

# Einsatzmöglichkeiten des Georadars als Verfahren zur Detektion und Bewertung von Lagerungsdefekten und Hohlräumen im Bereich erdverlegter Abwasserkanäle



für das



Ministerium für Umwelt und  
Naturschutz, Landwirtschaft und  
Verbraucherschutz des Landes  
Nordrhein-Westfalen

Förderkennzeichen: AZ IV – 9 – 042 3D7

Projektpartner:

- GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH, Achim
- GKE Consult Beratende Ingenieure GmbH, Bochum

Kurzbericht



Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen  
Mies-van-der-Rohe-Str. 1 • 52074 Aachen  
Tel: 0241 80 25207 • Fax: 0241 80 22285 • [isa@isa.rwth-aachen.de](mailto:isa@isa.rwth-aachen.de)

## Kurzbericht

zum Forschungsvorhaben:

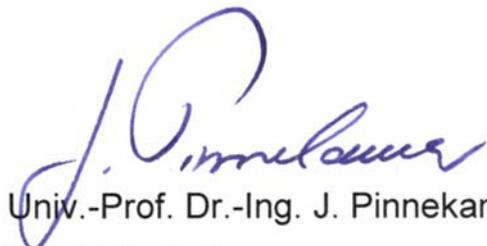
### „Einsatzmöglichkeiten des Georadars als Verfahren zur Detektion und Bewertung von Lagerungsdefekten und Hohlräumen im Bereich erdverlegter Abwasserkanäle“

AZ IV-9-042 3D7

für das



Aachen, im August 2007

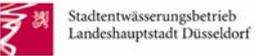


Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp  
(Projektleiter)

## Projektpartner

Partner		Bearbeiter
	<p>Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen                      Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp                      Mies-van-der-Rohe-Str. 1                      52074 Aachen                      Tel.: 0241 80 25207                      Fax: 0241 80 22285                      E-Mail: isa@isa.rwth-aachen.de                      www.isa.rwth-aachen.de</p>	<p>Dipl.-Ing. H. Stepkes                      Dipl.-Ing. J. Zimmermann                      Dr.-Ing. J. Hennerkes                      Dr.-Ing. K. Müller                      Dipl.-Ing. M. Siekmann</p>
	<p>Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH                      Im Finigen 6                      28832 Achim                      Tel.: 04202 987 430                      Fax: 04202 987 435                      E-Mail: JNiessen@wiebe.de                      www.wiebe.de/gbm</p>	<p>Dipl.-Ing. J. Niessen                      Dipl.-Geophys. D. Hofmann</p>
	<p>GKE Consult                      Beratende Ingenieure GmbH                      Dirschauer Straße 10                      44789 Bochum                      Tel.: 0234 30704 0                      Fax: 0234 30704 30                      E-Mail: Bochum@gke-consult.de                      www.gke-consult.de</p>	<p>Dr.-Ing. O. Schulz</p>

### Am Projekt beteiligte Kommunen

	<p>Stadtentwässerung Braunschweig GmbH                      Steinweg 26                      38100 Braunschweig</p>
	<p>Stadtwerke Aachen AG                      Lombardenstraße 12-22                      52070 Aachen</p>
	<p>Stadt Düsseldorf                      Stadtentwässerungsbetrieb                      40221 Düsseldorf</p>
	<p>Stadt Münster, Tiefbauamt                      Albersloher Weg 33                      48127 Münster</p>
	<p>Stadtwerke Essen AG                      Schnabelstraße 1                      45134 Essen</p>

## Inhalt

1	Veranlassung und Zielsetzung .....	1
2	Vorgehen.....	2
3	Das Georadar .....	3
4	Untersuchungen .....	6
4.1	Verwendete Messtechnik.....	6
4.1.1	Messsystem zum Einsatz auf der Straßenoberfläche .....	6
4.1.2	Meßsystem für den Einsatz aus dem Kanalrohr.....	8
4.2	Versuchsfeld .....	10
4.3	Untersuchungen in den Kommunen .....	10
4.4	Ergebnisse.....	11
4.4.1	Messungen auf dem Versuchsfeld .....	11
4.4.2	Messungen in den Kommunen.....	13
5	Datenmanagement und Visualisierung .....	14
5.1	Datenmodell.....	15
5.2	Georeferenzierung.....	17
5.3	Visualisierung .....	18
5.3.1	3-dimensionale Darstellungsform .....	18
5.3.2	2-dimensionale Darstellungsform .....	19
5.3.3	1-dimensionale Darstellungsform.....	20
6	Kosten der Georadaruntersuchung .....	21
7	Ausblick .....	21
8	Literatur .....	24

