

Mindestüberdeckung und Belastungsansätze für flach überdeckte Abwasserkanäle

– Statische und lastzyklische Versuche –



Teilbericht zum Forschungsprojekt:

Mindestüberdeckung und Belastungsansätze für flach überdeckte Abwasserkanäle
Az. IV-9-0423E1 und Az. IV-9-0423E1 0010

Fördermittelgeber:



Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Schwannstraße 3
40476 Düsseldorf

Auftraggeber:



Fachhochschule Münster
Fachbereich Bauingenieurwesen
Arbeitsgebiet Statik und Bauinformatik
Corrensstraße 25
48149 Münster

Auftragnehmer:



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Bearbeitung:

Wissenschaftliche Leitung: Dr. Ing. Bert Bosseler
Projektleitung und -bearbeitung: Dipl.-Ing. Martin Liebscher
Dipl.-Ing. Bianca Diburg
Dipl.-Ing. Oliver Sokoll

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Versuchskonzept	4
3	Messtechnik.....	7
3.1	Allgemeines	7
3.2	Dehnungsmessstreifen.....	7
3.3	Erddruckgeber	8
3.4	Spannungsmessfolien	10
3.5	Wegaufnehmer	11
3.6	Höhenivellement.....	13
3.7	Überblick über die eingesetzten Messsensoren.....	14
4	Versuchsaufbau.....	18
4.1	Randbedingungen	18
4.2	Boden- und Rohreinbau	18
4.2.1	Bodenkörper.....	18
4.2.2	Rohre und Schächte.....	20
4.3	Straßenoberbau.....	22
4.3.1	Allgemeines.....	22
4.3.2	Pflasterbelag	22
4.3.3	Lastplattenkonstruktion	24
4.4	Lasteinleitungskonstruktionen	26
5	Versuchsdurchführung	28
5.1	Nullversuche.....	28
5.2	Versuchsprogramm	31
5.2.1	Allgemeines.....	31
5.2.2	Lastfall Einzelrad statisch.....	31
5.2.3	Lastfall Einzelrad lastzyklisch.....	35
5.2.4	Lastfall Radgruppe statisch	36
5.2.5	Lastfall Kantenpressung.....	48
5.2.6	Lastfall Bauzustand	50
5.2.7	Ergänzende Versuche.....	50
5.2.8	Übersicht über die durchgeführten Versuche.....	55
5.2.9	Zeitlicher Ablauf der Versuche	56
5.2.10	Höhenivellement.....	59
6	Literatur	60

1 Zusammenfassung

Im Rahmen des vom Umweltministerium finanzierten Forschungsprojektes „Mindestüberdeckung und Belastungsansätze für flach überdeckte Abwasserkanäle“ wurden im Auftrag der Fachhochschule Münster, Fachbereich Bauingenieurwesen, Arbeitsgebiet Statik und Bauinformatik, Versuche im Maßstab 1:1 im Großversuchsstand des IKT konzeptioniert, messtechnisch geplant und durchgeführt. Im vorliegenden Endbericht wird der Aufbau und die Durchführung dieser Versuche beschrieben. Die gemessenen Daten liegen in der vom Auftraggeber gewünschten Form auf DVD (Stand 11/2008) diesem Bericht bei.

2 Versuchskonzept

Ziel der Versuche im IKT-Großversuchsstand im Maßstab 1:1 war es, zuverlässige Aussagen über die Beanspruchung und das Verhalten von flach überdeckten Rohren unter Verkehrslasten zu gewinnen. Zu diesem Zweck wurde ein Versuchskonzept entwickelt, das es ermöglicht, für ein biegesteifes und ein biegeweiches Rohr-Boden-System unter Variation des Straßenoberbaus und der Verkehrslasten die bemessungsrelevanten Größen, wie z.B. Rohrspannungen, Rohrverformungen und Bodenspannungen messtechnisch zu erfassen.

Für die Großversuche wurden in der 1. Projektphase zunächst als Teil eines biegeweichen Rohr-Boden-Systems duktile Gussrohre und als Komponente des biegesteifen Rohr-Boden-Systems wandverstärkte Betonrohre mit Fuß eingesetzt. Um weitergehende Aussagen zum Verhalten biegeweicher Rohrwerkstoffe zu erhalten, wurden nach Beendigung der statischen und lastzyklischen Versuche am Guss- und Beton-Rohrstrang in der 2. Projektphase ergänzende Untersuchungen an einem Rohrstrang aus profilierten PE-Kunststoffrohren durchgeführt. Dazu wurde der Guss-Rohrstrang ausgebaut und eine Haltung durch einen Rohrstrang aus profilierten PE-Rohren ersetzt.

Für jeden Rohrwerkstoff wurde ein Rohrstrang der Nennweite DN 700 in Längsrichtung des IKT-Großversuchsstandes aufgebaut (vgl. Bild 1 und Bild 2). Der Guss- und Beton-Rohrstrang setzten sich aus jeweils zwei Haltungen mit einem Anfangs-, einem Mittel- und einem Endschacht zusammen. Für den Kunststoff-Rohrstrang wurde eine Haltung mit einem Anfangs- und Endschacht eingebaut (vgl. Bild 3). In einer Haltung wurden jeweils drei Einzelrohre verbaut, ein längeres Mittelstück und zwei Gelenkstücke. Der Guss- und Beton-Rohrstrang wurden mit einer Bodenüberdeckung von 66 cm, der Kunststoff-Rohrstrang von 46 cm über Rohrscheitel eingebaut. Für den Bodenkörper wurde ein Sand-Kies-Gemisch mit 0/8-Körnung verwendet. Als Verkehrsflächen wurden ein Pflasterbelag und eine spezielle Stahlplattenkonstruktion gewählt, mit deren Hilfe unterschiedliche Straßenoberbauten simuliert werden konnten (vgl. Abschnitt 4.3).

Das längere Mittelstück der drei Rohre in einer Haltung diente als Messrohr, in dem je Rohrstrang unterschiedlich viele Messquerschnitte zur Positionierung der messtechni-

schen Ausstattung angeordnet wurden. Im Guss-Rohrstrang wurden 6 Messquerschnitte, im Beton-Rohrstrang 4 Messquerschnitte eingerichtet. In jeder Haltung wurde jeweils Haupt- und Nebenschnitte in den Messrohren platziert. Jeder Messquerschnitt wurde mit unterschiedlichen Messsensoren zur Erfassung der bemessungsrelevanten Beanspruchungs- und Verformungsgrößen ausgerüstet. Die folgenden Abschnitte erläutern im Detail die verschiedenen Elemente des Versuchsaufbaus.

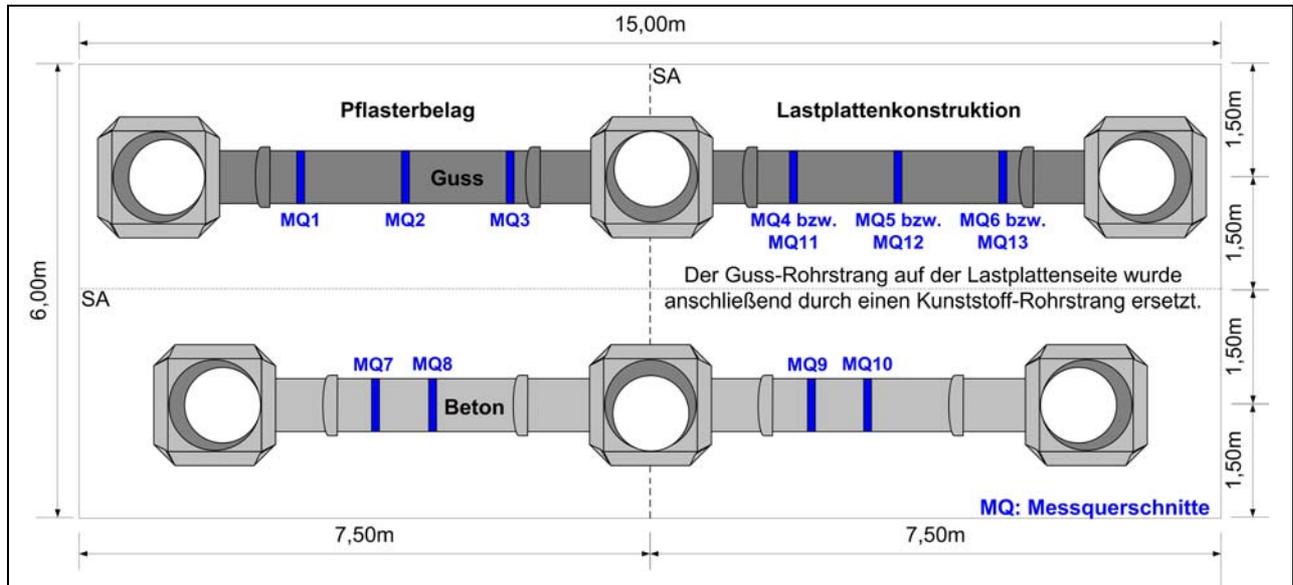


Bild 1 Grundsätzlicher Versuchsaufbau im IKT-Großversuchsstand



a) Rohrstränge vor Überschüttung
links Beton, rechts Guss

b) nach Fertigstellung der Pflasterdecke und
des Planums

Bild 2 Versuchsaufbau im IKT-Großversuchsstand: Guss- und Beton-Rohrstrang



Bild 3 Versuchsaufbau im IKT-Großversuchsstand:
Proflierter Kunststoff-Rohrstrang vor Überschüttung

3 Messtechnik

3.1 Allgemeines

Im Rahmen der durchgeführten Großversuche wurden unterschiedliche Messsysteme installiert und eingesetzt. Diese dienten sowohl der Ermittlung signifikanter Bodenparameter als auch der Bestimmung von Rohrspannungen, -verformungen und -verschiebungen. In jedem Rohrstrang wurden mehrere Messquerschnitte (vgl. Bild 1) eingerichtet, in die unterschiedliche Sensoren zur Erfassung der o.g. Messgrößen eingebaut wurden.

Die Hauptmessquerschnitte MQ2, MQ5, MQ8, MQ10 und MQ12 wurden in Rohrlängsrichtung mittig in den jeweiligen mittleren Rohren der Einzelhaltungen angeordnet. Die Nebemessquerschnitte MQ1, MQ3, MQ4 und MQ6 im Guss-Rohrstrang, MQ7 und MQ9 im Beton-Rohrstrang sowie MQ11 und MQ13 im profilierten Kunststoff-Rohrstrang wurden am Spitze oder an der Muffe in den Randbereichen der Messrohre positioniert (vgl. Bild 1). Die Hauptmessquerschnitte wurden mit Dehnungsmessstreifen, Erd-druckgebern und Wegaufnehmern ausgestattet. In allen Nebemessquerschnitten wurden Wegaufnehmer installiert. Die Messquerschnitte MQ1 und MQ6 im Guss-Rohrstrang wurden darüber hinaus an der Rohraußenseite mit Druckmessfolien bestückt. Im Folgenden werden diese Systeme detailliert beschrieben.

3.2 Dehnungsmessstreifen

Im vorliegenden Fall wurden zur Ermittlung der Rohrspannungen die gemessenen Dehnungen und Stauchungen in der Rohrwand herangezogen. Auf Basis der Dehnungsmesswerte ließen sich, unter der Voraussetzung elastischen Materialverhaltens, die Spannungen in der Rohrwand rechnerisch ableiten. Die Messung der Dehnungen und Stauchungen in den Rohren basiert auf der Messung von Widerstandsänderungen der applizierten Dehnungsmessstreifen. Durch die Längenänderung der Dehnungsmessstreifen verändert sich deren elektrischer Widerstand. Diese Widerstandsänderung wurde in eine Verformung umgerechnet und mit Hilfe der Messwerterfassung während der gesamten Dauer der statischen und lastzyklischen Versuche aufgezeichnet.

Zur Bestimmung dieser Rohrverformungen wurden in den Hauptmessquerschnitten zahlreiche Dehnungsmessstreifen appliziert. An jedem Applikationspunkt wurden zur Erfassung der radialen, axialen und diagonalen Dehnungen drei Messstreifen in Rosettenform angeordnet (vgl. Bild 4).

Die Applikationspunkte befanden sich bei den Guss- und Betonrohren sowohl für die Rohrrinnen- als auch -außenseite im Scheitel, in der Sohle und auf beiden Seiten in den Kämpfern (vgl. Bild 5). Im Kunststoff-Rohrstrang wurden aufgrund der äußeren Profilierung lediglich Dehnungsmessstreifen auf der Rohrrinnenseite angeordnet. Zusätzlich zu

den Dehnungsmessstreifen im Scheitel, in den Kämpfern und in der Sohle wurden weitere Dehnungsmessstreifen in Rohrlängsrichtung im Scheitel appliziert (vgl. Bild 5c).

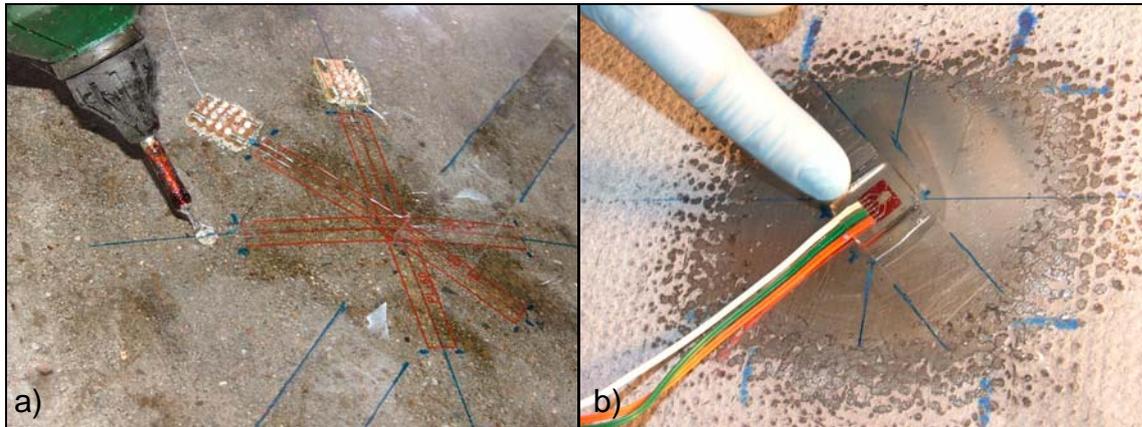


Bild 4 Applikation der Dehnungsmessstreifen am a) Beton- und b) Guss-Rohr

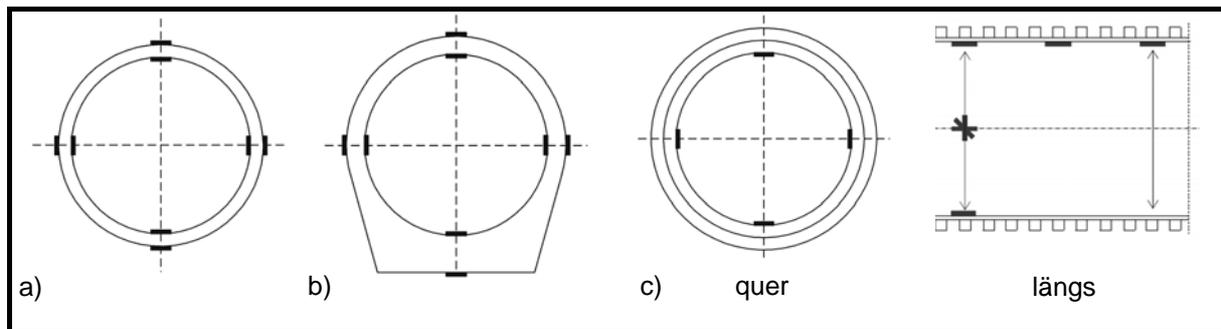


Bild 5 Anzahl und Position der Dehnungsmessstreifen (jeweils axial, radial, diagonal) in den Hauptmessquerschnitten im a) Guss-, b) Beton- und c) Kunststoff-Rohrstrang

Folgende Dehnungsmessstreifen wurden bei den verschiedenen Materialien eingesetzt:

Beton: Preusser-Messtechnik, PLR-60-11, 120 Ohm

Guss: Preusser-Messtechnik, WFRA-3-11, 120 Ohm

Kunststoff: Preusser-Messtechnik, GFRA-3-70, 120 Ohm

3.3 Erddruckgeber

Zur Messung des Erddrucks wurden Erddruckgeber bestehend aus einem elektrischen Spannungsaufnehmer mit hydraulischem Druckkissen und Drucksensor eingesetzt. In dem Druckkissen, das an einen elektrischen Aufnehmer angeschlossen ist, befindet sich im geschlossenen System eine Hydraulikflüssigkeit. Bei Belastung des Druckkissens wird der entstehende Hydraulikdruck auf die Membran des elektrischen Aufnehmers übertragen und in eine Spannung proportional zur Belastung gewandelt. Bei der Messung der Erddrücke wird die Spannungs- und somit die Druckänderung zwischen Ausgangszustand (Nullzustand) und Belastungszustand erfasst.

Im Projekt wurden folgende Erddruckgeber der Fa. Glötzl eingesetzt:

Typ 1: EEKE 10/20 K4C 0,40 N/mm² Messfläche 10 x 20 cm

Typ 2:	EEKE 10/20 K5C	0,50 N/mm ²	Messfläche 10 x 20 cm
Typ 3:	EEKE 7/14 K5A	0,50 N/mm ²	Messfläche 7 x 14 cm
Typ 4:	EEKE 10/20 K2.5A	0,25 N/mm ²	Messfläche 10 x 20 cm

Mit Hilfe der Erddruckgeber können Bodenspannungen bis 0,25 N/mm² (Typ 4), 0,40 N/mm² (Typ 1) bzw. 0,50 N/mm² (Typ 2) gemessen werden. Aufgrund der Tatsache, dass in der Scheitellage höhere Erddrücke zu erwarten sind als im Kämpfer- und Sohlbereich, wurden im Scheitel Erddruckgeber vom Typ 2 eingesetzt, während in der Sohle horizontal Typ 1 und vertikal Typ 4 eingesetzt wurde.

Um qualitative Aussagen über den zeitlichen Verlauf der Bodenspannungen unter statischer und zyklischer Belastung zu erhalten, wurden in jedem Hauptmessquerschnitt Erddruckgeber eingebaut. Im Beton-Rohrstrang wurden 10 und im Guss- sowie Kunststoff-Rohrstrang jeweils 11 Erddruckgeber pro Hauptmessquerschnitt positioniert. Darüber hinaus wurden für Nullversuche zu Beginn der Versuchsreihe 7 weitere Erddruckgeber vom Typ 3 zwischen den Rohrsträngen eingesetzt. Insgesamt kamen somit maximal 49 Erddruckgeber zeitgleich zum Einsatz, deren Messwerte kontinuierlich während der statischen und lastzyklischen Versuche sowie der Nullversuche aufgezeichnet wurden.

In allen Hauptmessquerschnitten wurden drei Erddruckgeber etwa 0,15 m unter der Rohrsohle (vgl. Bild 6) angeordnet. Der mittlere dieser drei Erddruckgeber wurde genau mittig unter dem Rohr, die beiden anderen Geber in einem Abstand von 0,35 m nach links und rechts versetzt eingebaut. Drei weitere Geber wurden etwa 0,15 m über dem Rohrscheitel positioniert. Der Abstand der Erddruckgeber in Scheitellage untereinander betrug ungefähr 0,50 m, wobei der mittlere Erddruckgeber mittig über dem Rohrscheitel platziert wurde. Zur Erfassung der seitlichen Erddrücke wurden in den Kämpfern jeweils ein horizontal und ein vertikal liegender Erddruckgeber angeordnet. Die horizontalen und vertikalen Erddruckgeber lagen ausgehend vom Hauptmessquerschnitt etwa 5 cm in Rohrlängsrichtung zueinander verschoben. Der Abstand der Erddruckgeber in den Kämpfern zur Rohrwand betrug ca. 0,15 m. Weiterhin wurde bei den Guss- und Kunststoff-Rohren ein zusätzlicher Erddruckgeber pro Hauptmessquerschnitt zur Messung der horizontalen Erddrücke im Zwickelbereich eingebaut.

Für die Durchführung von Nullversuchen wurden 5 Erddruckgeber in einer Tiefe von ca. 15 cm über dem Scheitel des Guss- und Beton-Rohrstranges auf der Längssymmetrieachse des Großversuchsstands angeordnet. Der mittlere der 5 Erddruckgeber wurde auf der Höhe des Messquerschnitts MQ10 positioniert. Die anderen vier Erddruckgeber lagen ausgehend vom mittleren Erddruckgeber in einem Abstand von 0,5 m bzw. 1,0 m nach links und rechts auf der Längssymmetrieachse des Großversuchsstands versetzt. Ein weiterer horizontaler und vertikaler Erddruckgeber wurden in Kämpferhöhe des Gussrohres ebenfalls auf Höhe des Messquerschnitts MQ 10 angeordnet.

Um die Genauigkeit der Messwerte zu erhöhen, wurden alle Erddruckgeber in Feinsand gebettet und im Vorfeld in einer Prüfmaschine kalibriert (Bild 7).

