

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 44

Artikel: Faserzementrohre: Messungen an erdverlegten Rohren unter Verkehrslast
Autor: Partl, Manfred / Olia, Said / Bues, Helmut
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77544>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Faserzementrohre

Messungen an erdverlegten Rohren unter Verkehrslast

Im Zusammenhang mit der Entwicklung und Erprobung asbestfreier Eternit-Faserzementrohre wurde in Netstal (Kanton Glarus) unter der Einfahrt zum Kiesdepot der dortigen Kalkfabrik eine Versuchsrohrleitung verlegt, mit dem Ziel, vor Ort die Rohrbeanspruchungen und -deformationen zu messen, welche bei der Überfahrt mit schweren Muldenkippern entstehen, um auf diese Weise Aussagen über das effektive Verhalten erdverlegter Kanalrohre unter statischer Langzeitbeanspruchung sowie unter extremer, häufig wechselnder dynamischer Verkehrsbelastung zu erhalten. Der Versuch sollte neben praktischen Informationen zur Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit auch grundlegende theoretische Hinweise zur Bewertung von Berechnungsmodellen und zur Konzipierung von Prüf- und Simulationsmethoden im Labor liefern.

Nachfolgend werden einzelne Teilaspekte aus dieser Untersuchung diskutiert. Insbesondere wird eine theoreti-

VON MANFRED PARTL,
SAID OLIA, HELMUT BUES
UND ROLF GERHARDT,
NIEDERURNEN

sche Parameterstudie des Problems mit Hilfe des Finite-Element-Computer-Codes ANSYS® 4.3 durchgeführt sowie anhand von Beispielen eine kurze zusammenfassende Interpretation der wichtigsten Messdaten vorgenommen.

Versuchsbeschreibung

Die Versuchsleitung besteht aus einem rd. 16 m langen Hauptstrang aus Kanalrohren der Nennweite DN 600 mm (Bild 1) und zwei rd. 10 m langen schiefwinkligen Stichleitungen DN 200 mm, die von zwei Inspektionsschächten DN 1200 mm ausgehend zur Beob-

achtung des Längsbiegebruchverhaltens dienen und in freier Auflagerung zur Simulation von Einbaufehlern jeweils einen künstlichen Hohlraum von rd. 1100 mm überspannen (Bild 2). Die Überdeckung der Rohre beträgt 0,8 m.

Ein spezieller Fahrbahnoberbau existiert nicht. Während eine Hälfte der Versuchsleitung gemäss Profil 1 nach SIA-Norm 190 eine Kiesbettung mit Kies 0/100 aufweist, wurde die andere Hälfte gemäss Profil 2 auf Beton P200 verlegt. Für die Hinterfüllung der Leitung im U-Graben wurde während der ersten acht Monate des Versuchs ab Lager Kalksteinsplitt 0/20 vermisch mit Silt- und Tonmaterial verwendet; anschliessend wurde im Sinne einer Variation der Einbaubedingungen über der Hauptleitung DN 600 mm ein Austausch der Hinterfüllung durch reinen Betonkies 0/20 vorgenommen.

Durch geeignete Verkehrsregulierungen wird nun während des Versuchsbetriebes sichergestellt, dass der Verkehr der schweren Muldenkipper periodisch alternierend in zwei Hauptfahrspuren, sowohl über die flexibel, als auch über



Bild 1. Versuchsrohrleitung in der Einfahrt zum Kiesdepot der Kalkfabrik in Netstal (Bauzustand). Vorne: Kontrollschacht DN 1200 mm mit Kanalrohrleitung DN 600 mm und Kraftmessfenster; im Hintergrund: schwere Muldenkipper (spätere Verkehrslast)

die starr gebetteten Rohrabschnitte rollt. Dabei ergeben sich mit den verwendeten beladenen 3-Achs-Dumpfern statische Radlasten in der maximalen Grössenordnung von $F = 61,4 \text{ kN}$, entsprechend etwa einem Raddruck von $p = 0,59 \text{ N/mm}^2$. Die Dauer eines Belastungsimpulses bei der Überfahrt liegt im Bereich von 2s.

Von den beiden Kontrollschächten aus können, wie in Bild 2 schematisch angegeben, die Veränderungen des Längsnivellements beobachtet werden. Die kontinuierliche Erfassung der Messdaten bei der Überfahrt der Muldenkipper und die Zählung der Belastungser-

