

**Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler**  
**Prof. Dr.-Ing. Alexander Gerlach**  
**Dr.-Ing. Marc-Oliver Förster**

**ConVia**  
Ingenieurgemeinschaft  
Sachverständige für Verkehrswegebau

Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Gerlach  
Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Hothan  
Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler  
Prof. Dr.-Ing. Norbert Rogosch  
Dr.-Ing. Marc-Oliver Förster

Hellerweg 52  
32052 Herford  
Tel.: 05221 / 76 39 530  
Fax: 76 39 531

Quantelholz 14  
30419 Hannover  
Tel. und Fax 0511 / 2 71 27 96

Stöckener Straße 21  
30419 Hannover  
Tel. : 0511 / 279 43 907

## **Entwicklung eines dauerhaften flexiblen Reparaturstutzens für Einläufe der Grundstücksentwässerung - FLEXTIGHT**

### **Interaktion Kanal und Fahrbahn**

em. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Gerlach  
Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler  
Dr.-Ing. Marc-Oliver Förster

**Auftraggeber:**

**Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V. – FITR – in Kooperation mit  
der Stadt Rietberg**

**Hannover und Herford, 06. August 2008**

**Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler**  
**Prof. Dr.-Ing. Alexander Gerlach**  
**Dr.-Ing. Marc-Oliver Förster**

**ConVia**  
Ingenieurgemeinschaft  
Sachverständige für Verkehrswegebau

Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Gerlach  
Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Hothan  
Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler  
Prof. Dr.-Ing. Norbert Rogosch  
Dr.-Ing. Marc-Oliver Förster

Hellerweg 52  
32052 Herford  
Tel.: 05221 / 76 39 530  
Fax: 76 39 531

Quantelholz 14  
30419 Hannover  
Tel. und Fax 0511 / 2 71 27 96

Stöckener Straße 21  
30419 Hannover  
Tel. : 0511 / 279 43 907

06.08.2008

## **Entwicklung eines dauerhaften flexiblen Reparaturstutzens für Einläufe der Grundstücksentwässerung - FLEXTIGHT**

### **Interaktion Kanal und Fahrbahn**

em. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Alexander Gerlach  
Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler  
Dr.-Ing. Marc-Oliver Förster

**Auftraggeber:**

**Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e.V. – FITR – in Kooperation mit  
der Stadt Rietberg**

**Hannover und Herford, 06. August 2008**

# Inhalt

1	Die Folgen undichter Hausanschlussstutzen.....	1
2	Dokumentation der Auswirkungen undichter Hausanschlussstutzen auf die darüber befindliche Verkehrsflächenbefestigung.....	5
2.1	Identifikation von Schadensstellen .....	5
2.2	Dokumentation ausgewählter Schäden.....	8
2.2.1	Schadensstelle 1 .....	8
2.2.2	Schadensstelle 2 .....	15
2.2.3	Schadensstelle 3 .....	22
2.3	Schlussfolgerungen aus den Aufgrabungen der Schadensstellen.....	29
3	Veränderungen der Beanspruchungssituation für das Kanalrohr infolge Gefügestörungen in der Rohrbettung, abgeleitet aus kontinuumsmechanischen Berechnungen.....	30
3.1	Beanspruchungssituation am Hausanschlussrohr.....	30
3.2	Beanspruchungssituation am Sammelrohr.....	34
3.2.1	Modell.....	34
3.2.2	Berechnungsergebnisse .....	37
3.2.3	Modell unter Berücksichtigung eines Hausanschlusses.....	41
3.2.4	Berechnungsergebnisse .....	43
3.2.5	Schlussfolgerungen aus den Berechnungen.....	45
	Literatur.....	46

## 1 Die Folgen undichter Hausanschlussstutzen

Die Folgen undichter Hausanschlussstutzen sind im Zusammenhang und Kontext der generellen Funktionen von Leitungen zu betrachten und dementsprechend zu berücksichtigen. Nachfolgend werden entsprechend der Aufgabenstellung laut Forschungsauftrag jedoch nur unterirdisch verlegte Leitungen und hierin hauptsächlich die Leitungen für die unterirdische Grundstücksentwässerung, also Schmutz- und Regenwasserleitungen, betrachtet.

Die hier vorgenommene Konzentration auf Hausanschlussstutzen, d. h. auf die Einläufe der Leitungen der Grundstücksentwässerungen in die Sammel- und Hauptleitungen, ergibt sich aus der besonderen technischen und wirtschaftlichen Bedeutung dieser speziellen Leitungselemente und -bereiche: Erstens handelt es sich hierbei um jeweils singuläre, lokal begrenzte und bezüglich Leitungsdurchmesser und -material ungleichmäßige Leitungskomponenten und zweitens geometrisch um Leitungseinmündungen, indem die Anschlussstutzen in der Regel rechtwinklig zu den Sammelleitungen liegen und schiefwinklig einmünden. Diese systematisch notwendigen und systemimmanenten Inhomogenitäten der Stutzen innerhalb der (mehr oder weniger) homogenen Leitungsnetze stellen hydraulische und bautechnisch-mechanische Singularitäten dar, wodurch die Funktionsweisen der Leitungen insgesamt und insbesondere an diesen Einmündungsbereichen systematisch und systembedingt unabänderlich beeinträchtigt und gestört werden. Die Effekte dieser hydraulischen und bautechnischen Ungleichmäßigkeiten sind vergleichbar mit den in der Regel und generell ungünstigen Auswirkungen von Leitungen in Straßen auf die Betriebseigenschaften der Fahrbahnbefestigungen und der Leitungen selbst durch die bzw. wegen der darin verlegten Leitungen (vgl. bei KÖHLER et al., 2007). Die durch Verkehrslasten erzeugte Vertikalspannung unterhalb des Straßenoberbaus, die bei homogenem Untergrund eine zwiebelförmige Ausbreitung besitzt, wird durch biegesteife Rohrleitungen in Richtung des Rohrscheitels konzentriert (Abb. 1).

Wegen der systembedingten Ungleichmäßigkeiten in den Stutzenbereichen sind besondere bautechnische und hydraulische Anforderungen an die Konzeption und Herstellung dieser Leitungsabschnitte zu stellen. Die anforderungsgerechte Herstellung dieser Teilabschnitte ist vergleichsweise schwierig. Selbst bei anforderungsgerechter Herstellung der Stutzen und der umgebenden Befestigung unterscheiden sich deren physikalische Eigenschaften von denen der Böden und Straßenbaustoffe. Dadurch entstehen Beanspruchungskonzentrationen und besondere mechanische Verhaltensweisen. Darüber hinaus sind die Fehleranfälligkeiten in diesen Bereichen wegen der bautechnischen Schwierigkeiten vergleichsweise größer als in den Standardbereichen. Dies wird durch die nachfolgend dargestellten Untersuchungsergebnisse bestätigt; es war im Übrigen auch bereits zuvor qualitativ empirisch belegt

und insofern Anlass für den vorliegenden Forschungsauftrag. Undichtigkeiten in den Leitungsnetzen entstehen somit überproportional häufig im Bereich der Hausanschlussstutzen, d. h. an den Einmündungsbereichen von Leitungsnetzen.

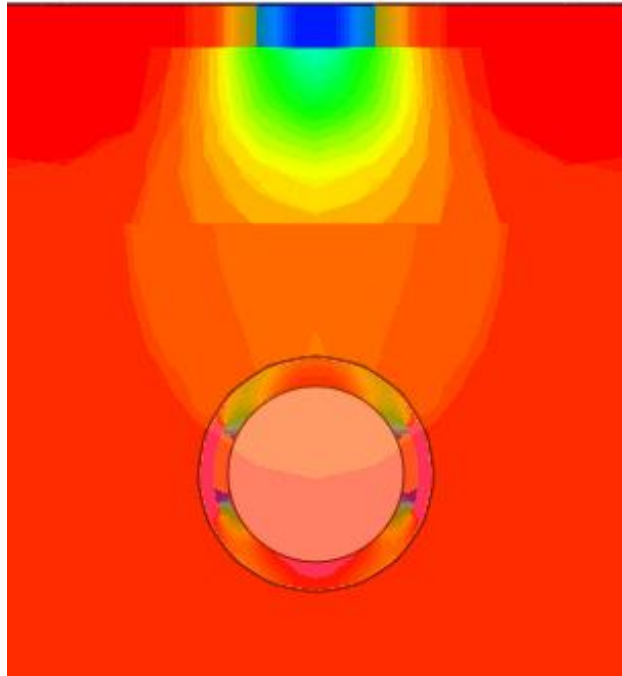


Abbildung 1: Überlagerung der Vertikalspannungen für ein System ohne Rohr (zwiebelartige Spannungsverteilung) und mit Rohr (konische Konzentration der Spannungsverteilung hin zum Rohrscheitel)

Die Folgen undichter Leitungen und insbesondere die von undichten Hausanschlussstutzen der Schmutzwasserleitungen sind unter zwei Aspekten zu bedenken und zu bewerten:

- (1.) Die Schmutzwässer, auch die aus "normalen" Haushalten, enthalten gesundheitsschädliche und biologisch u. U. brisante Schmutzfrachten, die insbesondere in dicht besiedelten Gebieten wegen der damit vergleichsweise anfallenden großen Mengen in gesonderten und dichten Leitungen zuverlässig entsorgt und vollständig zur Reinigung bzw. Wiederaufbereitung der Wasser in die Kläranlagen transportiert werden müssen. Diese Problematik ist seit langem bekannt, wobei die eigentlichen Reinigungs- und Recyclingtechnologien nach dem Stand der Siedlungswasserwirtschaft hoch entwickelt sind und den strengen Anforderungen der Wassergesetze genügen. Problematisch hierin sind die Funktionsweisen, Herstellung und Betrieb der unterirdischen Leitungen und deren Kontrollmöglichkeiten, insbesondere das Erkennen von Leckagen und die qualitative und quantitative Erfassung von ein- und austretenden Schmutzwassermengen und -frachten. Schadstoffaustritte und -anreicherungen in den die Leitungen umgebenden Untergrund müssen wegen der damit verknüpften Gefahren unbedingt unterbunden werden. Die

durch bzw. wegen undichter Leitungen austretenden Schmutzwässer können direkte und/oder indirekte, dann ggf. verzögerte und/oder nicht mehr reparable gesundheitliche und/oder hygienische Beeinträchtigungen, z. B. durch Verschmutzungen und Kontaminationen des Grundwassers oder der Atemluft hervorrufen.

Die indirekten Beeinträchtigungen, z.B. durch Verschmutzungen oder Vergiftungen des Grundwassers, sind eventuell langwierig und latent wegen der unterirdischen, lokal ungleichmäßigen und allmählich stattfindenden Schadstoffeinträge. Sie sind in der Regel nicht unmittelbar feststellbar, lokal nur schwer identifizierbar und kontrollierbar. Die durch undichte Hausanschlussstutzen bzw. durch Austritt von Schmutzwässern verursachten Umweltschäden und die damit einhergehenden biologischen und hygienischen Beeinträchtigungen können nur mit großen technischen und wirtschaftlichen Anstrengungen erkannt, in situ und zeitlich festgestellt und beseitigt werden.

Bei den durch die undichten Stutzen austretenden Schadstoffarten und -mengen ist zu berücksichtigen, dass dort nicht nur die ggf. vergleichsweise geringen Schadstoffmengen und -arten aus den jeweiligen unmittelbaren Hausanschlussstutzen, sondern auch die in den Sammelleitungen transportierten größeren Schmutzwassermengen z. B. infolge von Rückstauungen, austreten können und unter Umständen Anhebungen der Grundwasserstände und großräumige Verschmutzungen des Untergrundes hervorrufen können. Insofern wird exemplarisch auf die Untersuchungen von SHIATA et al., 1987, verwiesen. SHIATA et al. haben zunächst, weil naheliegend, nur die physikalisch-mechanischen Aspekte der Feuchtigkeitsinfiltrationen in den Untergrund sowie die daraus resultierenden Fahrbahnschäden erkundet. Im Zuge der Behebung der Fahrbahnschäden wurden dort sodann erst die wegen der Leitungsleckagen entstandenen gravierenden chemisch-biologischen Verschmutzungen und die hygienischen Umweltschäden festgestellt, die wegen der weit- und tiefgehenden Verschmutzungen nur noch teilweise behoben werden konnten.

- (2.) Die im zweiten Aspekt zu betrachtenden Folgen undichter Hausanschlussstutzen betreffen die durch die leckbedingten Schmutz- und Feuchtigkeitsanreicherungen erzeugten mechanischen, insbesondere bodenmechanischen Veränderungen des Untergrundes und der Verkehrsflächenbefestigungen und deren Auswirkungen auf das Betriebsverhalten von Straßen. Hierbei handelt es sich um eine klassische Disziplin des Bauingenieurwesens, wozu dementsprechend wesentlich mehr Erkenntnisse und Untersuchungsergebnisse als über die vorstehend skizzierten ökologischen Belange vorliegen (vgl. ebenfalls bei SHIATA, 1987). Dies ist u. a. auch damit zu begründen, dass die mechanisch-bautechnisch bedingten Einflüsse und Defekte mehr oder weniger rasch und offensichtlich zu Tage treten, z. B. in Form von oberflächlichen Fahrbahnschäden

oder/und Leitungsstörungen, Rohrbrüche, Verstopfungen usw., die dann wegen der notwendigen Funktionserhaltung der Bauwerke, des Betriebs der Fahrbahnen und Leitungen, unmittelbar analysiert und behoben werden muss(t)en.

Neben den durch die Undichtigkeiten austretenden Wassermengen bzw. den dadurch ansteigenden Feuchtigkeitsgehalten in den Befestigungen nehmen auch die chemischen und physikalischen Beschaffenheiten der Schmutzwässer Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften der die Leitungen umgebenden Böden und die der darüber befindlichen Befestigungen. Die Schmutzwässer enthalten u. U. Säuren oder/und Laugen, Reinigungs- und Waschmittel, wodurch z. B. die Bindemittel von Asphalten, Bitumen (und von früher evtl. noch Teer), emulgiert und von den Gesteinskörnungen abgelöst werden (stripping). Hierdurch werden die mechanischen Stabilitäten der bitumengebundenen Befestigungsschichten verringert, was zu vorzeitigen Fahrbahnschäden führen kann (vgl. ebenfalls bei SHIATA, 1987).

Die bodenmechanisch-physikalischen Zusammenhänge zwischen den Feuchtigkeitsgehalten und den Stabilitäten von Materialien bzw. Schichten ohne Bindemittel, Untergrund, Böden und Tragschichten ohne Bindemittel, sind hinreichend erforscht und den Bauingenieuren allgemein bekannt, so dass sie hier nicht mehr detailliert dargestellt werden müssen. Von daher sind die Folgen undichter Hausanschlussstutzen infolge dieser speziellen Beziehungen zwischen den Feuchtigkeitsgehalten und den Verformungswiderständen von Stoffen bzw. stoffspezifischen Schichten ohne Bindemittel offenkundig und deren Auswirkungen auf die Fahrbahnbefestigungen hinreichend erläutert (vgl. z. B. SIEDEK und FLOSS, 1977).

Außer den durch Undichtigkeiten bedingten Feuchtigkeitszunahmen in den Befestigungen und deren auf die Stabilitäten abträglichen Folgen können damit einhergehend oder/und dadurch ausgelöst Boden- und Materialbewegungen, unterirdische Infiltrationen, Erosionen, Stoffverlagerungen und -transporte im Untergrund, Unterbau und Oberbau sowie auch in die Leitungen hinein erzeugt werden. Durch die feuchtebedingten Materialtransporte entstehen Materialumlagerungen in den Schichten, z. B. Ausspülungen, Versackungen, Einspülungen, u. U. auch in die Leitungen hinein bis hin zu Rohrverstopfungen. Hieraus entstehen Beschädigungen der die Leitungen überdeckenden Verkehrsflächenbefestigungen, u. a. bleibende Fahrbahnabsenkungen, Rissbildungen in den Fahrbahndecken, Öffnungen bzw. Stufenbildungen von/an Fahrbahnfugen und -einbauten, Ausbrüche und Schlaglöcher sowie Beschädigungen der Leitungen selbst, z. B. Rohrabsackungen und -brüche.

