckung von Kanälen

Angesichts des zunehmenden Schwerlastverkehrs – vgl. Verkehrsprognose 2015 des BMVBS [4] – ist auch innerhalb von Städten häufig mit engem Begegnungsverkehr zu rechnen. Die Auswirkungen des überholenden Fahrzeugs auf Rohre wurden von Hornung für die Vorgängernorm DIN 1072 untersucht, vgl. [5].

Es werden sowohl Versuche mit 60 cm lichtem Abstand für 3 m breite Fahrstreifen (NL = „normale Laststellung“) als auch mit enger Radstellung (EL) durchgeführt. Nach DIN Fachbericht 101 [6] sind Fahrstreifenbreiten von 2,7 m möglich mit lichten Radabständen von 10 cm, vgl. Bild 2. Aus technischen Gründen konnte der Abstand jedoch nur auf 25 cm verringert werden. Hierbei wurde eine ca. 1,4-fache Beanspruchung gegenüber NL gemessen.

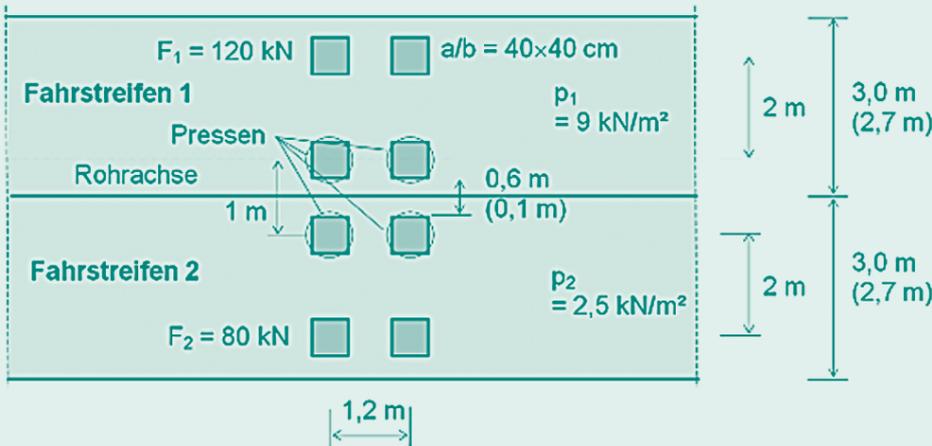


Bild 2 Verkehrslasten nach DIN-Fachbericht 101, „normale Laststellung“ und Pressenanordnung der Belastungsversuche

Weitere Untersuchungsziele

Mit den Versuchen an flach überdeckten Rohren aus Beton, duktilem Gusseisen und Polyethylen sollen neben der Höhe des seitlichen Erddrucks auch die folgenden aktuellen Fragen behandelt werden:

- Wie wirken sich die Verkehrslasten nach DIN-Fachbericht 101 aus und welchen Einfluss hat der überholende Schwerlastwagen bei enger Vorbeifahrt?
- Wo liegt die maßgebende Nachweisstelle (Rohrscheitel oder -sohle)?
- Welchen Einfluss hat die Fahrbahnbefestigung?
- Was geschieht im Bereich von Fahrbahnrändern und -schäden?
- Welche unterschiedlichen Tragwirkungen in Längsrichtung weisen biegesteife und biegeweiche sowie profilierte Rohre auf?
- Wie ist die Standsicherheit von geschädigten Rohren zu bewerten?

Ziel ist ferner die Kalibrierung eines FE-Modells zur Untersuchung weiterer Lastfälle und Einbausituationen.

Versuchsaufbau im IKT-Großversuchsstand

In den IKT-Großversuchsstand wurden Rohrstränge der Nennweite DN 700 aus unterschiedlichen Rohrwerkstoffen eingebaut. Neben Betonrohren mit Fuß wurden duktile Gussrohre der Druckstufe PN6 eingesetzt, die zur Applizierung von Dehnungsmessstreifen keine Innenbeschichtung aus Zementmörtel und keinen äußeren Korrosionsschutz aufwiesen. Zusätzlich wurde nach Ausbau des Guss-Rohrstranges ein weiterer Rohrstrang aus profilierten PE-Kunststoffrohren verlegt, vgl. Bild 3.