# 1 Veranlassung und Zielsetzung

Der bauliche Zustand der Abwasserkanäle wurde inzwischen aufgrund der gesetzlich vorgeschriebenen optischen Inspektion (SüwVKan) weitgehend erfasst, bewertet und klassifiziert. Mit diesen Erkenntnissen erfolgt unter Berücksichtigung hydraulischer Aspekte und weiterer Randbedingungen (z.B. Alter der Kanäle) eine Sanierungsplanung. Der Zustand des die Abwasserkanäle umgebenden Bodenkörpers ist jedoch in der Regel nicht bekannt und findet bislang kaum Eingang in die Entscheidung für oder gegen ein bestimmtes Sanierungsverfahren.

Bei der optischen Inspektion der Abwasserkanäle können aber Schäden festgestellt werden (Risse, Rohrbrüche etc.), die zumindest auf den möglichen Eintrag von Boden in den Kanal hinweisen. Wird Boden in den Kanal eingetragen, kommt es zu einer Veränderung des Bodengefüges und damit möglicherweise zu Hohlräumen, die im ungünstigsten Fall zu Tagbrüchen führen.

Das Georadar ist ein Verfahren, um zerstörungsfrei von der Erd- oder Straßenoberfläche Lagerungsanomalien festzustellen.

Entwicklungsbedarf besteht allerdings in der Anpassung der Radartechnologie an die speziellen Randbedingungen der Hohlraumfassung im Bereich von Kanalisationen. Da die Erfassbarkeit von Anomalien mit zunehmender Distanz zwischen Messgerät und Anomalie abnimmt, ist es erforderlich, Technologien zu entwickeln, die eine Erfassung von Hohlräumen aus dem Kanal heraus auch im nichtbegehbaren Nennweitenbereich ermöglicht.

Darüber hinaus sind für eine großflächige Anwendung des Georadars zur Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen in der Umgebung erdverlegter Abwasserkanäle

- geeignete Verfahren zur anwenderfreundlicheren Visualisierung und Bewertung der Messergebnisse,
- geeignete Schnittstellen zu vorhandenen Kanaldatenbanken und
- Verfahren zur Minimierung der Anzahl erforderlicher ergänzender Untersuchungen, wie z. B. Rammsondierungen

zu entwickeln.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war aus o.g. Gründen die Etablierung des Georadarverfahrens als zerstörungsfreie Erkundungsmethode für den großflächigen Einsatz zur Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen im Bereich erdverlegter Abwasserkanäle.

Um dies zu gewährleisten wurden im Rahmen des Vorhabens zunächst in einem Workshop die Anforderungen der Kanalnetzbetreiber und der Fachleute an ein solches System

erfasst werden. Hierauf aufbauend sollte durch theoretische Betrachtungen sowie praktische Einsätze des Georadarverfahrens unter verschiedenen repräsentativen Randbedingungen die Entwicklung von EDV-gestützten Visualisierungs- und Datenmanagementsystemen erfolgen. Im Einzelnen waren dabei folgende Aspekte zu beleuchten:

- Zusammenstellung von Einsatzrandbedingungen für den spezifischen Fall der Untersuchungen von Leitungszonen mittels Georadar unter Berücksichtigung von Kosten und Nutzen
- Aufbereitung und Management der anfallenden Rohdaten
- Priorisierung von ggf. erforderlichen weitergehenden Bodenerkundungen oder Sanierungsmaßnahmen auf Basis von Radaruntersuchungen unter Berücksichtigung der Ergebnisse der TV-Inspektion.