Die speziell feuchtigkeitsbedingten, physikalisch-bodenmechanisch und –hydraulisch bedingten Folgen von undichten Hausanschlussstutzen werden im Hinblick auf die dadurch ausge-

lösten Beschädigungen von Verkehrsflächenbefestigungen in dem vorliegenden Forschungsbericht ausführlich behandelt. Dieser spezielle Aspekt ist (aus Sicht der Auftraggeber) naheliegend, weil der Betrieb und die Erhaltung von Verkehrsflächenbefestigungen in Verknüpfung mit den darin verlegten Leitungen (für die Straßenbaulastträger) vordringlich erforderlich ist und aus technischen und ökonomischen Gründen rationalisiert und systematisiert werden muss.

Die weiteren ökologischen, hier nur kurz skizzierten Belange müssen im allgemeinen politischen Interesse jedoch in absehbarer Zeit ebenso gewichtig berücksichtigt und die diesbezüglichen, weitgehend noch nicht wahrgenommenen Probleme bald umfassend offengelegt, angegangen und gelöst werden. Unabhängig von dieser generellen Notwendigkeit wird mit der eingeleiteten Entwicklung und Konzeption von dichten Hausanschlussstutzen schon ein wesentlicher Beitrag zur Bewältigung der mit dem Bau und Betrieb von Abwasserleitungen verknüpften ökologischen Probleme und Umweltbelastungen erbracht.

## **2 Dokumentation der Auswirkungen undichter Hausanschlussstutzen auf die darüber befindliche Verkehrsflächenbefestigung**

### **2.1 Identifikation von Schadensstellen**

Unter Verwendung des in diesem Projekt entwickelten Sanierungsstutzens sollen zukünftig in der Stadt Rietberg undichte Hausanschlussstutzen am Hauptkanal saniert werden. Dabei ist jedoch zu ermitteln, inwieweit es durch die festgestellten Undichtigkeiten zu einer Bodeninfiltration gekommen ist, die Gefügestörungen im Bettungs-/Verfüllboden und/oder im Oberbau einer darüber befindlichen Verkehrsflächenbefestigung verursacht haben. So kann es durch den Eintrag von Boden und/oder feinen Gesteinskörnungen zu Veränderungen im Korngerüst oder zu Hohlrumbildungen bis hin zu Setzungsschäden an der Oberfläche der Verkehrsflächenbefestigung gekommen sein. Die Bodeninfiltration, die zur Entstehung der beschriebenen Gefügestörungen geführt hat, wird durch den Einbau des Sanierungsstutzens gestoppt. Dennoch können infolge der Gefügestörungen weiterhin Sackungen/Setzungen und/oder Einbrüche der Verkehrsflächenbefestigung entstehen.

Anhand untersuchter Schadenssituationen sollte beispielhaft aufgezeigt werden, welche Schäden im Bereich von Hausanschlussstutzen im Abwasserkanalnetz der Stadt Rietberg vorzufinden sind und in welcher Form dadurch Gefügestörungen im Boden bzw. im Oberbau



der Verkehrsflächenbefestigungen verursacht wurden und welche Art von Fahrbahnschäden hierbei ggf. bereits zu beobachten sind (Hoffmann, 2007).

Zur Identifikation von Kanalnetzschäden im Bereich von Hausanschlussstutzen wurden die vorliegenden Kanalschadensberichte zahlreicher Haltungen aus der Kanaldatenbank abgerufen und durchgesehen, um das Vorhandensein sichtbarer charakteristischer Schadensarten (nach ATV-DVWK-Merkblatt M 143, Teil 2), wie

- Stutzen einragend (SE- A, B, E, F, M) [%]
- Stutzen nicht fachgerecht eingebaut (SN- A, B, E, F, M) [-]
- Stutzen außen vorsitzend (SO- A, B, E, F, M) [-]
- Risse im Stutzen (SR- B, E, F, M) [mm]
- Sichtbarer Wasseraustritt (A)
- Boden sichtbar (B)
- Eindringendes Wasser sichtbar (E)
- Fremdwasser (F)
- Eindringendes Wasser sichtbar mit Bodeneintrag (M)

zu ermitteln. Waren in einer Haltung entsprechende Schäden vorhanden, so wurden die Schadensstellen anhand der vorliegenden Videoaufnahmen aus der TV-Kamerabefahrung ergänzend visuell beurteilt. Waren an den Schadensstellen Bodeninfiltrationen in den Kanal erkennbar, so wurde davon ausgegangen, dass hierdurch Gefügestörungen in den an das Rohr angrenzenden Schichten verursacht worden waren. Auf diese Weise wurden im Rahmen des Umfangs der betrachteten Haltungen 17 Schadensstellen ermittelt und hinsichtlich ihrer Charakteristiken dokumentiert. An den Schadensstellen waren die beschriebenen Schadensarten in folgendem Umfang vorhanden (Abbildung 2)

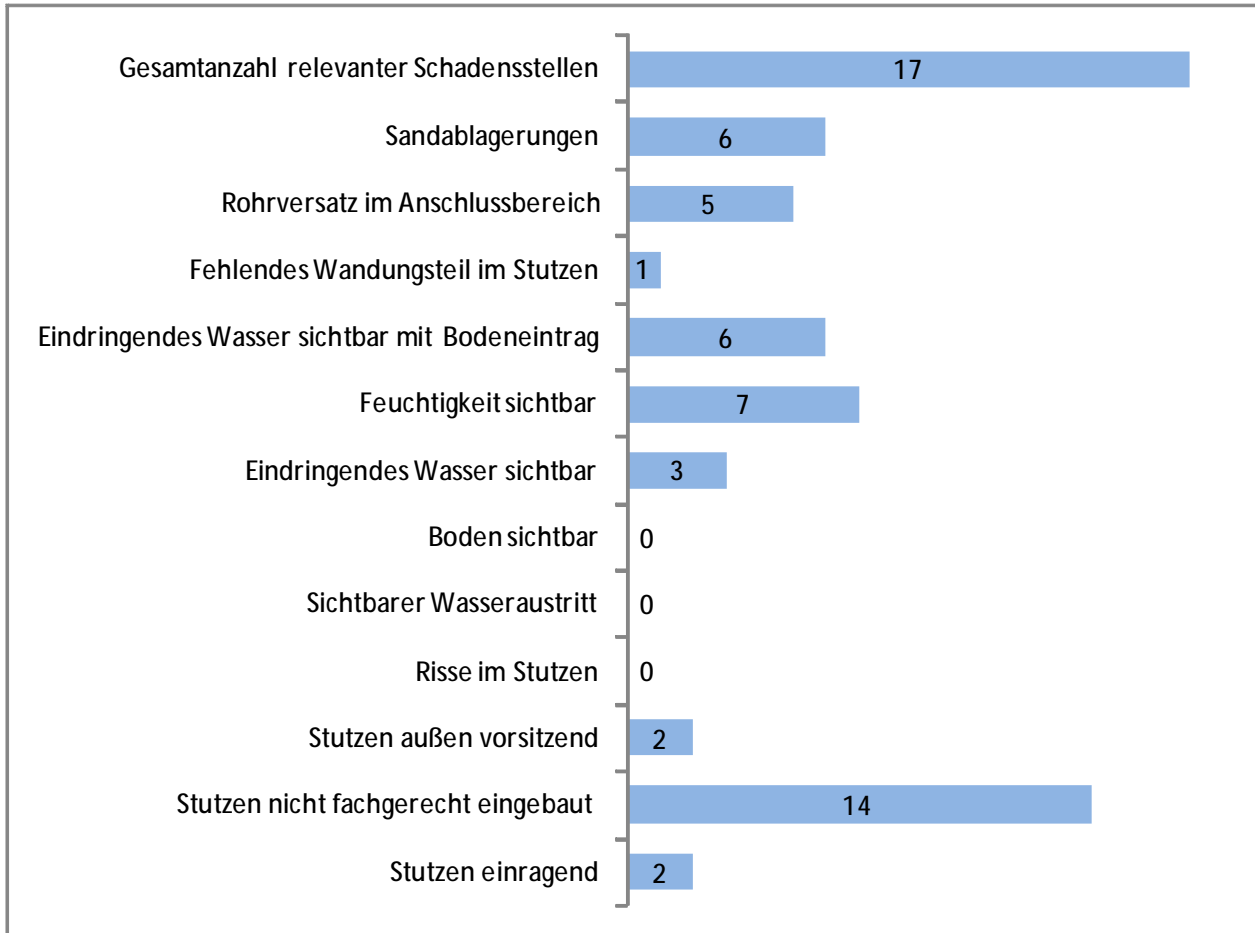


Abbildung 2: Häufigkeit der Schadensart innerhalb der 17 ermittelten Schadensstellen

Anschließend wurde eine Erfassung und Dokumentation des Zustandes der Verkehrsflächenbefestigung oberhalb der 17 Kanalschäden durchgeführt. Hierzu wurde anhand der Lage des Kanalschadens zwischen den Schächten die Position des Schadens an der Fahrbahnoberfläche eingemessen. Im Bereich der Schadensstelle vorhandene Fahrbahnschäden, wie Unebenheiten, Rissbildung, Flickstellen, Ausbrüche usw. wurden hinsichtlich ihrer Schadensausdehnung dokumentiert. Setzungsschäden wurden unter Verwendung einer 2 m-Messlatte und eines Messkeils in ihrer Form erfasst.

## **2.2 Dokumentation ausgewählter Schäden**

Aus den zuvor ermittelten Schadensstellen wurden drei typische Stellen ausgewählt, an denen durch Aufgrabung dokumentiert werden sollte, in welchen Bereichen des Oberbaus und der Rohrgrabenverfüllung sich Gefügestörungen in Form von Hohlräumen, Sackungen und/oder Kornumlagerungen eingestellt haben. Das (vorsichtige) Entfernen der Verkehrsflächenbefestigung und des Verfüllbodens bis zum geschädigten Rohr erfolgte durch eine von der Stadt Rietberg beauftragte Tiefbaufirma, die anschließend den Kanalschaden sanierte.

Vor Durchführung der Aufgrabungen wurde ergänzend eine von der Stadt Rietberg beauftragte Georadaruntersuchung (mit je einer 400 Mhz- und 900 MHz-Antenne) an den ausgewählten Schadensstellen durchgeführt. Die Messungen erfolgten durch den TÜV-Nord in einem jeweils ca. 2 m x 2 m großen Messfeld mit einem Abstand der Georadarmesslinien von nur 10 cm zueinander. Zur Auswertung der Messungen wurden sowohl Vertikal-, als auch Horizontalschnitte angefertigt (Endom, 2007).

An den drei ausgewählten Stellen waren anhand der Kanalschadensbilder des Hauptkanals Schäden im Bereich der Hausanschlussstutzen erkennbar gewesen. Das Schadensbild an der Fahrbahnoberfläche war jeweils durch eine muldenartige Verformung gekennzeichnet.

### **2.2.1 Schadensstelle 1**

In der Fleigestraße, vor Haus Nr. 11, wurde im Schmutzwasserkanal eine Undichtigkeit im Bereich eines Hausanschlussstutzens festgestellt. An der Oberfläche der Asphaltbefestigung der darüber befindlichen Fahrbahn war an derselben Stelle eine muldenartige Verformung, ein Ausbruch und Rissbildung vorhanden. Die Schadensstelle befindet sich im Netzknotenabschnitt 5407 zwischen der Einmündung der Fleigestraße in die Schürckmannstraße (NK 6041 050) und der Einmündung eines Geh- und Radweges in die Fleigestraße (NK 6041 049). Im Bereich der Schadensstelle sind der Regenwasser- und der Schmutzwasserkanal unter der Fahrbahn verlegt; beide weisen benachbart je einen Schacht auf. Etwa 1,17 m entfernt vom Schacht 6041 5040 der Haltung 6041 5040 -> 6041 5041 mündet ein Hausanschlussrohr in den Schmutzwasserkanal. Im Bereich dieses Hausanschlussstutzens war das Eindringen von Grundwasser bei der Kanalnetzbefahrung festgestellt worden.

Tabelle 1: Wesentliche Charakteristiken der Schadensstelle 1

Schadensstelle 1: Muldenartige Verformung der Asphaltfahrbahn, Schaden im Bereich des Hausanschlussstutzens an den Schmutzwasserkanal		
<b>Straßennetz</b>	Verkehrsfläche	Fahrbahn
	Schadenstyp	Muldenartige Setzung (ca. 11 cm tief), Flickstelle, Ausbruch, Rissbildung
	Ort	NKA 5407 (NK 6041050 -> 6041049)
	Hausnr.	vor Haus Nr. 11, angrenzend an Haus Nr. 9
	Aufbau Befestigung	Asphaltbefestigung (ca. 10 cm), Schottertragschicht (ca. 20 cm)
	Verkehrsbelastung	nicht erfasst, Anliegerstraße
<b>Kanalnetz</b>	Kanal	Schmutzwasserkanal
	Rohr	Hauptkanal: Steinzeugrohr DN 200, Bj. 1963 Hausanschluss: Steinzeugrohr DN 150
	Haltung: Schächte	6041 5040 – 6041 5041, 1,17 m von Schacht 6041 5040
	Schadenstyp	eindringendes Grundwasser im Bereich des Anschlusses sichtbar
	Überdeckung	ca. 2,10 m
<b>Bemerkungen</b>	-	



Abbildung 3: Schadenssituation im Hauptkanal (links) und im Bereich des Hausanschlussstutzens mit Blick in den Anschlusskanal (rechts)



Abbildung 4: Fahrbahnschaden: Muldenartige Verformung, Ausbruch, Flickstelle

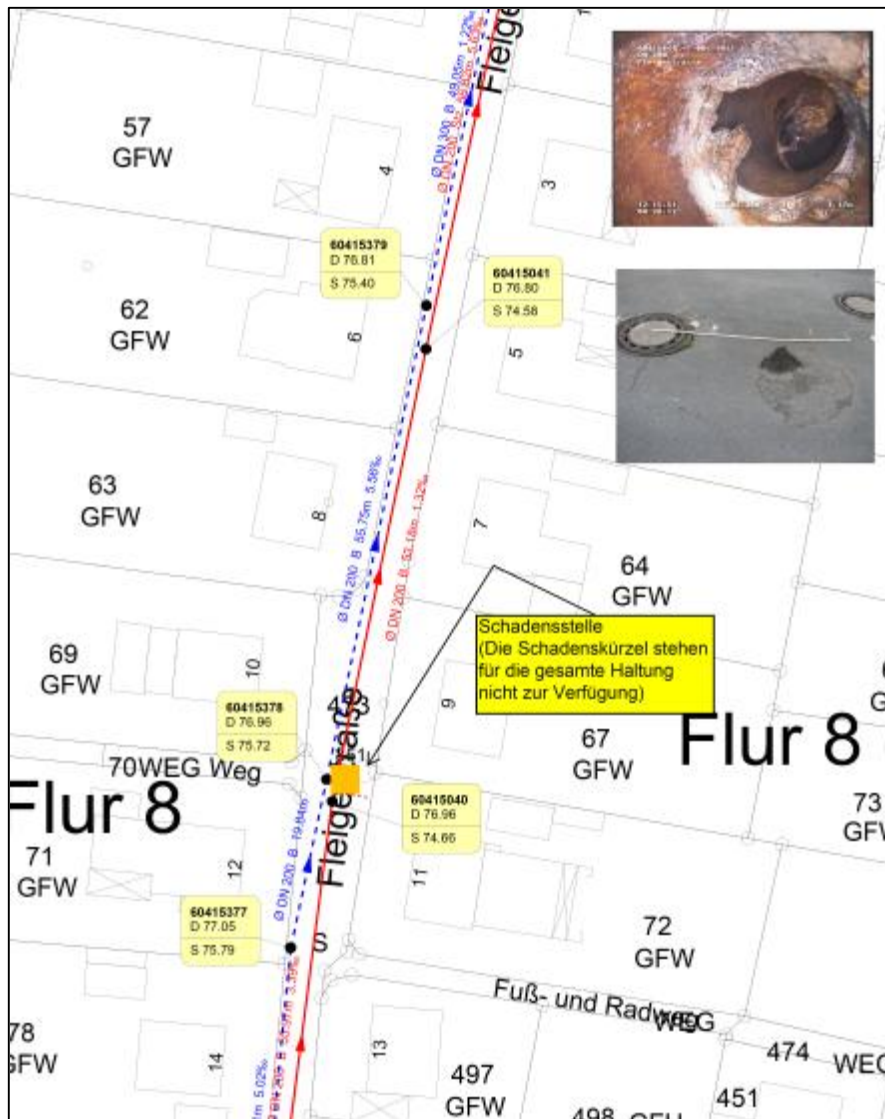


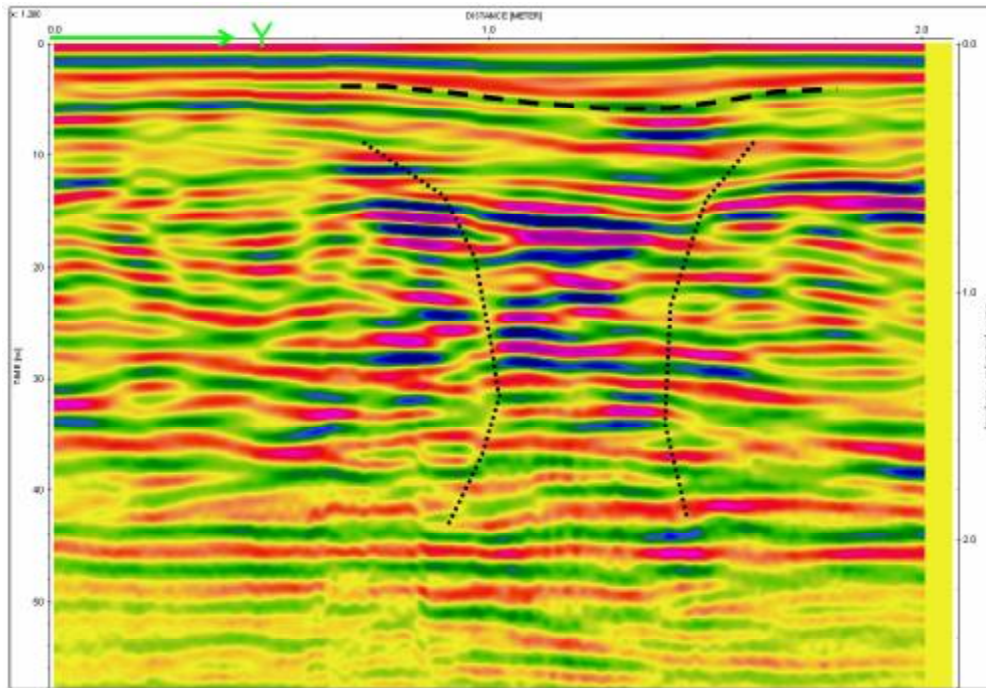
Abbildung 5: Lageplan der Schadensstelle 1