Bodenkörper

Als Bodenmaterial wurde ein Sand-Kies-Gemisch mit 0/8 mm Körnung (Rheinsand) verwendet. Der Rheinsand wurde durchweg von einem Lieferanten aus einer ausgewählten Sand-Kies-Grube angeliefert, so dass der eingebaute Boden im Versuchsstand in allen Schichten nahezu dieselben Materialeigenschaften aufweist. Der Bodeneinbau erfolgte gemäß den Vorgaben des Arbeitsblattes ATV-DVWK-A 139 [7] unter Berücksichtigung der Verdichtbarkeitsklasse V1 mit Verdichtungsuntersuchungen durch die Leibniz Universität Hannover - hierbei wurde ein mittlerer Verdichtungsgrad von 95% Proctordichte ermittelt.

Mit der Wahl des Bodenmaterials, des Bodens und des Rohreinbaus mit sorgfältiger Zwickelverdichtung wird eine für Rohrverlegungen mit flachen Überdeckungen unter Straßen übliche



Bild 3 Aufbau der Rohrwand, Einbau der profilierten Polyethylen-Rohre

Situation geschaffen. Hiervon abweichende Einbaufälle sollen durch ein Finite Element-Modell und die im Arbeitsblatt ATV-A 127 vorgesehenen Abminderungsfaktoren erfasst werden.

Rohre und Schächte

Für jeden Rohrwerkstoff wurde ein Rohrstrang in Längsrichtung des Versuchsstandes aufgebaut, vgl. Bild 4. Der Guss- und Beton-Rohrstrang setzen sich jeweils aus sechs Rohren sowie einem Anfangs-, einem Mittel- und einem Endschacht zusammen. Ferner wurde ein Kunststoff-Rohrstrang aus drei Rohren sowie einem Anfangs- und einem Endschacht eingebaut. Die Haltungen zwischen den Schächten bestehen aus einem längeren Mittelstück und zwei kurzen Gelenkstücken.

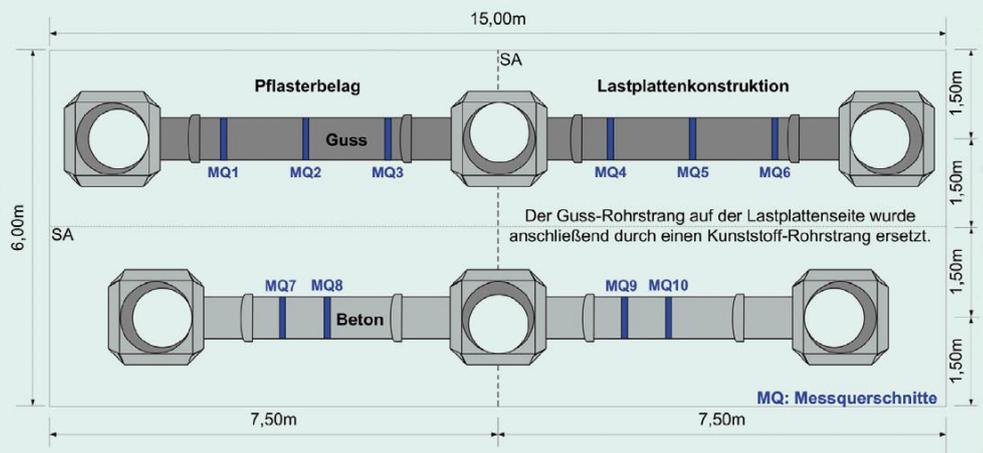


Bild 4 Grundsätzlicher Versuchsaufbau im IKT-Großversuchsstand

Straßenoberbau

Als Straßenoberbau wurden für den Guss- und Beton-Rohrstrang ein Pflasterbelag und für alle Rohrwerkstoffe eine Stahlplattenkonstruktion gewählt, mit deren Hilfe unterschiedliche Straßenoberbauten simuliert werden können. Beide Straßenoberbauten wurden für eine Überdeckung von ca. 80 cm über Rohrscheitel konzipiert.