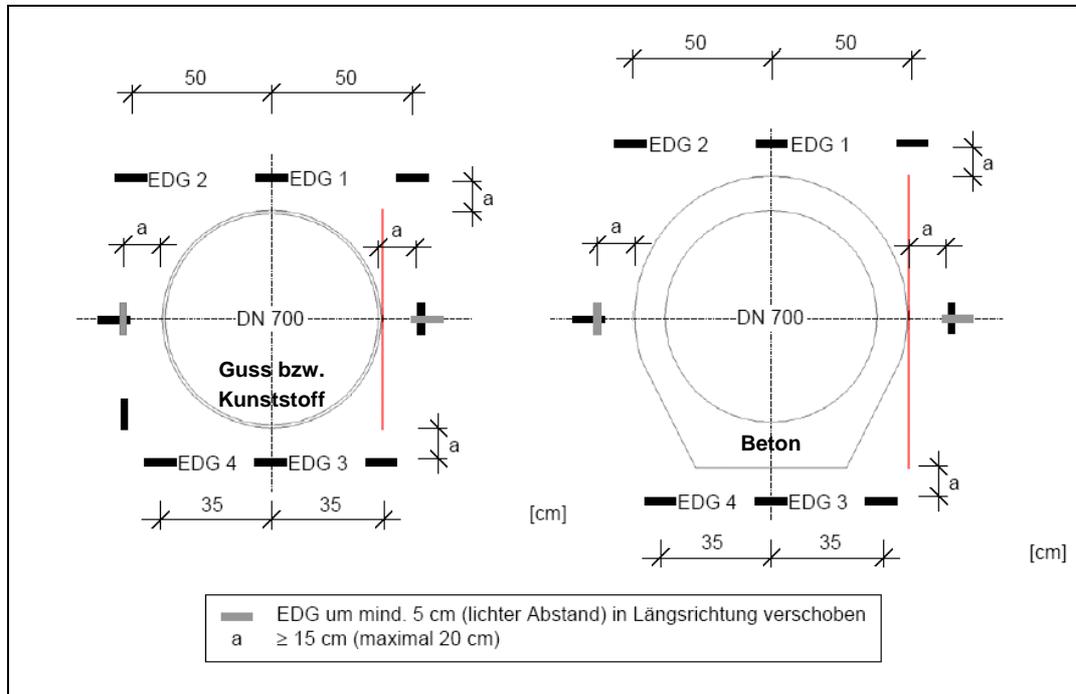


Bild 6 Anzahl und Position der Erddruckgeber in den Hauptmessquerschnitten (Quelle: Fachhochschule Münster)



a) Kalibrierung eines Erddruckgebers

b) Bettung eines Erddruckgebers in Feinsand

Bild 7 Erddruckgebereinbau

3.4 Spannungsmessfolien

Wesentlich für die Spannungsverteilung im Rohrquerschnitt ist die Rohrbelastung aus Boden und Verkehrslast über den Rohrumfang. Um hierzu qualitative Angaben zu erhalten, wurden ursprünglich für den Fahrzeugbau entwickelte Druckmessfolien in den Großversuchen eingesetzt und die auftretenden Spannungen an der Rohraußenseite

gemessen. Die Messungen wurden mit speziell auf die zu erwartenden Druckverhältnisse abgestimmten Sensoren durchgeführt [1]. Jeder Sensor ist ca. 0,1 mm dick und besteht aus dünnen, flexiblen Folien mit einem Raster aus leitfähigen bzw. halbleitenden Tinten. Die Schnittpunkte der leitfähigen Zeilen und Spalten bilden die Abtastpositionen, an denen sich je nach aufgebrachter Kraft der elektrische Widerstand ändert und die korrespondierende Spannung aufgenommen wird. Im vorliegenden Anwendungsfall wurden Messfolien vom Typ TEK-Scan 5511/P5/1657T1/50-50psi (3,44 bar) in der Größe 307 x 86 mm eingesetzt. Das Raster hatte einen Zeilenabstand von 7 mm bzw. einen Spaltenabstand von 2,5 mm, so dass pro Folie 1496 Abtastpositionen zur Verfügung standen. Die Folien wurden gemäß Bild 8 im Scheitel, in der Sohle und in den Kämpfern in den Messquerschnitten MQ1 und MQ6 des Guss-Rohrstranges angeordnet. Aufgrund der zu erwartenden Datenmengen und der zur Verfügung stehenden Hardware wurden bei den statischen Versuchen keine kontinuierlichen Messungen, sondern lediglich punktuelle Aufnahmen bei der Steigerung und der Reduzierung der Last auf die gewünschte Lasthöhe durchgeführt. Während der lastzyklischen Versuche und der Nullversuche fanden keine Messungen mit Hilfe der Druckmessfolien statt.



a) Ansicht Rohraußenseite

b) Ansicht Rohrinnenseite

Bild 8 Anordnung der Spannungsmessfolien an der Rohraußenseite der Guss-Rohre

3.5 Wegaufnehmer

Zur Messung von Rohrverformungen und Starrkörperverschiebungen der Gesamt-Rohrstränge wurden potentiometrische Wegaufnehmer vom Typ TR 50 der Fa. Novotechnik mit einem Messbereich von 50mm eingesetzt. Die Rohrverformung wird über die Wegänderung des Tasters an der Rohrinnenoberfläche gemessen. Eine Rohrverformung nach innen wird als negative Wegänderung, eine Rohrverformung nach außen als positive Wegänderung gemessen. Die Wegaufnehmer decken einen Messbereich von bis zu 50 mm ab und weisen eine Anzeigegenauigkeit von 1/100 mm auf. Die Messung der Verformungen basiert auf der Messung von Widerständen, die sich proportional zu den zurückgelegten Wegen des Sensors verhalten. Der Wegaufnehmer arbeitet dabei als Spannungsteiler.

Die Wegaufnehmer wurden in allen Messquerschnitten MQ1 bis MQ13 in unterschiedlicher Anzahl installiert. Die Hauptmessquerschnitte im Guss- und Kunststoff-Rohrstrang wurden mit jeweils 8 Wegaufnehmern ausgerüstet, in allen anderen Messquerschnitten wurden 4 Wegaufnehmer eingebaut. Mit Hilfe der Wegaufnehmer wurden somit Rohrverformungen in den Achters- bzw. Viertelpunkten der Rohre messtechnisch erfasst. Bild 9 und Bild 10 stellen die Anzahl und die Position der Wegaufnehmer in den Haupt- und Nebenmessquerschnitten grafisch dar.

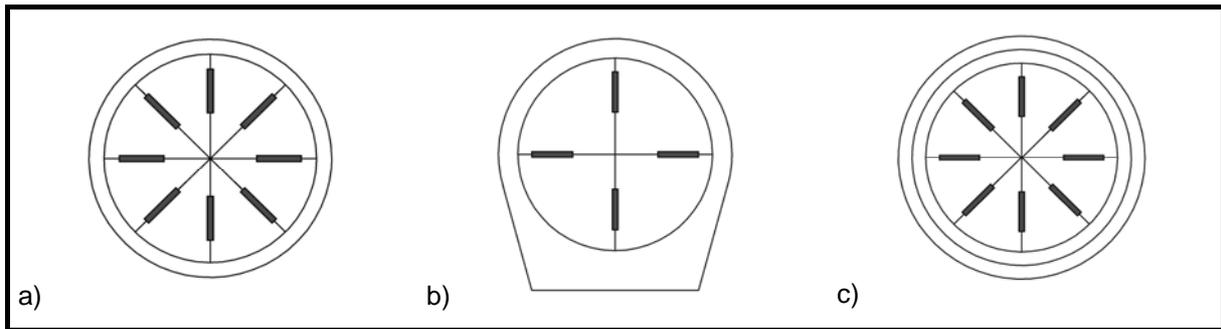


Bild 9: Anzahl und Position der Wegaufnehmer in den Hauptmessquerschnitten im a) Guss-, b) Beton- und c) Kunststoff-Rohrstrang

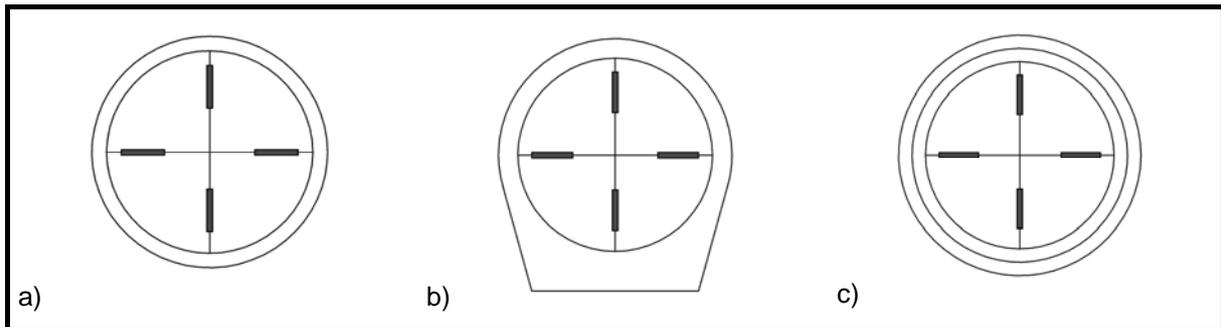


Bild 10: Anzahl und Position der Wegaufnehmer in den Nebenmessquerschnitten im a) Guss-, b) Beton- und c) Kunststoff-Rohrstrang

Die Wegaufnehmer wurden zur Positionierung im Rohrstrang auf Messtafeln montiert und auf fest von Schacht zu Schacht installierten Messbrücken aus Aluminium in den Messquerschnitten im Rohrstrang befestigt (vgl. Bild 11).



a) Messtafeln mit Wegaufnehmern

b) Montierte Messbrücke am Schacht

Bild 11 Wegaufnehmerkonstruktion



a) Montage einer Messtafel an der Messbrücke

b) Positionierung einer Messtafel im Rohr

Bild 12 Einbau der Wegaufnehmerkonstruktion

3.6 Höhennivellement

Zur Erfassung möglicher Setzungen des Gesamtrhrstranges aber auch der unterschiedlichen Straßenoberbauten wurden mit Hilfe eines Nivelliergerätes und einer Nivellierlatte Höhenmessungen durchgeführt. Von einem Festpunkt im Großversuchsstand aus wurden die einzumessenden Punkte, wie z.B. Fixpunkte an Schächten, Punkte auf der Pflasteroberfläche oder Punkte auf dem Planum unter der Lastplatte angepeilt und vermessen. Die Höhenmessungen auf dem Planum der Versuchsfelder Lastplatte/Beton und Lastplatte/Guss sowie Pflaster/Beton und Pflaster/Guss fanden nach Abschluss aller statischen und lastzyklischen Versuche statt.

Auf den zu nivellierenden Flächen wurde über die Länge und die Breite ein Raster mit einem Abstand von 50 cm gelegt und in den Rasterpunkten die Höhe des Geländepunktes gemessen. Für die Pflasterfläche waren somit insgesamt 117 Rasterpunkte und 18 Zylinderaufstandspunkte einzumessen (vgl. Bild 13a). Nach Entfernung der Lastplatte mit einer Fläche von 3,4 m x 3,0 m = 10,2 m² wurden über dem Guss- und Beton-Rohrstrang jeweils 56 Rasterpunkte und 9 Zylinderaufstandspunkte vermessen. Die Setzungen des Pflasters wurden darüber hinaus im Detail fotografisch dokumentiert (vgl. Bild 13b). Außerdem wurde die Höhenlage der Schächte zu unterschiedlichen Zeitpunkten vermessen. Für den Kunststoff-Rohrstrang wurde kein Höhennivellement durchgeführt.



a) Raster- und Zylinderaufstandspunkte

b) Detailaufnahme Setzung

Bild 13 Setzungsmessung der Pflasterdecke

3.7 Überblick über die eingesetzten Messsensoren

Zusammenfassend wird in Bild 14 bis Bild 17 dargestellt, welche Messsensoren in den Haupt- und Nebenschichten eingesetzt und wo diese im jeweiligen Rohrstrang platziert wurden.

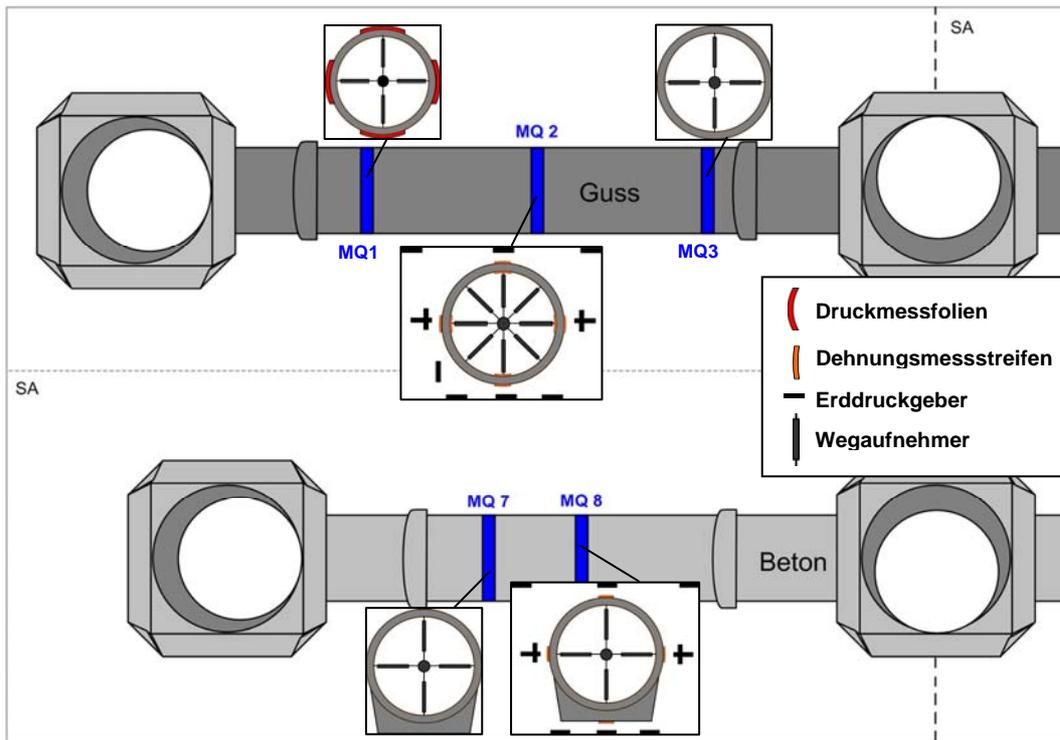


Bild 14 Übersicht über die eingesetzte Messtechnik im Guss- und Beton-Rohrstrang auf der Pflasterseite

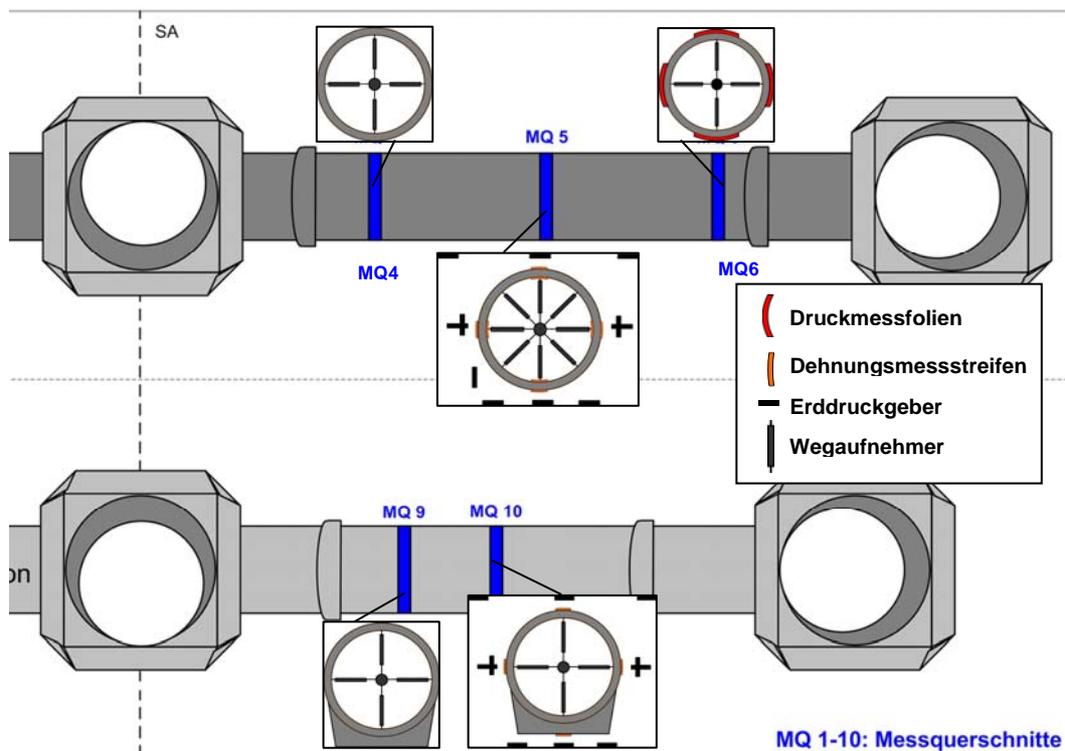


Bild 15 Übersicht über die eingesetzte Messtechnik im Guss- und Beton-Rohrstrang auf der Lastplattenseite

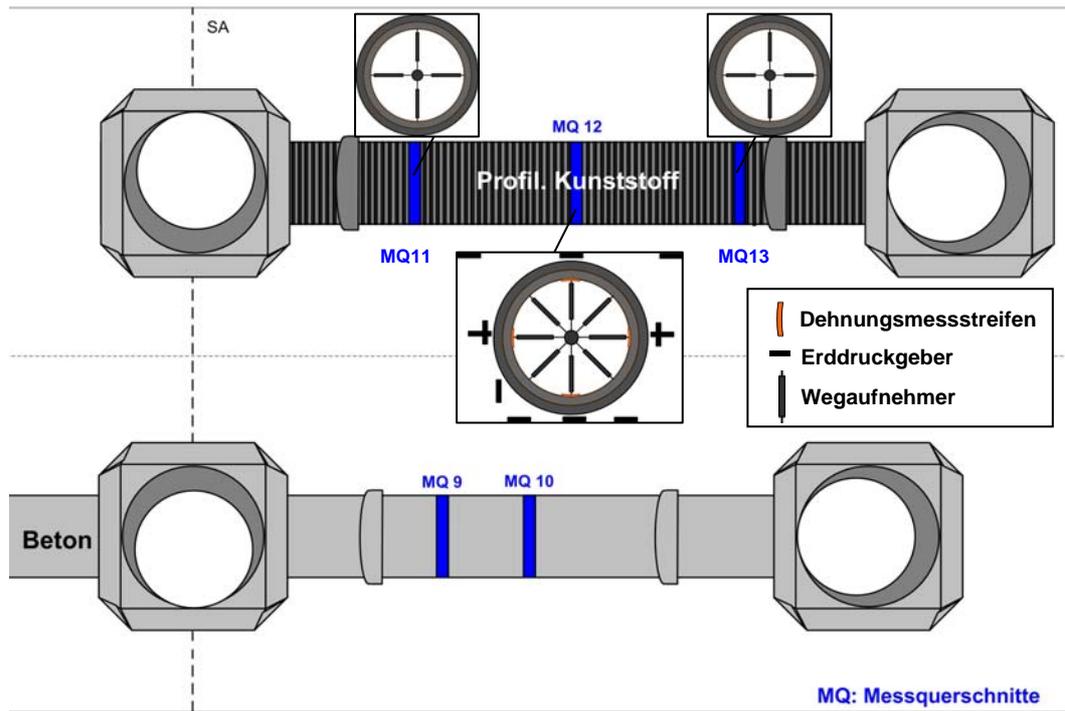


Bild 16 Übersicht über die eingesetzte Messtechnik im Kunststoff-Rohrstrang

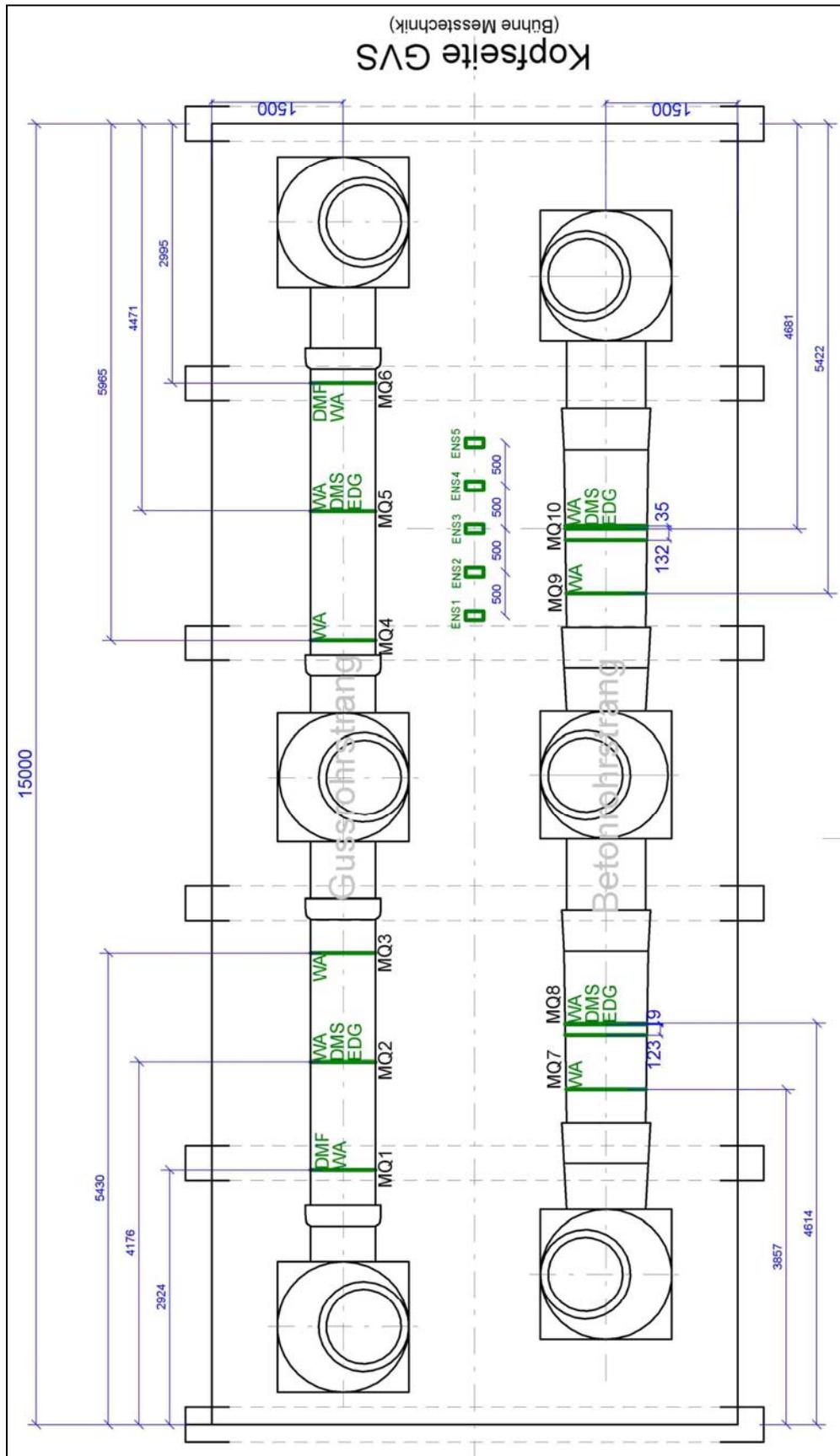


Bild 17 Lage der Messsensoren im Guss, Kunststoff- und Beton-Rohrstrang
 Hinweis: Die Lage der Messquerschnitte MQ11 – MQ13 im Kunststoff-Rohrstrang ist identisch mit der Lage der Messquerschnitte MQ4 – MQ6 im Guss-Rohrstrang.