Die Ergebnisse der Georadarmessungen lassen Gefügestörungen im Oberbau und in der Rohrgrabenverfüllung erkennen, die bis unter die Oberfläche der Asphaltbefestigung reichen. Im Vertikalschnitt der Messergebnisse des 400 MHz-Sensors lässt sich ein Sackungstrichter oberhalb des undichten Stützens erkennen. Die Horizontalschnitte der Ergebnisse des 900 MHz-Sensors zeigen Gefügestörungen in einer Tiefe von 1,20 m und 1,60 m unter der Fahrbahnoberfläche. Eine Erkundung des Bereiches direkt am Kanalrohr ist aufgrund der Tiefenlage des Kanalrohrs (ca. 2,10 m) mit dem Verfahren nicht möglich, da mit den verfügbaren Antennen in diesen Tiefen keine ausreichende Auflösung mehr erzielt werden kann.



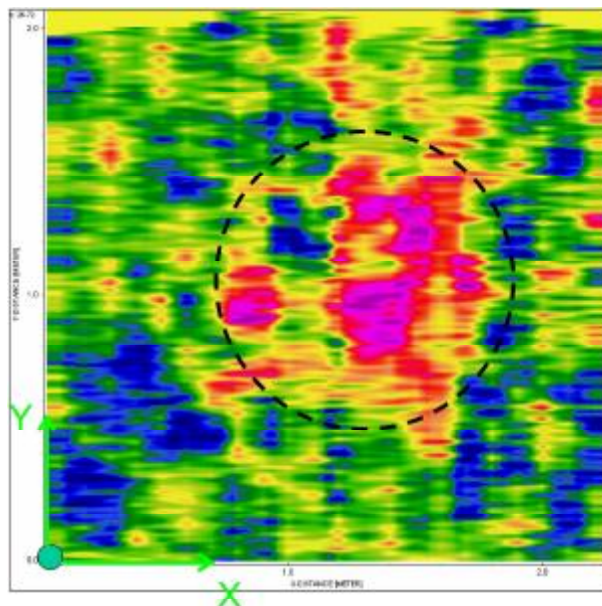
Abbildung 6: Georadarmessung: Messraster der Messlinien (Endom, 2007)



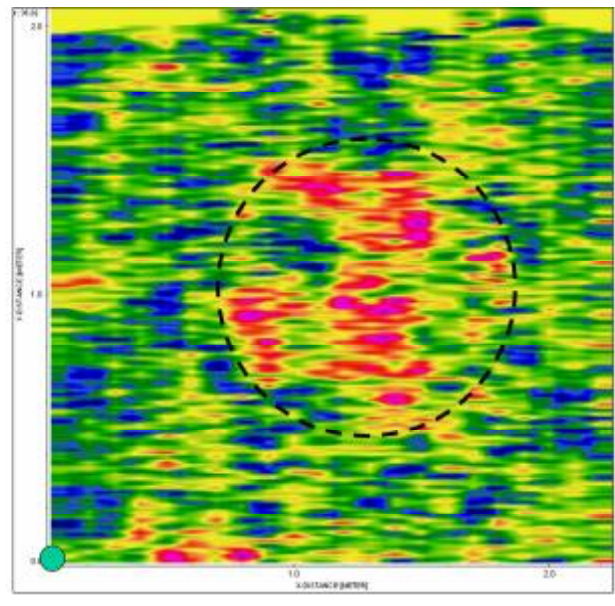


Messlinie bei X=1,2 m; Y=0-2,0 m 400 MHz Sensor

Abbildung 7: Messergebnisse 400 MHz-Sensor: Vertikalschnitt etwa in der Mitte des Messrasters (Endom, 2007)



Tiefenschnitt (Aufsicht) in ca. 1,2 m Tiefe  
900 MHz Sensor



Tiefenschnitt (Aufsicht) in ca. 1,6 m Tiefe  
900 MHz Sensor

Abbildung 8: Messergebnisse 900 MHz-Sensor: Horizontalschnitte in einer Tiefe von 1,20 m (links) und 1,60 m (rechts) (Endom, 2007)

Das Anlegen einer Aufgrabung im Bereich der Schadensstelle erfolgte durch ein vorsichtiges Entfernen der Asphaltbefestigung, die zuvor in Einzelplatten zerschnitten wurde. An der Flickstelle hafteten Asphaltbrocken zum Teil an der Unterseite der Asphaltplatte an; einige

Brocken blieben lose in einer Vertiefung der Tragschichtoberfläche liegen. Die anfangs an der Fahrbahnoberfläche erkennbare Flickstelle war offenbar angelegt worden, um einen Einbruch in der Asphaltbefestigung zu verfüllen.



*Abbildung 9: Oberfläche der Tragschicht ohne Bindemittel nach Entfernen der Asphaltbefestigung*



*Abbildung 10: Sackungstrichter an der Oberfläche der Tragschicht ohne Bindemittel*

An der Oberfläche der Tragschicht ohne Bindemittel war ein Sackungstrichter mit einem Durchmesser von 80 cm und einer maximalen Tiefe von ca. 20 cm vorhanden. Die Tragschicht ohne Bindemittel sowie ein Teil des darunter befindlichen Bodens wurden vorsichtig bis zur Mitte der Sackungsmulde entfernt, sodass der Sackungstrichter in einer Seitenansicht erkennbar wurde. Die Form des Sackungstrichters lässt erkennen, dass die Sackungen offenbar durch Infiltration von Boden in den Kanal entstanden sind, was zu einem vertikalen Nachsacken von Boden und Tragschichtmaterial geführt hat.





Abbildung 11: *Seitlich freigelegter Sackungstrichter in der Tragschicht ohne Bindemittel*

Der unterhalb des Grundwasserspiegels befindliche Schmutzwasserkanal sowie der Hausanschlusskanal konnten erst nach Installation einer Grundwasserhaltung freigelegt werden. Erst danach konnte die Schadensursache lokalisiert werden. Die beobachtete Undichtigkeit war nicht am Hausanschlusstutzen, sondern erst an der zweiten Muffenverbindung des Hausanschlusskanals vorhanden. Hier fehlte im Scheitel der Muffenverbindung der Teerverguss und der Teerstrick, wie sie zur Bauzeit des Kanals verwendet worden waren.



Abbildung 12: *Undichtigkeit durch fehlende Teerstrickdichtung an Muffenverbindung im Hausanschlusskanal*

Erkennbare Hohlräume innerhalb des Verfüllbodens, des Bettungssandes oder im Rohrauf-  
lager wurden bei der Aufgrabung nicht festgestellt.

### **2.2.2 Schadensstelle 2**

In der Gersteinstraße wurden anhand der Kanalschadensberichte insgesamt drei Undichtig-  
keiten im Bereich von Hausanschlussstutzen im Regenwasserkanal festgestellt. Die nachfol-  
gend beschriebene Schadensstelle befand sich vor dem Haus Nr. 34. An der Oberfläche der  
Betonverbundstein-Pflasterdecke war eine kleine muldenartige Verformung erkennbar. Zwei  
aneinander stoßende Pflastersteine waren zerbrochen. Seitlich an einem der Pflastersteine  
konnte durch eine offene Pflasterfuge ein Gliedermaßstab ca. 24 cm tief in die Fuge gesteckt  
werden, was bereits auf einen Hohlraum unter der Pflasterschicht hindeutete.

Die Schadensstelle befand sich im Netzknotenabschnitt 5181 im Bereich der Hausnummern  
30, 32 und 34 zwischen den Netzknoten 6042 070 und 6142 062 (Einmündungen von Anlie-  
gerwegen). Im Bereich der Schadensstelle sind der Regenwasser- und der Schmutzwasser-  
kanal unter der Fahrbahn verlegt. Etwa 22,8 m entfernt vom Schacht 6042 5284 der Haltung  
6042 5284 -> 6042 4468 mündet ein Hausanschlussrohr in den Regenwasserkanal. Bei der  
Kanalnetzbefahrung waren am Hausanschlussstutzen Inkrustationen und stehendes Wasser  
in dem nach hinten abgesackten Hausanschlussrohr festgestellt worden.

Tabelle 2: Wesentliche Charakteristiken der Schadensstelle 2

Schadensstelle 2: Muldenartige Verformung in der Pflasterdecke, Schaden im Bereich des Hausanschlusstutzens an den Regenwasserkanal		
<b>Straßennetz</b>	Verkehrsfläche	Fahrbahn
	Schadenstyp	Muldenartige Setzung (ca. 3 cm tief), Kantenschäden, Rissbildung und Abplatzungen an Pflastersteinen, offene Pflasterfuge
	Ort	NKA 5181 (NK 6042070 -> 6142062)
	Hausnr.	vor Haus Nr. 34
	Aufbau Befestigung	H-förmiges Betonverbundsteinpflaster (8 cm dick), Pflasterbettung, Schottertragschicht (ca. 30 cm)
	Verkehrsbelastung	nicht erfasst, Anliegerstraße
<b>Kanalnetz</b>	Kanal	Regenwasserkanal
	Rohr	Hauptkanal: Betonrohr DN 400, Bj. 1979 Hausanschluss: Steinzeugrohr DN 150
	Haltung: Schächte	6042 5284 – 6042 4468, 22,82 m von Schacht 6042 5284
	Schadenstyp	Stutzen nicht fachgerecht eingebaut, Feuchtigkeit sichtbar, Inkrustation im Bereich des Anschlussstutzens, Anschluss ist nach hinten abgesackt daher negatives Gefälle, Wasser steht im Anschluss (SNFL)
	Überdeckung	ca. 0,93 m
<b>Bemerkungen</b>	-	



Abbildung 13: Schadenssituation im Hauptkanal (links) und im Bereich des Hausanschlusstutzens mit Blick in den Anschlusskanal (rechts)



Abbildung 14: Frontkamerabild der messtechnischen Zustandserfassung (12.04.2005): Muldenförmige Setzung kaum erkennbar



Abbildung 15: Fahrbahnschaden: Muldenartige Verformung, offene Pflasterfuge, zerbrochene Pflastersteine



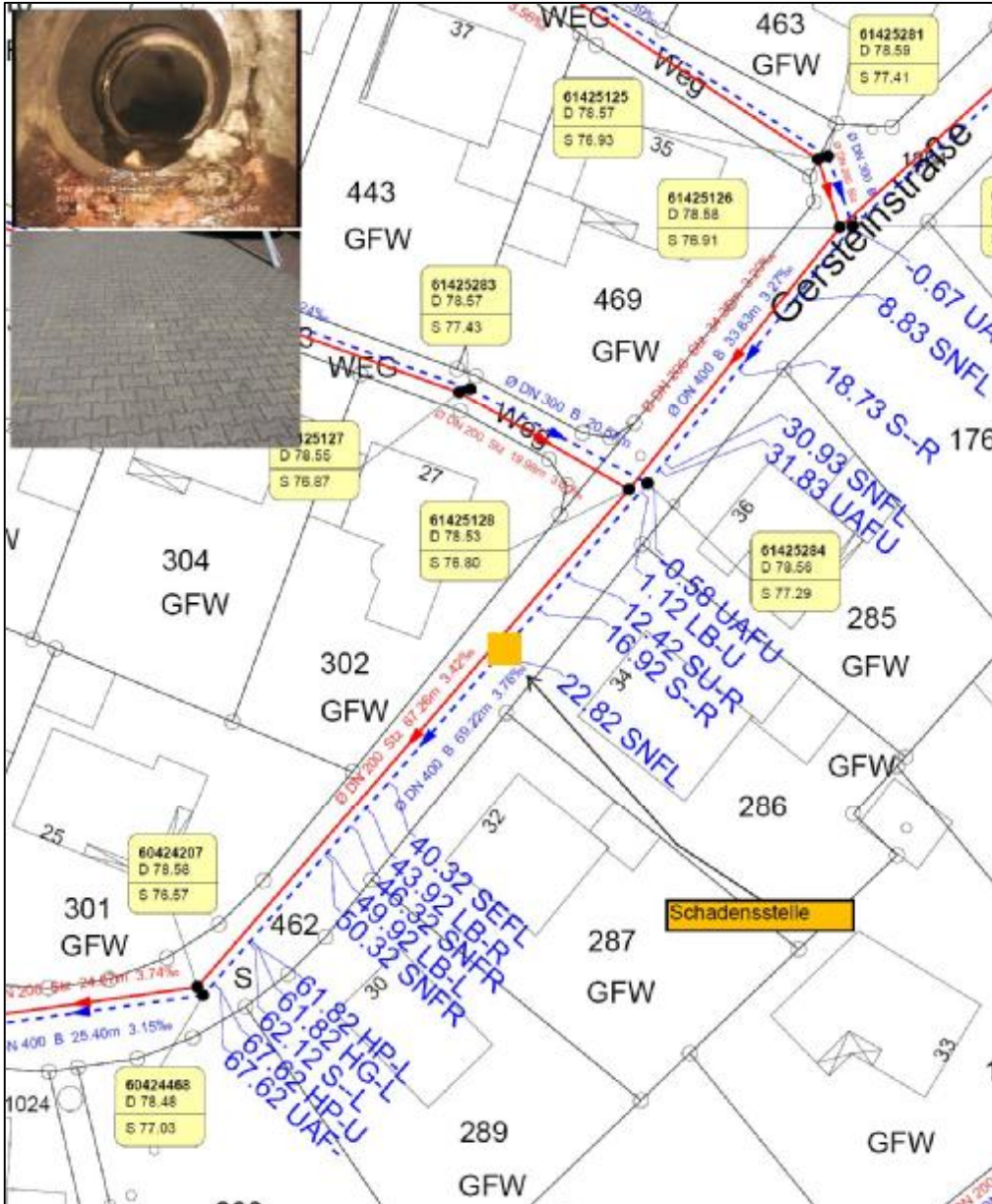
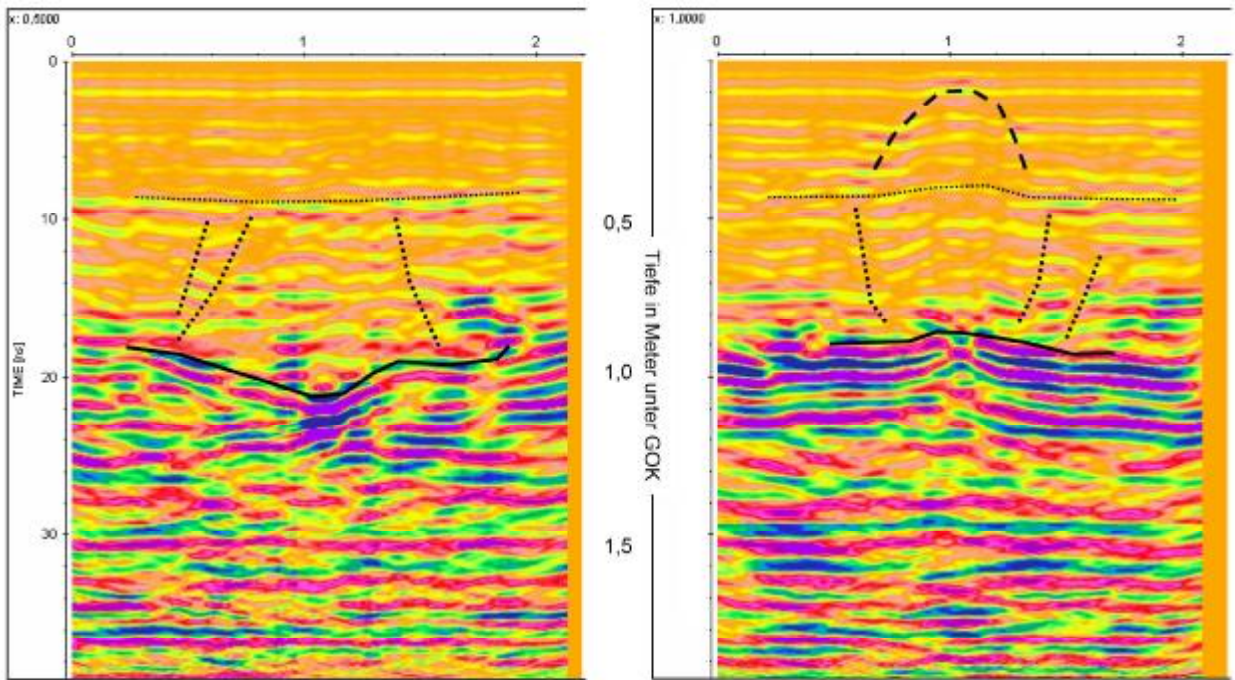