Pflasterbelag

Als repräsentativer Pflasterbelag wurde auf der Basis von [8] ein Belag aus Betonrechteckpflastersteinen der Bauklasse III nach RStO 01 [9] gewählt. Die Pflasterfläche wurde in einer Hälfte des Großversuchsstandes über die gesamte Breite zwischen Anfangs- und Mittelschacht des Guss- und Beton-Rohrstranges eingebaut. Die Pflasterarbeiten wurden von einer Fachfirma nach TL Pflaster-StB 06 [10] durchgeführt. Der gewählte Betonrechteckpflasterstein mit den Abmessungen 20 x 10 x 10 cm wurde auf einer Fläche von ca. 24 m² im Läuferverband auf einer Kies-Sand-Schicht von 42 cm, einer Schottertragsschicht von 25 cm und einer 3 cm dicken Pflasterbettung aus gebrochenem Hartstein verlegt. Die seitlichen Pflasterreihen wurden in ein Mörtelbett der Festigkeitsklasse C12/15 gesetzt und die Fugen anschließend vollständig verfüllt.

Lastplattenkonstruktion

Für die andere Hälfte des Großversuchsstandes wurde eine Lastplattenkonstruktion gewählt, um unterschiedliche Straßenoberbauvarianten zu simulieren. Mit Hilfe der Konstruktion aus einer bzw. zwei Stahlplatten wurden Spannungszustände auf dem Planum erzeugt, die denen von realistischen Fahrbahnbelägen aus Bitumen und Beton entsprechen. Die Vergleichswerte der Spannungen in Höhe des Planums wurden am Lehrstuhl für Verkehrswegebau der Ruhr-Universität Bochum für unterschiedliche Bauklassen und Fahrbahnbeläge ermittelt und zur Festlegung der Plattenabmessungen herangezogen [8]. Bei einer Einbauhöhe des Kies-Sand-Gemisches über dem Rohrscheitel von 66 cm und Einsatz von einer bzw. zwei Stahlplatten ergeben sich rechnerische Überdeckungshöhen einschließlich Straßenoberbau von 80 cm bzw. 88 cm.

PLASSON®
Mensch · Produkt · Service



LightFit!
Abwassertechnik,
mit der Sie keinen
Anschluss
verpassen.



Sie haben noch Fragen
zu diesem System?
Immer gerne unter:
02 81 / 952 72-0

PLASSON®

PLASSON GmbH
Krudenburger Weg 29 · 46485 Wesel
Telefon: (02 81) 9 52 72-0
Telefax: (02 81) 9 52 72-27
E-Mail: info@plasson.de
Internet: www.plasson.de

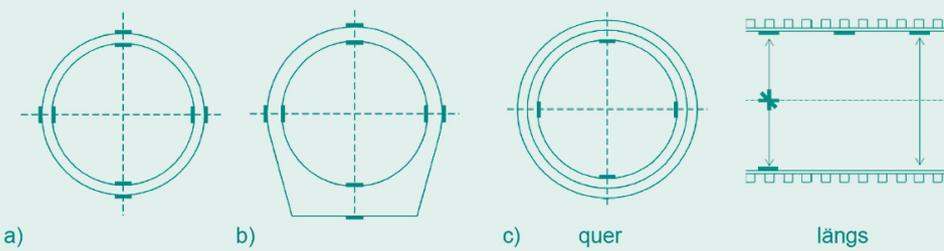


Bild 5 Lage der Dehnungsmessstreifen (jeweils axial, radial, diagonal) in den Hauptmessquerschnitten im a) Guss-, b) Beton- und c) Kunststoff-Rohrstrang