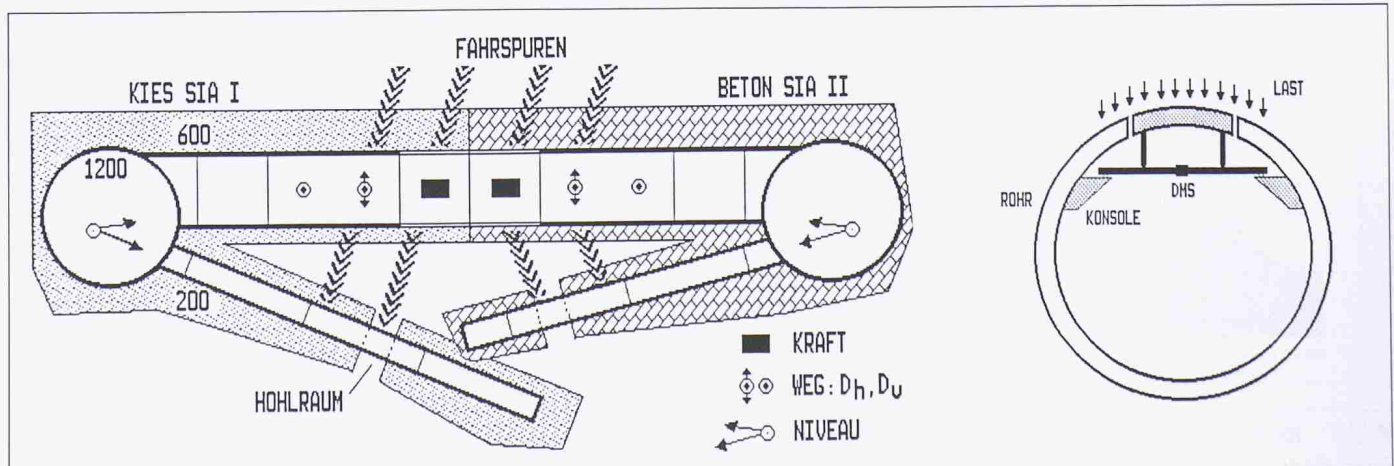


Bild 2. Situationsplan (schematisch) mit Querschnittsskizze durch das Kanalrohr im Bereich der Kraftmessfenster

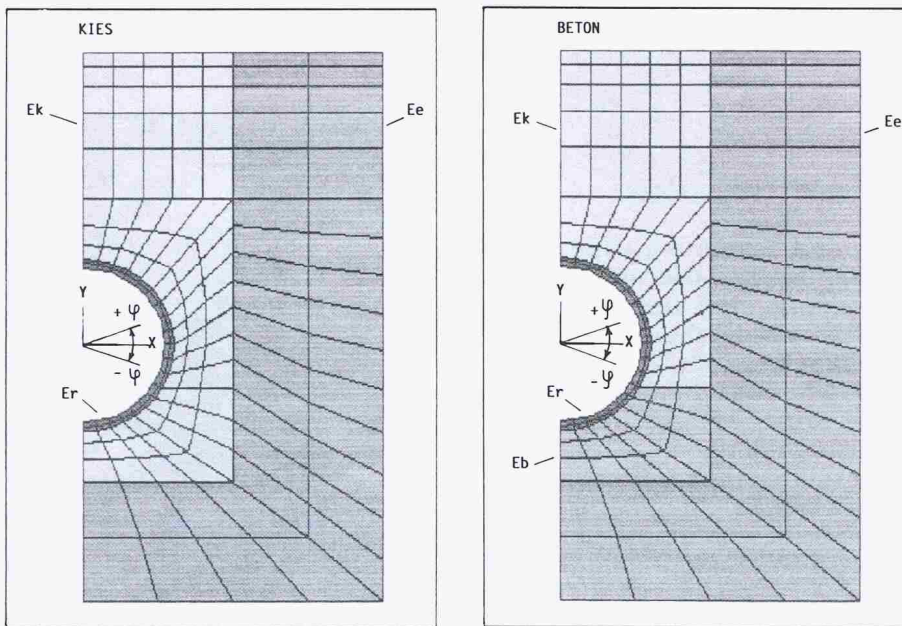


Bild 3. Generiertes Finite-Element-Netz

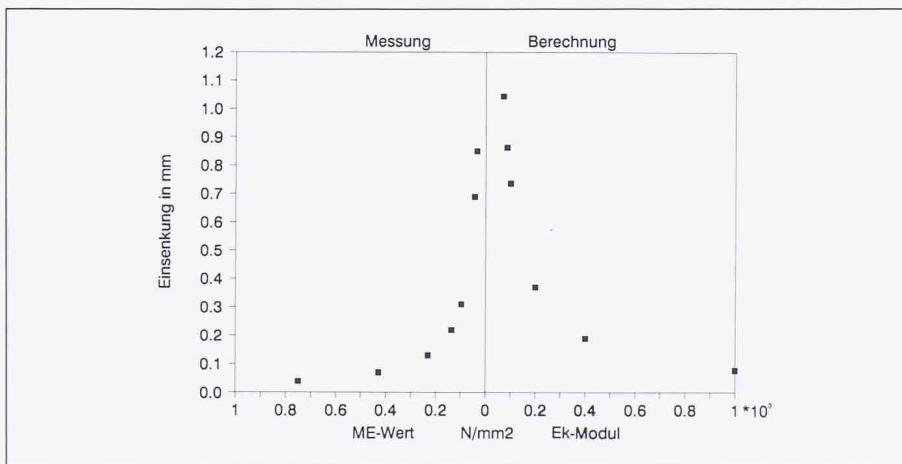


Bild 4. Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Einsenkungen aus der ME-Wert-Bestimmung und aus der rechnerischen Variation des Graben-Elastizitätsmoduls