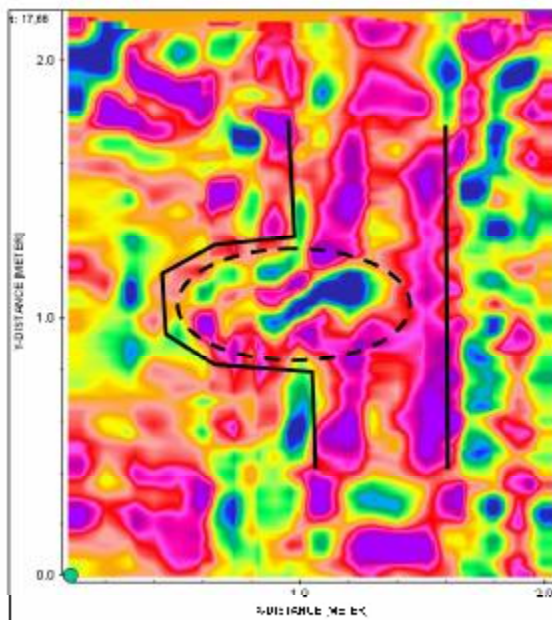
Abbildung 16: Lageplan der Schadensstelle 2

Die Ergebnisse der Georadarmessungen lassen sowohl den Wechsel des Rohrmaterials (Beton - Steinzeug) zwischen Hauptkanal und Hausanschlusskanal als auch eine trichterförmige Sackung oberhalb des Kanalschadens erkennen. In den Vertikalschnitten der Messergebnisse des 900 MHz-Sensors sind auf der Seite des Hausanschlusses deutliche Sackungstrichter (z. B. Messlinie bei  $X=0,5$  m), in der Nähe des Kanals ( $X=1,0$  m) deutlich geringere strukturelle Änderungen zu sehen. Der Verlauf des Sackungstrichters lässt in Verbindung mit dem nur leicht muldenartigen Verlauf der Pflasterfläche auf die Ausbildung eines Hohlraumes schließen. Die Horizontalschnitte zeigen oberhalb des Kanals deutlich Veränderungen im Baugrund (Hohlraum bzw. gestörte Lagerung).

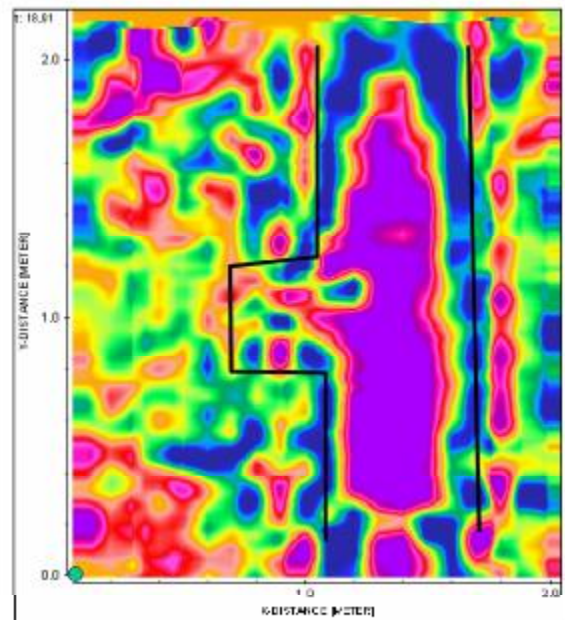


Messlinien bei X=0,5 und X=1,0 m; Y=0-2,0 m; 900 MHz Sensor

Abbildung 17: Messergebnisse 900 Mhz-Sensor: Vertikalschnitte (Endom, 2007)



Tiefenschnitt (Aufsicht) in ca. 0,85 m Tiefe  
900 MHz Sensor



Tiefenschnitt (Aufsicht) in ca. 0,94 m Tiefe  
900 MHz Sensor

Abbildung 18: Messergebnisse 900 Mhz-Sensor: Horizontalschnitte in einer Tiefe von ca. 0,85 m (links) und 0,94 m (rechts) (Endom, 2007)



Die Aufgrabung an der Schadensstelle wurde begonnen mit dem vorsichtigen Aufnehmen des H-förmigen Betonsteinpflasters. Zunächst wurden seitlich neben der Schadensstelle einige Betonpflastersteine entfernt und dann weitere Steine in Richtung zur Schadensstelle entnommen. Auf diese Weise konnte ein Einbrechen der gut verspannten Pflasterschicht vermieden und der Hohlraum somit sichtbar gemacht werden. Die Pflasterbettung sowie das Tragschichtmaterial waren im Bereich der Schadensstelle in Form einer trichterförmigen Sackung mit einer oberflächlichen Breite von ca. 27 cm und einer maximalen Tiefe von 19 cm nach unten gerutscht. Die weitere Aufgrabung erfolgte hier zunächst nur innerhalb des Sackungstrichters, an dessen unterem Ende eine Muffenverbindung des Hausanschlusskanals sichtbar wurde. Hier war offenbar der sandige Bettungs-/Verfüllboden in den Kanal infiltriert worden und hatte so die Entstehung des Sackungstrichters bewirkt.



*Abbildung 19: Verspannte Pflasterschicht überbrückt den entstandenen Hohlraum oberhalb des Sackungstrichters*



*Abbildung 20: Oberfläche des Sackungstrichters (Durchmesser ca. 27 cm, max. Tiefe ca. 19 cm)*

Wie die anschließende großflächigere Aufgrabung zur Sanierung der Schadensstelle zeigte, war die Undichtigkeit an der ersten Muffenverbindung des Hausanschlusskanals aufgetreten. Hier befand sich das Spitzende des anschließenden Rohres nicht ausreichend tief in der Muffe, sodass ringförmig Sand eingetragen worden war. Erkennbare Hohlräume innerhalb des Bettungs-/Verfüllbodens oder am Rohraufleger wurden nicht festgestellt.



*Abbildung 21: Am unteren Ende des Sackungstrichters ist die undichte Muffenverbindung (seitlicher Wasseraustritt) erkennbar*



*Abbildung 22: Freigelegte Muffe mit ringförmig erkennbarer Sandinfiltration, dahinter Anschlussstutzen an den Beton-Hauptkanal*



### 2.2.3 Schadensstelle 3

Die nachfolgend beschriebene Schadensstelle befand sich benachbart zu der zuvor beschriebenen, vor dem Haus Gersteinstraße Nr. 36. An der Fahrbahnoberfläche war eine kleine muldenartige Verformung in der Pflasterdecke zu sehen. Vier der H-förmigen Betonverbundpflastersteine zeigten Kantenschäden und Rissbildung.

Tabelle 3: Wesentliche Charakteristiken der Schadensstelle 3

Schadensstelle 3: Muldenartige Verformung in der Pflasterdecke, Schaden im Bereich des Hausanschlusstutzens an den Regenwasserkanal		
<b>Straßennetz</b>	Verkehrsfläche	Fahrbahn
	Schadenstyp	Muldenartige Setzung (ca. 2,7 cm tief), Kantenschäden und Rissbildung an Pflastersteinen, offene Pflasterfuge
	Ort	NKA 5182 (NK 6042062 -> 6142061), Nähe NK 6142062
	Hausnr.	vor Haus Nr. 36
	Aufbau Befestigung	H-förmiges Betonverbundsteinpflaster (8 cm dick), Pflasterbettung, Schottertragschicht (ca. 30 cm)
	Verkehrsbelastung	nicht erfasst, Anliegerstraße
<b>Kanalnetz</b>	Kanal	Regenwasserkanal
	Rohr	Hauptkanal: Betonrohr DN 400, Bj. 1979 Hausanschluss: Steinzeugrohr DN 150
	Haltung: Schächte	6042 5282 – 6042 5284, 30,93 m von Schacht 6042 5282
	Schadenstyp	Ablagerungen sichtbar, Rohrversatz im Stutzenbereich (SNFL)
	Überdeckung	ca. 0,87 m
<b>Bemerkungen</b>	-	

Die Schadensstelle befand sich im Netzknotenabschnitt 5182 vor dem Haus Nr. 36 nahe der Einmündung eines Anliegerweges (6142 062). Im Bereich der Schadensstelle sind der Regenwasser- und der Schmutzwasserkanal unter der Fahrbahn verlegt. Etwa 30,9 m entfernt vom Schacht 6042 5282 der Haltung 6042 5282 -> 6042 5284 mündet ein Hausanschlussrohr in den Regenwasserkanal. Bei der Kanalnetzbefahrung waren im Bereich des Hausanschlusstutzens Ablagerungen und ein Rohrversatz im Hausanschlussrohr registriert worden. Die Bilder der Kamerabefahrung zeigten Abplatzungen im Hauptkanal rund um das eingeschobene Hausanschlussrohr. Zudem war eindringendes Wasser zu erkennen.



Abbildung 23: Schadenssituation im Hauptkanal (links) und im Bereich des Hausanschlusstutzens mit Blick in den Anschlusskanal (rechts)



Abbildung 24: Frontkamerabild der messtechnischen Zustandserfassung (12.04.2005): Muldenförmige Setzung nicht erkennbar



Abbildung 25: Fahrbahnschaden: Muldenartige Verformung, gerissene Pflastersteine

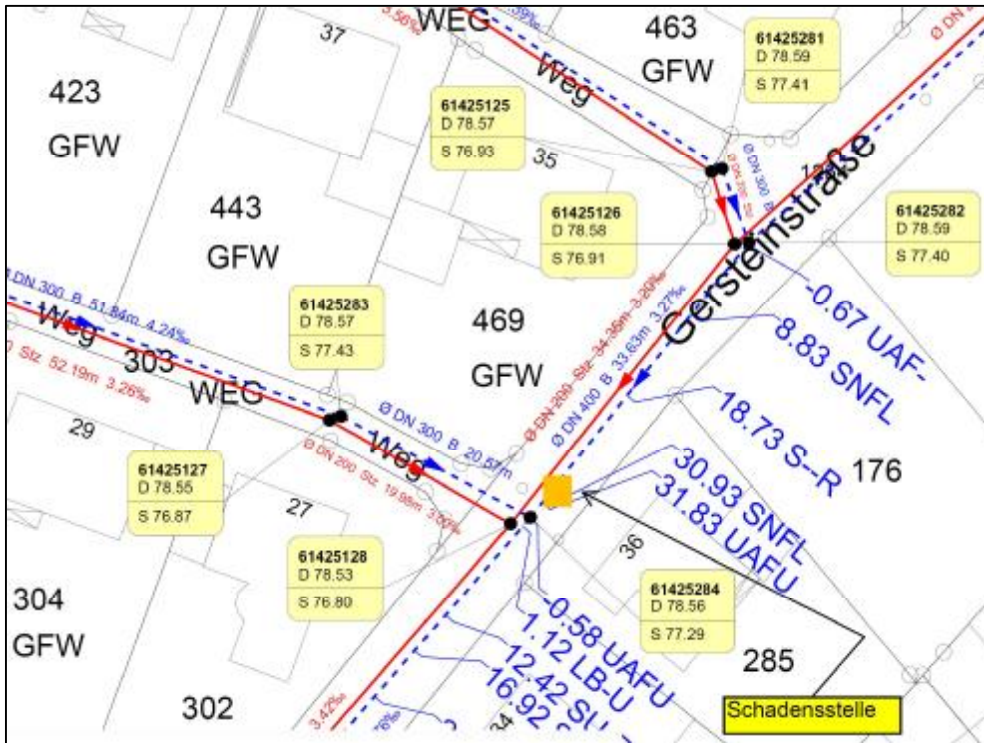
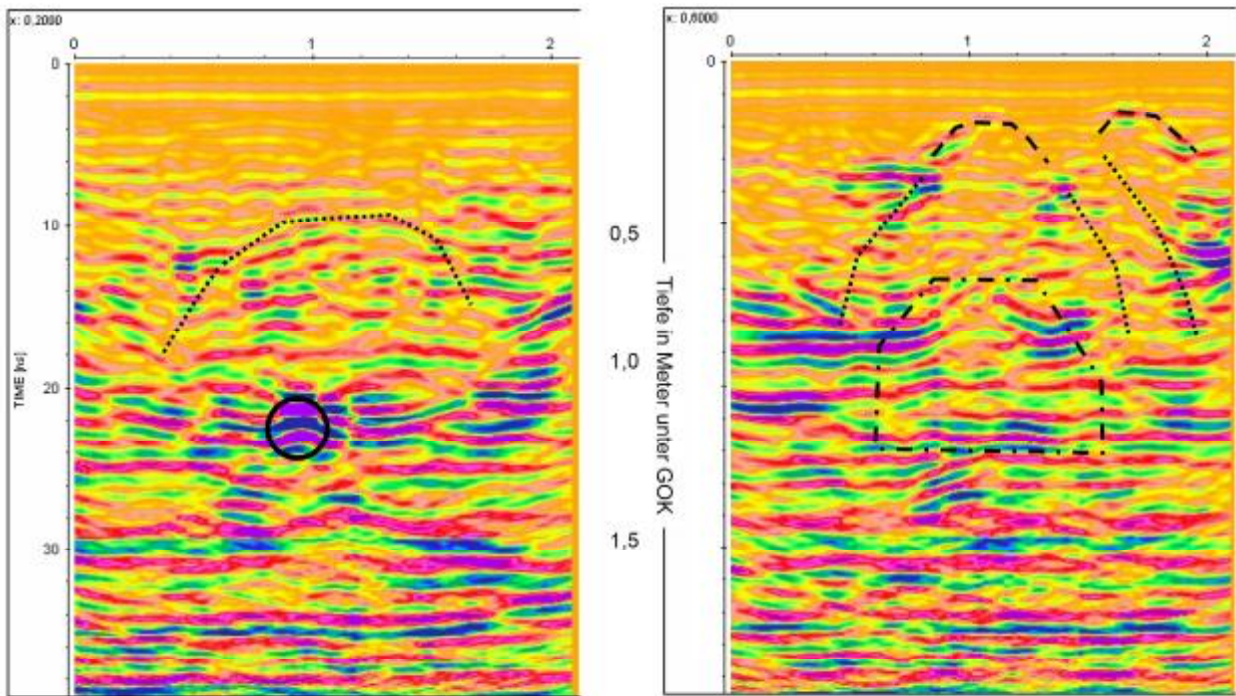