Messeinrichtung

In den Rohrsträngen wurden nach Bild 4 mehrere Messquerschnitte mit Sensoren zur Messung signifikanter Boden- und Rohrspannungen sowie der Rohrverformungen und -verschiebungen eingerichtet. Die Hauptmessquerschnitte MQ2, MQ5, MQ8, MQ10 und MQ12 wurden in Rohr-

längsrichtung mittig in den mittleren Rohren der Haltungen angeordnet. Die Nebenschnittmessungen MQ1, MQ3, MQ4 und MQ6 im Guss-Rohrstrang, MQ7 und MQ9 im Beton-Rohrstrang sowie MQ11 und MQ13 im Kunststoff-Rohrstrang wurden am Spitzende oder an der Muffe in den Randbereichen der Messrohre positioniert.

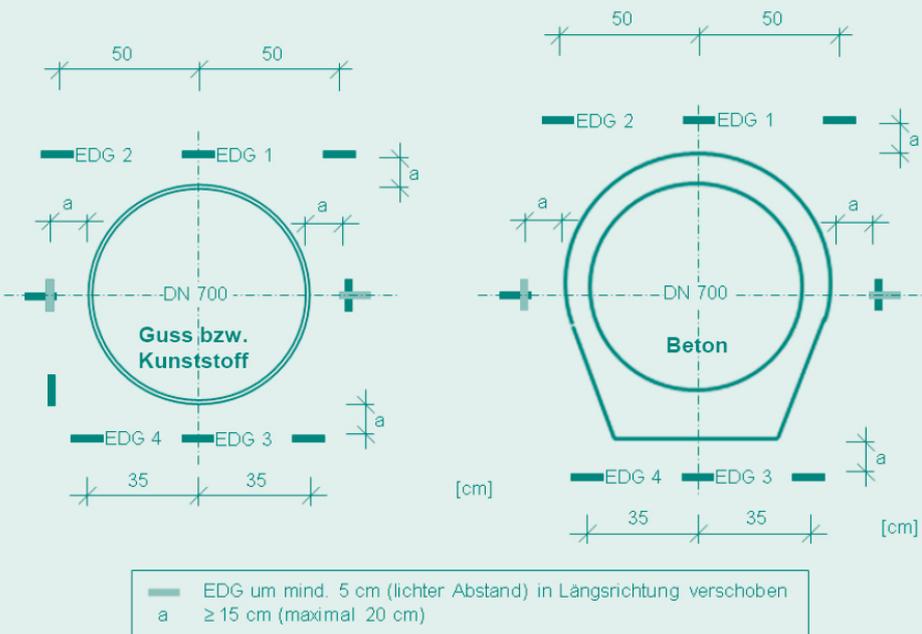


Bild 6 Lage der Erddruckgeber in den Hauptmessquerschnitten

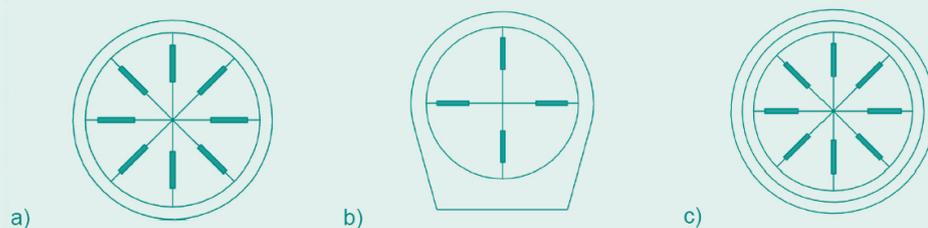


Bild 7 Lage der Wegaufnehmer in den Hauptmessquerschnitten im a) Guss-, b) Beton- und c) Kunststoff-Rohrstrang (in Nebenschnittmessungen nur Messung in Horizontal- und Vertikalrichtung)

Die Hauptmessquerschnitte wurden mit Dehnungsmessstreifen, Erddruckgebern und Wegaufnehmern ausgestattet. Die Bilder 5 bis 7 zeigen die Anzahl und die Positionierung der o.g. Messtechnik in den Hauptmessquerschnitten des Guss-, Beton- und Kunststoff-Rohrstranges. Wegen der äußeren Profilierung wurden im Kunststoff-Rohrstrang nur auf der Rohrinneinnenseite Dehnungsmessstreifen angeordnet. Zusätzlich wurden weitere Messstreifen in Scheitellängsrichtung appliziert, vgl. Bild 5c. In allen Nebenschnittmessungen wurden Wegaufnehmer installiert, in MQ1 und MQ6 im Guss-Rohrstrang zudem auf der Außenseite Druckmessfolien.