Bild 5. Berechnete Verteilung der Vertikalverschiebungen infolge Eigengewicht und einer Radlast von 61,4 kN bei Kies- und Betonbettung für einen Graben-Elastizitätsmodul von $E_k = 110 \text{ N/mm}^2$

eignisse erfolgt über einen Personal Computer, der neben Temperatur und Luftfeuchte in der Hauptleitung die vertikalen und horizontalen Deformationen des Rohrquerschnitts mittels Potentiometer-Messfühler registriert und insbesondere über speziell ausgebildete elektromechanische Kraftmessfenster die effektiven Belastungen im Rohrscheitel während der einzelnen Verkehrsbewegungen misst. Die Kraftmessfenster bestehen jeweils aus einer rechteckigen Druckplatte mit den Abmessungen 200 mm x 300 mm, die sich mit vier justierbaren Auflagerfüßen auf einen in Vollbrückenschaltung mit Dehnmessstreifen (DMS) bestückten Biegebalken abstützt.

Massgebend für die Registrierung eines Messereignisses durch die elektronische Datenerfassung ist jeweils das Überschreiten einer Schwellenlast von 550 N an der Druckplatte der gerade offenen Fahrspur. Dabei werden zur weiteren Auswertung jeweils die innerhalb eines Messzyklus aufgetretenen maximalen bzw. minimalen Kräfte und Deformationen sowie Temperatur und Feuchte im Rohrrinnen zusammen mit Zeit und Datum des Messereignisses abgespeichert.

Theoretische Parameterstudie

Als Grundlage für die Interpretation der im Laufe der Versuche gemessenen Kraft- und Verformungsdaten wurde mit dem Finite-Element Computer-Code ANSYS® 4.3 eine Parameterstudie am halben Rohrgrabenquerschnitt im Bereich eines Kraftmessfensters durchgeführt. Die Modellierung des Systems erfolgte unter Ausnutzung der Symmetrie um die Vertikalachse gemäss Bild 3 und unter Verwendung von zeitunabhängigen linear elastischen isoparametrischen 2-D-Scheibenelementen. Der betrachtete halbe Grabenquerschnitt bestand aus dem zweischichtig über die Wandstärke von $s = 35 \text{ mm}$ generierten 800 mm überdeckten Rohr DN 600 mm und aus dem Rohrgraben mit einer halben Breite von 550 mm und einer Gesamttiefe von 1670 mm, der im Falle von Profil 2 eine entsprechend modellierte Betonbettung aufwies. Zwischen Rohrwand und Graben wurde Verbund vorausgesetzt. Um den Einfluss des umgebenden Erdreichs auf den Graben näherungsweise mitzuberücksichtigen, wurde zudem um den Graben herum eine mitwirkende Zone von 550 mm Breite und 470 mm Tiefe mit doppeltem Elastizitätsmodul angenommen.

Die Belastung setzte sich zusammen einerseits aus dem Eigengewicht des Bo-

Rohr		Er = 18 000 N/mm ² v = 0,25 Dichte = 1 700 kg/m ³
Graben	Beton	Eb = 10 000 N/mm ² v = 0,25 Dichte = 2 000 kg/m ³
	Kies	Ek1 = 50 N/mm ² Ek2 = 110 N/mm ² Ek3 = 400 N/mm ² Ek4 = 800 N/mm ² v = 0,25 Dichte = 2 000 kg/m ³
Erdreich mit Ee/Ek = 2		Ee1 = 100 N/mm ² Ee2 = 220 N/mm ² Ee3 = 800 N/mm ² Ee4 = 1 600 N/mm ² v = 0,25 Dichte = 2 000 kg/m ³
Radlast	F	= 61,4 kN
Raddruck	p	= 0,59 N/mm ²

Tabelle 1. Berechnungsannahmen

dens mit einer geschätzten Dichte von 2000 kg/m³ und andererseits aus dem schlaff verteilten Raddruck von 0,59 N/mm², der symmetriebedingt auf einer halben Radbreite von 100 mm über dem Rohrscheitel wirkte. Zur Berechnung der einzelnen betrachteten Lastfälle dienten die in Tabelle 1 aufgeführten Materialkenngrößen.