Abbildung 26: Lageplan der Schadensstelle 3

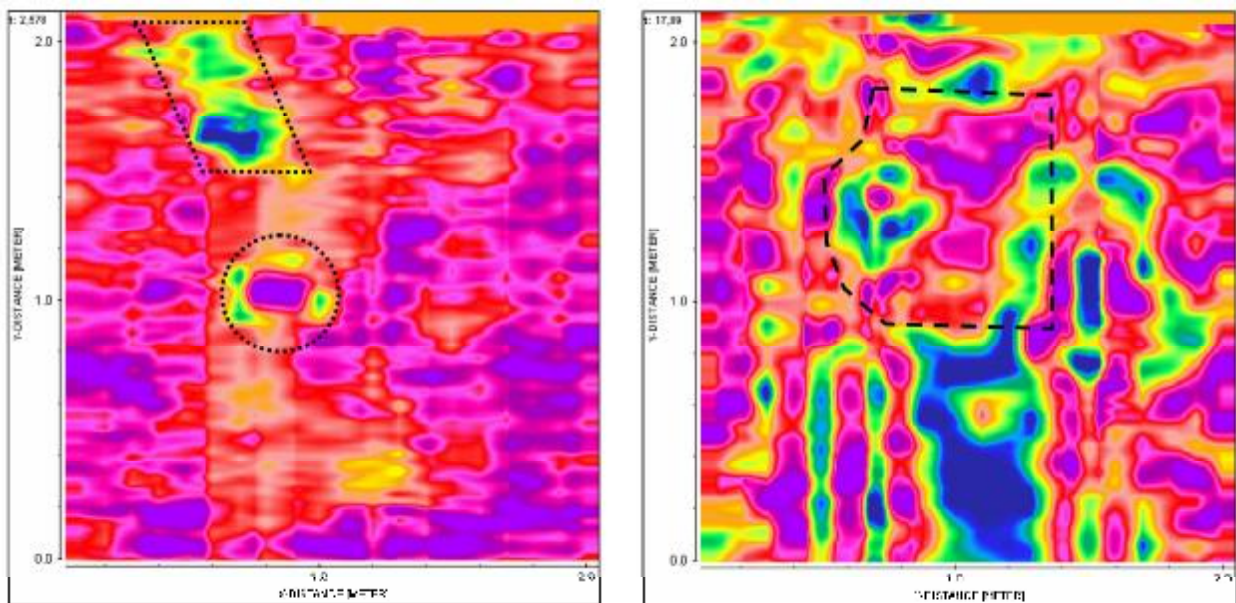
Die Ergebnisse der Georadarmessungen lassen eine trichterförmige Sackung oberhalb des Kanalschadens erkennen. In den Vertikalschnitten der Messergebnisse des 900 MHz-Sensors sind unmittelbar im Übergang vom Hausanschluss- in den Hauptkanal strukturelle Veränderungen auszumachen. Die Horizontalschnitte zeigen Störungen unterhalb der Pflasterschicht (runder Hohlraum infolge Sackung und weiterer gestörter Bereich). Die Störung am oberen Bildrand befindet sich in unmittelbarer Nähe des Schachtes 6042 5284. Im Rahmen der nachfolgend dargestellten Aufgrabung konnte diese Störung ebenfalls als Hohlraum identifiziert werden.





Messlinie bei X=0,2 m und X=0,6 m; Y=0-2,0 m; 900 MHz Sensor

Abbildung 27: Messergebnisse 900 Mhz-Sensor: Vertikalschnitte (Endom, 2007)



Tiefenschnitt (Aufsicht) in ca. 0,12 m Tiefe  
900 MHz Sensor

Tiefenschnitt (Aufsicht) in ca. 0,89 m Tiefe  
900 MHz Sensor

Abbildung 28: Messergebnisse 900 Mhz-Sensor: Horizontalschnitte in einer Tiefe von ca. 0,12 m (links) und 0,89 m (rechts) (Endom, 2007)

Auch an dieser Schadensstelle wurde bei der Aufgrabung zunächst vorsichtig das H-förmige Betonsteinpflaster entfernt. Nach dem Entfernen von drei Reihen Pflastersteinen war kein

Hohlraum unter der Pflasterdecke zu erkennen. Erst beim Herausnehmen weiterer Pflastersteine brach die Oberfläche der Schottertragschicht innerhalb einer Kreisfläche mit einem Durchmesser von ca. 40 cm ein und es wurde ein ca. 21 cm tiefer Sackungstrichter sichtbar. Es muss also innerhalb der Tragschicht ohne Bindemittel bzw. des darunter vorhandenen Verfüllbodens ein Hohlraum vorhanden gewesen sein, der infolge der Aufgrabung eingebrochen ist.



*Abbildung 29: Pflasterbettung nach dem vorsichtigen Entfernen einiger Pflastersteine an der Schadensstelle*



*Abbildung 30: Beim Entfernen weiterer Pflastersteine brach die Tragschicht ohne Bindemittel plötzlich kreisförmig ein*





Abbildung 31: Form und Größe der Oberfläche der Absackung

Die weitere Aufgrabung erfolgte unmittelbar benachbart an die aufgetretene Absackung. Durch dann seitliches Abgraben konnte der Sackungstrichter freigelegt werden, um seine Form zu ermitteln.



Abbildung 32: Sackungstrichter in der Schottertragschicht, Frostschuttschicht und im Verfüllboden oberhalb der Undichtigkeit am Regenwasserkanal

Innerhalb des erkennbaren Sackungstrichters war das Schottertragschichtmaterial nach unten in die Sandschicht (Frostschuttschicht und/oder Verfüllboden) hinein abgesackt. Die Undichtigkeit im Bereich des Hausanschlusstutzens hat durch eine Sandinfiltration offenbar zu einem nach oben fortgesetzten Materialabbau (Hohlraumbildung) geführt.

Nach dem Freilegen des Hausanschlusstutzens wurde als Schadensursache eine Undichtigkeit unmittelbar am Anschluss des Hausanschlusskanals an den Hauptkanal identifiziert. Hier trat Wasser aus dem Kanal aus. Die damit verbundene Aufweichung des Bodens am Rohraufleger hat eine Verminderung seiner Tragfähigkeit zur Folge. Eine Hohlraumbildung im Bereich der Rohrbettung wurde hingegen nicht festgestellt.



*Abbildung 33: Schadensursache: Durch Abplatzen der Vermörtelung verursachte Undichtigkeit am Anschluss des Hausanschlusskanals an den Hauptkanal*



*Abbildung 34: Keine erkennbare Hohlraumbildung an der Rohrbettung*

## 2.3 Schlussfolgerungen aus den Aufgrabungen der Schadensstellen

Die oben dargestellte Dokumentation der Aufgrabung an Schadensstellen lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Die festgestellten Undichtigkeiten im Bereich von Hausanschlussstutzen wurden am Anschlussstutzen selbst oder aber an der ersten oder zweiten Muffenverbindung im Hausanschlusskanal festgestellt. Es ist daher sinnvoll, das zu entwickelnde Gummi-Hutprofil soweit wie technologisch möglich in den Hausanschlusskanal hineinzuführen.
- Dort, wo Undichtigkeiten in Verbindung mit Bodeninfiltration in den Abwasserkanal festgestellt worden waren, kommt es infolge der Undichtigkeiten zu Hohlraumbildungen und Sackungen, die sich nach oben fortsetzen. Bedingt durch den in der Stadt Rietberg vorhandenen sandigen Untergrund und hohe Grundwasserstände setzt sich die Hohlraumbildung in Form von Materialsackungen nach oben fort, ohne dass es zur Entstehung von Hohlräumen an der Rohrbettung kommt.
- Durch die Hohlraumbildung bzw. durch Sackungen kommt es partiell zum Verlust des Auflagers für den Oberbau der darüber befindlichen Verkehrsflächenbefestigung. Ungebundene Oberbaumaterialien sacken dadurch nach. Gut gespannte Pflasterbefestigungen überbrücken Hohlräume mit geringer Flächenausdehnung. Die an der Fahrbahnoberfläche festgestellten muldenartigen Unebenheiten weisen damit nicht signifikant auf Hohlräume / Sackungen hin. Bei Asphaltschichten kann es - je nach (temperaturabhängiger) Steifigkeit der Asphalte zu Einbrüchen in die Hohlräume kommen.
- Georadaruntersuchungen, bei denen Radarscans in engem Abstand durchgeführt werden, ermöglichen es, Störungen im Oberbau bzw. in der Verfüllzone oberhalb des Rohres zu erkennen. Derartige Störungen erlauben jedoch keine eindeutige Identifikation von Hohlräumen, sondern sind in Verbindung mit weiteren Informationen zur örtlichen Situation zu interpretieren.



### **3 Veränderungen der Beanspruchungssituation für das Kanalrohr infolge Gefügestörungen in der Rohrbettung, abgeleitet aus kontinuumsmechanischen Berechnungen**

#### **3.1 Beanspruchungssituation am Hausanschlussrohr**

Im Vorfeld großmaßstäblicher Untersuchungen zur Eignung und Durchführung der Hausanschlusssanierung mit dem Flextight-Verfahren wurden hierzu Berechnungen über den Beanspruchungszustand am Hausanschlusssutzen unter Verwendung der Mehrschichtentheorie durchgeführt. Diese Berechnungen waren notwendig, um die Belastung abzuschätzen, die in Folge eines überrollenden Rades an der Oberfläche, direkt im Scheitel auf das Rohr wirkt. Bei den großmaßstäblichen Untersuchungen wurde das Rohr des Sammlers und die in diesen führenden Hausanschlüsse ohne den darüber liegenden Oberbau simuliert, so dass die Belastung aus Verkehr über einen Stempel direkt auf den Rohrscheitel aufgebracht wurde.

Grundlage für die Berechnungen war eine Einbausituation, wie sie in der Stadt Rietberg häufig anzutreffen ist. Im Bereich von Anliegerstraßen sind die Rohre der Hausanschlüsse auf Grund der besonderen Situation im Kanalnetz der Stadt Rietberg nur mit sehr geringen Überdeckungen eingebaut. Ein solcher Aufbau ist in der Abbildung 35 dargestellt und stellt die Grundlage der Berechnungen dar. Die oberste Schicht bildet eine 10 cm dicke Asphaltdeckschicht. Um eine gewisse Liegezeit und damit einhergehend eine Alterung des Asphaltes zu berücksichtigen wird die Asphaltdeckschicht zum Zeitpunkt der Berechnung bereits als gerissen angenommen. Dieser Zustand kann bei den Berechnungen durch eine Reduzierung der Steifigkeit einer Schicht bzw. eines Materials Berücksichtigung finden. Direkt unter der Asphaltdeckschicht ist eine 30 cm dicke Schottertragschicht angeordnet. Diese Schicht übernimmt die weitere Verteilung der über die Oberfläche eingebrachten Lasten, damit diese vom Untergrund schadensfrei aufgenommen werden können. Oberhalb des Rohres befindet sich eine 20 cm starke Überdeckung aus Sand, die ebenso wie der Sand neben und unter dem Rohr verhindert, dass das Rohr während der Verdichtungsarbeiten durch die Übertragung der Kräfte, z.B. über einen größeren Schotterstein, zerstört wird. Darunter ist ein Untergrund angeordnet, der dem natürlich anstehenden Boden entspricht. Die Annahmen der Materialeigenschaften für die einzelnen Schichten können der Tabelle 4 entnommen werden. Für alle Schichten wird vereinfacht eine Querdehnungszahl von  $\mu = 0,5$  angenommen.

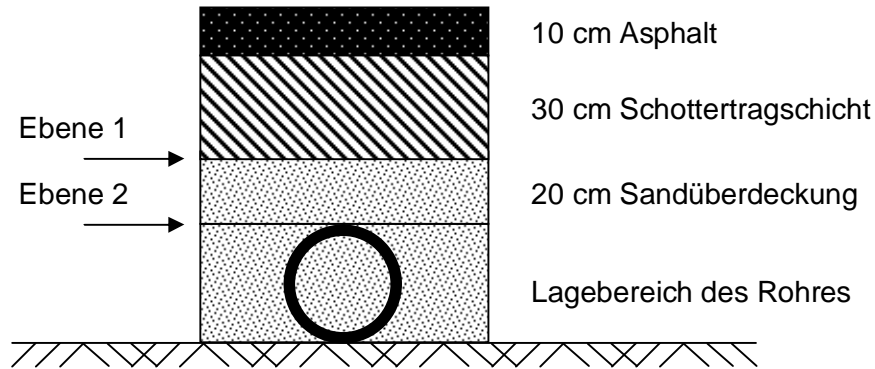


Abbildung 35: Schematischer Aufbau der berechneten Fahrbahn

Tabelle 4: Materialeigenschaften der verwendeten Schichten

Schicht	E-Modul (von – bis) [N/mm <sup>2</sup> ]	$\mu$ [-]
Asphalt	400 - 1000	0,5
Schottertragschicht	200	0,5
Sand	80 – 100	0,5
Untergrund	45	0,5

Als Belastung wurden zwei Radlasten unterschiedlicher Fahrzeuge untersucht. Zum einen die Radlast eines Bemessungsfahrzeuges (SLW60) von 100 kN, aufgebracht über eine Aufstandsfläche von 20 x 60 cm. Die Belastung eines solchen Fahrzeuges kann z.B. mit einem großen Löschfahrzeug oder einem mobilen Kran gleichgesetzt werden. Für die Berechnungen mit der Mehrschichtentheorie, welche auf einem rotationssymmetrischen System beruht, muss die vorhandene Aufstandsfläche des SLW 60 auf eine Kreisrunde Aufstandsfläche umgerechnet werden wodurch sich ein Lastkreis mit einem Radius von 195,5 mm ergibt. Zum anderen wurden die Berechnungen auch für eine "Standardradlast" (Standard-LKW) von 5 t und einem Lastradius von 150 mm durchgeführt. Berechnet werden jeweils die Vertikalspannungen und -verformungen auf der Oberseite. Diese Größen wurden jeweils auf der Oberseite der Sandüberdeckung (Ebene 1, Abbildung 35) und in Höhe des Rohrscheitels innerhalb der umgebenden Sandschicht (Ebene 2; Rohrscheitel) berechnet. Da aus früheren Berechnungen bekannt war, dass ein steifes Betonrohr in einem Fahrbahnaufbau zu einer Erhöhung der Spannungen führt, wurde das System mit einer Veränderung noch einmal berechnet. Für die untere Sandschicht, in der das Betonrohr liegt, wurde eine Betonschicht ( $E = 30.000 \text{ N/mm}^2$ ) eingesetzt, um ein in diesem Horizont befindliches steifes Betonrohr zu simulieren. Diese Vorgehensweise spiegelt die Realität zwar nicht vollständig wider, bietet aber auf Grund der einfachen Rechenroutinen die Möglichkeit, die Auswirkungen eines real in der Fahrbahnbefestigung vorkommenden Rohres abzuschätzen. Die Spannungen und Verformungen wurden jeweils innerhalb einer quadratischen Fläche mit einer Ausdehnung

von 1,0 m in x-Richtung und 0,25 m in y-Richtung vom Lastmittelpunkt aus bestimmt. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in der nachfolgenden Tabelle 5 zusammengefasst.

Aus den Berechnungen konnten die Spannungen direkt auf dem Rohrscheitel bestimmt werden. Um einen Anhaltswert für die erforderliche Auflast auf dem Rohr zu erhalten, mussten die in der Tabelle 5 dargestellten Spannungen noch auf die Lastfläche am Rohr bezogen werden. In Abhängigkeit der belasteten Oberfläche (Größe des Druckstempels zur Lastaufbringung am Rohrscheitel) und den Materialannahmen ergaben sich hieraus umgerechnete Einzellasten von ca. 200 bis 500 kg. Dabei betragen die Spannungen und somit auch die Einzellast infolge einer Belastung mit einem Standard-LKW im Vergleich zu einer Belastung mit einem SLW 60 nur ca. 50 %. Unabhängig vom Belastungsfahrzeug liegen die Spannungen in Höhe der Ebene 1 bei der Variante ohne Betonschicht bei ca. 58 bis 65 % der Variante mit Betonschicht. Im Vergleich hierzu liegt das Verhältnis für die Ebene 2 bei 69 bis 82 %. Dass die Differenz zwischen den Spannungswerten in der Ebene 2 zwischen den beiden Varianten geringer ausfällt, resultiert aus der tieferen Lage. Bis in die Tiefe der Ebene 2 sind die Spannungen bereits weiter abgebaut, so dass das Spannungsniveau und damit die mögliche Differenz geringer ist.