4 Versuchsaufbau

4.1 Randbedingungen

Das gewählte Versuchskonzept (vgl. Abschnitt 1) wurde in einen Versuchsaufbau umgesetzt und dieser in den IKT-Großversuchsstand (vgl. Bild 18) eingebaut. Der Großversuchsstand weist eine Höhe von 6,0 m, eine Breite von 6,0 m und eine Länge von 15,0 m auf und ermöglicht die Betrachtung komplexer Zusammenhänge, in denen die Interaktion zwischen Rohrleitung, umgebendem Bodenkörper und Verkehrslasten von Bedeutung ist. Aufgrund seiner Abmessungen erlaubt der Großversuchsstand die Durchführung von Versuchen im Maßstab 1:1 unter praxisnahen Bedingungen. Durch den Einsatz hydraulischer Prüfzylinder können auf der Bodenoberkante statische und lastzyklische Punkt- und Flächenlasten simuliert werden. Die nachfolgenden Kapitel beschreiben den Aufbau der Versuche zur Untersuchung der Mindestüberdeckung und Belastung von flach überdeckten Abwasserkanälen im Großversuchsstand.

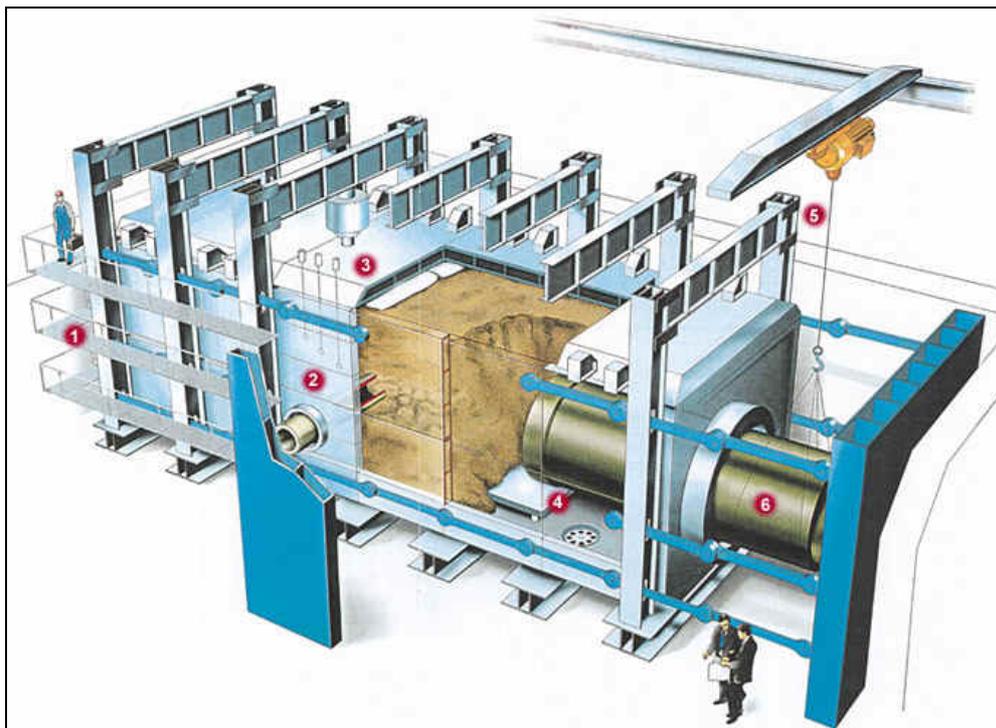


Bild 18 Systemskizze IKT-Großversuchsstand

4.2 Boden- und Rohreinbau

4.2.1 Bodenkörper

Als Bodenmaterial wurde in den Großversuchen ein Sand-Kies-Gemisch mit 0/8-Körnung (Rheinsand) verwendet, das auch bereits in den Vorversuchen eingesetzt und von der Universität Hannover bodenmechanisch untersucht wurde. Der Rheinsand wurde durchweg von einem Lieferanten aus einer ausgewählten Kiesgrube angeliefert, so

dass davon auszugehen ist, dass der eingebaute Boden im Großversuchsstand in allen Bodenschichten nahezu dieselben Materialeigenschaften aufweist.

Der Bodeneinbau erfolgte gemäß den Vorgaben des ATV-DVWK-Arbeitsblattes A 139 „Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen“ [2] unter Berücksichtigung der Verdichtbarkeitsklasse V1 mit zwei unterschiedlichen Flächenrüttlern.

Der Großversuchsstand wurde bis zu einer Einbauhöhe von ca. 2,8 m in Lagen von 30 cm Schütthöhe (verdichtet auf ca. 20 cm) mit Rheinsand gefüllt und der eingebaute Boden mit einer Rüttelplatte (DELMAG ES 79, Gewicht 370 kg, Plattenfläche 630 mm x 740 mm) verdichtet. Pro Einbaulage wurden 5 Verdichtungsübergänge mit der Rüttelplatte ausgeführt. Bis zur o.g. Bodenhöhe wurden rund 14 Lagen eingebaut und verdichtet.

Der weitere Einbau des Rheinsandes von 2,8 m bis ca. 4,2 m auf der Pflasterseite und ca. 4,5 m auf der Lastplattenseite erfolgte in Lagen von ca. 15 cm Schütthöhe (verdichtet auf ca. 10 cm). Die Verdichtung erfolgte jeweils mit 5 Übergängen pro Lage. Es wurde hierfür aufgrund der engen Platzverhältnisse zwischen den Rohrsträngen und den Großversuchsstandswänden eine kleinere Rüttelplatte (Wacker, DPU 2950H, Gewicht 192 kg, Plattenfläche 510 mm x 595 mm) eingesetzt. Bis zu den o.g. Bodenhöhen wurden rund 14 bzw. 17 Lagen eingebaut und verdichtet.

Der Bodeneinbau am Kunststoff-Rohrstrang mit einer Einbauhöhe von ca. 4,3 m wurde analog gemäß den obigen Ausführungen durchgeführt.



a) mit großem Flächenrüttler

b) mit kleinem Flächenrüttler

Bild 19 Bodenverdichtung

Der Einbau des Bodens in den IKT-Großversuchsstand wurde durch Verdichtungsuntersuchungen von der Universität Hannover unter bodenmechanischen Gesichtspunkten begleitet. Über die gesamte Einbau- und Versuchsdauer von ca. 7 Monaten wurden 5 Verdichtungsuntersuchungen am eingebauten Bodenkörper vorgenommen (vgl. Tabelle 1). Die Verdichtungskontrollen wurden von der Uni Hannover ausgewertet und die Ergebnisse in einem wissenschaftlichen Bericht dem Auftraggeber vorgelegt.

Tabelle 1 Durchgeführte Verdichtungskontrollen

Datum:	Untersuchte Einbauhöhen:
04.07.2007	Einbauhöhe von ca. 2,5 m; gesamter IKT-Großversuchsstand; während des Bodeneinbaus beim Versuchsaufbau
11.09.2007	Einbauhöhe von ca. 4,5 m; Lastplattenseite; Überdeckung von ca. 66 cm über Rohrscheitel; vor Beginn der Versuche
07.12.2007	Einbauhöhe von ca. 4,3 m; Lastplattenseite; Überdeckung von ca. 46 cm über Rohrscheitel; nach Abschluss der lastzyklischen und statischen Versuche mit einer Überdeckung von ca. 66 cm
13.12.2007	Einbauhöhe von ca. 4,1 m; Lastplattenseite; Überdeckung von ca. 26 cm über Rohrscheitel; nach Abschluss der statischen Versuche mit einer Überdeckung von ca. 46 cm
01.07.2008	Einbauhöhe von ca. 4,3 m; Lastplattenseite; Überdeckung von ca. 46 cm über Rohrscheitel; nach Abschluss der statischen und ergänzenden Versuche am Kunststoff-Rohrstrang

4.2.2 Rohre und Schächte

In den IKT-Großversuchsstand wurden Rohrstränge der Nennweite DN 700 aus unterschiedlichen Rohrwerkstoffen eingebaut. Als biegeweicher Rohrwerkstoff wurden duktile Gussrohre der Druckstufe PN6 eingesetzt, die abweichend von der Regelherstellung aufgrund der Applizierbarkeit der 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. Als Komponente des biegesteifen Rohr-Boden-Systems wurden wandverstärkte Betonrohre mit Fuß gewählt.

Für jeden Rohrwerkstoff wurde ein Rohrstrang in Längsrichtung des IKT-Großversuchsstandes aufgebaut. Der Guss- und Beton-Rohrstrang setzen sich jeweils aus 6 Rohren sowie einem Anfangs-, einem Mittel- und einem Endschacht zusammen. Für den Kunststoff-Rohrstrang wurde eine Haltung aus 3 Rohren sowie einem Anfangs- und einem Endschacht eingebaut. Die Rohrstränge wurden in Längsrichtung so angeordnet, dass beim Guss- und Beton-Rohrstrang die Mittelschächte und beim Kunststoff-Rohrstrang der Anfangsschacht auf der kurzen Symmetrieachse des Großversuchsstandes lagen. Der Abstand der Rohrstränge von der Rohrachse bis zur nahegelegenen Längswand des Großversuchsstandes beträgt 1,5 m, untereinander weisen die Rohrstränge von Rohrachse zu Rohrachse einen Abstand von 3,0 m auf.

Die einzelnen Haltungen zwischen den Schächten bestehen aus jeweils drei Einzelrohren, einem längeren Mittelstück und zwei kurzen Gelenkstücken.

Für den Guss-Rohrstrang wurde je Haltung ein Rohr

- mit Spitzende-Muffe und einer Baulänge von 780 mm,
- mit Spitzende-Muffe und einer Baulänge von 3.710 mm sowie
- mit Spitzende-Spitzende und einer Baulänge von 940 mm

mit einem Spiel von ca. 30 mm in der Rohrmuffe bzw. im Schachtanschluss eingebaut. Die Muffen der Guss-Rohre bzw. der Schachtanschlüsse entsprechen dem Typ „Standard“. Aufgrund der Baulängen sowie der fehlenden Innenbeschichtung und des fehlenden äußeren Korrosionsschutzes handelt es sich bei den Guss-Rohren um Sonderanfertigungen.

Für den Beton-Rohrstrang kamen je Haltung ein Rohr

- mit Spitzende-Glocke und einer Baulänge von 1.000 mm,
- mit Spitzende-Glocke und einer Baulänge von 2.500 mm ohne Transportanker sowie
- mit Spitzende-Spitzende und einer Baulänge von 1.000 mm

zum Einsatz.

Für den Kunststoff-Rohrstrang wurden je Haltung ein Rohr

- mit Spitzende-Muffe und einer Baulänge von 850 mm,
- mit Spitzende-Muffe und einer Baulänge von 3.550 mm sowie
- mit Spitzende-Spitzende und einer Baulänge von 850 mm

mit einem Spiel von ca. 30 mm in der Rohrmuffe bzw. im Schachtanschluss eingebaut.

Als Schächte wurden in den Rohrsträngen Betonschächte der Nennweite DN 1200 mit Schachtfutter bzw. passendem Anschluss zur Einbindung der oben beschriebenen Beton- und Guss-Rohre eingesetzt. Der Außendurchmesser der profilierten PE-Kunststoffrohre wurde so gewählt, dass die Rohre in die Schächte des Guss-Rohrstranges mit dem Schachtanschluss Typ „Standard“ eingebunden werden konnten. In jedem Rohrstrang wurden ein Anfangs- und ein Endschaft mit einem seitlichen Zulauf und im Guss- und Beton-Rohrstrang ein Durchlaufschacht mit seitlichem Zu- und Ablauf eingesetzt. Als Einstiegsöffnung wurden Schachtringe der Nennweite DN 1000 gewählt, die mit Hilfe von Beton-Übergangsplatten auf die Schachtunterteile aufgesetzt wurden.

4.3 Straßenoberbau

4.3.1 Allgemeines

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

4.3.2 Pflasterbelag

Als repräsentativer Pflasterbelag wurde von Herrn Professor Dr.-Ing. Martin Radenberg, Lehrstuhl für Verkehrswegebau der Ruhr-Universität Bochum, ein Pflasterbelag aus Betonrechteckpflastersteinen der Bauklasse III nach RStO 01 (vgl. Gutachterliche Stellungnahme [3]) vorgeschlagen und in Abstimmung mit der Fachhochschule Münster festgelegt. Die Pflasterfläche wurde in einer Hälfte des Großversuchsstandes über die gesamte Breite zwischen Anfangs- und Mittelschacht des Guss- und Beton-Rohrstranges eingebaut (vgl. Bild 20). Um mögliche Reflexionen der zyklischen Lasten an den Wänden des Großversuchsstandes und an den Schächten zu verhindern, wurden Styroporplatten mit einer Breite von 50 cm und einer Dicke von 2 cm an den entsprechenden Grenzflächen der Pflasterdecke angebracht.

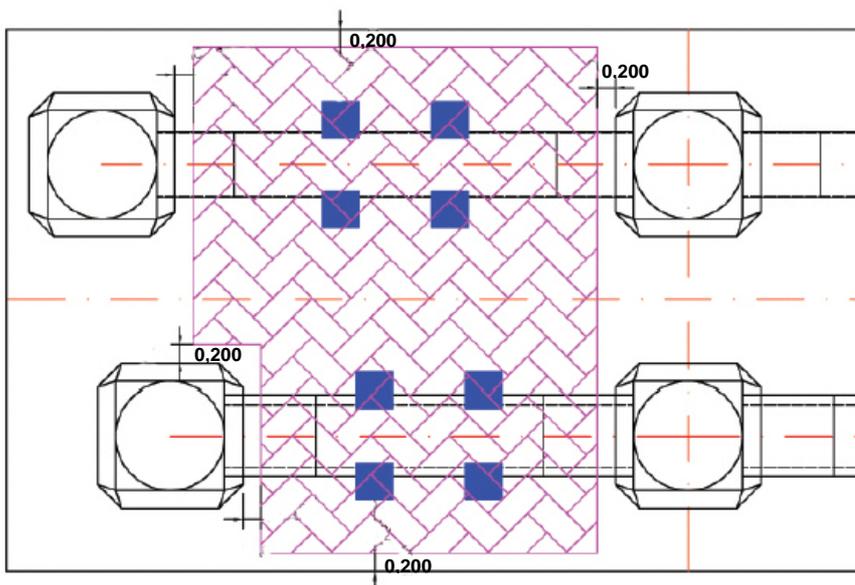


Bild 20 Pflasterfläche über dem Guss- und Beton-Rohrstrang
(hier beispielhaft als Fischgrätenverband dargestellt)

Die Pflasterarbeiten einschließlich der Bereitstellung aller Verlegematerialien wurden von einer Fachfirma gemäß der gutachterlichen Empfehlung [3] nach TL Pflaster-StB 06 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 42 cm Kies-Sand-Schicht mit 0/8-Körnung, einer 25 cm Schottertragschicht und einer 3 cm dicken

Pflasterbettung aus gebrochenem Hartstein verlegt (vgl. Bild 21 bis Bild 23). Als Material für die Schottertragschicht wurde ein Korngemisch 0/45 nach TL SoB-StB 04 und als Pflasterbettung ein Korngemisch 0/5 mm mit einem maximalen Feinkornanteil $\leq 5\%$ (UF₅) eingesetzt. Für das Fugenmaterial kam ein Korngemisch 0/5 mm mit einem minimalen bzw. maximalen Feinkornanteil von $\leq 2\%$ bzw. $\leq 9\%$ (UF₉ / LF₂) zum Einsatz. Die Pflasterfläche wurde seitlich eingefasst, das heißt, die abschließende Pflasterreihe wurde in ein Mörtelbett der Festigkeitsklasse C12/15 gesetzt und die Fugen anschließend vollständig verfüllt.



a) Schottertragschicht

b) Pflasterbettung

Bild 21 Vorbereitender Bodeneinbau für die Pflasterarbeiten



a) Abziehen der Fläche mit einer Wasserwaage

b) Fertiggestelltes Planum

Bild 22 Vorbereitung des Planums vor Verlegung der Betonrechteckpflastersteine



a) Verlegen der Pflastersteine im Läuferverband

b) Mörtelbett für die Rückenstütze

Bild 23 Pflasterarbeiten im IKT-Großversuchsstand



Bild 24 Fertiggestellte Pflasterfläche im IKT-Großversuchsstand

4.3.3 Lastplattenkonstruktion

Alternativ zum Pflasterbelag (vgl. Abschnitt 4.3.2) wurde für die andere Hälfte des Großversuchsstandes eine Lastplattenkonstruktion gewählt, die es ermöglicht, unterschiedliche Straßenoberbauvarianten zu simulieren. Mit Hilfe der Lastplattenkonstruktion aus einer bzw. zwei Stahlplatten wurden Spannungszustände auf dem Planum erzeugt, die denen von realistischen Fahrbahnbelägen aus Bitumen und Beton entsprechen. Die zur Herstellung dieses spannungsäquivalenten Zustandes einzusetzenden Stahlplatten wurden von der Fachhochschule Münster mittels Finite-Element-Methode berechnet und die Plattenabmessungen und -steifigkeiten festgelegt. Die Vergleichswerte der Spannungen auf Höhe des Planums wurden von Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Radenberg, Lehrstuhl für Verkehrswegebau der Ruhr-Universität Bochum für unterschiedliche Bauklassen und Fahrbahnbeläge ermittelt und zur Festlegung der Plattenabmessungen herangezogen.

Für die Lastplattenkonstruktion kamen eine große und eine kleine Stahlplatte der Stahlgüte St 37-2 mit den Abmessungen 3,4 m x 3,0 m x 0,03 m und 3,0 m x 2,0 m x 0,03 m zum Einsatz. Beide Platten übereinander stellen einen Straßenoberbau mit einer Höhe von 22 cm nach, die einzelne größere Platte simuliert eine Straßenoberbauhöhe von 14 cm. Unter Berücksichtigung 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 88 cm bzw. 80 cm. Durch Variation der Überdeckungshöhe mit $\ddot{U}_1 = 46$ cm und $\ddot{U}_2 = 26$ cm konnten darüber hinaus Straßenaufbauten mit einer Höhe von $h_1 = 68$ cm bzw. 60 cm und $h_2 = 48$ cm bzw. 40 cm untersucht werden.



a) Simulierte Überdeckung von 88 cm mit Hilfe von zwei Stahlplatten

b) Simulierte Überdeckung von 80 cm mit Hilfe von einer Stahlplatte

Bild 25 Einsatz von Stahlplatten zur Simulation des Straßenoberbaus

Vor jeder Positionierung der unteren Lastplatte zur Durchführung der statischen und lastzyklischen Versuche gemäß Versuchsprogramm (vgl. Abschnitt 5) wurde ein Planum fachgerecht hergestellt (vgl. Bild 26). So wurde gewährleistet, dass keine Hohlräume unter der Stahlplatte auftreten.



Bild 26 Fachgerecht hergestelltes Planum auf der Lastplattenseite

4.4 Lasteinleitungskonstruktionen

Zur Simulation von statischen und lastzyklischen Verkehrslasten wurden Hydraulikzylinder eingesetzt. Für die Untersuchung von statischen und lastzyklischen Einzelradlasten wurde am Guss- und Beton-Rohrstrang ein einzelner Hydraulikzylinder (vgl. Bild 27) eingesetzt. Für die Betrachtung der statischen Belastung aus 4 Radlasten kam eine Zylinderkonstruktion aus 4 Hydraulikzylinder (vgl. Bild 28) zum Einsatz. Im Unterschied zur Zylinderanordnung über dem Guss- und Beton-Rohrstrang wurden zur Durchführung der statischen Versuche über dem Kunststoff-Rohrstrang ausschließlich vier Hydraulikzylinder montiert und nach Bedarf eingesetzt (vgl. Abschnitt 5.2.4). Für den Lastfall „Einzelrad statisch“ wurde dementsprechend nur der Zylinder über dem Hauptmessquerschnitt angesteuert, während die anderen Zylinder lastfrei blieben.