Grundlage für die Festlegung der verschiedenen Elastizitätsmoduli Ek = 50, 110, 400, 800 N/mm² der Grabenfüllung bildeten Vorberechnungen, in denen die Einsenkungen dh an der Oberfläche im Bereich der Radspuren bei Messung des Zusammendrückungsmoduls (ME-Wert) im Last-Plattenversuch Ø = 300 mm nach SNV-Norm 670317 zu Beginn bzw. nach sechs Monaten Verkehrsbelastung durch geeignete Parametervariation theoretisch nachvollzogen wurden. Dabei zeigte es sich, dass die am Anfang des Versuchsbetriebes ermittelten ME-Werte einem rechnerischen Ek-Modul in der Größenordnung von 110 N/mm² entsprachen, während die Resultate des Last-Plattenversuchs nach sechs Monaten eher mit einem Ek-Modul im Bereich von 400 N/mm² korrespondierten. Vergleicht man nun gemäss Bild 4 die verschiedenen Ek-Werte aus der theoretischen Simulation des Last-Plattenversuchs, aufgetragen in Funktion von dh, mit den ME-Werten der einzelnen Messungen, erhält man durch Regressionsanalyse für den vorliegenden Fall zunächst

$$dh = 30.2 \text{ ME}^{-1} = 64.6 \text{ Ek}^{-0.97}; (\text{mm}, \text{N/mm}^2)$$

und nach approximativer Gleichsetzung der Exponenten schliesslich fol-

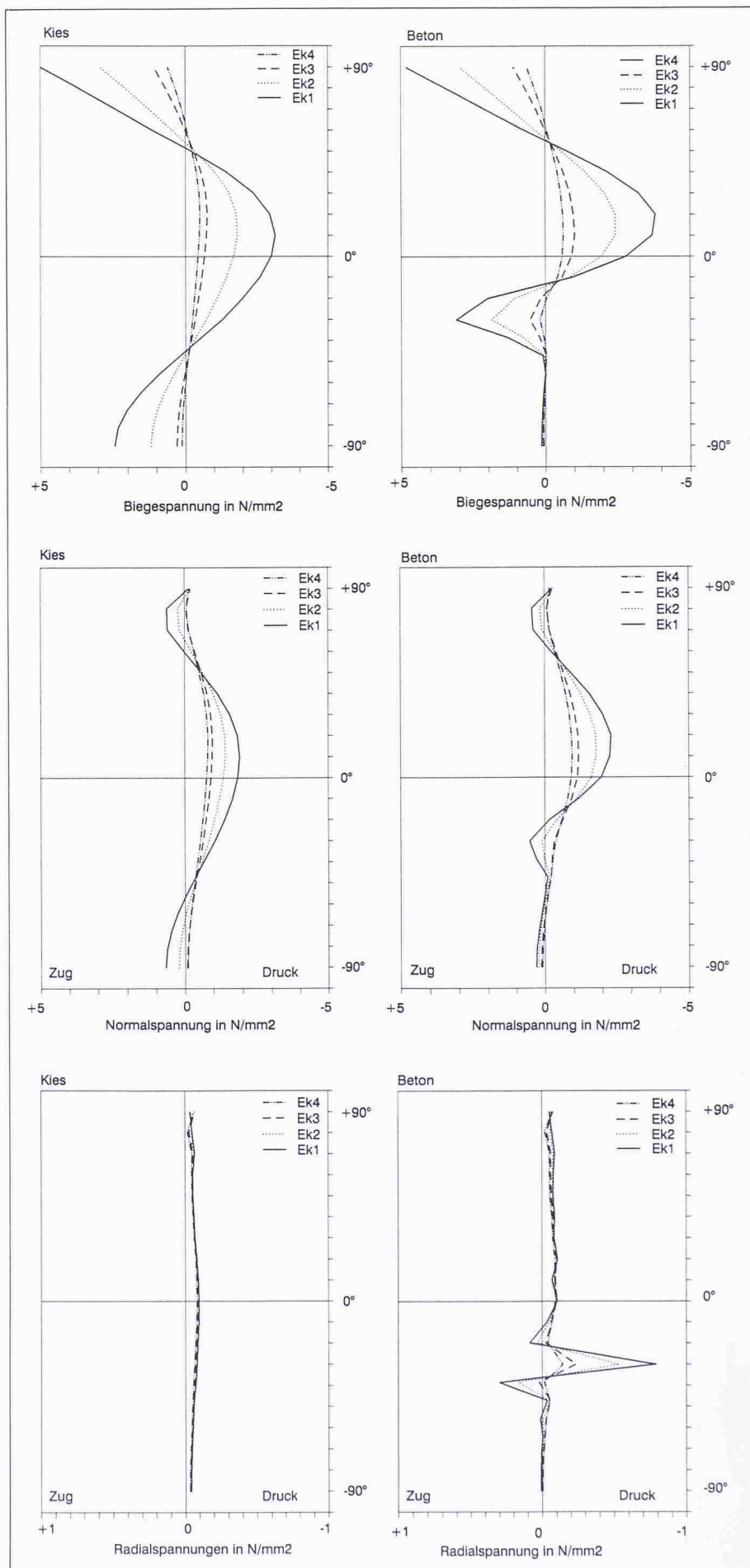


Bild 6. Berechnete Rohrbeanspruchungen über den halben Rohrumfang (Sohle: -90°, Scheitel: +90°) infolge Eigengewicht und einer Radlast von 61,4 kN für Kies- und Betonbettung (Ek1...4 = 50, 110, 400, 800 N/mm²)