Tabelle 5: Ergebnisse der Spannungs- und Verformungsberechnungen

**Angreifende Last: SLW 60 (0,83 N/mm<sup>2</sup>)**

		Normal							
		E <sub>Asphalt</sub> =400, E <sub>Sand</sub> =80		E <sub>Asphalt</sub> =1000, E <sub>Sand</sub> =100		E <sub>Asphalt</sub> =1000, E <sub>Sand</sub> =80		E <sub>Asphalt</sub> =1000, E <sub>Sand</sub> =100	
		Ebene 1	Ebene 2	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 1	Ebene 2
<b>Max. Spannung <math>\sigma</math></b>		-0,150	-0,078	-0,164	-0,081	-0,136	-0,072	-0,150	-0,076
<b>Verformung z</b>		1,422	1,157	1,336	1,101	1,353	1,107	1,276	1,057

-0,1501

		2.Sandschicht E = 30000 (Beton)							
		E <sub>Asphalt</sub> =400, E <sub>Sand</sub> =80		E <sub>Asphalt</sub> =1000, E <sub>Sand</sub> =100		E <sub>Asphalt</sub> =1000, E <sub>Sand</sub> =80		E <sub>Asphalt</sub> =1000, E <sub>Sand</sub> =100	
		Ebene 1	Ebene 2	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 1	Ebene 2
<b>Max. Spannung <math>\sigma</math></b>		-0,242	-0,178	-0,253	-0,180	-0,235	-0,177	-0,246	-0,179
<b>Verformung z</b>		nicht untersucht							

**Angreifende Last: LKW (0,707 N/mm<sup>2</sup>)**

		Normal							
		E <sub>Asphalt</sub> =400, E <sub>Sand</sub> =80		E <sub>Asphalt</sub> =1000, E <sub>Sand</sub> =100		E <sub>Asphalt</sub> =1000, E <sub>Sand</sub> =80		E <sub>Asphalt</sub> =1000, E <sub>Sand</sub> =100	
		Ebene 1	Ebene 2	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 1	Ebene 2
<b>Max. Spannung <math>\sigma</math></b>		-0,082	-0,041	-0,090	-0,043	-0,074	-0,038	-0,081	-0,040
<b>Verformung z</b>		nicht untersucht							

		2.Sandschicht E = 30000 (Beton)							
		E <sub>Asphalt</sub> =400, E <sub>Sand</sub> =80		E <sub>Asphalt</sub> =1000, E <sub>Sand</sub> =100		E <sub>Asphalt</sub> =1000, E <sub>Sand</sub> =80		E <sub>Asphalt</sub> =1000, E <sub>Sand</sub> =100	
		Ebene 1	Ebene 2	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 1	Ebene 2
<b>Max. Spannung <math>\sigma</math></b>		-0,131	-0,094	-0,137	-0,095	-0,126	-0,093	-0,132	-0,094
<b>Verformung z</b>		nicht untersucht							

## **3.2 Beanspruchungssituation am Sammelrohr**

Zur Beurteilung der Beanspruchungssituation am Sammelrohr wurden Berechnungen mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode an einem dreidimensionalen System durchgeführt. Um eine Aussage über die tatsächliche Beschaffenheit der Bettungs- und Lagerungssituation der Rohre infolge eines schadhafte Hausanschlusses zu erhalten, wurden zunächst an einigen ausgewählten Stellen im Straßennetz der Stadt Rietberg Aufgrabungen vorgenommen (vgl. Kap. 2.2). Wie zuvor beschrieben, konnten dabei keine sichtbaren Hohlräume im Bereich um das Rohr herum festgestellt werden. Vielmehr hat sich gezeigt, dass infolge eines Wassereintritts in den Kanal feine Bodenteilchen mit dem eintretenden Wasser in den Kanal gespült wurden. Die hierdurch entstehenden Auflockerungen durch fehlende Gesteinskörner werden durch Material aus der Bettung und der Tragschicht ersetzt, so dass es zu Setzungen an der Oberfläche oder, wie im Fall der Gersteinstraße, zu einer Hohlraumbildung direkt unter der Pflasterbefestigung kommt. Zudem verändert sich die Tragfähigkeit des unter dem Rohr befindlichen Bettungsmaterials, wenn dieses durch austretendes Wasser ständig durchfeuchtet ist.

### **3.2.1 Modell**

Alle diese Erkenntnisse sollten in einem FEM-Modell umgesetzt werden, vor allem aber die Auflockerung und Aufweichung des Materials um und über dem Rohr. Ausgangspunkt bildete, wie schon bei den zuvor beschriebenen Berechnungen, das Modell einer Anliegerstraße in der Stadt Rietberg. In der Abbildung 36 ist die zweidimensionale Ansicht des dreidimensional programmierten Modells dargestellt. In Anlehnung an das zuvor beschriebene Modell für die Berechnungen nach der Mehrschichtentheorie beträgt die Dicke der Asphaltsschicht 7,5 cm. Darunter befindet sich eine Schottertragschicht mit einer Dicke von 30 cm. Das Rohr ist rundherum eingebettet in Sand, der bis 20 cm oberhalb des Rohrscheitels und 10 cm unterhalb der Sohle reicht. Unterhalb der Bettung befindet sich der Untergrund. Die Annahmen der Materialeigenschaften für die einzelnen Schichten können der Tabelle 6 entnommen werden. Für den Asphalt wurden zwei unterschiedliche Steifigkeiten gewählt. Der E-Modul von 1000 N/mm<sup>2</sup> entspricht dabei dem Zustand im Sommer (hohe Temperaturen) bzw. eines bereits geschädigten (gerissenen) Asphalts. Der höhere E-Modul hingegen beschreibt die Eigenschaft eines Asphaltes bei tiefen (winterlichen) Temperaturen. Bei den übrigen Materialien wurden keine unterschiedlichen Eigenschaften berücksichtigt, da diese gerade bei ungebundenen Baustoffen nur unwesentlich von den klimatischen Bedingungen abhängen. Für die weiteren Berechnungen wurde das Material der aufgelockerten Zonen als "weicher Sand" bezeichnet, da zunächst einmal vor allem der über dem Rohr befindliche Sand in eventuell

entstehende Auflockerungszonen nachrutschen wird. Um die Auflockerung entsprechend zu berücksichtigen, wurde der E-Modul dieses Materials auf ein Minimum von 10 N/mm<sup>2</sup> reduziert. Zur besseren Verständlichkeit der Darstellung sind in der Tabelle 6 auch die in Abbildung 36 verwendeten Farben der einzelnen Materialien noch einmal mit aufgenommen worden.

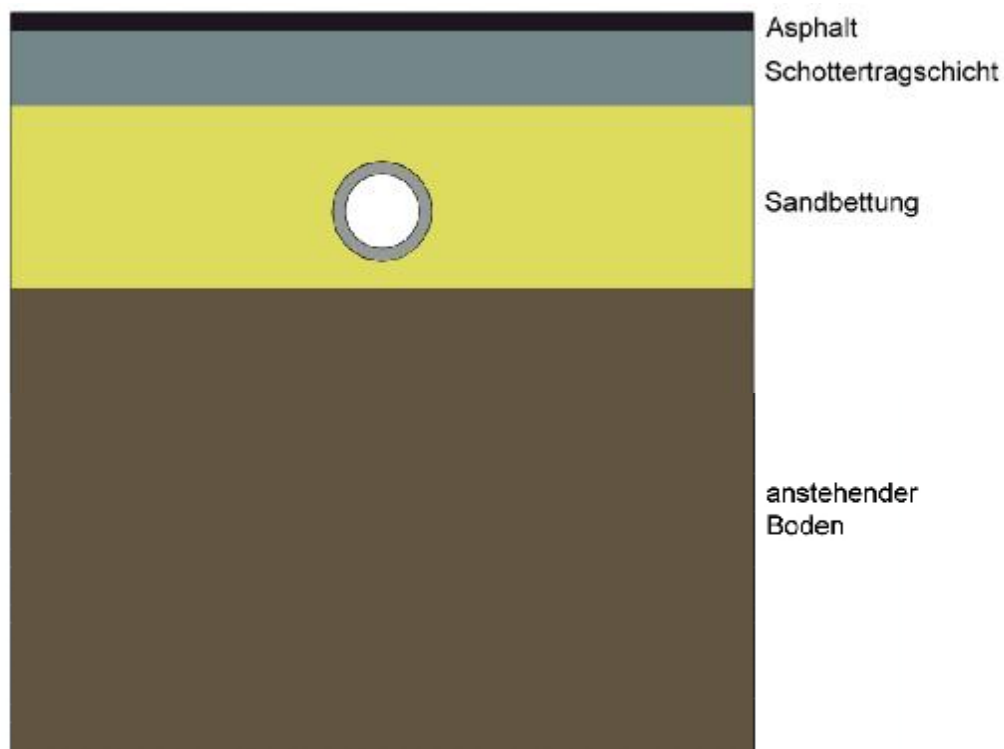


Abbildung 36: Modell zur Berechnung der Beanspruchungssituation

Tabelle 6: Materialeigenschaften der verwendeten Schichten

Schicht	E-Modul (von – bis) [N/mm <sup>2</sup> ]	$\mu$ [-]
Asphalt	1000 / 10000	0,5
Beton	30000	0,2
Schottertragschicht	300	0,5
Sand	40	0,5
Untergrund	45	0,5
weicher Sand	10	0,5

Als Belastung diente in allen Fällen ein Bemessungsfahrzeug SLW 60 mit einer Radlast von 100 kN und einer vereinfachten Aufstandsfläche von 20 x 60 cm. Bei den Berechnungen wurde der Fall untersucht, dass dieses Fahrzeug entlang der Kanalachse fährt, d. h. das

Fahrzeug steht mit dem Rad so über dem Kanal, dass die längere Seite der Reifenaufstandsfläche parallel zum Kanal verläuft und die kürzere Seite senkrecht dazu.

Mit diesen Parametern wurden zunächst die Beanspruchungen in der ungeschädigten Konstruktion bestimmt. In weiteren Berechnungsschritten wurden dann die in der Realität gefundenen Schäden in ein Modell umgesetzt. Hierfür wurden mehrere Szenarien gewählt, die in Abbildung 37 dargestellt sind. Die Abbildung 37 zeigt dazu jeweils nur den veränderten Bereich des Modells direkt um das Rohr bis zur Asphaltdeckschicht.

Ausgehend von einem "Nullzustand", d. h. dem ungeschädigten Zustand nach der Bauausführung (Modell 0 in Abbildung 37), werden im Folgenden verschiedene Stufen der Schädigung in den Modellen abgebildet.

Das Modell 0 stellt, wie oben bereits beschrieben, den ungeschädigten Ausgangszustand dar. Bei den Aufgrabungen hat sich gezeigt, dass Material in den Kanal eingespült worden ist und es so zu Sackungen oberhalb des Rohres kam. Diesen Umstand der Auflockerungen im Bereich direkt über dem Rohrscheitel berücksichtigt das Modell 1. Der in der Abbildung 37 orange dargestellte Bereich entspricht dabei dem durch Materialverlust aufgelockertem Sand.

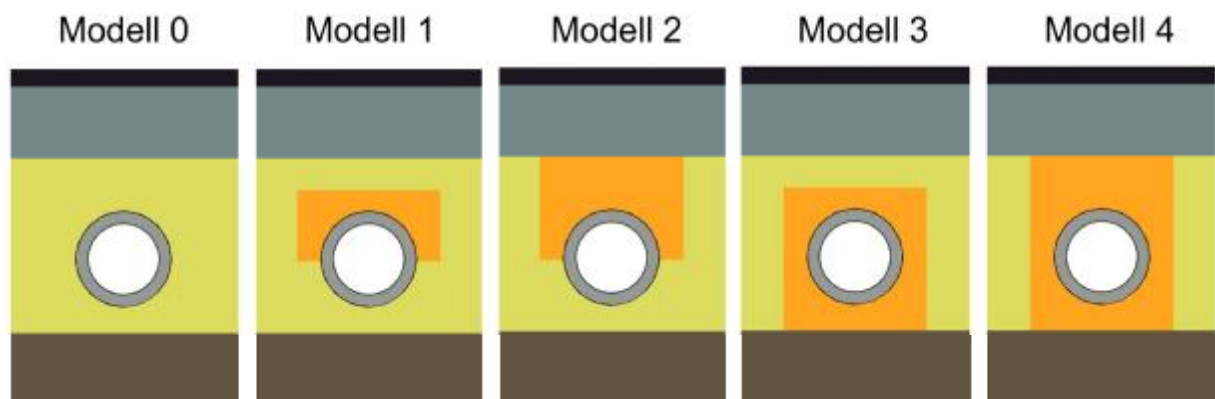


Abbildung 37: Szenarien zur rechnerischen Simulation der Schädigungen am Kanal

Bei den Untersuchungen (Kap. 2) ist deutlich geworden, dass bei einer Bodeninfiltration in den Kanal über einen längeren Zeitraum soviel Boden entweicht, dass der Verlust zum Nachsacken der darüber befindlichen Schichten führt. Das Modell 2 beschreibt eben diesen Zustand, dass über längere Zeit Material in den Kanal eingespült wird und es dadurch zu Auflockerungen oberhalb des Rohres kommt, die sich bis zu der Schottertragschicht fortsetzen. Infolge der Undichtigkeit ist auch mit einem Wasseraustritt zu rechnen, der das Rohrauflager und die Rohrbettung aufweicht. Entsprechend den Ergebnissen der Aufgrabungen ist hierbei nicht davon auszugehen, dass Sand aus dem Bereich des Rohraufagers ebenfalls in

den Kanal eingespült wird. Es zeigte sich vielmehr in allen Fällen, dass die Rohre vollflächig auflagen und auch die (aufgeweichte) Bettung intakt war. Um dieses Szenario auch in einem Modell zu berücksichtigen wurden die Modelle 3 und 4 programmiert, die im Wesentlichen den Modellen 1 und 2 entsprechen mit dem Unterschied, dass jetzt auch das Rohrauflager und das Bettungsmaterial durch austretendes Wasser aufgeweicht wurde.

### **3.2.2 Berechnungsergebnisse**

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Berechnungen mit der Finiten-Elemente-Methode dargestellt. In Voruntersuchungen und früheren Berechnungen hatte sich gezeigt, dass zur Veranschaulichung der Veränderung der Beanspruchung infolge der Schäden am Kanalrohr die Vertikalspannung besser geeignet sind als die Hauptspannungen oder die Spannungen nach der Gestaltänderungshypothese. Zudem wird die Belastung über eine vertikale Auflast in das System eingebracht. Die Vertikalspannung beschreibt dabei die gerichtete Spannung senkrecht zur Oberfläche in Richtung der z-Achse. Zusätzlich wird in den folgenden Abbildungen nur der direkte Bereich um das Rohr dargestellt, weil nur dort Veränderungen festzustellen sind. In der Einleitung (Kap. 1) ist bereits darauf hingewiesen worden, welche Auswirkungen ein im Straßenkörper liegendes Kanalrohr auf den Spannungszustand in der Verkehrsbefestigung hat. Dieses Szenario, entsprechend dem Modell 0 in Abbildung 37, stellt den Ausgangspunkt aller nachfolgenden Betrachtungen dar.

In der Abbildung 38 sind die Ergebnisse der Vertikalspannungen für das ungeschädigte Modell 0 dargestellt. An den beiden Bildern zeigt sich, wie die Spannungen von dem steifen Betonrohr angezogen werden. Da es sich bei den dargestellten Spannungen um Vertikalspannungen handelt, sind dieses insgesamt Druckspannungen. Lediglich im Betonrohr selbst treten durch die Verformung des Rohres auch Zugspannungen auf. Die vom Betrag her größten Druckspannungen werden durch eine blaue Farbe gekennzeichnet und nehmen über grün, gelb, orange bis hin zu rot ab. Im Betonrohr treten neben Druckspannungen (ebenfalls blau, grün), in Folge der Verformung des Betonrohres auch Zugspannungen und Querzugspannungen (rot, rosa) auf. Aus der eingeleiteten Radlast resultieren die größten Druckspannungen im Bereich der Asphaltenschicht. Durch die lastverteilende Wirkung der Schichten wird die Druckspannung über die Tiefe weiter reduziert. Etwa unterhalb der Schottertragschicht beginnt dann der Einfluss des Betonrohres.