Die Zylinder wurden mit Hilfe von Gewindestangen bzw. Laschen an Stahlträgern und die Stahlträger mit Hilfe von Gewindestangen und Doppel-U-Gurtungen an den Querriegeln des Großversuchsstandes befestigt.



Bild 27 Hydraulikzylinder zur Einleitung von statischen und lastzyklischen Einzelradlasten



Bild 28 Hydraulikzylinderkonstruktion zur Einleitung von 4 statischen Radlasten

Um eine gleichmäßige Kräfteinleitung über die Hydraulikzylinder in den Untergrund sicherzustellen, wurde für den Einzelzylinder eine Kalotte zum Ausgleich von Schiefstellungen eingesetzt. Bei den vier Hydraulikzylindern wird eine gleichmäßige Lasteinleitung über eine Konstruktion aus Lasche, Bolzen und Montageplatte sichergestellt (vgl. Bild 29).



a) Einzelzylinder

b) 4-Zylinderkonstruktion

Bild 29 Lasteinleitung an den eingesetzten Hydraulikzylindern

5 Versuchsdurchführung

5.1 Nullversuche

Um Vergleichsmesswerte für die Messung der Erddrücke in der Umgebung der Rohrstränge heranziehen zu können, wurden Nullmessungen mit Erddruckgebern im ungestörten Bodenkörper durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden über den Erddruckgebern zwischen dem Guss- und Beton-Rohrstrang auf der Längssymmetrieachse des Großversuchsstandes statische Verkehrslasten in den Boden eingeleitet. Die Messung diente der Ermittlung von Erddrücken ohne Einfluss des Rohres, das heißt, es sollten lediglich Einflüsse aus Bodenart, Bodeneinbau und Höhenlage der Erddruckgeber erfasst werden.

Die Nullversuche wurden mit Hilfe des Einzelzylinders durchgeführt. Der Hydraulikzylinder wurde für die Nullversuche mittig über dem jeweiligen Erddruckgeber positioniert (vgl. Bild 30) und eine Kraft von 60 kN, 90 kN und 120 kN mit einer Haltezeit von 30 Minuten aufgebracht. Zusätzlich wurden Versuche durchgeführt, bei dem der Krafteinleitungspunkt vom mittleren Erddruckgeber E3 ausgehend um 0,5 m und 1,0 m in Richtung Guss-Rohrstrang verschoben wurde (vgl. P1 und P2 in Bild 31).

Die große Lastplatte wurde gemäß Bild 31 angeordnet und blieb während der Durchführung der Nullversuche unverändert in dieser Position. Die kleine Lastplatte wurde beim Versetzen des Hydraulikzylinders über die anderen Erddruckgeber bzw. die außermittigen Krafteinleitungspunkte P1 und P2 in Zylinderrichtung verschoben, so dass diese in den jeweiligen Versuchen bündig mit der großen Stahlplatte abschloss (vgl. Bild 32, Bild 33 und Bild 34).

Die statische Zylinderkraft wurde in den Nullversuchen mit Hilfe einer runden Stahlplatte (\varnothing 452 mm, $t = 30$ mm), einer quadratischen Stahlplatte ($l = 452$ mm, $t = 30$ mm) sowie einer vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Elastomermatte ($l = 452$ mm, $t = 20$ mm) in den Untergrund eingeleitet (vgl. Bild 30). Zur Abschätzung der lastverteilenden Wirkung der eingesetzten Elastomermatte bei der Krafteinleitung wurde mit Blick auf die weiteren statischen Versuche der Einzelversuch mit 120 kN über dem mittleren Erddruckgeber E3 zunächst mit und dann ohne Elastomermatte durchgeführt. Aufgrund der gleichmäßigeren Lasteinleitung wurden die weiteren statischen Versuche allesamt mit Elastomermatte ausgeführt. Im Rahmen dieser Versuche wurde die Kraft über den Erddruckgebern E2, E3, E4 und E5 eingeleitet. Während der Nullversuche wurden die in Abschnitt 3 beschriebenen Messgrößen in allen Messquerschnitten aufgezeichnet.



a) Übersicht

b) Detail Lasteinleitung

Bild 30 Durchführung der Nullversuche über dem mittleren Erddruckgeber E3

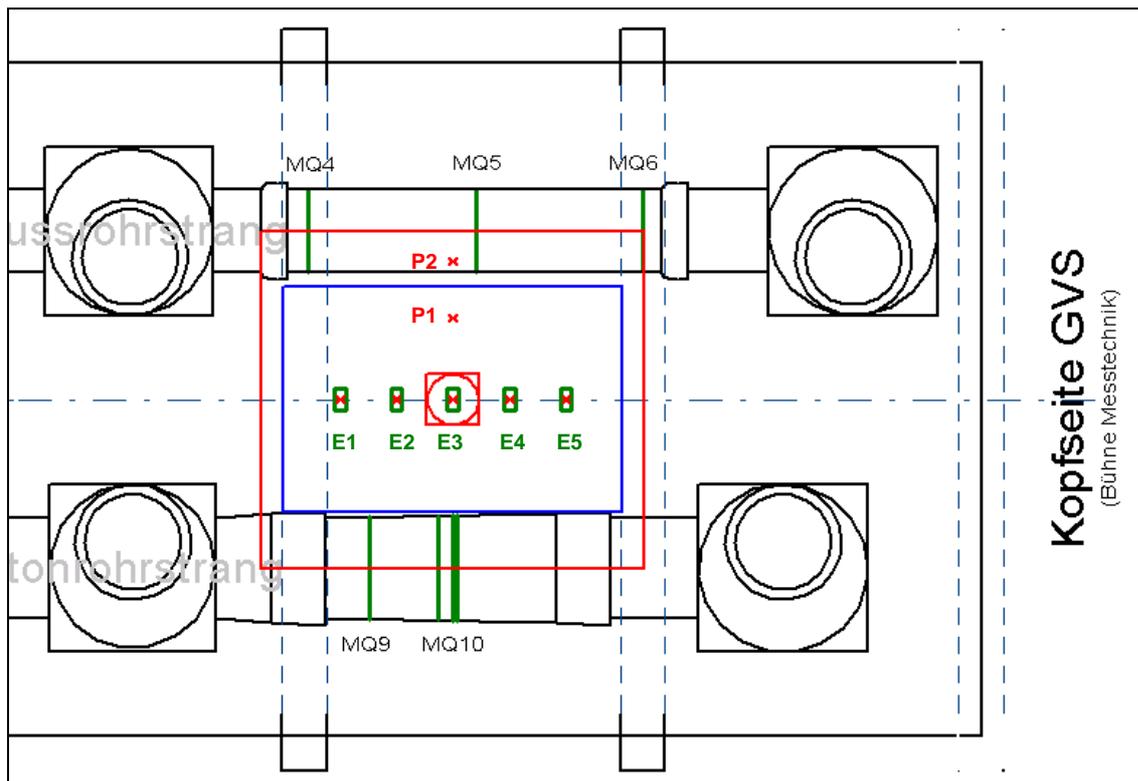


Bild 31 Lage der Erddruckgeber und Positionierung des Hydraulikzylinders sowie der Lastplatten für die Nullversuche über dem mittleren Erddruckgeber E3

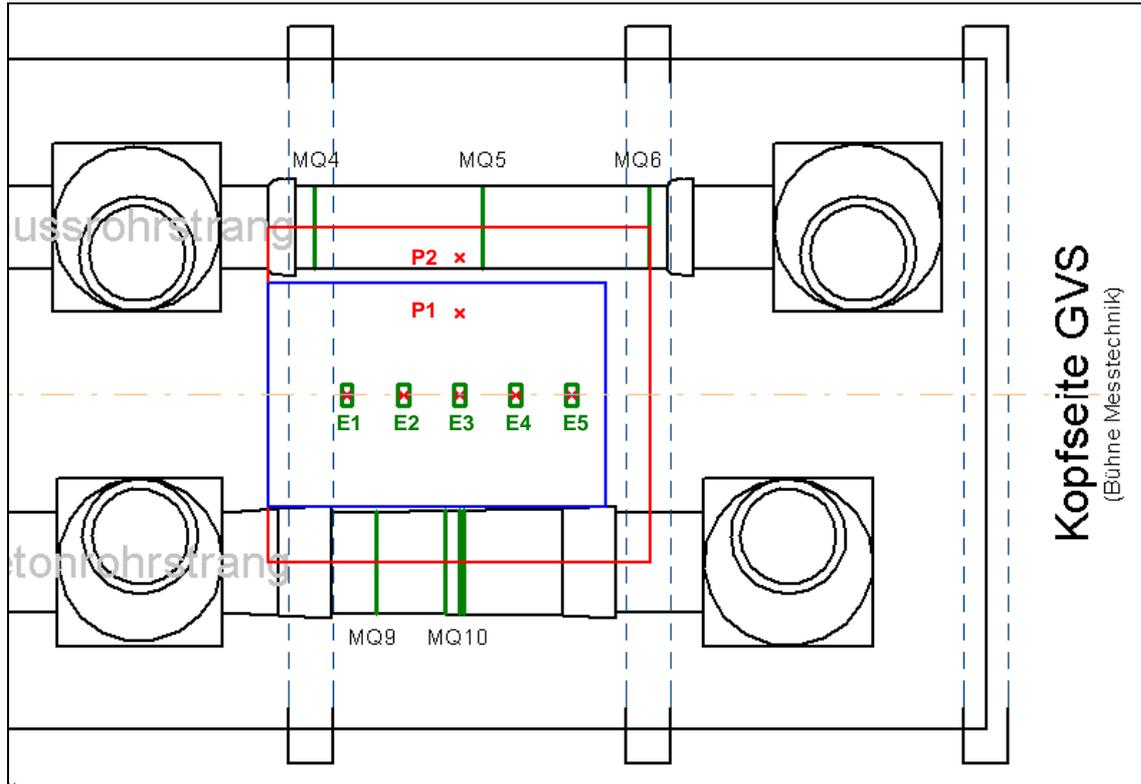


Bild 32 Positionierung der Lastplatten für die Nullversuche über den Erddruckgebern E1 und E2

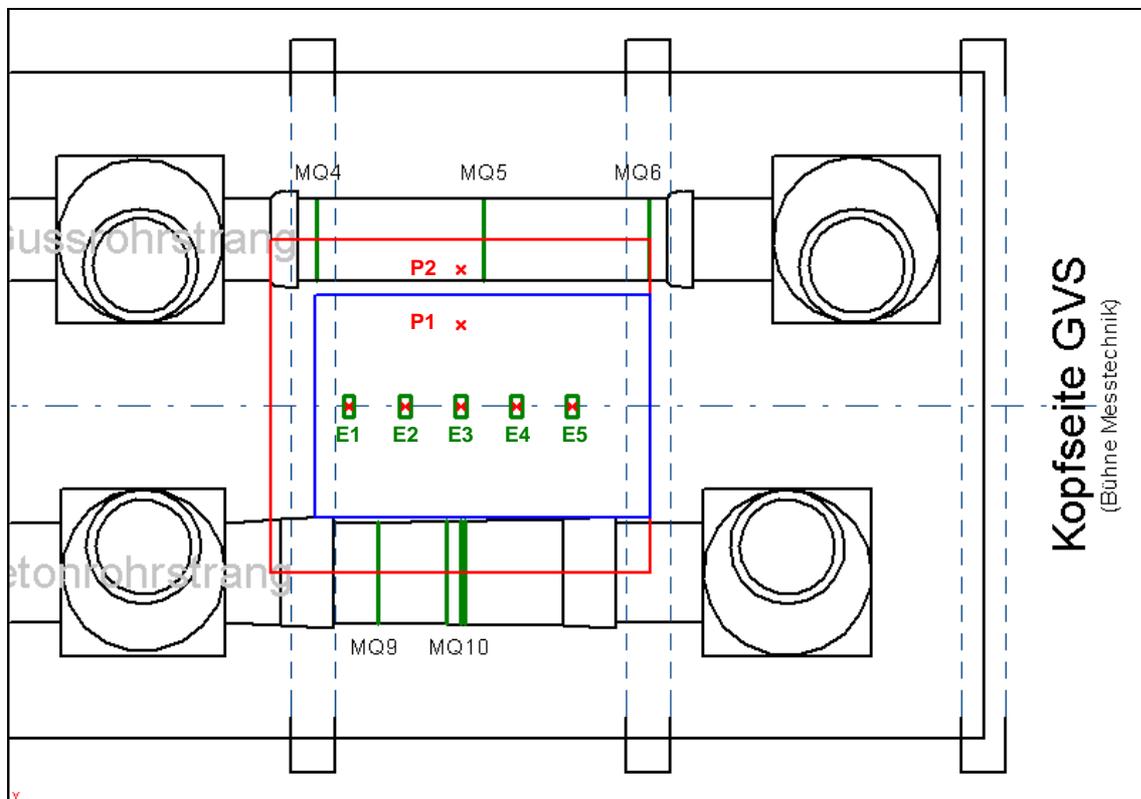


Bild 33 Positionierung der Lastplatten für die Nullversuche über den Erddruckgebern E4 und E5

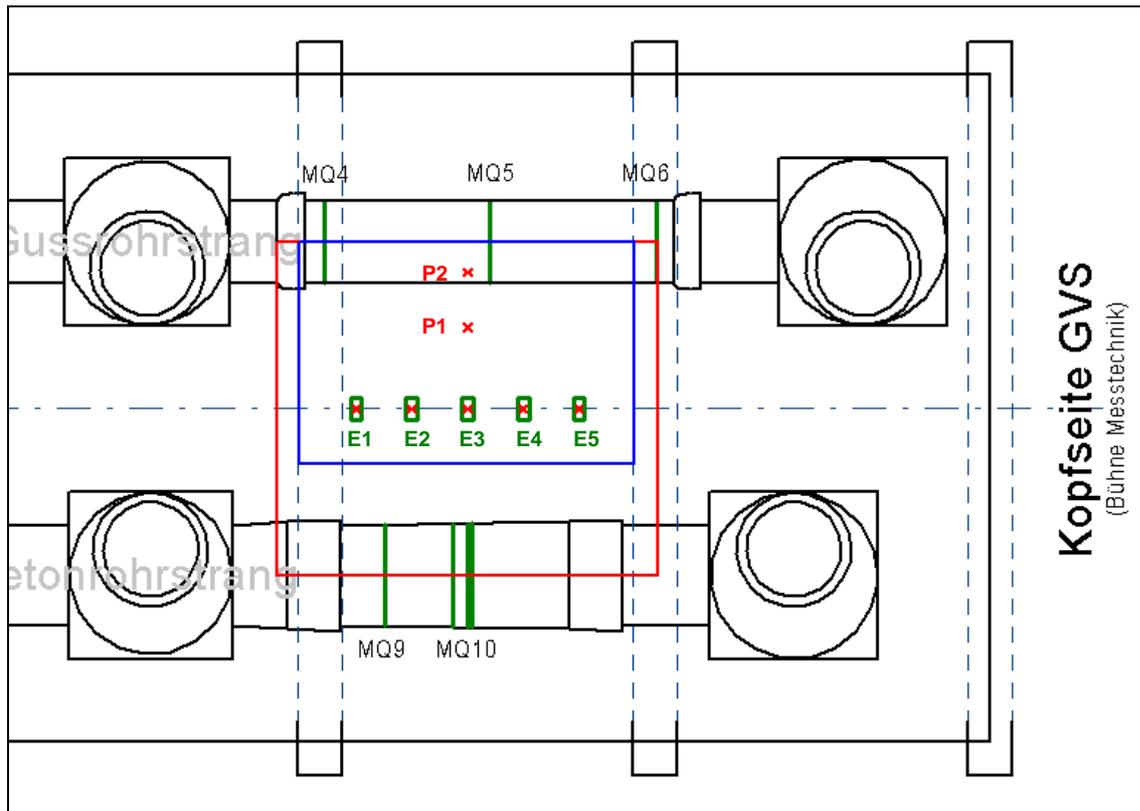


Bild 34 Positionierung der Lastplatten für die Nullversuche über den Lasteinleitungspunkten P1 und P2

5.2 Versuchsprogramm

5.2.1 Allgemeines

Zur Ermittlung des grundsätzlichen Verhaltens von flach überdeckten Rohren unter Verkehrslasten wurden an dem oben beschriebenen Versuchsaufbau die folgenden statischen und lastzyklischen Versuche durchgeführt und die im Abschnitt 3 dargestellten bemessungsrelevanten Größen messtechnisch erfasst:

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

5.2.2 Lastfall Einzelrad statisch

Der Lastfall „Einzelrad statisch“ wurde mit Hilfe eines einzelnen Hydraulikzylinders simuliert. Der einzusetzende Hydraulikzylinder wurde zur Versuchsdurchführung mittig über den jeweiligen Hauptmessquerschnitten des Guss-, Beton- und Kunststoff-

Rohrstranges positioniert. Über dem Guss- und Beton-Rohrstrang wurden zwei Lastplatten übereinander zur Simulation eines Fahrbahnoberbaus von ca. 22 cm eingesetzt. Am Kunststoff-Rohrstrang wurde der Lastfall „Einzelrad statisch“ sowohl mit einer als auch mit zwei Lastplatten übereinander untersucht. Dies entspricht Asphaltthicken von ca. 14 cm bzw. 22 cm Höhe.

Während der statischen Versuche auf der Lastplattenseite wurden die Lastplatten gemäß Bild 35 bis Bild 37 zur Simulation des Straßenoberbaus unter der Lasteinleitungs-konstruktion angeordnet. Die Einleitung der Zylinderkraft in den Straßenoberbau wurde bei den Versuchen über dem Guss- und Beton-Rohrstrang mit Hilfe einer runden Stahlplatte ($\varnothing = 452 \text{ mm}$, $t = 30 \text{ mm}$), einer quadratischen Stahlplatte ($l = 452 \text{ mm}$, $t = 30 \text{ mm}$) und einer runden Elastomermatte ($\varnothing = 452 \text{ mm}$, $t = 20 \text{ mm}$) realisiert (vgl. Bild 40). Die Konstruktion zur Lasteinleitung über dem Kunststoff-Rohrstrang für den Lastfall „Einzelrad statisch“ entspricht dem Aufbau für den Lastzustand „Radgruppe statisch“ (vgl. Bild 43). In jedem Einzelversuch auf der Pflaster- und auf der Lastplattenseite wurden 3 unterschiedliche Lasthöhen mit 60 kN, 90 kN und 120 kN angesteuert und über eine Dauer von 30 Minuten gehalten.