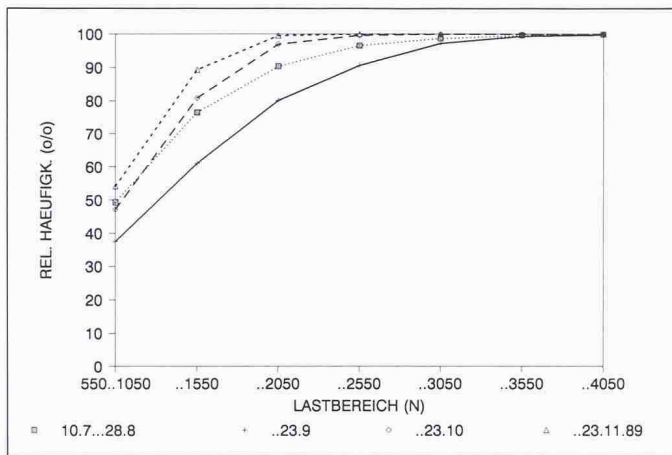


Bild 7. Summenhäufigkeiten der Scheiteldruckbelastungen bei Überfahrt der Muldenkipper für verschiedene Messperioden

gende empirische Näherungsbeziehung $ME = 0,47 E_k$

Als Beispiel eines Finite-Element-Berechnungsergebnisses sind in Bild 5 die Vertikalverschiebungen u_y infolge Radlast und Eigengewicht bei einem E_k -Modul von 110 N/mm^2 für die Lagerung auf Kies bzw. Beton dargestellt. Im konkreten Fall ergeben sich bei Rohrbettung auf Kies unmittelbar unter der Radlast Einsenkungen der Bodenoberfläche von $2,64 \text{ mm}$ und vertikale Verschiebungen des Rohrscheitels von $0,49 \text{ mm}$; bei Betonlagerung dagegen liegen die entsprechenden Werte um etwa $0,17 \text{ mm}$ tiefer.

Verglichen mit dem Nutzlastanteil ist der Beitrag des Eigengewichts an den zeitunabhängigen linear elastischen Vertikalverschiebungen relativ gering. Er beträgt hier rund 15% .

In Bild 6 sind für verschiedene Graben-Elastizitätsmoduli E_k 1...4 die Verläufe von Biegespannung, Normalspannung und Radialspannung an der Rohraussenseite in Funktion des Rotationswinkels ϕ (vgl. Bild 3) zwischen Rohrsohle (-90°) und -scheitel ($+90^\circ$) bei Kies- und Betonbettung aufgetragen. Demzufolge bewegen sich die Biegespannungen im Rahmen dieser Parameterstudie je nach Bodensteifigkeit und Rohrlage-

rungsart unterhalb von 5 N/mm^2 , wobei die grösste Beanspruchung im Scheitel auftritt. Die Zugnormalspannungen sind stets kleiner als 1 N/mm^2 und erreichen ein Maximum sowohl in unmittelbarer Nähe des Scheitels als auch, wie bei Kiesbettung, in der Sohle bzw. bei Beton rund 30° unterhalb der Horizontalebene. Mit Beträgen unterhalb von rd. 2 N/mm^2 nehmen die Drucknormalspannungen höhere Werte an. Ihr Maximum liegt bei beiden Lagerungsarten leicht oberhalb der Horizontalebene. Die in Bild 6 punktiert eingezeichnete Kurve mit $E_k = 110 \text{ N/mm}^2$ entspricht erneut der bereits oben diskutierten Situation am Versuchsanfang, während die gestrichelte Linie mit $E_k = 400 \text{ N/mm}^2$ eher einen Zustand nach längerer wiederholter Verkehrsbelastung repräsentiert. Generell nehmen die Rohrbeanspruchungen erwartungsgemäss mit zunehmendem Graben-Elastizitätsmodul ab. Die steifere Betonlagerung führt zwar, verglichen mit der Kiesbettung, zu merklich höheren Spannungsamplituden und zu steileren Spannungswechseln über den Umfang; andererseits sind insbesondere hinsichtlich Biegung durch das Betonlager deutlich geringere Beanspruchungen im Bereich der Rohrsohle zu verzeichnen. Dies kann von zusätzlichem

Vorteil für die Dichtigkeit und allgemeine Widerstandsfähigkeit des Rohres sein.

Verglichen mit den übrigen Beanspruchungen nehmen die Radialspannungen an der Rohraussenseite bei Kiesbettung relativ niedrige Werte an. Sie erweisen sich zudem im gewählten Rechenmodell als relativ unsensibel gegenüber der Steifigkeit der Umgebung. Andererseits können bei Betonlagerung lokal in der Nähe des Betonsockels und in Abhängigkeit des Graben-Elastizitätsmoduls gewisse Spannungsausschläge auftreten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die im Modell ermittelten Radialzugspannungen rechnerisch durch die Annahme eines idealen Verbundes zwischen Rohr und Graben bedingt sind, eine Voraussetzung, die in der Realität allerdings kaum erfüllt sein dürfte.