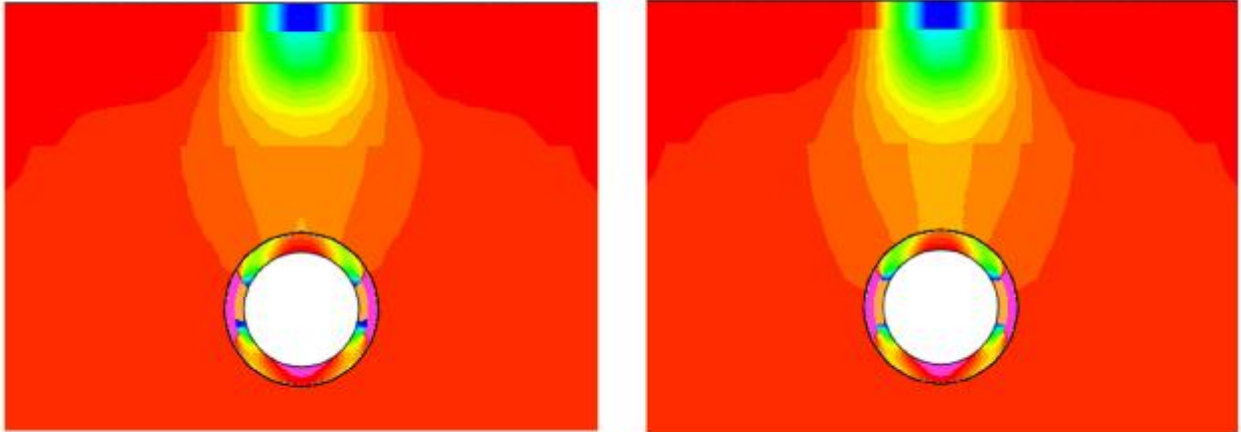


Abbildung 38: Spannungsverteilung der Vertikalspannungen im Modell 0 (Links:  $E_{\text{Asphalt}} = 10.000 \text{ N/mm}^2$ ; Rechts:  $E_{\text{Asphalt}} = 1.000 \text{ N/mm}^2$ )

Anstatt sich weiter gleichmäßig auszubreiten, werden die Vertikalspannungen von dem Betonrohr angezogen. Aus der Abbildung 38 kann man ebenfalls gut erkennen, dass bei einer weniger steifen Asphaltschicht (rechtes Teilbild) die Spannungen nicht so stark abgebaut werden, d. h. die Beanspruchung in Höhe des Rohrscheitels in diesem Fall größer ist.

Wird nun eine Schädigung des Aufbaus in Folge einer Auflockerung über dem Kanalrohr simuliert (Modell 1), ergeben sich die in Abbildung 39 dargestellten Vertikalspannungen.



Abbildung 39: Spannungsverteilung der Vertikalspannungen im Modell 1 (Links:  $E_{\text{Asphalt}} = 10.000 \text{ N/mm}^2$ ; Rechts:  $E_{\text{Asphalt}} = 1.000 \text{ N/mm}^2$ )

Wie die beiden Bilder verdeutlichen, trägt der im E-Modul reduzierte Bereich über dem Rohr nicht mehr so sehr zur Übertragung der Kräfte bei. Als Folge hieraus wird der Bereich höherer Vertikalspannungen breiter. An Hand der Farbgebung wird ebenfalls deutlich, dass die Spannungen im Bereich um das Rohr und im Rohr selbst dadurch reduziert werden. Deutlich zu erkennen ist weiterhin, dass durch eine nicht so steife Asphaltschicht die Vertikalspan-

nungen bis in eine größere Tiefe ausgeprägt sind und somit auch im Kanalrohr, unter diesen Randbedingungen, größere Spannungen hervorgerufen werden. Qualitativ bewirkt die Schädigung im Bereich des Rohrscheitels eine Reduzierung der maximalen Spannungen im Betonrohr auf etwa 80 % (bzgl. der Hauptspannungen) im Vergleich zum Modell 0. Auf der anderen Seite vergrößern sich die vertikalen Verformungen um 5 bis 6 %, was in der Folge zu einer Erhöhung der Zugspannungen an der Unterseite des Asphalttes von 8,5 bis 14 %, abhängig von der Richtung, in die die Spannung wirkt, führt. Wesentlich geringer ausgeprägt ist die Veränderung der Spannungen in der Konstruktion in Abhängigkeit von der Steifigkeit der Asphalttschicht. Im Modell 0 liegen die Spannungen bei einem E-Modul des Asphalttes von 1.000 N/mm<sup>2</sup> zwischen 1,5 und 2,5 % über denen einer Befestigung mit einem E-Modul des Asphalttes von 10.000 /mm<sup>2</sup>. In dem Modell 1 beträgt diese Differenz 2,2 bis 3,5 %.

Wird der Bereich der Auflockerungen noch weiter vergrößert (Modell 2), so werden der Einfluss und die Auswirkung der Schädigung noch deutlicher. In Abbildung 40 zeigt sich durch die ausgedehnte Störung des Bereiches zwischen Rohr und Schottertragschicht, dass die eingebrachten Lasten über einen größeren Bereich verteilt und in den Boden abgeleitet werden.

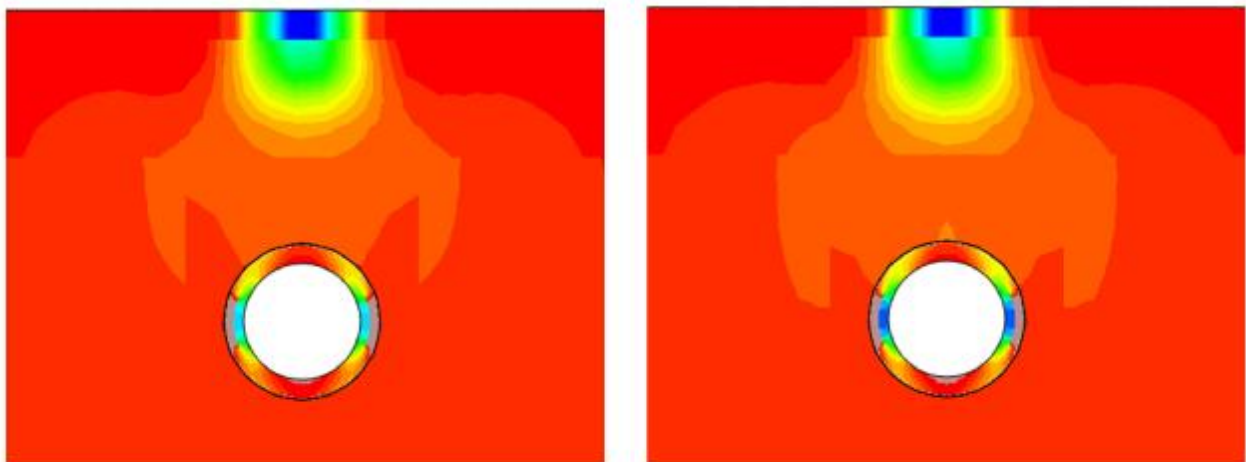


Abbildung 40: Spannungsverteilung der Vertikalspannungen im Modell 2 (Links:  $E_{\text{Asphalt}} = 10.000 \text{ N/mm}^2$ ; Rechts:  $E_{\text{Asphalt}} = 1.000 \text{ N/mm}^2$ )

Im Vergleich zum Modell 0 reduzieren sich so die Spannungen im Kanalrohr auf 69 bis 80 % (Hauptspannungen). Durch die Materialverluste und den daraus resultierenden Auflockerungen werden die Verformungen infolge der Radlast um 9 bis 11 % größer. In Folge dieser größeren Verformung sind die gerichteten Zugspannungen an der Asphaltunterseite 26 bis 36 % höher als im Modell 0. Der Einfluss der Steifigkeit der Asphalttschicht liegt zwischen 2,3 und 4,8 % bezogen auf das Modell mit einem E-Modul der Asphalttschicht von 10.000 N/mm<sup>2</sup>.

Die beiden Modelle 3 und 4 entsprechen den Modellen 1 und 2 mit dem Unterschied, dass zusätzlich eine Aufweichung der Rohrbettung simuliert wurde. Die Ergebnisse der Berechnungen in Form der Vertikalspannungen sind in den beiden Abbildungen 41 und 42 dargestellt.

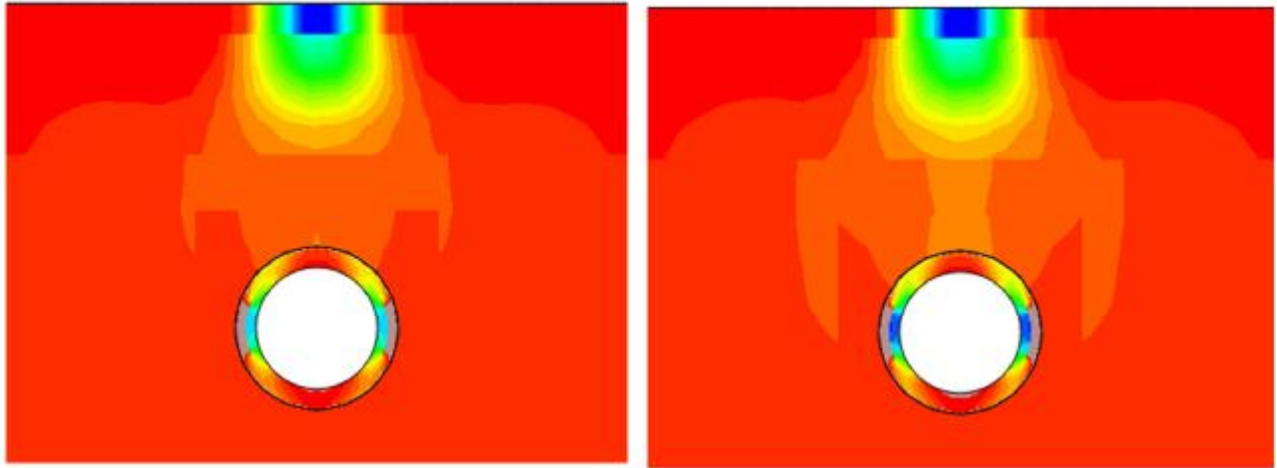


Abbildung 41: Spannungsverteilung der Vertikalspannungen im Modell 3 (Links:  $E_{\text{Asphalt}} = 10.000 \text{ N/mm}^2$ ; Rechts:  $E_{\text{Asphalt}} = 1.000 \text{ N/mm}^2$ )

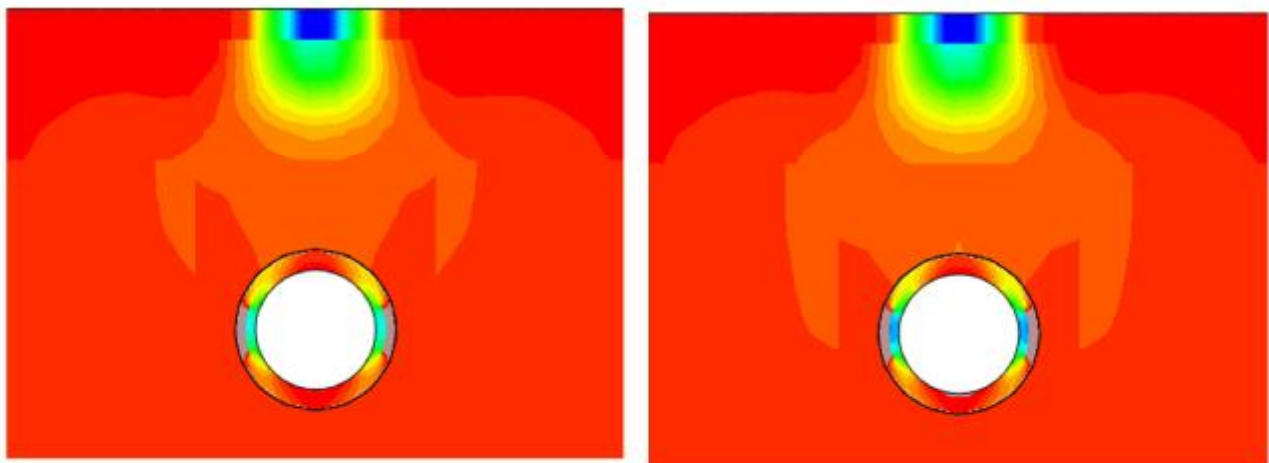


Abbildung 42: Spannungsverteilung der Vertikalspannungen im Modell 4 (Links:  $E_{\text{Asphalt}} = 10.000 \text{ N/mm}^2$ ; Rechts:  $E_{\text{Asphalt}} = 1.000 \text{ N/mm}^2$ )

Die beiden Abbildungen zeigen, dass sich die Ergebnisse, für die jeweils vergleichbaren Modelle, nur geringfügig unterscheiden. Im direkten Vergleich kann man erkennen, dass die Vertikalspannungen in den Modellen 3 und 4 auf Grund der Aufweichung der Rohrbettung über einen größeren Bereich abgebaut werden. Dies führt, im Vergleich zum Modell 0, zu reduzierten Hauptspannungen im Betonrohr. Qualitativ liegen diese für das Modell 3 bei 75 bis 84 % und für das Modell 4 bei 66 bis 77 % der Spannungen im Modell 0. Zudem ergeben sich aus der Belastung größere Vertikalverformungen im Vergleich zum ungeschädigten Modell von 6,5 bis 7,8 % (Modell 3) und 10,7 bis 12,6 % (Modell 4). Die Spannungserhöhung im Bereich der Asphaltsschicht sind vergleichbar mit denen der Modelle 1 und 2 und liegen, ab-

hängig von der betrachteten Richtung, bei 9,5 bis 15 % (Modell 3) und 27 bis 37 % (Modell 4).

Bei allen Untersuchungen, in denen ein geschädigter Zustand angenommen wurde, hat sich gezeigt, dass der Fahrbahnbefestigung die Aufgabe zukommt, die Auflockerungszone zu überbrücken und die aufgebrachten Radlasten auf den tragfähigen Boden links und rechts des Kanalrohres zu verteilen. Diese Spannungumlagerung führt somit, im Vergleich zum ungeschädigten Modell, zu höheren Spannungen im Bereich eines möglicherweise vorhandenen Hausanschlussrohres. Genau betrachtet liegt der Bereich höherer Spannungen infolge der Spannungumlagerungen soweit vom Kanal entfernt, dass nicht nur der Hausanschluss sondern vielmehr die erste Muffenverbindung nach dem Anschluss an das Hauptrohr betroffen ist.

### **3.2.3 Modell unter Berücksichtigung eines Hausanschlusses**

Da sich in den zuvor dargestellten Untersuchungen gezeigt hat, dass im Falle einer Aufweichung des Materials im Bereich des Hauptkanals, sich die Vertikalspannungen seitlich um diesen Bereich herum verteilen, kann vermutet werden, dass ein möglicher Hausanschluss hierdurch zusätzlich beansprucht wird. Um diese These zu untersuchen und um die Auswirkungen einer solchen Anschlusssituation allgemein beurteilen zu können, wurde im Folgenden das vorhandene Modell noch um einen in das Hauptrohr mündenden Hausanschluss erweitert. Ein Schnitt durch das 3D-Modell ist in der Abbildung 43 dargestellt. Der Hausanschluss hat einen Innendurchmesser von 150 mm, eine Wandstärke von 2 cm und ist in einem Winkel von 90° an den Hauptkanal angebunden. Die Annahmen der Materialeigenschaften des Hausanschlusses aus Steinzeug können der Tabelle 7 entnommen werden.