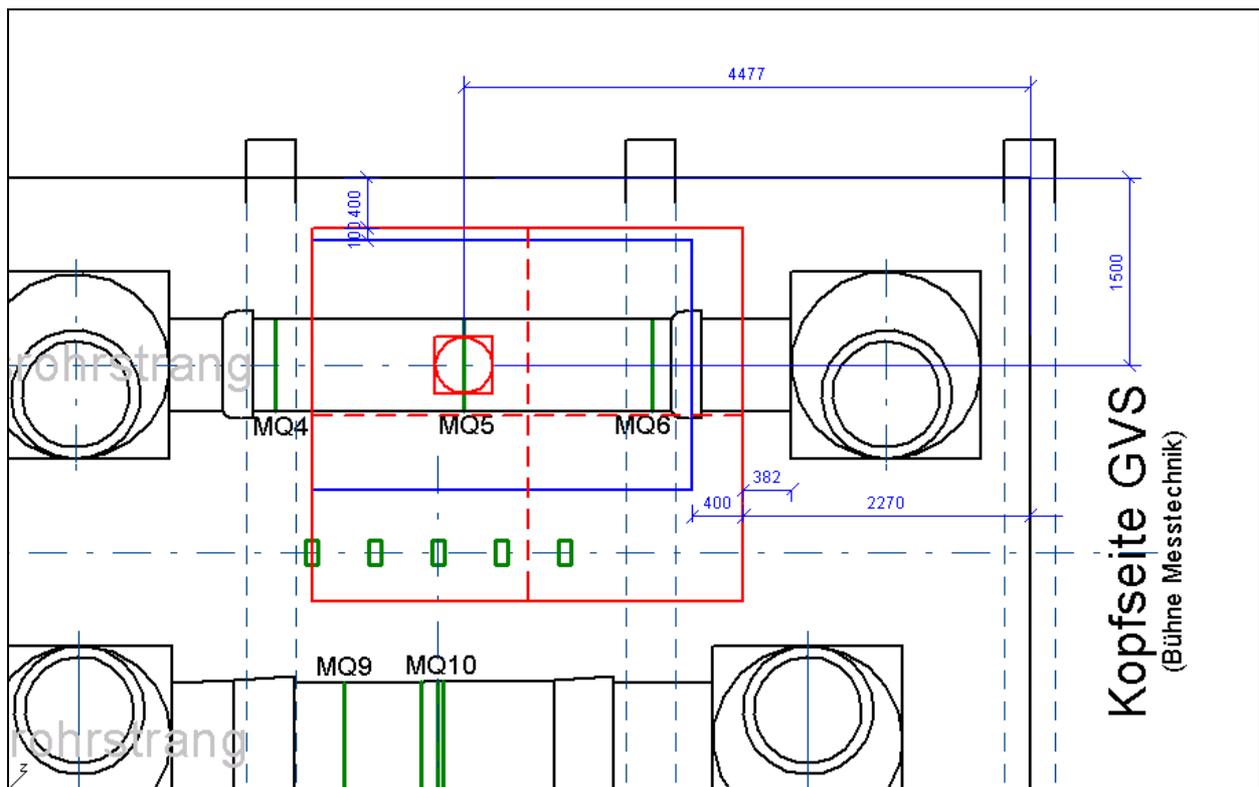


Bild 35 Positionierung des Hydraulikzylinders und der Lastplatten für die Lastfälle „Einzelrad statisch“ und „Einzelrad dynamisch“ auf der Lastplattenseite über dem Guss-Rohrstrang

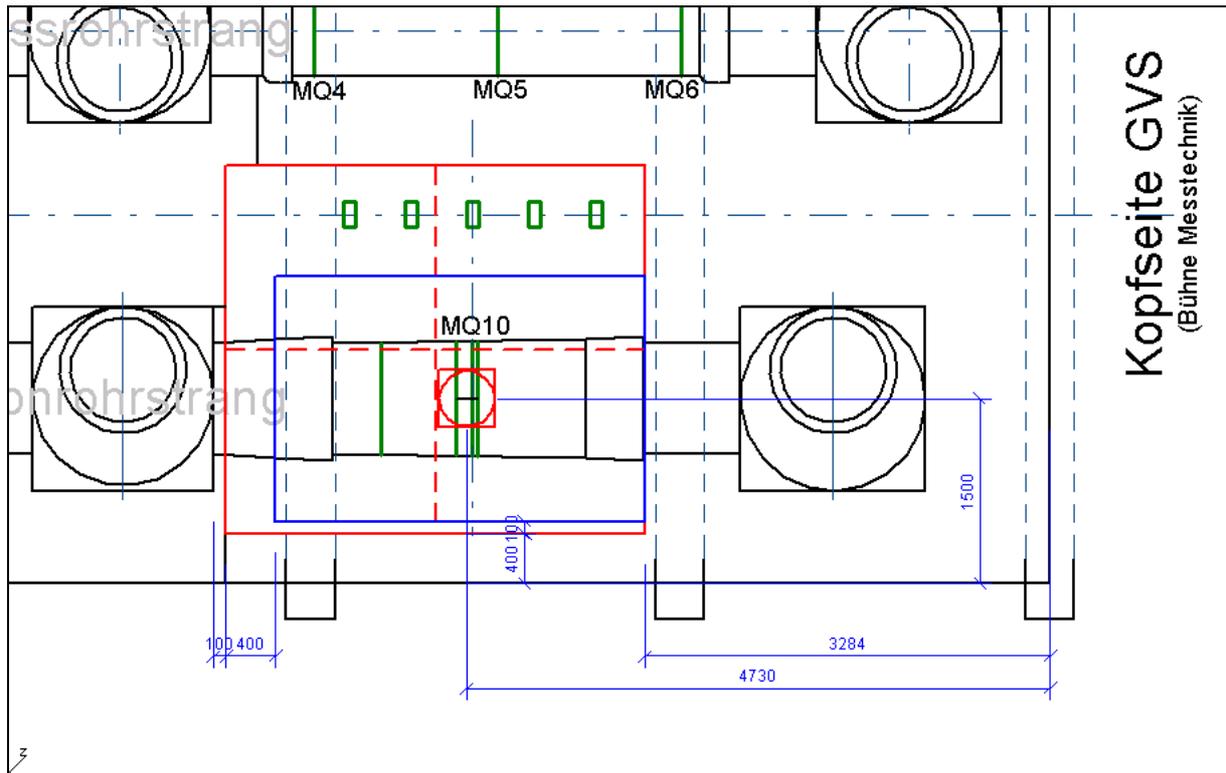


Bild 36 Positionierung des Hydraulikzylinders und der Lastplatten für die Lastfälle „Einzelrad statisch“ und „Einzelrad dynamisch“ auf der Lastplattenseite über dem Beton-Rohrstrang

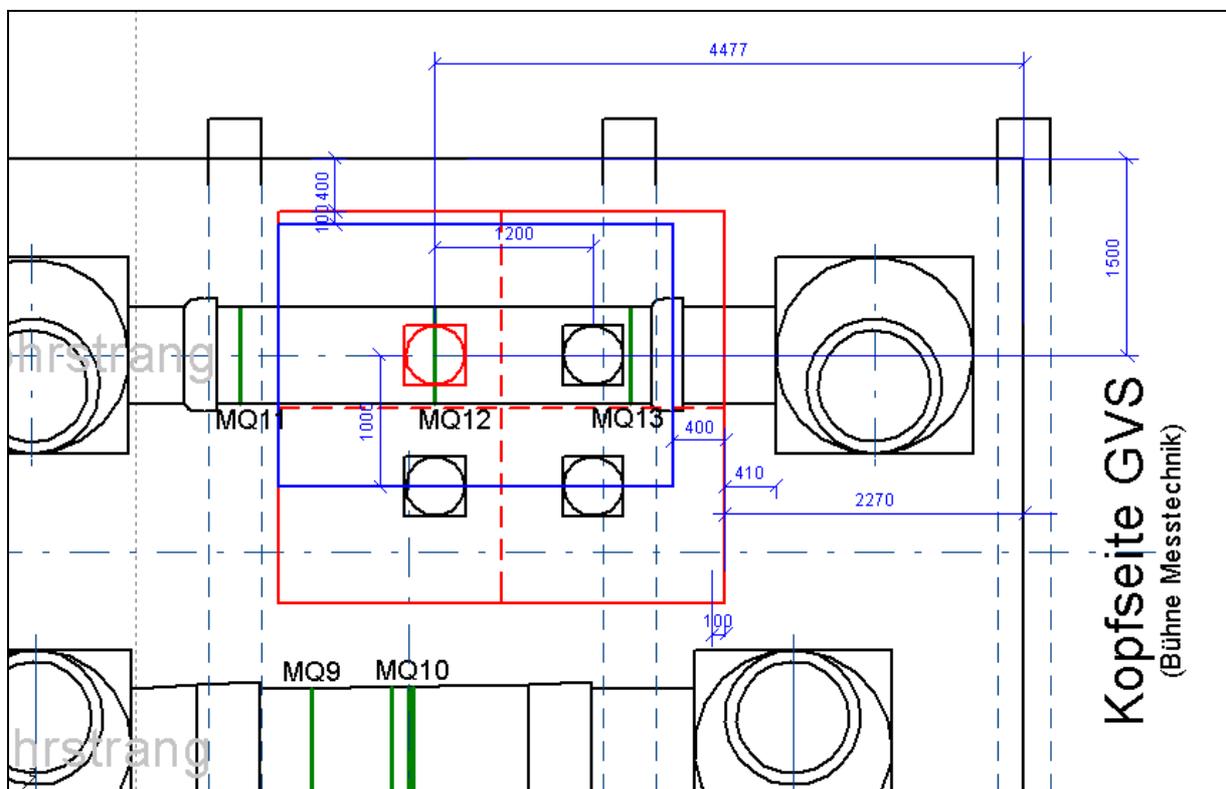


Bild 37 Positionierung des Hydraulikzylinders und der Lastplatten für den Lastfall „Einzelrad statisch“ über dem Kunststoff-Rohrstrang; Eingesetzter Zylinder ist rot markiert

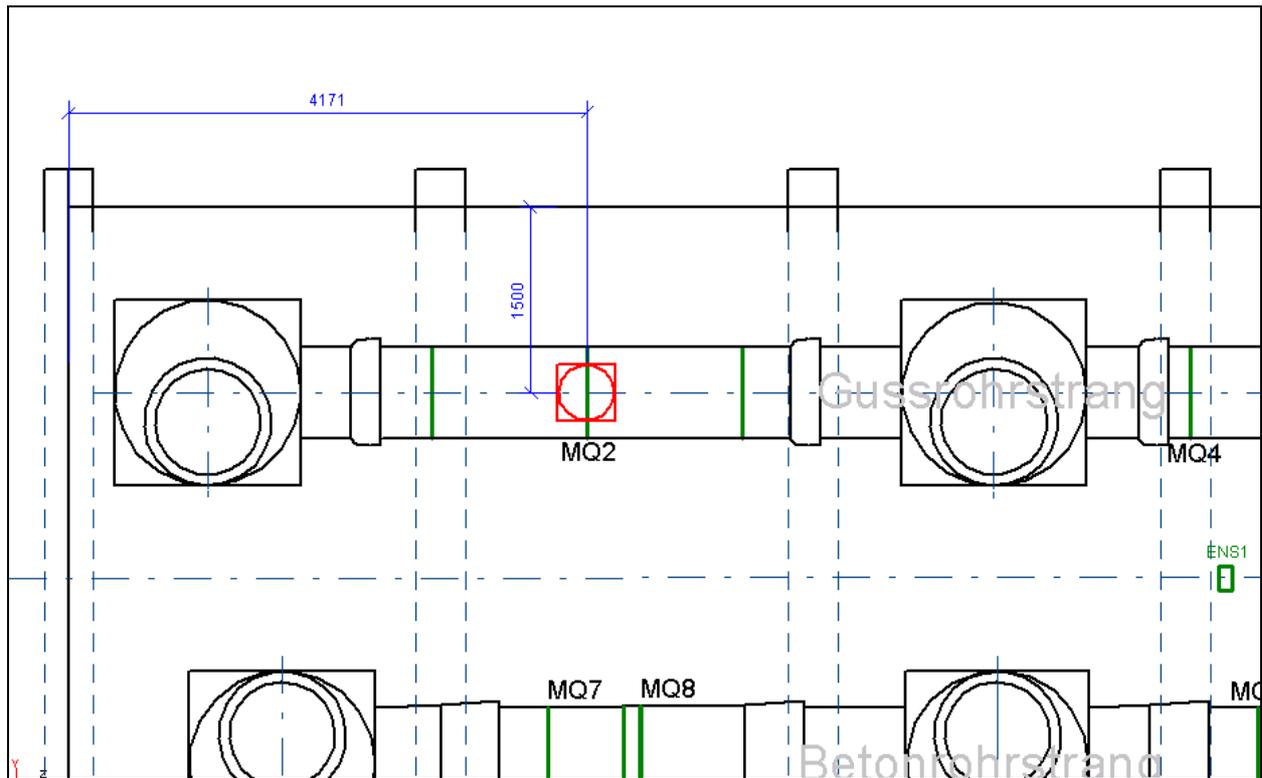


Bild 38 Positionierung des Hydraulikzylinders für die Lastfälle „Einzelrad statisch“ und „Einzelrad dynamisch“ auf der Pflasterseite über dem Guss-Rohrstrang

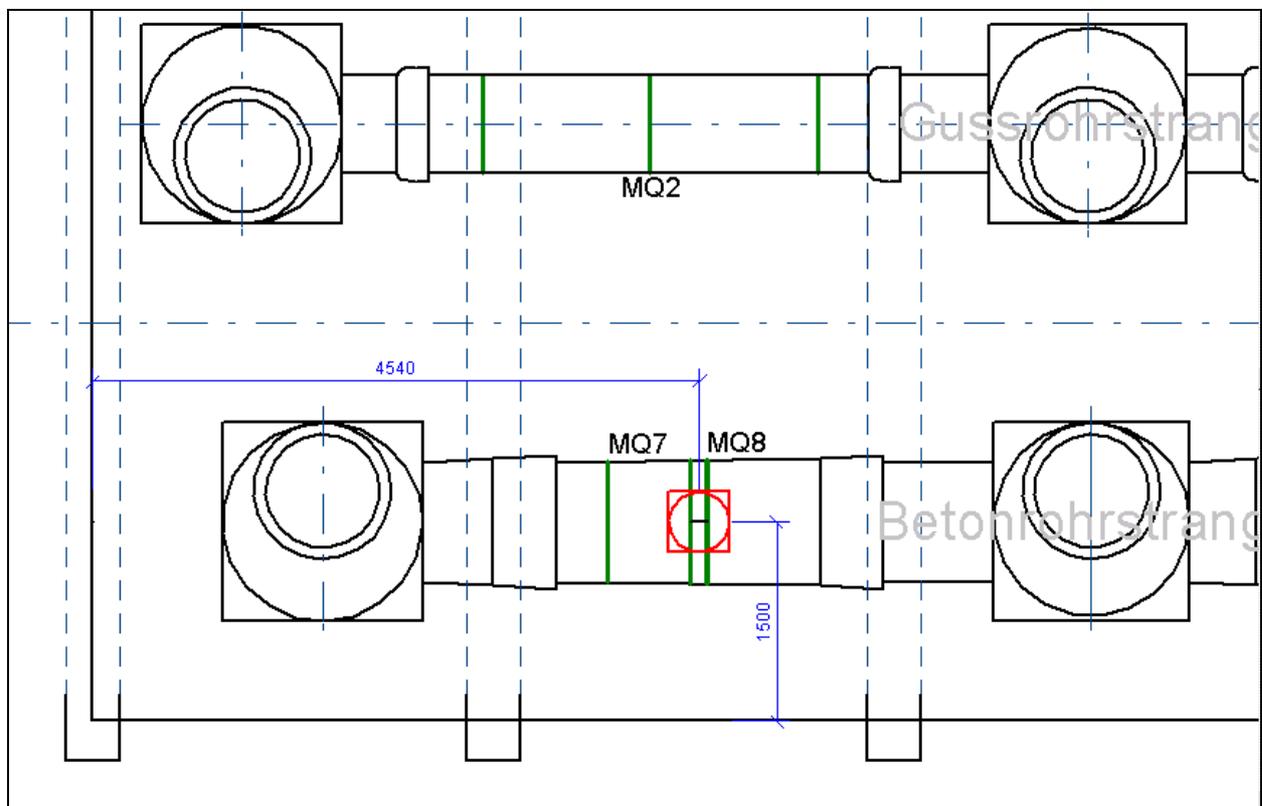


Bild 39 Positionierung des Hydraulikzylinders für die Lastfälle „Einzelrad statisch“ und „Einzelrad dynamisch“ auf der Pflasterseite über dem Beton-Rohrstrang



Bild 40 *Lasteinleitungsstruktur beim Lastfall „Einzelrad statisch“ über dem Guss- und Beton-Rohrstrang (hier Lastplattenseite)*

5.2.3 Lastfall Einzelrad lastzyklisch

Die Versuche zum Lastfall „Einzelrad lastzyklisch“ wurden mit Hilfe des einzelnen Hydraulikzylinders auf der Pflaster- und Lastplattenseite über dem Guss- und Beton-Rohrstrang durchgeführt. Am Kunststoff-Rohrstrang wurden keine zyklischen Belastungen betrachtet. Hydraulikzylinder und Lastplatten wurden dazu in gleicher Weise angeordnet wie beim Lastfall „Einzelrad statisch“, das heißt, mittig über dem Messrohr über den zugehörigen Hauptmessquerschnitten (vgl. Bild 35 - Bild 39).

Zur Krafteinleitung ins Pflaster bzw. in die Lastplatte wurden eine runde Stahlplatte ($\varnothing = 452 \text{ mm}$, $t = 30 \text{ mm}$) sowie eine quadratische Stahlplatte ($l = 452 \text{ mm}$, $t = 30 \text{ mm}$) eingesetzt (vgl. Bild 41). Auf den Einsatz der Elastomermatte (vgl. Abschnitt 5.2.2) wurde aufgrund der zu erwartenden Dämpfungs- und Kriecheigenschaften der Matte in Abstimmung mit dem Auftraggeber verzichtet.

Die lastzyklischen Versuche wurden mit 10^6 Lastspielwechseln und einer Frequenz von 3 Hz durchgeführt, so dass sich eine Versuchsdauer für einen einzelnen lastzyklischen Versuch von ca. 4 Tagen ergab. Als Ober- und Unterlast wurden 90 kN bzw. 20 kN angesteuert.



Bild 41 Lasteinleitungskonstruktion beim Lastfall „Einzelrad lastzyklisch“ (hier Pflasterseite)

5.2.4 Lastfall Radgruppe statisch

Die Versuche zum Lastfall „Radgruppe statisch“ wurden mit Hilfe von vier Hydraulikzylindern auf der Pflaster- und Lastplattenseite über dem Guss- und Beton-Rohrstrang sowie über dem Kunststoff-Rohrstrang durchgeführt. Die vier Hydraulikzylinder stellen in den Versuchen die statischen Radlasten der Doppelachse nach DIN Fachbericht 101 [4] nach.

Die Hydraulikzylinder wurden für jedes Versuchsfeld (Pflaster/Guss, Pflaster/Beton, Lastplatte/Guss, Lastplatte/Beton, Lastplatte/Kunststoff) in der Weise angeordnet, dass eine Radlast zentrisch über dem jeweiligen Hauptmessquerschnitt angreift. Die Ausrichtung der Hydraulikzylinder quer zum Rohrstrang erfolgte zur Mitte des Großversuchsstandes. In Rohrlängsrichtung wurden die Hydraulikzylinder so positioniert, dass für den Beton-Rohrstrang die Zylinder in Richtung MQ7 bzw. MQ9 in der zu untersuchenden Haltung zeigen. Über dem Guss- und Kunststoff-Rohrstrang mit jeweils zwei Nebemessquerschnitten pro Haltung wurden die Hydraulikzylinder in Richtung MQ1 und MQ6 bzw. MQ13 angeordnet.

Zur Simulation unterschiedlicher Beanspruchungssituationen wurden die vier Laststellungen „normal“, „exzentrisch“, „eng längs“ und „eng quer“ 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 [4] vom Auftraggeber vorgegeben. Zur Positionierung der Hydraulikzylinder gemäß den vorgegebenen Laststellungen verbleibt der Zylinder über dem jeweiligen Hauptmessquerschnitt unverändert in seiner ursprünglichen Position. Die drei weiteren Zylinder werden um das erforderliche Maß in Längs- und Querrichtung versetzt. In Bild 42 sind die Abstände der Hydraulikzylinder für die vier o.g. Laststellungen dargestellt.

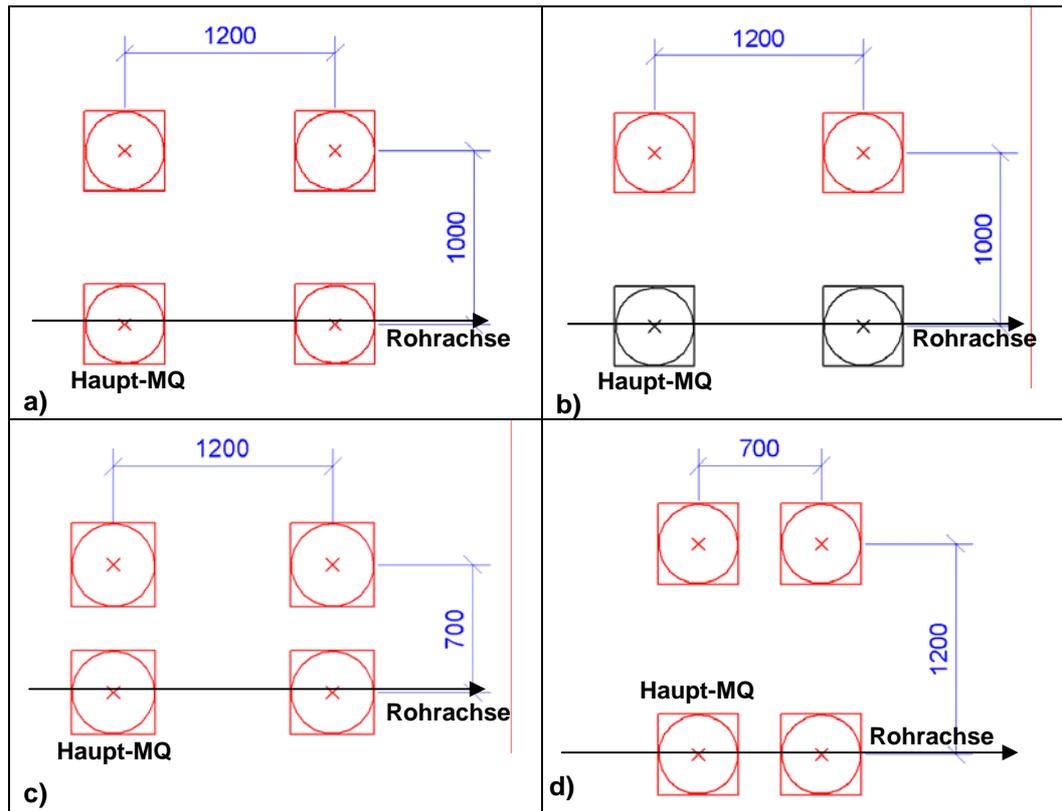


Bild 42 Laststellungen beim Lastfall „Radgruppe statisch“
a) normal, b) exzentrisch, c) eng längs und d) eng quer

In der normalen und exzentrischen Laststellung werden die Hydraulikzylinder in Rohrlängsrichtung mit einem Abstand von 1,2 m aufgebaut. Der Abstand der Zylinder in Querrichtung des Rohrstranges beträgt 1,0 m. Im Gegensatz zur normalen Laststellung werden bei der exzentrischen Laststellung nur zwei Hydraulikzylinder zur Lastaufbringung eingesetzt. Es kommen die zwei Hydraulikzylinder zum Einsatz, die exzentrisch zum Rohrstrang, das heißt nicht auf der Rohrlängsachse liegen.

Für die enge Laststellung längs wurde der Abstand der Hydraulikzylinder in Querrichtung des Rohrstranges von 1,0 m auf 0,7 m verringert. Der Abstand der Zylinder in Längsrichtung des Rohrstranges bleibt im Vergleich zur normalen Laststellung unverändert bei 1,2 m.

Für die enge Laststellung quer wurde der Abstand der Hydraulikzylinder in Längsrichtung des Rohrstranges von 1,2 m auf 0,7 m verkleinert. Der Abstand der Zylinder in Querrichtung des Rohrstranges wird im Vergleich zur normalen Laststellung von 1,0 m auf 1,2 m erhöht. Die Positionierung der Hydraulikzylinder bei der engen Laststellung quer entspricht dem um 90° gedrehten Zylinderaufbau der engen Laststellung längs.