Versuchsauswertung und Diskussion

Da sich die einzelnen Überfahrten zwar in geregelten Fahrspuren, jedoch naturgemäss nicht in identischer Weise an genau derselben Stelle über dem Rohr ereigneten, wurden die gemessenen Signale statistisch in Häufigkeitsverteilungen zusammengefasst und deren Veränderung über längere Versuchszeiträume verfolgt. Bild 7 enthält die relativen Summenhäufigkeiten der gemessenen Scheiteldrucklasten beim betongelagerten Rohrabchnitt bis 23. November 1989, aufgeteilt in einmonatige Beobachtungsperioden seit Hinterfüllung mit reinem Betonkies $0/20$ am 29. August 1989. Ebenfalls angegeben ist punktiert für das erste Grabenmaterial aus tonig-siltigem Kalksteinsplitt $0/20$ die entsprechende Kurve nach sechsmonatiger Verkehrsbelastung in den letzten vier Wochen unmittelbar vor dem Austausch der Füllung. Während zu Beginn der Betonkies-Phase vereinzelt noch Lasten bis zu 4050 N

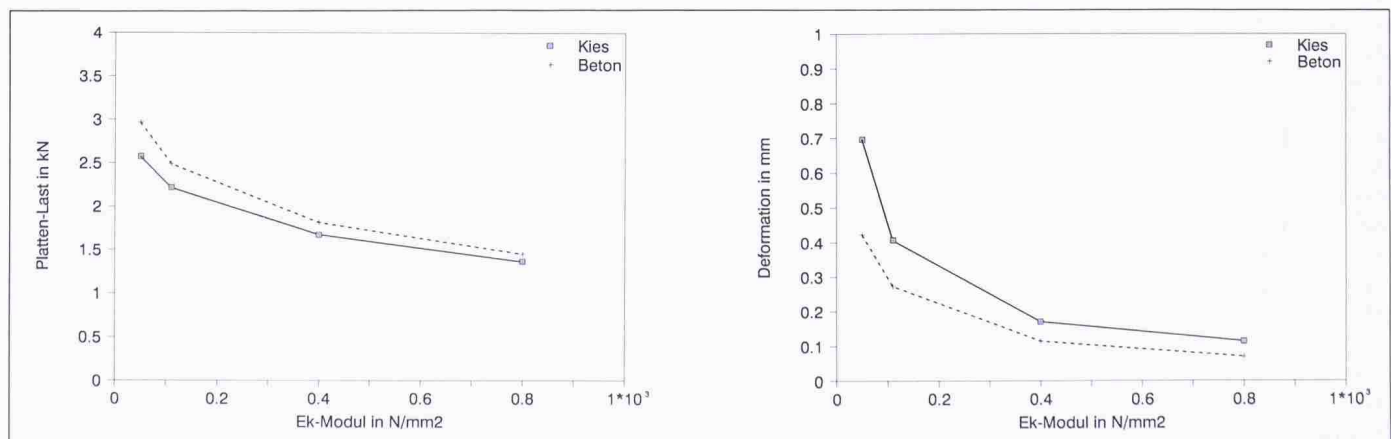


Bild 8. Berechnete Scheiteldrucklasten und vertikale Rohrdeformationen infolge einer Radlast von $61,4 \text{ kN}$ bei Kies- und Betonbettung in Funktion des Graben-Elastizitätsmoduls