Weiterhin sollte parallel durch die Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH zum Vorhaben durch Neu- und Weiterentwicklung bzw. Modifizierung von Georadar-Systemen eine Anpassung an den Abwassersektor erfolgen. Insbesondere sollten hierbei Systeme entwickelt werden, die

- aus dem Kanal heraus
- berührungslos mittels rotierender Hornantennen
- bei geringen Nennweiten (ab DN 300)

eingesetzt werden können und zuverlässige Ergebnisse liefern.

## 2 Vorgehen

Um die Erfahrungen mit dem Umgang eines Georadar-Messsystems weiter zu vertiefen, wurden in den Städten Aachen, Braunschweig, Düsseldorf, Essen und Münster umfangreiche Feldmessungen durchgeführt. Die hierbei erkannten Signaturen von Anomalien wurden mit den Messergebnissen abgeglichen, die ergänzend auf einem künstlich hergestellten Versuchsfeld in Aachen gewonnen wurden. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine Weiterentwicklung der Erkennung und Klassifizierung der mit dem Messsystem festgestellten Anomalien im Bodenkörper. Zur Weiterverarbeitung der umfangreichen Messdaten wurde unter Berücksichtigung der Anforderungen der Kommunen ein Datenmanagementsystem entwickelt. Dieses erlaubt zum einen die gewünschte Verknüpfung der Messergebnisse mit einem Kanalinformationssystem und ermöglicht zum anderen eine Darstellung der Messergebnisse, die es gestattet, auch ohne spezielles Fachwissen die Ergebnisse in planerische Maßnahmen einzubinden.

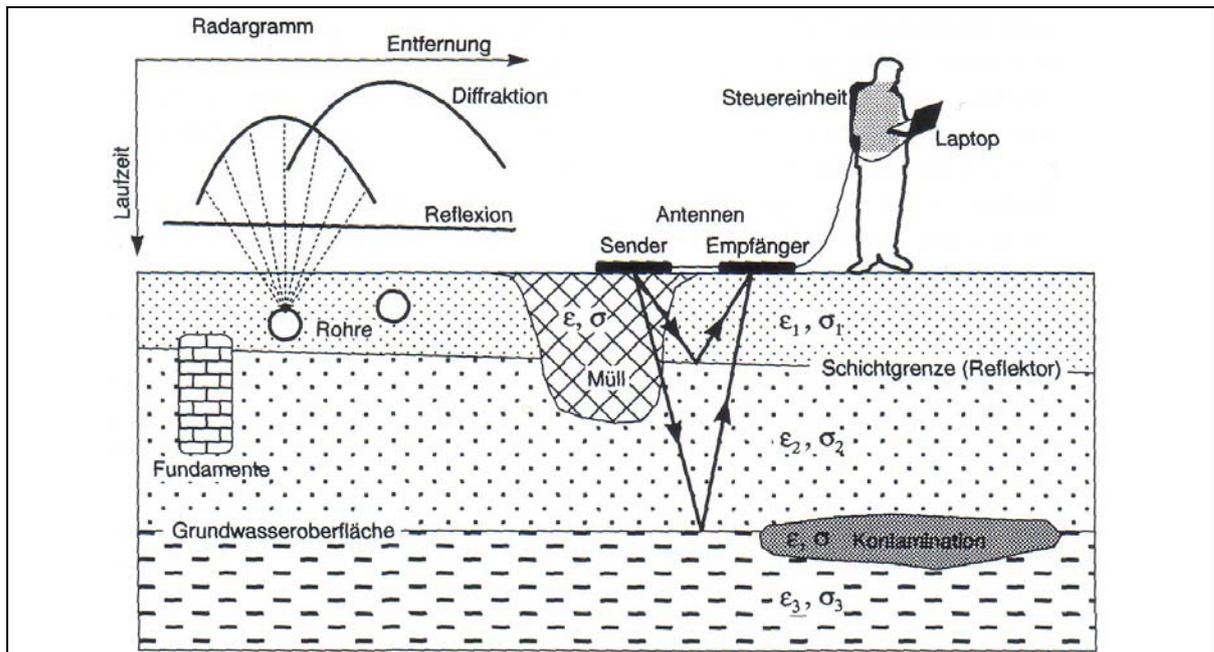
Für Georadaruntersuchungen aus nichtbegehbaren Kanälen heraus wurde ein Kanalroboter als Labormuster durch die Firma Wiebe Gleisbaumschienen GmbH entwickelt.