In den Hauptmessquerschnitten des Guss- und Kunststoff-Rohrstranges wurden jeweils acht, in allen anderen Messquerschnitten jeweils vier Wegaufnehmer angeordnet, vgl. Bild 7. Die Wegaufnehmer wurden auf Messbrücken aus Aluminium installiert, die in den benachbarten Schächten befestigt wurden, vgl. Bild 8.

Versuchsdurchführung

Zur Ermittlung des Verhaltens von flach überdeckten Rohren unter Verkehrslasten wurden an dem oben beschriebenen Versuchsaufbau wie folgt statische und lastzyklische Versuche durchgeführt und dabei bemessungsrelevante Größen messtechnisch erfasst:

- Lastfall Einzelrad statisch
- Lastfall Einzelrad lastzyklisch
- Lastfall Radgruppe statisch
- Lastfall Bauzustand
- Lastfall Kantenpressung
- Ergänzende Versuche

Unter den hydraulischen Pressen wurden 30 mm dicke kreisförmige Stahlplatten mit 0,44 m Durchmesser und Gummipfatten angeordnet.



Bild 8 Einbau der Wegaufnehmerkonstruktion
oben: Montage einer Messtafel an der Messbrücke
unten: Positionierung einer Messtafel im Rohr

Lastfall Einzelrad statisch

Für den Lastfall „Einzelrad statisch“ (Z) wurde ein einzelner Hydraulikzylinder mittig über den jeweiligen Hauptmessquerschnitten der drei Rohrstränge positioniert. Zur Simulation eines Fahrhahnoberbaus von ca. 22 cm wurden über dem Guss- und Beton-Rohrstrang zwei Lastplatten übereinander gelegt. Eine Stahlplatte entspricht einer Asphaltstärke von 14 cm. Am Kunststoff-Rohrstrang wurde der Lastfall Einzelrad statisch sowohl mit einer als auch mit zwei Lastplatten untersucht. In jedem Einzelversuch auf der Pflaster- und auf der Lastplattenseite wurden drei unterschiedliche Lastniveaus von 60 kN, 90 kN und 120 kN angesteuert und über eine Dauer von 30 Minuten gehalten.

Lastfall Einzelrad lastzyklisch

Die Versuche „Einzelrad lastzyklisch“ (D) erfolgten mit einem Hydraulikzylinder auf der Pflaster- und der Lastplattenseite über dem Guss- und Beton-Rohrstrang, über dem Kunststoff-Rohrstrang waren keine zyklischen Belastungen vorgesehen. Hydraulikzylinder und Lastplatten wurden dazu in gleicher Weise angeordnet wie beim Lastfall „Einzelrad statisch“, also mittig

über den zugehörigen Hauptmessquerschnitten. Die lastzyklischen Versuche wurden mit 106 Lastwechseln und einer Frequenz von 3 Hz durchgeführt mit einer Versuchsdauer von jeweils rund vier Tagen. Als Ober- und Unterlast wurden 90 kN bzw. 20 kN angesteuert.

Lastfall Radgruppe statisch

Die Versuche „Radgruppe statisch“ wurden mit vier Hydraulikzylindern auf der Pflaster- und Lastplattenseite über dem Guss- und Beton-Rohrstrang sowie über dem Kunststoff-Rohrstrang durchgeführt, vgl. Bild 9. Die vier Hydraulikzylinder stellen in den Versuchen die statischen Radlasten der Doppelachse nach DIN-Fachbericht 101 nach. Zur Simulation unterschiedlicher Beanspruchungssituationen wurden die vier Laststellungen „normal“ (NL), „exzentrisch“ (XL), „eng längs“ (ELL) und „eng quer“ (ELQ) untersucht. Die Laststellungen unterscheiden sich durch den Abstand der Radlasten in Längs- und Querrichtung oder die Anzahl der eingesetzten Zylinder. Die Abstände der Radlasten wurden in Anlehnung an den DIN-Fachbericht 101 [6] festgelegt, vgl. Bild 10.