Für jede der vier Laststellungen wurden 3 unterschiedliche Lasthöhen von 60 kN, 90 kN und 120 kN angesteuert und über eine Dauer von 30 Minuten gehalten. Die Einleitung der Zylinderkraft in den Straßenoberbau wurde mit Hilfe von runden Stahlplatten und Elastormatten mit einem Durchmesser von 452 mm realisiert. Die vier quadratischen

Stahlplatten zur Lasteinleitung wurden an den Montagerahmen der Hydraulikzylinder geschweißt (vgl. Bild 43).



Bild 43 Lasteinleitungsstruktur für den Lastfall „Radgruppe statisch“

Außerdem wurden auf der Lastplattenseite ausgewählte Laststellungen des Lastfalls „Radgruppe statisch“ für zwei weitere Überdeckungshöhen von $h = 68$ cm bzw. $h = 60$ cm und $h = 48$ cm bzw. $h = 40$ cm über dem Guss- und Beton-Rohrstrang untersucht. Bild 44 bis Bild 52 zeigen die Anordnung der Hydraulikzylinder und ggf. der Stahlplatten für die durchgeführten statischen Versuche des Lastfalls „Radgruppe statisch“ über dem Guss-, Beton- und Kunststoff-Rohrstrang.

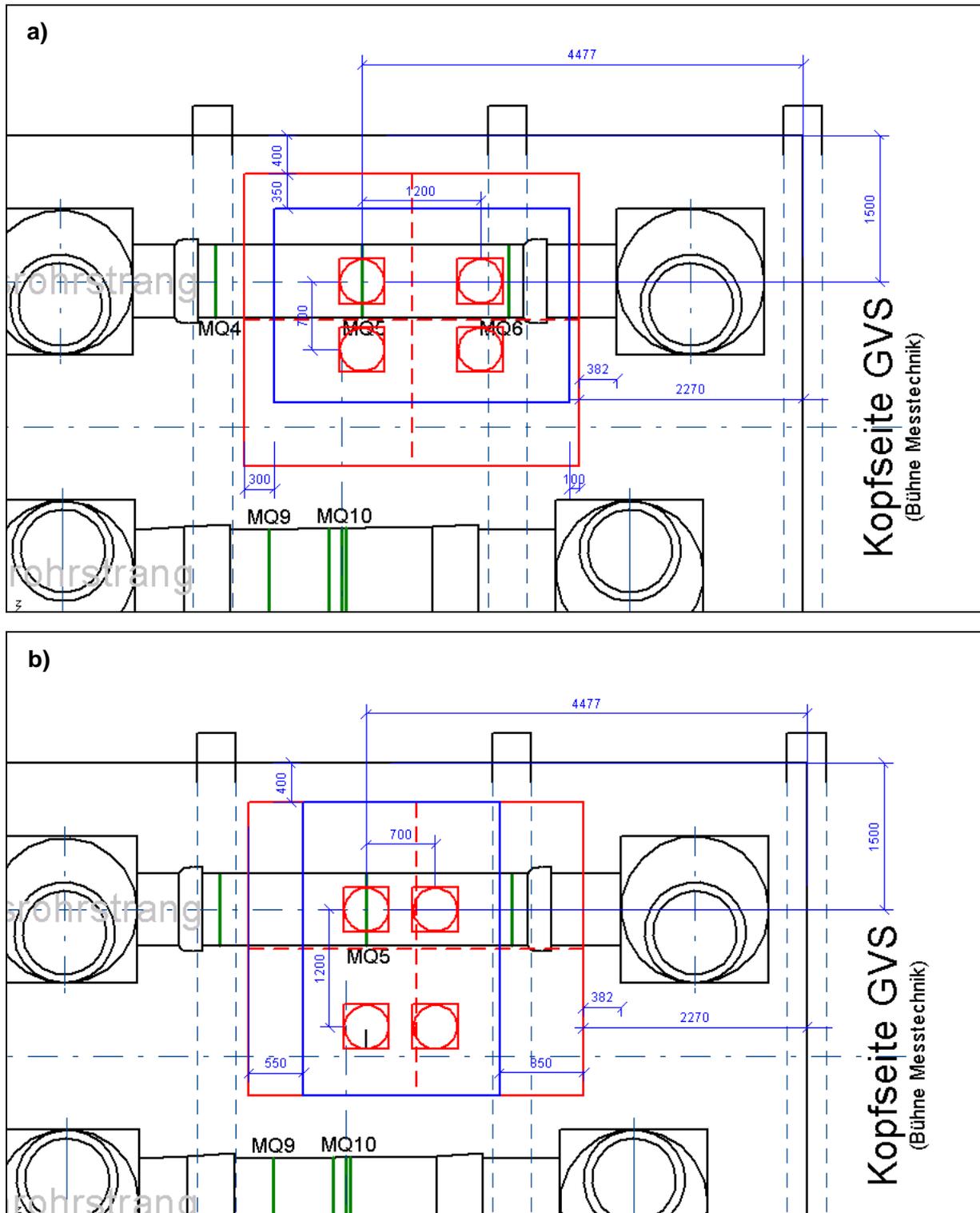


Bild 45 Laststellungen für den Lastfall „Radgruppe statisch“ auf der Lastplattenseite über dem Guss-Rohrstrang: a) eng längs und b) eng quer

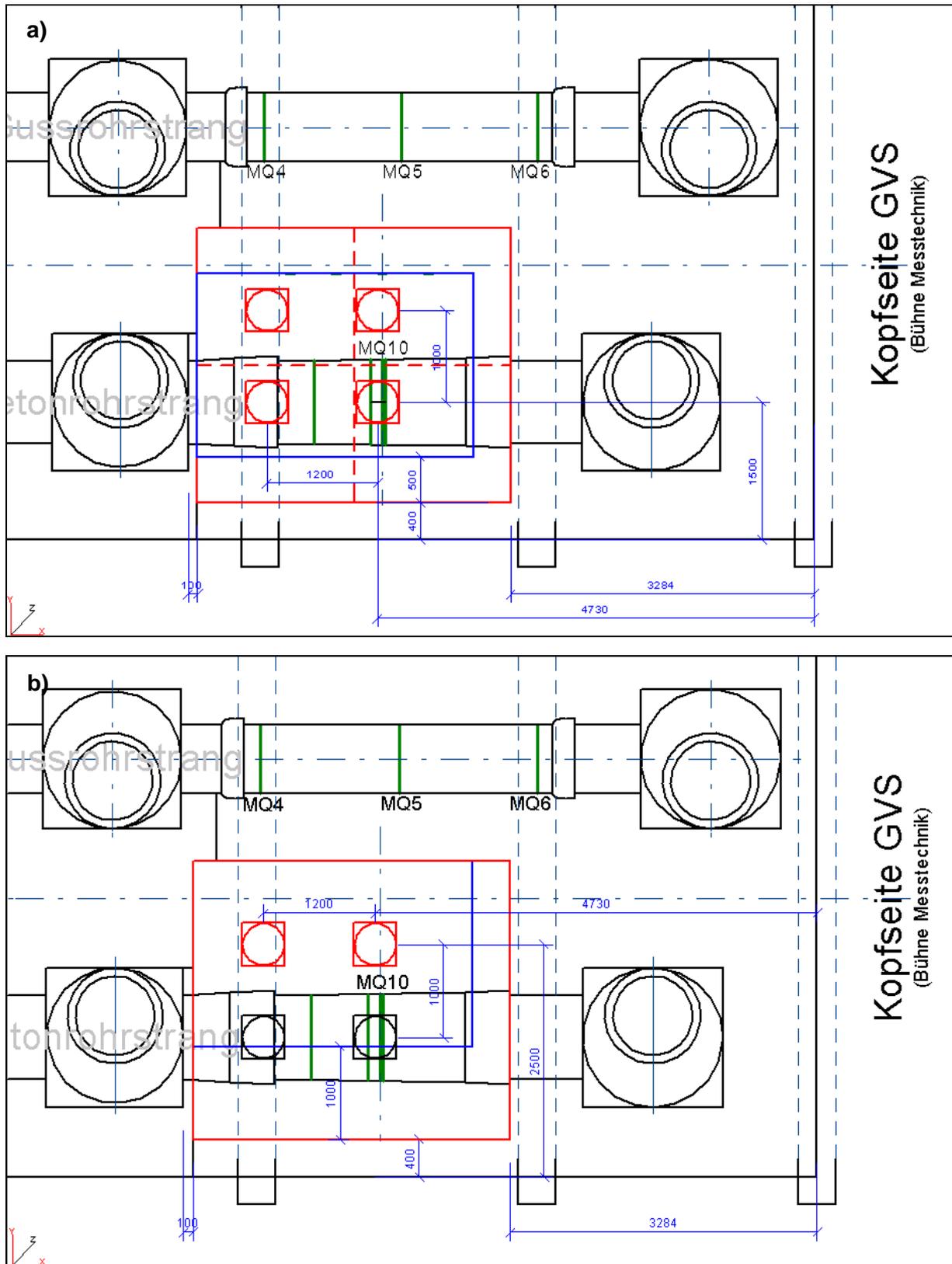


Bild 46 Laststellungen für den Lastfall „Radgruppe statisch“ auf der Lastplattenseite über dem Beton-Rohrstrang; a) normal und b) exzentrisch

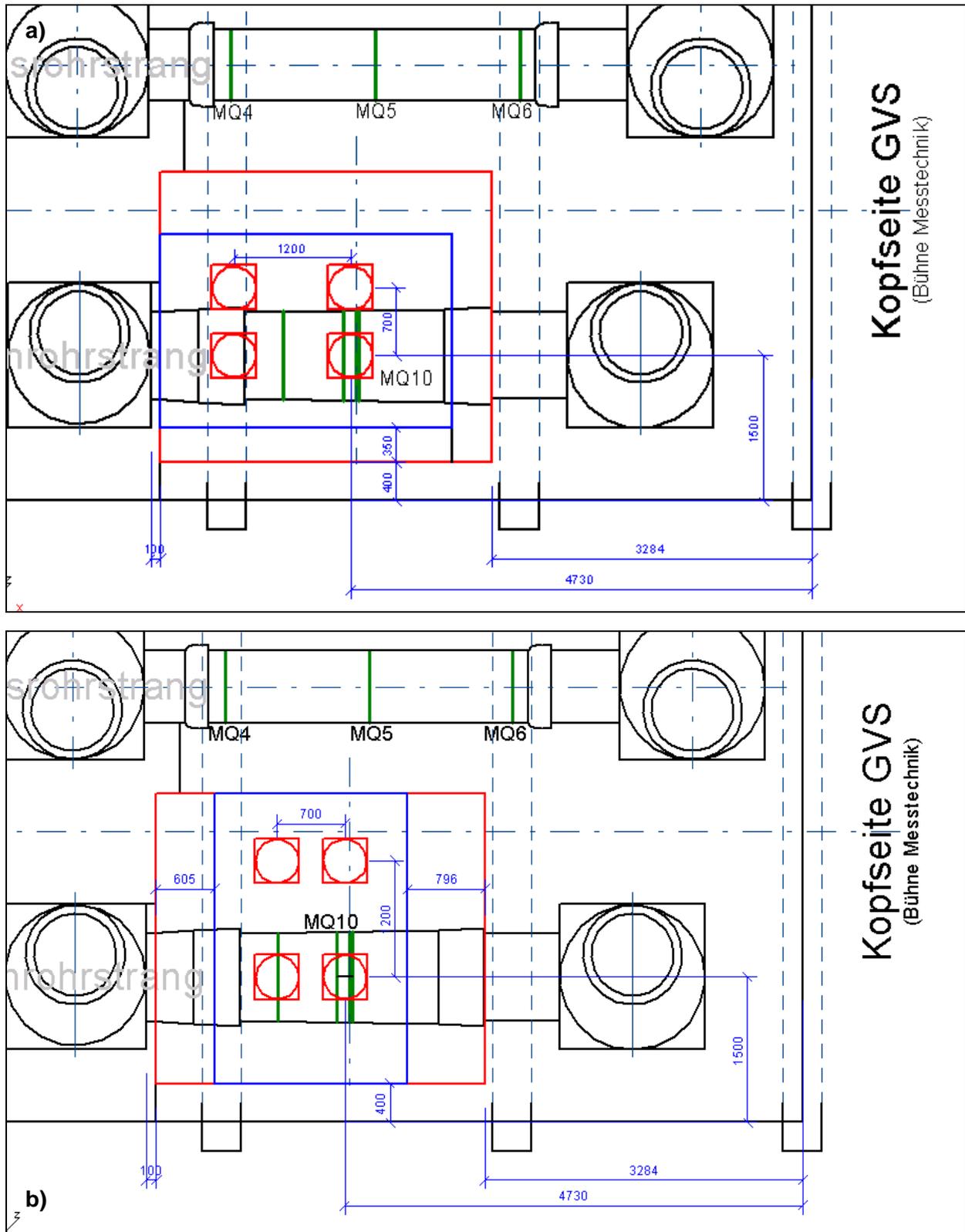


Bild 47 Laststellungen für den Lastfall „Radgruppe statisch“ auf der Lastplattenseite über dem Beton-Rohrstrang: a) eng längs und b) eng quer

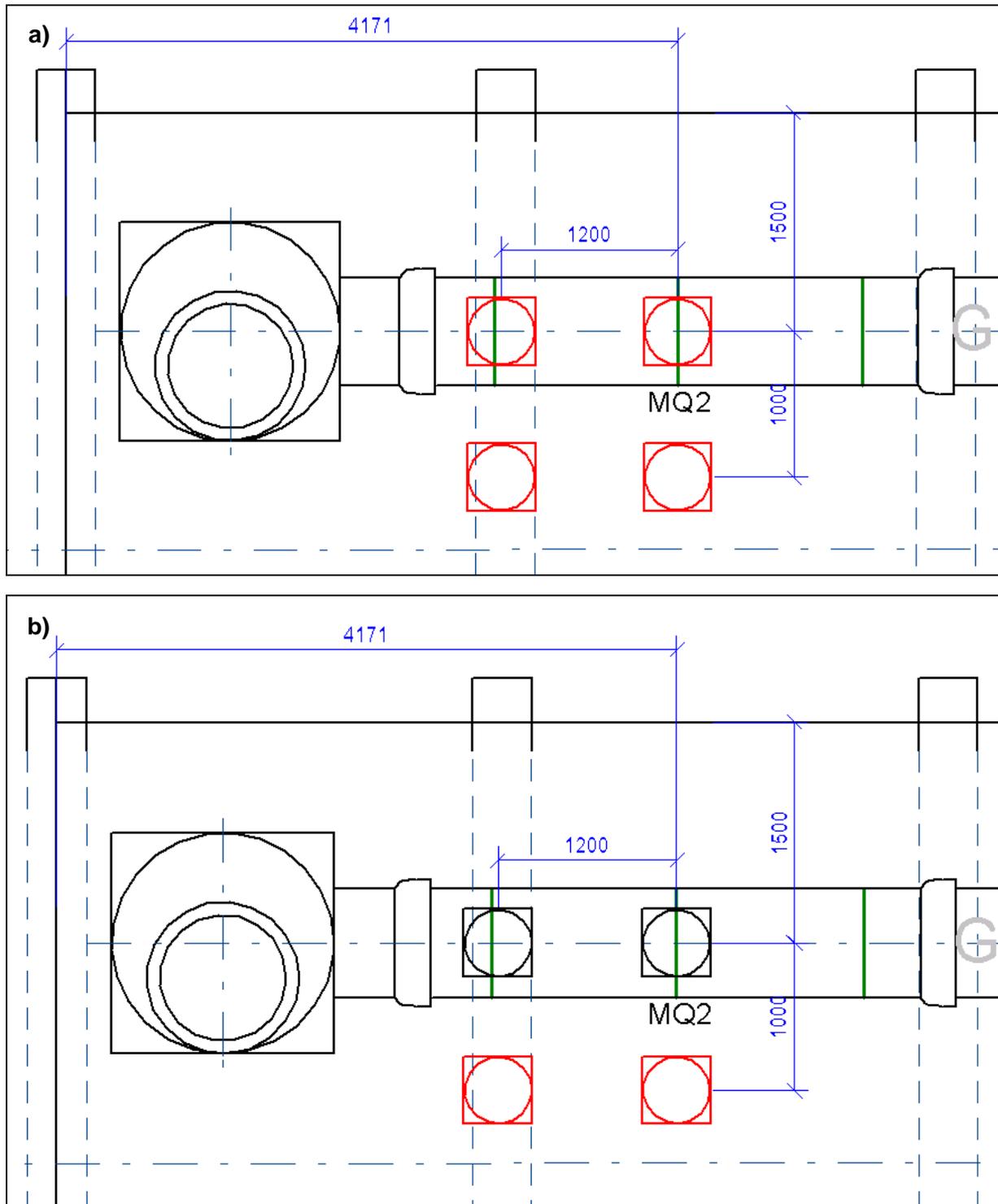


Bild 49 Laststellungen für den Lastfall „Radgruppe statisch“ auf der Pflasterseite über dem Guss-Rohrstrang; a) normal und b) exzentrisch

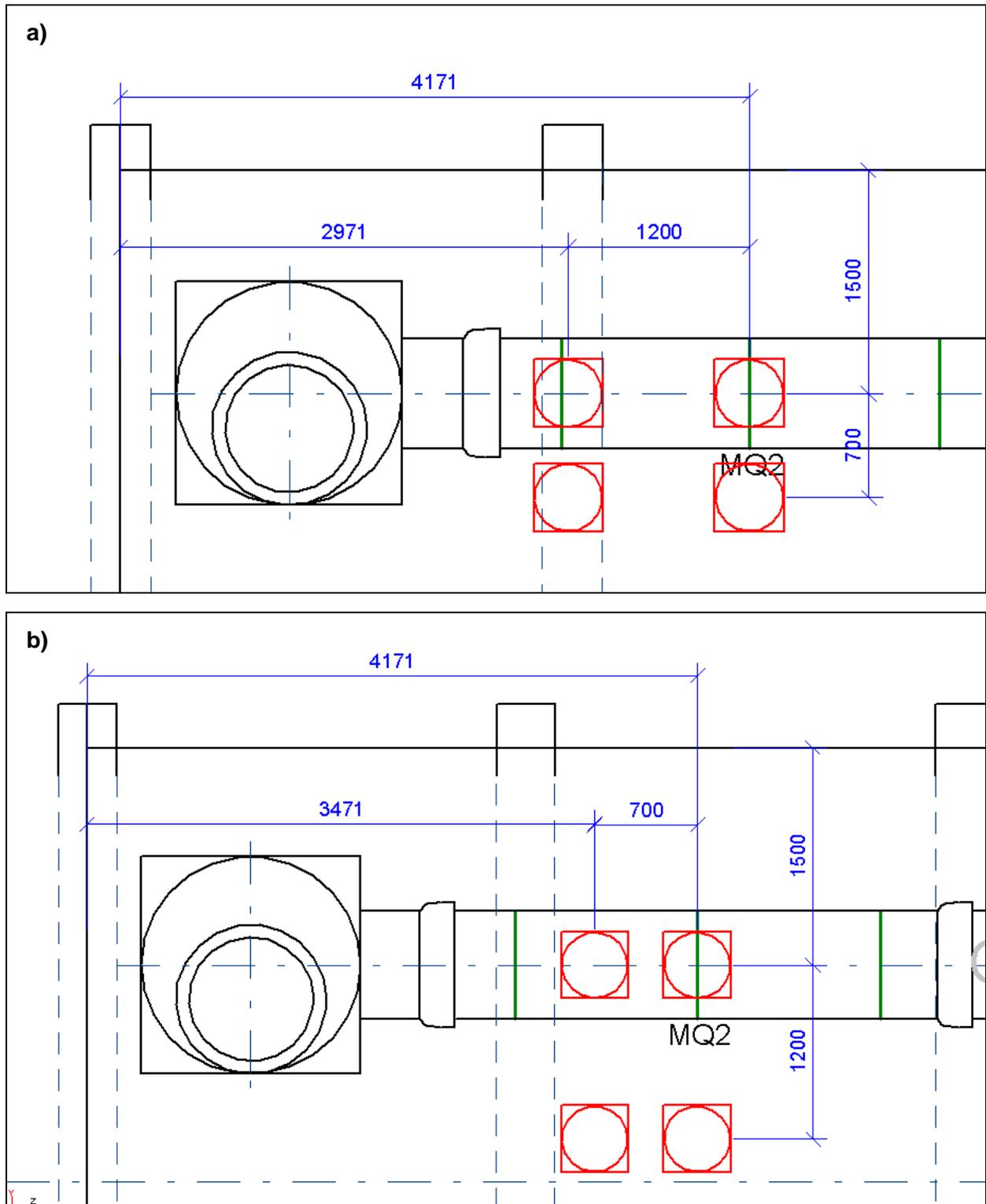


Bild 50 Laststellungen für den Lastfall „Radgruppe statisch“ auf der Pflasterseite über dem Guss-Rohrstrang: a) eng längs und b) eng quer