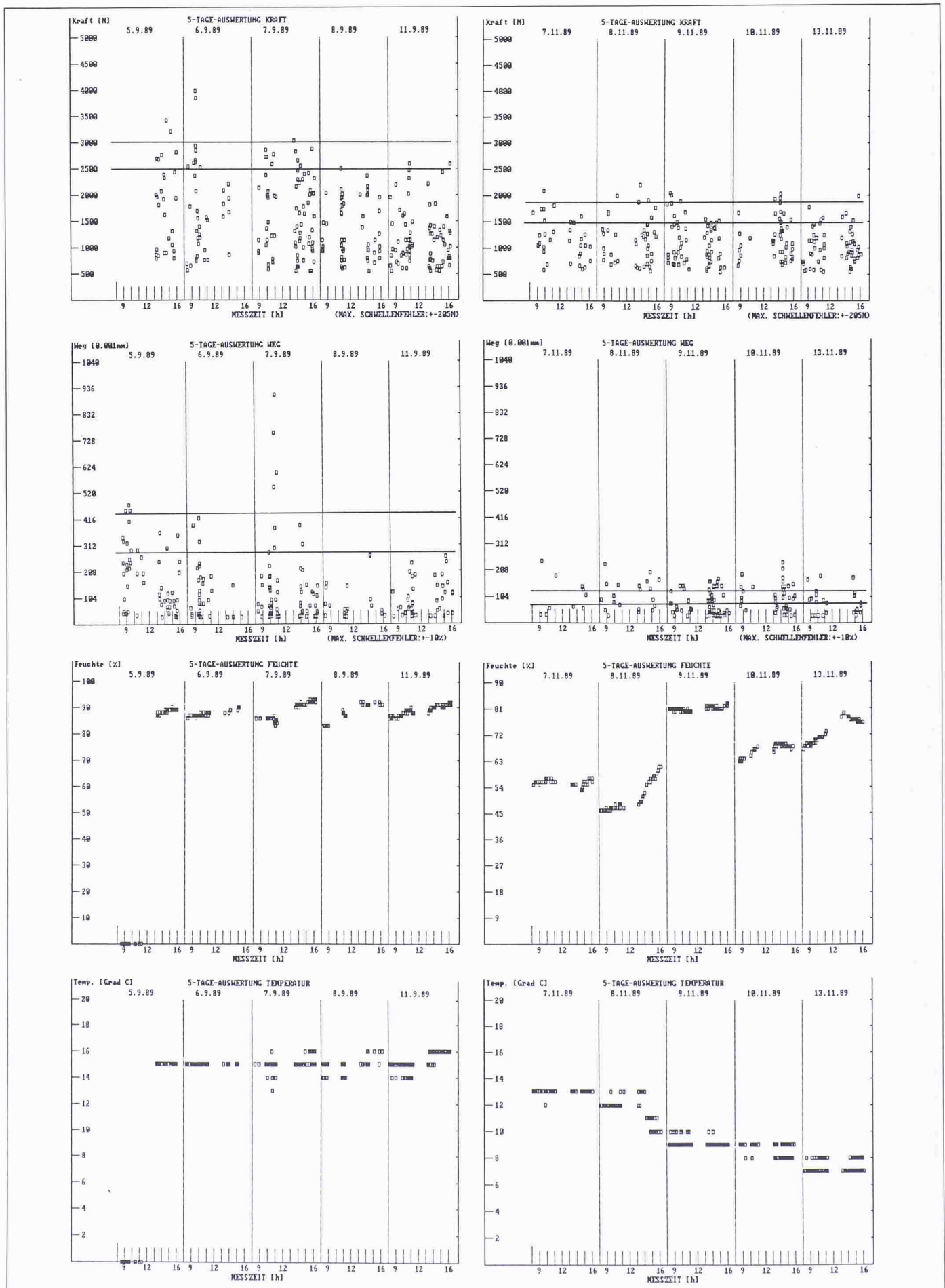


Bild 9. Vergleich der Messresultate aus der Anfangsbelastungsperiode (links) und nach längerer Verkehrsbelastung (rechts) bei Grabenhinterfüllung mit Betonkies. Die durchgezogenen Niveaulinien entsprechen der Abschätzung der Maximalwerte mittels Finite-Element-Berechnung

auftraten und weniger als 40% der Signale den Kraftbereich zwischen 550 N und 1050 N betrafen, wurden zwei Monate später nach rd. 1400 registrierten Überfahrten nur noch selten Lasten bis zu 2550 N gemessen. Nach diesem Zeitraum lagen bereits an die 55% im niedrigsten noch erfassten Lastbereich.

Dies lässt darauf schliessen, dass durch den schweren Verkehr relativ rasch eine Verdichtung bzw. Versteifung des Bodens und die Ausbildung einer Gewölbewirkung im Graben entstand, die zu einer geringeren Belastung des Rohrscheitels durch die einzelne Radlast führte. Unter diesem Gesichtspunkt ist auch die kurz vor Austausch des Füllmaterials ermittelte Summenhäufigkeitskurve für Kalksteinsplitt durchaus mit der Situation bei Betonkies nach ein- bis zweimonatiger Verkehrseinwirkung vergleichbar.

Bild 8 enthält für verschiedene Graben-Elastizitätsmoduli E_k die rechnerischen Scheiteldruckkräfte und vertikalen Rohrdeformationen unter einer Radlast von $F = 61,4$ kN. Demnach sind beispielsweise bei Betonbettung im Frühstadium der Verkehrsbeanspruchung gemäss Finite-Element-Simulation Scheiteldruckkräfte und Rohrverformungen in der maximalen Grössenordnung von 2500 N...3000 N bzw. 0,27 mm...0,42 mm zu erwarten; nach längeren Verkehrseinwirkungen werden rechnerisch dagegen durch die Bodenverdichtung entsprechend geringere Höchstwerte im Bereich zwischen 1450 N und 1800 N bzw. 0,07 mm und 0,114 mm erreicht. Vergleicht man diese

Grössen mit den in Bild 9 jeweils über fünf Messtage aufgetragenen Einzeldaten, kann im Rahmen der statistischen Verteilung eine relativ gute Übereinstimmung zwischen praktischer Messung und theoretischer Modellberechnung festgestellt werden.

Die Versuchsdiagramme zeigen aber auch, dass das Rohrverhalten von gewissen Schwankungen der Luftfeuchtigkeit und Temperatur im Faserzementrohr offenbar relativ unbeeinflusst bleibt. Dies geht im vorliegenden Beispiel insbesondere aus der späteren Messserie im November 1989 hervor, welche trotz beachtlicher Luftfeuchtigkeitsschwankungen zwischen 45% und 85% bei gleichzeitigem, kontinuierlichem Temperaturabfall von 13 °C auf 8 °C keine Anzeichen eines unterschiedlichen Rohrverhaltens erkennen lässt.