Für alle Laststellungen wurden wie zuvor drei unterschiedliche Lasthöhen von 60 kN, 90 kN und 120 kN angesteuert und über eine Dauer von 30 Minuten gehalten. Zur Variation des Straßenoberbaus wurden in einigen Fällen die Versuche auf der Lastplattenseite sowohl mit einer als auch mit zwei übereinander gelegten Stahlplatten durchgeführt. Außerdem wurden auf der Lastplattenseite ausgewählte Laststellungen des Lastfalls „Radgruppe statisch“ für zwei kleinere Überdeckungshöhen von $h = 68$ cm bzw. $h = 60$ cm und $h = 48$ cm bzw. $h = 40$ cm über dem Guss- und Beton-Rohrstrang untersucht.

Lastfall Bauzustand

Zur Simulation der Rohrbelastung bei Bauzuständen wurden das Pflaster auf der Pflasterseite bzw. die Lastplatten entfernt und mit einem Einzelzylinder statische Kräfte in den Boden eingeleitet. Der Hydraulikzylinder wurde mittig über den Hauptmessquerschnitten der Rohrstränge positioniert. Zur Lasteinleitung wurde eine runde Stahlplatte mit 830 mm Durchmesser und 115 mm Dicke eingesetzt. Es wurden wiederum Kräfte von 60 kN, 90 kN und 120 kN in den Boden eingeleitet und über eine Dauer von 30 Minuten gehalten.

PLASSON®



PLASSON®

PLASSON GmbH
Krudenburger Weg 29 · 46485 Wesel
Telefon: (02 81) 9 52 72-0
Telefax: (02 81) 9 52 72-27
E-Mail: info@plasson.de
Internet: www.plasson.de



Bild 9 Lasteinleitung für den Lastfall „Radgruppe statisch“

Weitere Versuche am Kunststoff-Rohrstrang

Um auch Aussagen zum Kriechverhalten und zum Verhalten bei dynamischen Lasten zu erhalten, wurden ergänzend statische Versuche über 40 Stunden sowie Versuche mit stoßartiger Belastung durchgeführt.

Zur Überprüfung der Anzeigegenauigkeit der Dehnungsmessstreifen wurden für alle Rohrwerkstoffe nach dem Ausbau der Rohrstränge aus dem Großversuchsstand zusätzliche Scheiteldruckversuche an Abschnitten aller Rohrwerkstoffe durchgeführt.