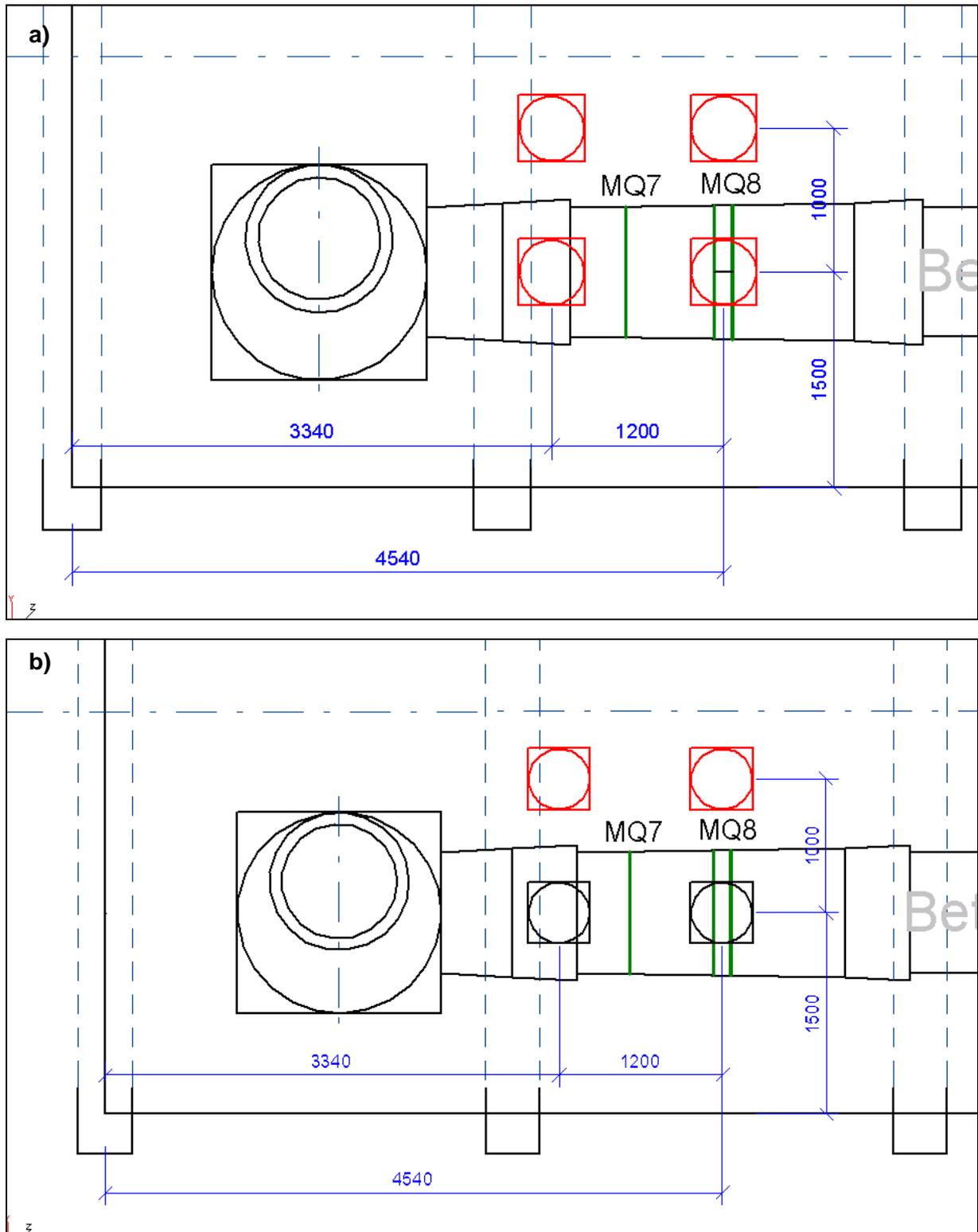


Bild 51 Laststellungen für den Lastfall „Radgruppe statisch“ auf der Pflasterseite über dem Beton-Rohrstrang: a) normal und b) exzentrisch

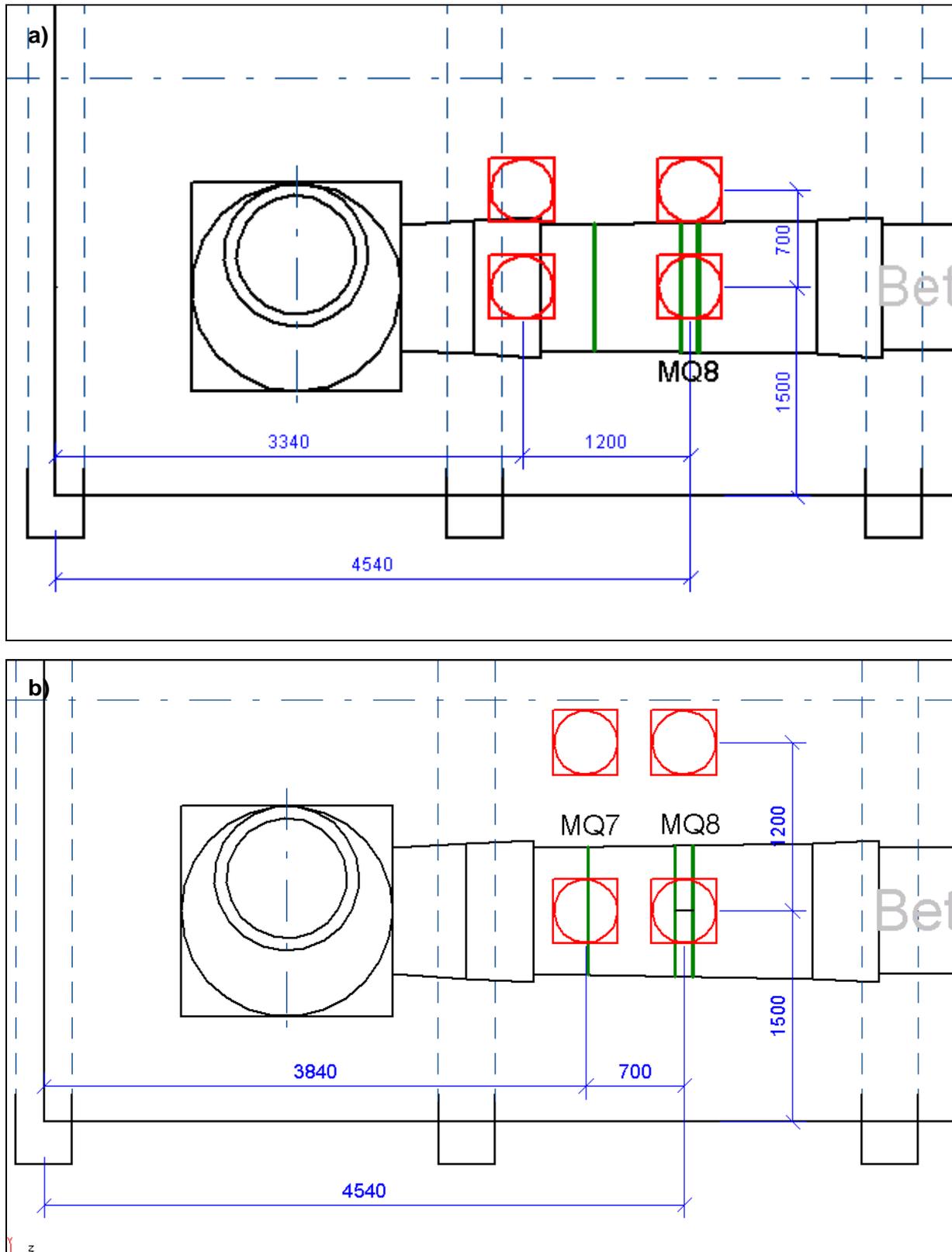


Bild 52 Laststellungen für den Lastfall „Radgruppe statisch“ auf der Pflasterseite über dem Beton-Rohrstrang: a) eng längs und b) eng quer

5.2.5 Lastfall Kantenpressung

Darüber hinaus wurde beim Guss- und Beton-Rohrstrang für die Überdeckung $\ddot{U}_2 = 46$ cm sowie beim Kunststoff-Rohrstrang die besondere Belastungssituation der Kantenpressung betrachtet. Hierbei kamen im Vergleich zu den vorherigen Versuchen zur „Laststellung eng quer“ nur die beiden Hydraulikzylinder über der Rohrachse zum Einsatz. Die kleine Stahlplatte mit den Abmessungen 3,0 x 2,0 m wurde dazu in Querrichtung so über dem jeweiligen Rohrstrang positioniert, dass die Lasteinleitungs-konstruktion aus runder Elastomermatte und Stahlplatte über dem Hauptmessquerschnitt bündig mit der Plattenkante abschloss. Bild 53 bis Bild 55 zeigen die Anordnung der Zylinder und der Stahlplatte für die Versuche zur Kantenpressung über dem Guss-, Beton- und Kunststoff-Rohrstrang.

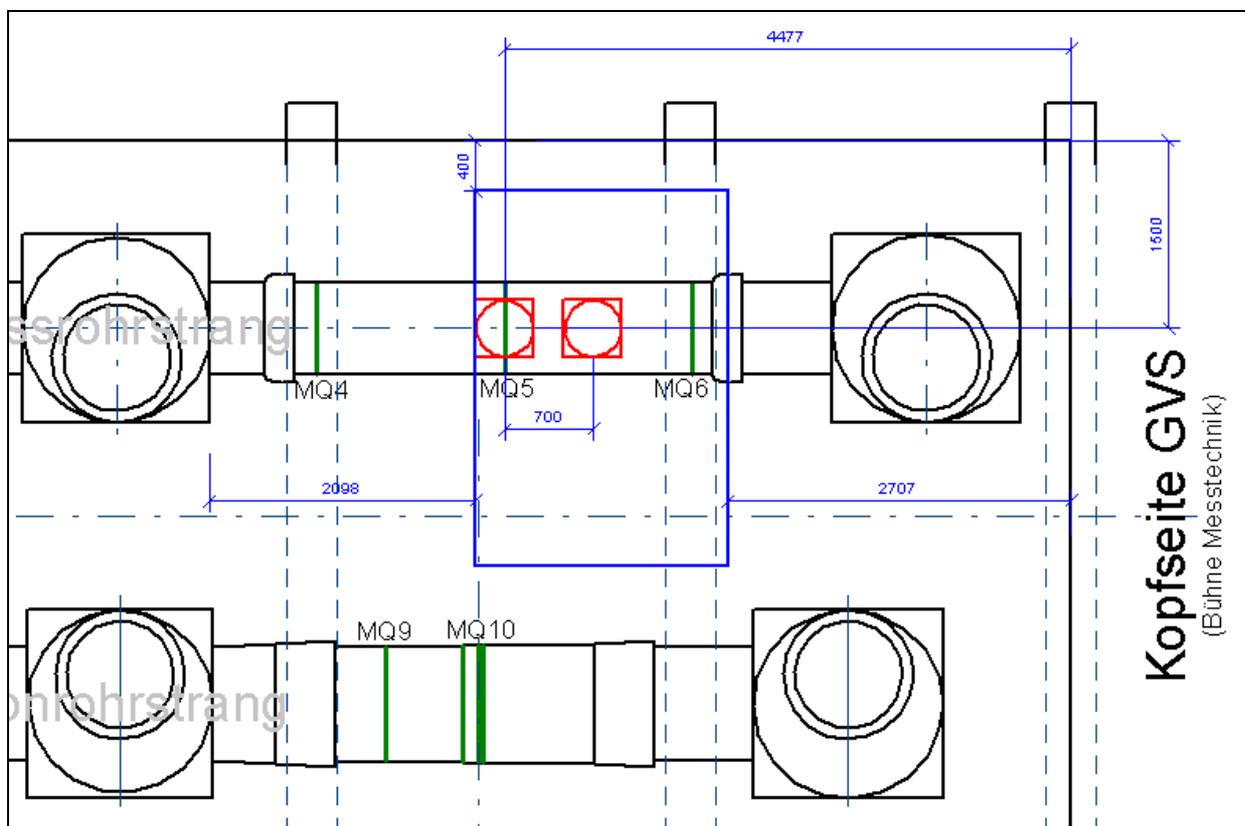


Bild 53 Positionierung der Hydraulikzylinder für den Lastfall „Radgruppe statisch - Kantenpressung“ auf der Lastplattenseite über dem Guss-Rohrstrang

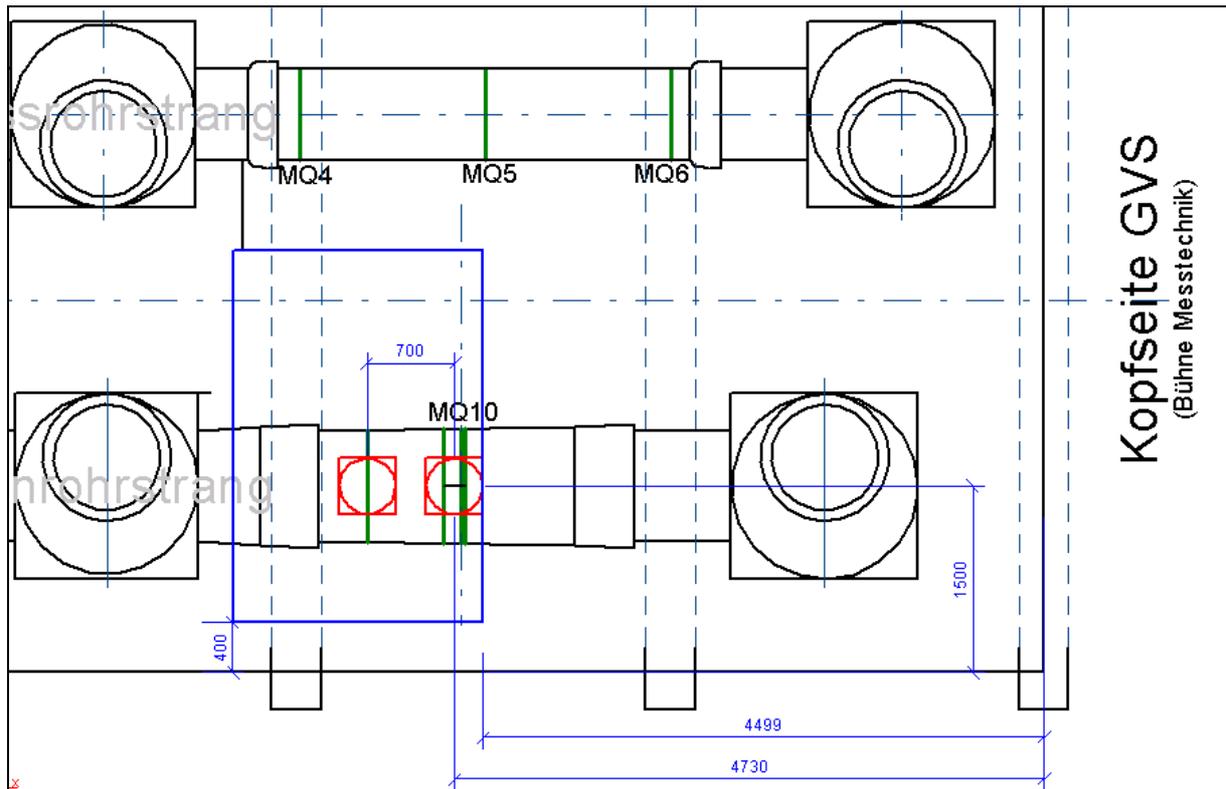


Bild 54 Positionierung der Hydraulikzylinder für den Lastfall „Radgruppe statisch - Kantenpressung“ auf der Lastplattenseite über dem Beton-Rohrstrang

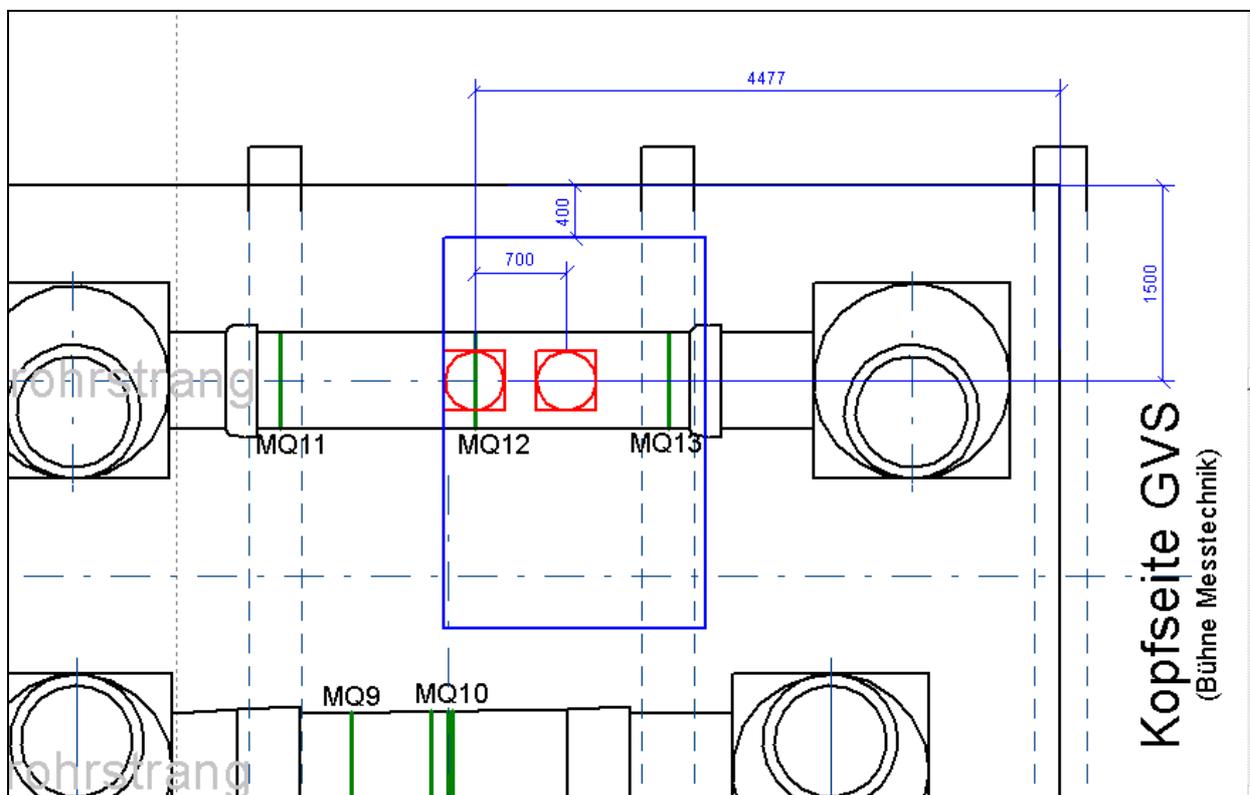


Bild 55 Positionierung der Hydraulikzylinder für den Lastfall „Radgruppe statisch - Kantenpressung“ auf der Lastplattenseite über dem Kunststoff-Rohrstrang

5.2.6 Lastfall Bauzustand

Zur Simulation des Bauzustandes einer Verkehrsstraße wurden das Pflaster auf der Pflasterseite des Großversuchsstandes ausgebaut bzw. die Lastplatte über dem Kunststoff-Rohrstrang entfernt und mit Hilfe eines Einzel-Zylinders statische Kräfte in den Boden über den Hauptmessquerschnitten MQ2, MQ8 und MQ12 eingeleitet. Die Versuche wurden bei einer Überdeckungshöhe von $\ddot{U} = 42$ cm durchgeführt. Die Positionierung der Zylinder entspricht der Anordnung von Bild 37 bis Bild 39 für den Lastfall „Einzelrad statisch“. Als Lasteinleitungs-konstruktion wurde eine runde Stahlplatte mit einem Durchmesser von $d = 830$ mm und einer Dicke von $t = 115$ mm eingesetzt (vgl. Bild 56).



Bild 56 Lasteinleitungs-konstruktion beim Lastfall „Einzelrad statisch - Bauzustand“ über dem Guss-, Beton- und Kunststoff-Rohrstrang (hier: Pflasterseite nach Ausbau des Pflasters)

5.2.7 Ergänzende Versuche

PE-Langzeitverhalten

Um für den Kunststoff-Rohrstrang Aussagen über das Langzeitverhalten des Werkstoffs PE unter statischer Last zu erhalten, wurde der Lastfall Einzelrad statisch mit einer Haltezeit der Kraft von 40 Stunden durchgeführt. Als Kraft wurde ein Wert von 120 kN gewählt.