Im Gegensatz dazu konnten im Versuch gewisse Einflüsse des Aussenklimas festgestellt werden. In Trockenperioden waren durch die höhere Steifigkeit des Bodens, speziell bei Hinterfüllung mit siltig-tonigem Kalksteinsplitt, geringere Scheiteldruckkräfte zu verzeichnen, während sich in Regenphasen mit einer Phasenverschiebung von rd. maximal 2 Tagen eher ein Anstieg der Rohrbelastungen einstellte.

Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Praktische Messungen des Verhaltens einer 800 mm überdeckten Faserze-

ment-Kanalrohrleitung DN 600 mm unter extremer Verkehrsbelastung wurden für verschiedene Lagerungen und Hinterfüllungen mit theoretischen Ergebnissen einer einfachen, auf effektiven Messungen des Zusammendrückungsmoduls (ME-Wert) basierenden Parameterstudie mit dem Finite-Element Computer-Code ANSYS® 4.3 verglichen. Dabei konnte im Rahmen der statistischen Schwankungen sowohl für die Scheiteldrucklasten, als auch für die vertikalen Rohrdeformationen infolge Radlast eine gute Übereinstimmung zwischen Versuch und Modellberechnung festgestellt werden. Anhand der theoretischen Parameterstudie wurde gezeigt, dass bei der flexibleren Kiesbettung verglichen mit der Betonlage- rung zwar grössere Rohrverformungen, gleichzeitig aber auch geringere Rohrbeanspruchungen und speziell geringere Scheiteldrucklasten zu erwarten sind. Wesentlich für die allgemeine praktische Beurteilung des Verhaltens von erdverlegten Rohren unter Verkehrslast dürfte zudem die am konkreten Versuchsobjekt festgestellte, relativ rasche Verdichtung und Versteifung des Bodens sein, welche zur experimentell belegten Reduktion der radlastbedingten Scheiteldruckkräfte und damit zur Herabsetzung der Ermüdungsbeanspruchung führte.

Adresse der Verfasser: Dr. M. Partl, dipl. Ing. ETH, SIA; S. Olla, dipl. Ing. ETH; H. Bues, dipl. Ing.; R. Gerhardt, dipl. Ing., Ametex AG, 8867 Niederurnen.

Bücher

Die Schweizer Exportfibel

Von Ernst Goldberger. 175 S., Preis: Fr. 35.-, 1989. Hrsg. und Bezugsquelle: Schweiz. Zentrale für Handelsförderung (OSEC), Postfach 1128, 1001 Lausanne, Tel. 021/20 32 31.

Mit der Herausgabe der «Schweizer Exportfibel» will die Schweiz. Zentrale für Handelsförderung (OSEC) zur Bereicherung des Exportwissens einen Beitrag leisten. Das handliche Buch ist für eine breite Leserschaft von Interesse: Führungskräfte, Mitarbeiter in Exportfirmen, Personen, die sich bereits Fachwissen angeeignet haben oder sich erst in Fragen des Exportgeschäftes vertiefen wollen. Dem Verfasser ist es gelungen, umfangreiches Wissen und Fachkenntnisse in eine einfache Sprache zu kleiden und übersichtlich darzustellen.

Im Teil A («Exportwissen im Überblick») werden dem Leser in zehn Kapiteln zu-

nächst Informationen über die Rahmenbedingungen für den Verkauf im Ausland, die Struktur der schweizerischen Exporte und die unternehmerischen Aspekte des internationalen Geschäftes vermittelt. Es folgen Ausführungen zur Gestaltung des Produktprogramms, zur Erschliessung von Auslandsmärkten, Rechtsfragen, Zahlungsabwicklung und Exportfinanzierung, das Risikomanagement und praktische Hilfen für den Unternehmer.

Im Teil B («Tips und Themen für die Praxis») werden in 25 «Exkursen» die wichtigsten praktischen Fragen behandelt: Umgang mit dem Währungsproblem, pragmatische Marktforschung und Selektion von Zielmärkten im Ausland, Nutzenoptimierung in der Exportmarktbearbeitung, Vor- und Nachteile der verschiedenen Absatzwege, Werbung, Auslandsmessen, Exportfinanzie-

rung, Informationsbeschaffung usw. Unter dem Titel «Das kleine Export-Alphabet» enthält das Buch im letzten Teil ein übersichtliches Fachwörterverzeichnis.

Wörterbuch der EG im Taschenformat

150 Seiten, über 270 Stichworte, Preis Fr. 6.-. Wirtschaftsförderung, Postfach 502, 8034 Zürich.

Europäischer Rat, Luxemburger Folgeprogramm, Schengener Abkommen... Wer ist bei der Zeitungslektüre noch nicht auf diese Begriffe gestossen? Das kleine, handliche «Wörterbuch der Europäischen Gemeinschaft», herausgegeben von der Gesellschaft zur Förderung der schweizerischen Wirtschaft, richtet sich an den interessierten Laien und gibt in konziser Form Antwort auf diese und zahlreiche andere Fragen.