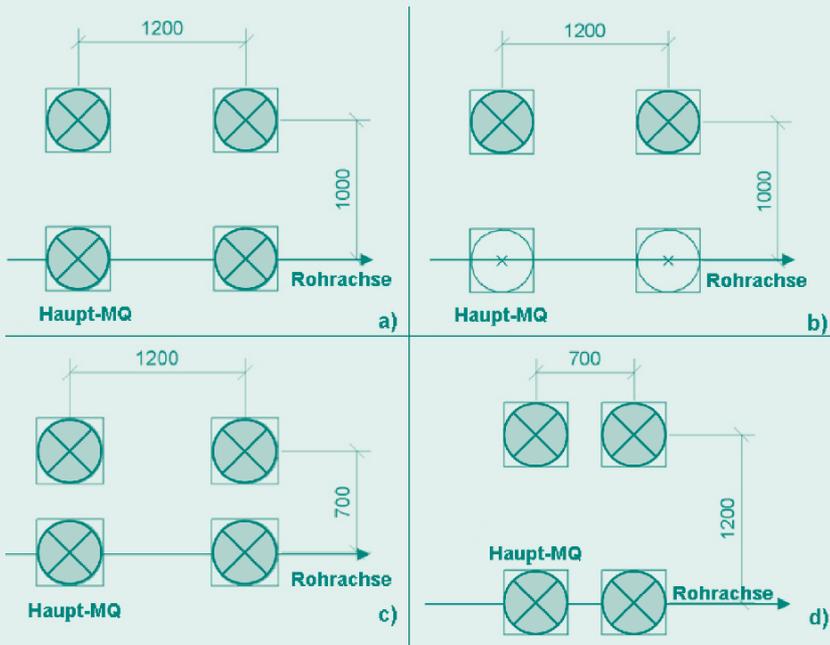


Bild 10 Laststellungen beim Lastfall „Radgruppe statisch“: a) NL = normal, b) XL = exzentrisch, c) ELL = eng längs, d) ELQ = eng quer

Lastfall Kantenpressung

Beim Guss- und Beton-Rohrstrang wurde für die Überdeckung $h = 40 \text{ cm}$ sowie beim Kunststoff-Rohrstrang der Lastfall Kantenpressung (KP) betrachtet. Hierbei kamen im Vergleich zu den vorherigen Versuchen des Lastfalls „Radgruppe statisch“ zwei Hydraulikzylinder mit 700 mm Abstand in Rohrlängsrichtung zum Einsatz. Eine Stahlplatte wurde dazu in Querrichtung so über dem jeweiligen Rohrstrang positioniert, dass die Lasteinleitungsstruktur aus Gummimatte und Stahlplatte über dem Hauptmessquerschnitt bündig mit der Plattenkante abschloss.

Fortsetzung folgt

In der nächsten Ausgabe IKT-Ergebnisse 2009 Heft 2 wird die Auswertung der Versuche dargestellt.

Ergebnisse im Internet

Der erste Teil der Artikel-Reihe „Mindestüberdeckung und Belastungsansätze für flach überdeckte Abwasserkanäle (MIBAK)“ stellt das Forschungsprojekt nur auszugsweise dar. Der vollständige Forschungsbericht steht im Internet zum Download bereit: www.ikt.de

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Falter,
Dipl.-Ing. Martin Wolters,
Fachhochschule Münster
Dr.-Ing. Bert Bosseler,
Dipl.-Ing. Bianca Diburg,
Dipl.-Ing. Martin Liebscher,
IKT, Gelsenkirchen

Literatur

- [1] Falter, B.; Wolters, M.: Mindestüberdeckung und Belastungsansätze für flach überdeckte Abwasserkanäle (MIBAK). Forschungsprojekt IV-9-042 3E1, gefördert durch MUNLV. Abschlussbericht vom 19.12.2008
- [2] Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127 (2000): Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen, 3. Aufl., Hennef.
- [3] Steffens, K. (Hrsg.); Falter, B.; Grunwald, G.; Harder, H. (2002): Abwasserkanäle und -leitungen, Statik bei der Substanzerhaltung und Renovierung (ASSUR). Kooperatives Forschungsprojekt 01RA 9803/8, gefördert durch BMBF. Abschlussbericht, Eigenverlag Inst. für Experimentelle Statik, Hochschule Bremen.
- [4] Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2001): Verkehrsprognose 2015 für die Bundesverkehrswegeplanung (FE-Nr. 96.578/1999). Schlussbericht 04.2001.
- [5] Hornung, K. (1984): Straßenverkehrsbelastung erdüberdeckter Rohre. Korrespondenz Abwasser 31 532-541.
- [6] DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken, 2. Auflage 03.2003, Beuth Verlag.
- [7] Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; Juni 2001, Hennef.
- [8] Radenberg, M.: Gutachterliche Stellungnahme zur Auswahl und Verlegung eines Pflasterbelages, Bochum 2007 (unveröffentlicht).
- [9] RStO 01 (2001): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen.
- [10] TL Pflaster-StB 06 (Ausgabe 2006): Technische Lieferbedingungen für Bauprodukte zur Herstellung von Pflasterdecken, Plattenbelägen und Einfassungen.