Fall- und Schwingungsversuche

Zur Untersuchung des Verhaltens von PE-Rohren bei dynamischen Lasten wurden ergänzend Fallversuche mit stoßartiger Belastung am Kunststoff-Rohrstrang durchgeführt. Als Fallgewicht wurde ein mit Sand gefüllter „Big Pack“ mit einem Gewicht von ca. 500 kg eingesetzt. Darüber hinaus wurden zur Untersuchung des Einflusses von Schwingungen auf das Kunststoff-Rohr mit Hilfe einer Rüttelplatte Vibrationen in den

Bodenkörper eingeleitet. In den Versuchen wurden sowohl der Ort der Belastung als auch die Fallhöhe variiert und während der Belastung die Rohrspannungen, Rohrverformungen und Bodenspannungen am Kunststoff-Rohrstrang messtechnisch erfasst. Zusätzlich wurden mit Hilfe eines Messgerätes zur Beschleunigungsmessung die durch die stoßartige bzw. schwingende Belastung erzeugte Schwingungsgeschwindigkeit, die Beschleunigung und der Weg der Verformung in Rohrlängsrichtung, quer zum Rohrstrang und senkrecht in den Boden gemessen. Es wurden Fall- und Vibrationsversuche über dem Hauptmessquerschnitt MQ 12 des Kunststoff-Rohrstranges sowie um 1,5 m bzw. 3,0 m seitlich versetzt zwischen den beiden Rohrsträngen und über dem Beton-Rohrstrang nach Tabelle 2 durchgeführt:

Tabelle 2 Fall- und Vibrationsversuche

Versuchs-Nr.	Versuchsort	Fallhöhe
1	Zwischen Beton- und Kunststoff-Rohrstrang	0,5 m
2	Beton-Rohrstrang	0,5 m
3	Kunststoff-Rohrstrang	0,5 m
4	Zwischen Beton- und Kunststoff-Rohrstrang	0,75 m
5	Beton-Rohrstrang	0,75 m
6	Kunststoff-Rohrstrang	0,75 m
7	Zwischen Beton- und Kunststoff-Rohrstrang	1,0 m
8	Beton-Rohrstrang	1,0 m
9	Kunststoff-Rohrstrang	1,0 m
10	Kunststoff-Rohrstrang	2,0 m
11	Beton-Rohrstrang	2,0 m
12	Zwischen Beton- und Kunststoff-Rohrstrang	2,0 m
13	Zwischen Beton- und Kunststoff-Rohrstrang	Vibration mit Rüttelplatte
14	Beton-Rohrstrang	Vibration mit Rüttelplatte
15	Kunststoff-Rohrstrang	Vibration mit Rüttelplatte
16	Kunststoff-Rohrstrang	3,0 m
17	Beton-Rohrstrang	3,0 m
18	Zwischen Beton- und Kunststoff-Rohrstrang	3,0 m



Bild 57 Fallversuche im IKT-Großversuchsstand mit einer Fallhöhe von a) 1,0 m und b) 2,0 m

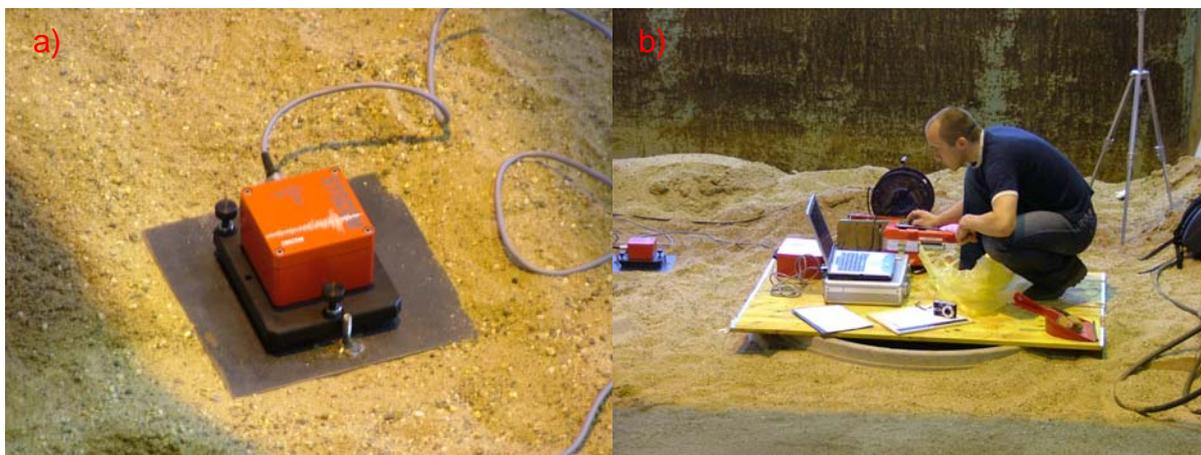


Bild 58 Fallversuche im IKT-Großversuchsstand: a) Messgerät zur Beschleunigungsmessung
b) Aufzeichnung der Messwerte auf dem Messrechner

Scheiteldruck- bzw. Ringsteifigkeitsversuche

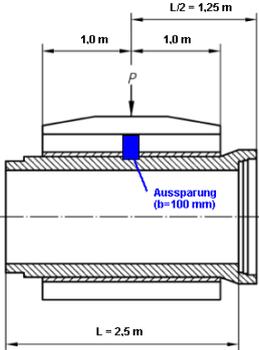
Zur Bestimmung der Messgenauigkeit der in den Rohrsträngen eingesetzten Dehnungsmessstreifen und zur Ermittlung rohrspezifischer Kennwerte wurden für alle Rohrwerkstoffe nach Abschluss der statischen und lastzyklischen Versuche und Ausbau der Rohrstränge aus dem Großversuchsstand zusätzliche Scheiteldruck- bzw. Ringsteifigkeitsversuche an Rohrabschnitten durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden die Guss- und Kunststoffmessrohre so gekürzt, dass die Messquerschnitte mit den applizierten Dehnungsmessstreifen jeweils mittig in Rohrlängsrichtung positioniert waren. Die Betonrohre wurden ungekürzt geprüft. Bei den Rohren mit außen applizierten DMS

(Beton, Guss) wurde der Lasteinleitungsbalken in Rohrmitte auf etwa 10 cm ausgespart. Da beim Betonrohr Muffe und Spitze lastfrei blieben, wurden hiervon ausgehend in jede Richtung zwei Lastbalken mit einer Länge von 1,0 m aufgelegt. Für die Versuche wurden folgende Rohrabschnitte eingesetzt:

- Beton, 2 ganze Rohre, Länge 2,5 m
- Guss, 2 Abschnitte, Länge 1,0 m
- Kunststoff, 1 Abschnitt, Länge 2,0 m und 2 Abschnitte, Länge 0,6 m

Die Ringsteifigkeit der PE-Rohre wurde nach DIN EN ISO 9969:2008-03 [5] an den 0,6 m langen Abschnitten ermittelt. Zusätzlich wurde in Anlehnung an diese Norm auch das 2 m lange Rohrstück geprüft und anschließend ein 24 Stunden Kriechversuch durchgeführt. Der Ringsteifigkeitsversuch an den Guss-Rohren wurde in Anlehnung an DIN EN 598:1994-11 [6] durchgeführt. Die Scheiteldruckfestigkeit der Betonrohre wurde nach DIN EN 1916:2003-04 [7] geprüft. Im Einzelnen wurden Versuche nach Tabelle 3 durchgeführt.

Tabelle 3 Durchgeführte Scheiteldruck- bzw. Ringsteifigkeitsversuche

Anzahl	Werkstoff	Rohrlänge	Länge Last-einleitung	Versuchsart	Bild/Skizze
2	Guss	1,0 m	0,9 m	nach DIN EN 598 [6]	
2	Beton	2,5 m	2,0 m	nach DIN EN 1916 [7]	
2	Kunststoff	0,6 m	0,6 m	nach DIN EN 9969 [5]	
1	Kunststoff	2,0 m	2,0 m	In Anlehnung an DIN EN 9969 [5]	
1	Kunststoff	2,0 m	0,15 m	Punktlastversuch mit Lasten aus DIN EN 9969 [5]	

5.2.8 Übersicht über die durchgeführten Versuche

Lastfälle bzw. Versuche	Laststellung	Lasthöhe	Pflaster/Beton U = 42 cm		Pflaster/Guss U = 42 cm		Lastplatte/Beton U = 66 cm		Lastplatte/Beton U = 46 cm		Lastplatte/Beton U = 26 cm		Lastplatte/Guss U = 66 cm		Lastplatte/Guss U = 46 cm		Lastplatte/Guss U = 26 cm		Lastplatte/Kunststoff U = 46 cm				
			h = 80 cm	h = 60 cm	h = 80 cm	h = 60 cm	2 LP h = 85 cm	1 LP h = 80 cm	2 LP h = 68 cm	1 LP h = 60 cm	2 LP h = 48 cm	1 LP h = 40 cm	2 LP h = 88 cm	1 LP h = 80 cm	2 LP h = 68 cm	1 LP h = 60 cm	2 LP h = 48 cm	1 LP h = 40 cm	2 LP h = 68 cm	1 LP h = 40 cm	2 LP h = 60 cm		
Einzelrad statisch	Mittig über Haupt-MQ	60 kN	X		X																		
		90 kN	X		X																		
		120 kN	X		X																		
Einzelrad lastzyklisch	Mittig über Haupt-MQ	90 kN	X		X																		
		60 kN	X		X																		
Radgruppe statisch	NL	60 kN	X		X																		
		90 kN	X		X																		
		120 kN	X		X																		
	XL	60 kN	X		X																		
		90 kN	X		X																		
		120 kN	X		X																		
	ELL	60 kN	X		X																		
		90 kN	X		X																		
		120 kN	X		X																		
	ELQ	60 kN	X		X																		
		90 kN	X		X																		
		120 kN	X		X																		
Kantenpressung	60 kN																						
	90 kN																						
	120 kN																						
Baustand	Mittig über Haupt-MQ	60 kN																					
		90 kN																					
		120 kN																					
Ergänzungsversuche	LZV																						
	FV																						
	SDV																						

X: Versuch durchgeführt; -: Versuch nicht durchgeführt
 LP: Lastplatte; Ü: Bodenüberhöhung; h = Höhe Straßenaufbau; NL: Normale Laststellung; XL: Exzentrische Laststellung; ELL: Exzentrische Laststellung; ELL: Exzentrische Laststellung; ELL: Exzentrische Laststellung
 LZV = statischer Langzeitversuch; FV = Fallversuch; SDV = Scheiteldruckversuch an ausgebauten Röhren

5.2.9 Zeitlicher Ablauf der Versuche

Das in Abschnitt 5.2 beschriebene Versuchsprogramm wurde in der 1. Projektphase an dem Versuchsaufbau mit Guss- und Beton-Rohrstrang durchgeführt. Nach Abschluss der statischen und lastzyklischen Versuche wurde in der 2. Projektphase der Guss-Rohrstrang ausgebaut und auf der Lastplattenseite durch einen Rohrstrang aus profilierten PE-Kunststoffrohren ersetzt. Das grundsätzliche Versuchsprogramm wurde ebenfalls am Kunststoff-Rohrstrang durchgeführt. Die lastzyklischen Versuche an den Kunststoffrohren wurden durch einen statischen Langzeitversuch über 40 Stunden und Fallversuche mit stoßartiger Belastung ersetzt. Abschließend wurden für alle Rohrwerkstoffe an ausgebauten Rohrabschnitten Scheiteldruckversuche zur Ermittlung der Werkstoffeigenschaften und zur Überprüfung der Anzeigegenauigkeit der Dehnungsmessstreifen durchgeführt. Bei der Durchführung des Versuchsprogramms wurde die grundsätzliche Versuchsreihenfolge nach Tabelle 4 gewählt.

Tabelle 4 Grundsätzliche Versuchsreihenfolge

Versuchsprogramm		1. Phase	2. Phase
		Hauptprojekt	Projekterweiterung
Versuchstyp	Einzelversuch	Guss- und Beton-Rohrstrang	Kunststoff-Rohrstrang
I Nullversuche	Lastfall Einzelrad statisch	X	-
II Hauptversuche	Lastfall Einzelrad statisch	X	X
	Lastfall Einzelrad lastzyklisch	X	-
	Lastfall Radgruppe statisch	X	X
	Lastfall Kantenpressung	X	X
	Lastfall Bauzustand	X	X
III Ergänzende Versuche	Statischer Langzeitversuch	-	X
	Fallversuche	-	X
	Scheiteldruckversuche	X	X

Aus Gründen der Organisation und Koordination beim Aufbau bzw. Umsetzen der Hydraulikzylinder wurden – entsprechend der oben beschriebenen grundsätzlichen Versuchsreihenfolge – die statischen und lastzyklischen Versuche gemäß Tabelle 5 durchgeführt.

Tabelle 5 Chronologische Reihenfolge der durchgeführten Versuche

	Nr.	Einzelversuch	Durchführung von - bis	
Nullversuche	1	Nullversuche über Erddruckgeber ENS3 (h = 88 cm)	25.09.2007	25.09.2007
	2	Nullversuche über Krafeinleitungspunkt P1 (h = 88 cm)	26.09.2007	26.09.2007
	3	Nullversuche über Krafeinleitungspunkt P2 (h = 88 cm)	26.09.2007	26.09.2007
	4	Nullversuche über Erddruckgeber ENS2 (h = 88 cm)	27.09.2007	27.09.2007
	5	Nullversuche über Erddruckgeber ENS4 (h = 88 cm)	27.09.2007	27.09.2007
	6	Nullversuche über Erddruckgeber ENS5 (h = 88 cm)	28.09.2007	28.09.2007
PF/G	7	Pflaster Guss Einzelrad statisch (h = 80 cm)	28.09.2007	28.09.2007
	8	Pflaster Guss Einzelrad lastzyklisch (h = 80 cm)	28.09.2007	02.10.2007
PF/B	9	Pflaster Beton Einzelrad statisch (h = 80 cm)	02.10.2007	02.10.2007
	10	Pflaster Beton Einzelrad lastzyklisch (h = 80 cm)	02.10.2007	06.10.2007
LP/G	11	Lastplatte Guss Einzelrad statisch (h = 88 cm)	08.10.2007	08.10.2007
	12	Lastplatte Guss Einzelrad lastzyklisch (h = 88 cm)	08.10.2007	12.10.2007
PF/G	13	Pflaster Guss Radgruppe statisch NL (h = 80 cm)	17.10.2007	17.10.2007
	14	Pflaster Guss Radgruppe statisch XL (h = 80 cm)	17.10.2007	17.10.2007
	15	Pflaster Guss Radgruppe statisch ELL (h = 80 cm)	18.10.2007	18.10.2007
	16	Pflaster Guss Radgruppe statisch ELQ (h = 80 cm)	19.10.2007	19.10.2007
LP/G	17	Lastplatte Guss Radgruppe statisch NL (h = 88 cm)	24.10.2007	24.10.2007
	18	Lastplatte Guss Radgruppe statisch XL (h = 88 cm)	24.10.2007	24.10.2007
	19	Lastplatte Guss Radgruppe statisch ELL (h = 88 cm)	25.10.2007	25.10.2007
	20	Lastplatte Guss Radgruppe statisch ELQ (h = 88 cm)	26.10.2007	26.10.2007
PF/B	21	Pflaster Beton Radgruppe statisch NL (h = 80 cm)	30.10.2007	30.10.2007
	22	Pflaster Beton Radgruppe statisch XL (h = 80 cm)	30.10.2007	30.10.2007
	23	Pflaster Beton Radgruppe statisch ELL (h = 80 cm)	31.10.2007	31.10.2007
	24	Pflaster Beton Radgruppe statisch ELQ (h = 80 cm)	31.10.2007	31.10.2007
LP/G	25	Lastplatte Guss Radgruppe statisch NL 1 LP (h = 80 cm)	07.11.2007	07.11.2007
	26	Lastplatte Guss Radgruppe statisch XL 1 LP (h = 80 cm)	07.11.2007	07.11.2007

	Nr.	Einzelversuch	Durchführung von - bis	
LP/B	27	Lastplatte Beton Einzelrad statisch (h = 88 cm)	12.11.2007	12.11.2007
	28	Lastplatte Beton Einzelrad lastzyklisch (h = 88 cm)	12.11.2007	16.11.2007
	29	Lastplatte Beton Radgruppe statisch NL (h = 88 cm)	16.11.2007	16.11.2007
	30	Lastplatte Beton Radgruppe statisch XL (h = 88 cm)	19.11.2007	19.11.2007
	31	Lastplatte Beton Radgruppe statisch ELL (h = 88 cm)	19.11.2007	19.11.2007
	32	Lastplatte Beton Radgruppe statisch NL 1 LP (h = 80 cm)	20.11.2007	20.11.2007
	33	Lastplatte Beton Radgruppe statisch XL 1 LP (h = 80 cm)	20.11.2007	20.11.2007
	34	Lastplatte Beton Radgruppe statisch ELQ (h = 88 cm)	20.11.2007	20.11.2007
LP/G/Ü1	35	Lastplatte Guss $\ddot{U}_1=46$ cm Radgruppe statisch NL (h = 68 cm)	04.12.2007	04.12.2007
	36	Lastplatte Guss $\ddot{U}_1=46$ cm Radgruppe statisch XL (h = 68 cm)	04.12.2007	04.12.2007
	37	Lastplatte Guss $\ddot{U}_1=46$ cm Radgruppe statisch NL 1 LP (h = 60 cm)	05.12.2007	05.12.2007
	38	Lastplatte Guss $\ddot{U}_1=46$ cm Radgruppe statisch XL 1 LP (h = 60 cm)	05.12.2007	05.12.2007
LP/B/Ü1	39	Lastplatte Beton $\ddot{U}_1=46$ cm Radgruppe statisch NL (h = 68 cm)	06.12.2007	06.12.2007
	40	Lastplatte Beton $\ddot{U}_1=46$ cm Radgruppe statisch XL (h = 68 cm)	07.12.2007	07.12.2007
	41	Lastplatte Beton $\ddot{U}_1=46$ cm Radgruppe statisch NL 1 LP (h = 60 cm)	07.12.2007	07.12.2007
	42	Lastplatte Beton $\ddot{U}_1=46$ cm Radgruppe statisch XL 1 LP (h = 60 cm)	07.12.2007	07.12.2007
BG	43	Bauzustand Guss Einzelrad statisch (h = 42 cm)	10.12.2007	10.12.2007
LP/G/Ü2	44	Lastplatte Guss $\ddot{U}_2=26$ cm Radgruppe statisch NL (h = 48 cm)	10.12.2007	10.12.2007
	45	Lastplatte Guss $\ddot{U}_2=26$ cm Radgruppe statisch XL (h = 48 cm)	11.12.2007	11.12.2007
	46	Lastplatte Guss $\ddot{U}_2=26$ cm Radgruppe statisch NL 1 LP (h = 40 cm)	11.12.2007	11.12.2007
	47	Lastplatte Guss $\ddot{U}_2=26$ cm Radgruppe statisch XL 1 LP (h = 40 cm)	11.12.2007	11.12.2007
BB	48	Beton Einzelrad statisch (h = 42 cm)	12.12.2007	12.12.2007
LP/B/Ü2	49	Lastplatte Beton $\ddot{U}_2=26$ cm Radgruppe statisch NL (h = 48 cm)	13.12.2007	13.12.2007
	50	Lastplatte Beton $\ddot{U}_2=26$ cm Radgruppe statisch NL 1 LP (h = 40 cm)	13.12.2007	13.12.2007
KP	51	Kantenpressung Beton $\ddot{U}_2=26$ cm 1 LP (h = 40 cm)	17.12.2007	17.12.2007
	52	Kantenpressung Guss $\ddot{U}_2=26$ cm 1 LP (h = 40 cm)	19.12.2007	19.12.2007

	Nr.	Einzelversuch	Durchführung von - bis	
LP/K	53	Lastplatte Kunststoff Einzelrad statisch (h = 68 cm)	18.06.2008	18.06.2008
	54	Lastplatte Kunststoff Radgruppe statisch NL (h = 68 cm)	18.06.2008	18.06.2008
	55	Lastplatte Kunststoff Radgruppe statisch XL (h = 68 cm)	19.06.2008	19.06.2008
	56	Lastplatte Kunststoff Einzelrad statisch 1 LP (h = 60 cm)	19.06.2008	19.06.2008
	57	Lastplatte Kunststoff Radgruppe statisch NL 1 LP (h = 60 cm)	20.06.2008	20.06.2008
	58	Lastplatte Kunststoff Radgruppe statisch XL 1 LP (h = 60 cm)	20.06.2008	20.06.2008
KP	59	Kantenpressung Kunststoff 1 LP (h = 60 cm)	23.06.2008	23.06.2008
BK	60	Bauzustand Kunststoff Einzelrad statisch (h = 46 cm)	24.06.2008	24.06.2008
LZV	61	Langzeitversuch Kunststoff Einzelrad statisch (h = 68 cm)	24.06.2008	26.06.2008
FV	62	Fallversuche Kunststoff Einzelgewicht (h = 46 cm)	27.06.2008	27.06.2008
SDV	63	Scheiteldruckversuche an ausgebauten Betonrohren	21.07.2008	22.07.2008
	64	Scheiteldruckversuche an ausgebauten Kunststoffrohren	27.08.2008	03.09.2008
	65	Scheiteldruckversuche an ausgebauten Gussrohren	01.09.2008	01.09.2008

5.2.10 Höhennivellement

Über die komplette Versuchsdauer von ca. 7 Monaten wurde in regelmäßigen Abständen der Versuchsaufbau hinsichtlich möglicher Setzungen kontrolliert. Hierzu wurde die Höhenlage der Schächte ermittelt. Die gemessenen Höhendifferenzen lagen durchgehend unterhalb der Messgenauigkeit des Messverfahrens von ca. $\pm 0,5$ mm. Durch dieses Ergebnis der Vermessung der Schachthöhen kann davon ausgegangen werden, dass im Bereich der Schacht- bzw. Messbrückenlagerpunkte keine signifikanten Setzungen auftraten.

6 Literatur

- [1] Tekscan: Pressure Measurement System. User´s Manual. 11/1999.
- [2] ATV-DVWK: Arbeitsblatt A 139 Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen; Juni 2001.
- [3] Radenberg, Martin: Gutachterliche Stellungnahme zur Auswahl und Verlegung eines Pflasterbelages, Bochum 2007 (unveröffentlicht).
- [4] DIN Deutsches Institut für Normung: DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken, 2. Auflage 03.2003, Beuth Verlag.
- [5] DIN Deutsches Institut für Normung: DIN EN ISO 9969 Thermoplastische Rohre – Bestimmung der Ringsteifigkeit (ISO 9969:2007); Deutsche Fassung EN ISO 9969:2007; Ausgabe März 2008; Beuth Verlag.
- [6] DIN Deutsches Institut für Normung: DIN EN 598: Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für die Abwasser-Entsorgung - Anforderungen und Prüfverfahren; 1994-11, Beuth Verlag.
- [7] DIN Deutsches Institut für Normung: DIN EN 1916: Rohre und Formstücke aus Beton, Stahlfaserbeton und Stahlbeton; 2003-04, Beuth Verlag.