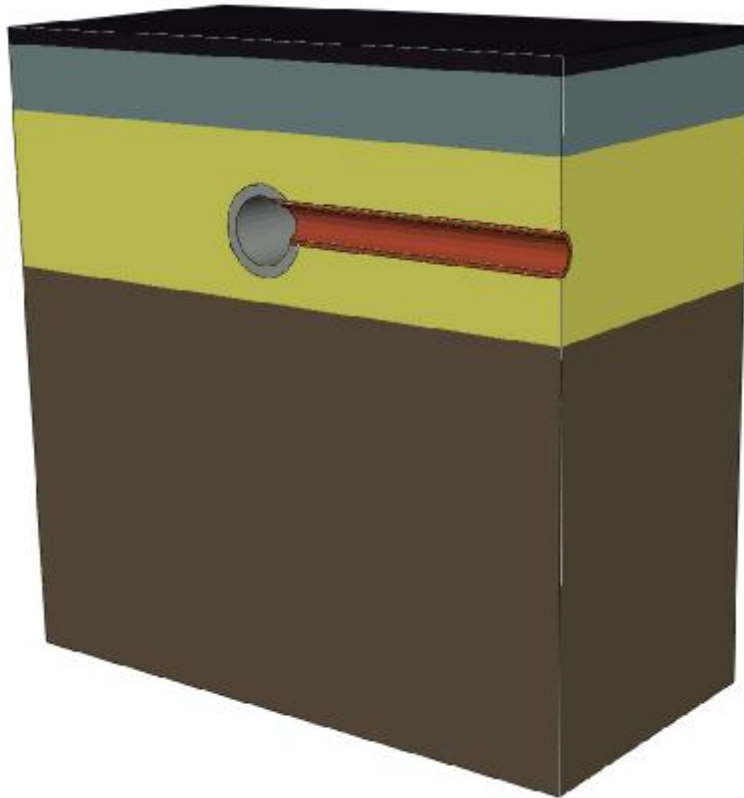


Abbildung 43: Schnitt durch das 3D-Modell, erweitert um ein Hausanschlussrohr im Winkel von 90°

Tabelle 7: Materialeigenschaften des Steinzeugrohres

Schicht	E-Modul (von – bis) [N/mm <sup>2</sup> ]	$\mu$ [-]
Steinzeugrohr	20000	0,4

Im Gegensatz zu den ersten Untersuchungen wurden an diesem System nur zwei Modellsituationen untersucht, entsprechend den Modellen 0 und 4 aus Abbildung 37. Diese beiden Szenarien stellen zum einen den ungeschädigten Zustand dar (Modell 0). Zum anderen ist der Zustand größter Schädigung berücksichtigt (Modell 4), d. h. sowohl die Bettung, als auch die Materialien oberhalb des Rohres sind bis zur Schottertragschicht aufgeweicht bzw. geschädigt. Zusätzlich zu einer Laststellung mittig über dem Hauptkanal wurden in diesem Modell auch die Beanspruchungssituationen im Straßenkörper ermittelt, die sich infolge einer Last ergeben, die versetzt zum Hauptkanal auf der Straßenoberfläche steht. Hierzu wurde die Last entlang des Hausanschlusses in Schritten vom Kanal wegbewegt.



### 3.2.4 Berechnungsergebnisse

Zur Darstellung der Ergebnisse werden wiederum die vertikalen Spannungen im System ausgewertet. Die Beanspruchungssituation infolge der Belastung mittig über dem Hauptkanal ist in Abbildung 44 dargestellt.

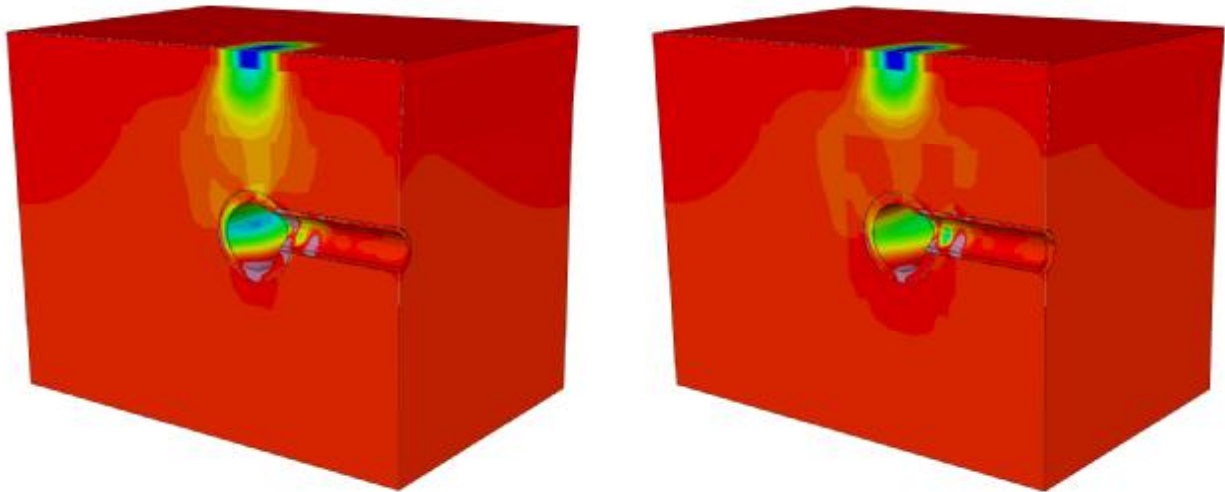


Abbildung 44: Vertikalspannungen im ungeschädigten System (Modell 0, links) und im geschädigten System (Modell 4, rechts)

Identisch zu den Ergebnissen der ersten Untersuchung zeigen sich auch hier deutlich die Auswirkungen eines steifen Rohres im Straßenkörper. Durch die dadurch verursachte Inhomogenität werden die Spannungen über die Tiefe nicht gleichmäßig abgebaut, sondern vom steifen Betonrohr angezogen. Zudem trägt der weiche bzw. aufgeweichte Bereich nicht zur Lastabtragung bei und die Vertikalspannungen verlagern sich um diesen Bereich herum. Als Folge hieraus ergeben sich geringere Spannungen im Rohr des Hauptkanals. Im Gegensatz zu den Berechnungen ohne einen Hausanschluss werden die Spannungen im Hausanschluss selbst durch die Spannungsumlagerungen bei vorhandenen Aufweichungen erhöht. In der Abbildung 44 kann man im Kontaktbereich des Steinzeugrohres mit dem Betonrohr des Hauptkanals gut erkennen, dass die Spannung dort zunimmt und somit die Scherbeanspruchung vergrößert wird. Grundsätzlich wird aber deutlich, dass durch das zusätzliche Vorhandensein des Hausanschlusses noch größere Störungen in der Lastausbreitung erzeugt werden.

In der Abbildung 45 sind die Ergebnisse von Berechnungen dargestellt, bei denen die Last nicht mittig über dem Hauptkanal, sondern versetzt dazu angeordnet sind. Auch hier wird deutlich, dass der gestörte Bereich zu einer Spannungserhöhung in dem Kontaktbereich der beiden Rohre führt, in dem grundsätzlich eine Spannungskonzentration auftritt. Ist die Last allerdings soweit von dem gestörten Bereich entfernt, dass dieser keinen Einfluss mehr auf

die Lastausbreitung hat, stellen sich, wie in Abbildung 45 (unten) zu erkennen, identische Spannungsverteilungen ein.

Bei der Betrachtung der oberen Schichten (Asphalt, Schottertragschicht) ergeben sich, wie bei den ersten Untersuchungen schon beschrieben, durch die Aufweichungen und den damit verbundenen größeren Setzungen auch größere Zugspannungen. Diese treten in diesem Fall auf Grund der geringen Dicke der Asphaltenschicht erst an der Unterseite der Schottertragschicht auf. Qualitativ erhöhen sich die Zugspannungen an der Unterseite der Schottertragschicht um etwa 26 %, d.h. in gleichem Maße wie dies auch bei den ersten Berechnungen bereits zu erkennen war.

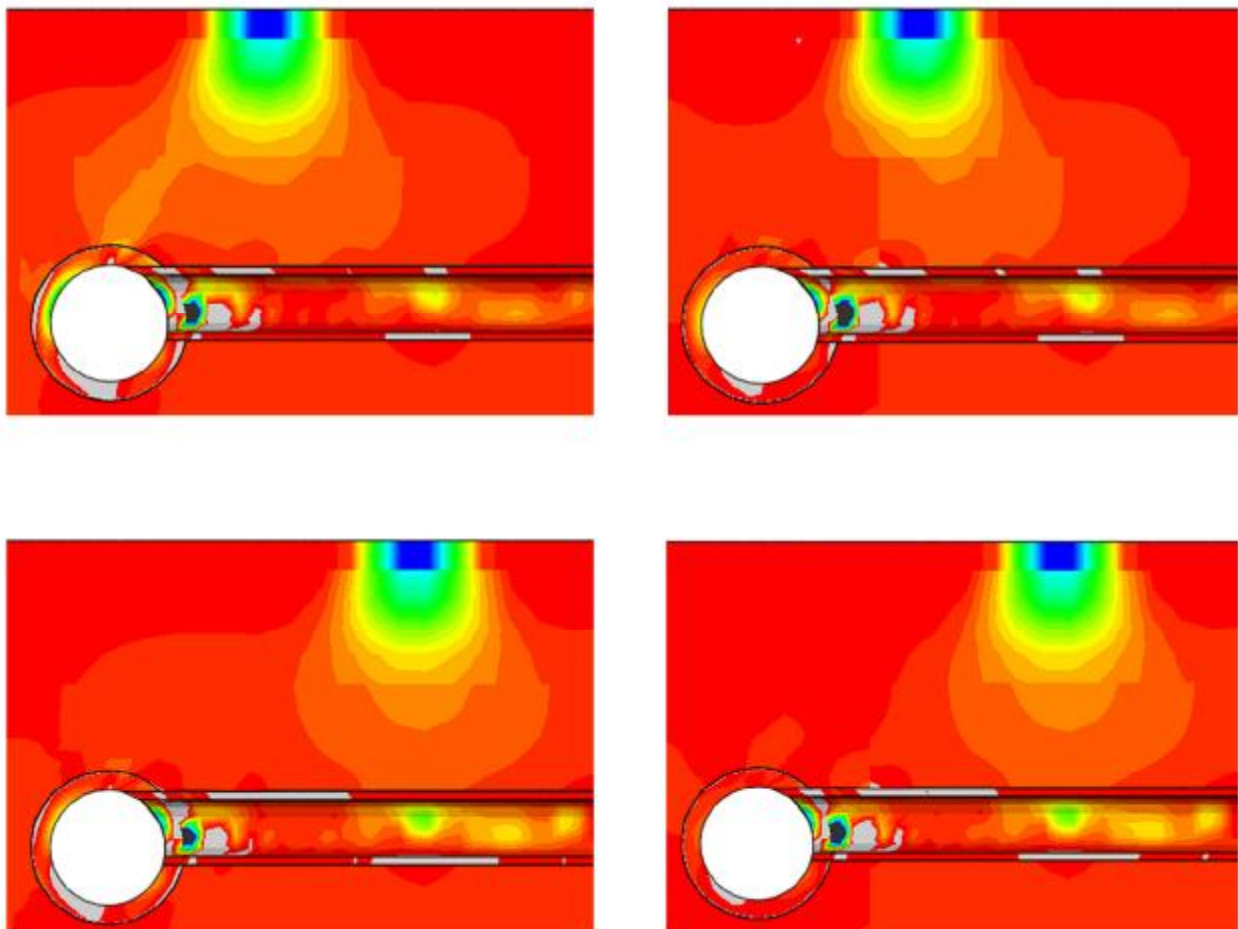


Abbildung 45: Vergleich der Vertikalspannungen bei unterschiedlichen Lastpositionen (links ungeschädigtes, rechts geschädigtes System)

### 3.2.5 Schlussfolgerungen aus den Berechnungen

Mit Hilfe der durchgeführten Finite-Elemente-Berechnungen konnte untersucht werden, welche Auswirkungen kanalschadensbedingte Gefügebrauchlockerungen auf die Beanspruchungssituation in der Fahrbahnbefestigung, der Rohrleitung sowie im Boden haben. Aus den Berechnungsergebnissen lassen sich die folgenden Schlussfolgerungen ableiten:

- Untersuchungen an dem oben beschriebenen ungeschädigten Modell unter Einsatz eines Materialmodells für das Betonrohr zur Bestimmung von strukturellen Schädigungen des Betons auf Grund der Belastung haben gezeigt, dass das Rohr eine Inhomogenität unterhalb der Fahrbahnbefestigung darstellt, wodurch eine gleichmäßige Lastausbreitung gestört wird. Die Vertikalspannungen konzentrieren sich auf den Bereich des steifen Betonrohres.
- Die Schäden an den Hausanschlussstutzen und den dadurch bedingten Infiltrationen von Sand bzw. Bettungsmaterial in den Kanal führen zu einer Störung im Gesamtgefüge und einer Spannungsumlagerung, die für das Kanalrohr selbst eine Reduzierung der im Inneren des Betonrohres auftretenden Spannungen bedeutet.
- Der Fahrbahnbefestigung kommt die Aufgabe zu, den gestörten Bereich zu überbrücken und die Vertikallasten auf den Boden seitlich neben dem Rohr zu verlagern. In der Fahrbahnbefestigung selbst führt dies zur Erhöhung der bemessungsrelevanten horizontalen Zugspannungen von 8 bis 37 %. Diese Erhöhung der Spannungen können, abhängig von ihrem maßgebenden Einfluss, zu einer Verkürzung der Lebensdauer der Verkehrsbefestigung führen. Rein rechnerisch bedeuten die Erhöhungen von 8 bis 37 % eine Reduzierung der Lebensdauer auf etwa 30 bis 70 %.
- Durch die sich, in Folge der Spannungsumlagerungen, ausbildenden höheren Vertikalspannungen im Bereich seitlich neben dem Kanalrohr, werden, im Vergleich zum ungeschädigten Modell, höhere Beanspruchungen eines hier ggf. vorhandenen Hausanschlussrohres verursacht. Hier befindet sich häufig die erste Muffe des Hausanschlussrohres. Dies ist der Bereich, der bei den Untersuchungen in der Stadt Rietberg häufig als Schadensstelle diagnostiziert wurde.
- Durch die Modellierung eines in das Hauptrohr mündenden Hausanschlusses konnte gezeigt werden, dass durch das Einbringen einer weiteren Inhomogenität noch größere Störungen der Spannungsausbreitung erzeugt werden als bei einem einzelnen Rohr. Zudem zeigt sich eine Spannungskonzentration im Bereich der Einmündung

des Steinzeugrohres in das Betonrohr, die durch die Aufweichungen weiter erhöht wird.

Die Berechnungen berücksichtigen die spezifische Situation in der Stadt Rietberg mit geringen Rohrüberdeckungen. Werden die Abwasserrohre in größerer Tiefe verlegt, so ergeben sich durch die größere Lastausbreitung der Verkehrslasten deutlich geringere Beanspruchungen für die Rohrleitung aus der Verkehrsbelastung. Zu berücksichtigen ist aber, dass kanalschadensbedingte Gefügauflockerungen und Sackungen sich auch dann nach oben bis hin zur Fahrbahnbefestigung ausbilden können. Insofern sind die Berechnungsergebnisse auch hierauf übertragbar.

## Literatur

ATV DVWK M-143

Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik (GfA) (Hrsg.): ATV-DVWK-M 143 Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen, Teil 2: Optische Inspektion; April 1999

Endom, J. (2007):

Georadarmessungen "Pilotstudie zur Erfassung von Schadensbereichen" im Auftrag der Stadt Rietberg; TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG; Hamburg, 2007 (unveröffentlicht)

Hoffmann, C. (2007):

Auswirkungen undichter Hausanschlussstutzen im Kanalnetz auf darüber befindliche Verkehrsflächenbefestigungen; Diplomarbeit am Fachbereich Bauingenieurwesen der Fachhochschule Lippe und Höxter; Detmold, November 2007 (unveröffentlicht)

Köhler, M.; Förster, M.-O.; Gerlach, A.; Lammering, T. (2007):

Zusammenhänge zwischen Straßen- und Kanalnetzschäden als Erkenntnisse aus einem Asset-Management-System -; in: Straße und Autobahn 58, Heft 12, S. 671-677

Shiata, S.; Baghdadi, Z.; Khan, A. (King Adulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia) (1987):

Influence of groundwater table fluctuation on performance of bases and subgrades; Proceedings of the International Symposium Prediction and Performance in Geotechnical Engineering, University of Calgary, Alberta, Canada; 1987; Offprint pp. 237 –243; A.A. Balkema, Rotterdam

Siedek, P.; Floss, R.: (1977):

"Boden als Baustoff" und "Erd- und Felsbau"; in: Wehner, B.; Siedek, P.; Schulze, K.-H. (Hrsg.): Handbuch des Straßenbaus, Band 2, Kapitel 21, S. 1 - 59 und Kapitel 25; S.159 - 261; Springer-Verlag; Berlin Heidelberg New York