### 3 Das Georadar

Für die Erkundung des Erdaufbaus und der Darstellung der oberen Erdschichten stehen den Geologen verschiedenste Verfahren und Methoden zur Verfügung, die je nach Aufgabenstellung zur Anwendung kommen können. Untersuchungen von KABBE et al. (2003) klassifizieren die Verfahren der Seismik, des Georadars und des Ultraschalls als grundsätzlich geeignet, um Anomalien in der Bettung oder bei den Werkstoffeigenschaften zu erfassen. Das Georadar hat sich bisher als das effizienteste Verfahren zur Identifizierung und Lokalisierung von Lagerungsdefekten und Hohlräumen herausgestellt (vgl. auch HARTMANN und SCHULZ, 2002).

#### Funktionsprinzip des Georadars

Bei dieser geophysikalischen Messmethode werden über eine Antenne kurze elektrische Impulse in den Boden gesendet. Trifft die elektromagnetische Welle auf ihrem Weg durch den Boden auf eine Grenzschicht, d.h. einen Wechsel von Bodenschichten mit unterschiedlichen elektromagnetischen Eigenschaften ( $\epsilon$ : Dielektrizitätskonstante,  $\sigma$ : elektrische Leitfähigkeit), wird ein Teil der Energie reflektiert und von der Empfangsantenne aufgezeichnet (s. Bild 3.1).



**Bild 3.1: Funktionsweise des Georadars (KNÖDEL et al., 1997)**

Die Reflexion ist umso deutlicher ausgeprägt, je mehr sich die elektromagnetischen Eigenschaften ( $\epsilon$ ,  $\sigma$ ) des Bodens unterscheiden. Der restliche Energieanteil der Welle wird transmittiert und dringt somit in tiefer gelegene Bodenschichten ein. Die Tiefenlagen der einzelnen Grenzschichten können über die Geschwindigkeit und die Laufzeit der Welle ermittelt werden.

Vorteile des Georadars liegen in einer zerstörungsfreien Untersuchung des Bodens und in der hohen vertikalen und horizontalen Auflösung. Die Untersuchungsergebnisse können in Echtzeit visualisiert und bei Bedarf vor Ort analysiert werden. Es können beispielsweise Rohrleitungen, Kabel, anthropogene Einlagerungen, Hohlräume, Tonlinsen, Eiskeile sowie Torfvorkommen geortet, ferner Sediment- und Bodenstrukturen, Abgrenzungen von Anomalien und Homogenbereichen sowie Grundwasserspiegellagen mit dem Georadar untersucht werden (s. Bild 3.1). Sind oberflächennah feuchte Tone und Schluffe, Wässer mit Salzfracht, eisenhaltige Schlacken o. ä. vorhanden, kann das Verfahren jedoch nur bedingt oder gar nicht eingesetzt werden (KNÖDEL et al., 1997).

Dargestellt werden Georadarmessungen üblicherweise als Radargramm, das sich aus der Summe der Einzelspuren oder auch Radarscans zusammensetzt. Da die Amplitude der reflektierten Welle über die Laufzeit aufgetragen wird (ALTEKÖSTER, 2004), werden Objekte nicht realitätsgetreu wiedergegeben. Für eine erfolgreiche Interpretation ist die Kenntnis der Wellengeschwindigkeit im Medium notwendig. Da die genaue Geschwindigkeit der Welle im Boden ohne Kenntnis der Bodenparameter nicht möglich ist, bleibt in der Regel ein Restfehler (DANIELS, 2004; LECKEBUSCH, 2001). Die Analyse eines Radargramms wird durch die Eigenschaften der elektromagnetischen Welle zusätzlich erschwert. So können z. B. Mehrfachreflexionen auftreten, die zu Überlagerungen von Wellensignalen aus tiefer gelegenen Schichten führen können. Starke Reflektoren (z. B. Metallteile) sind ein weiteres Problem bei der Auswertung von Radargrammen. Sie können das Signal so weit abschwächen, dass für die folgenden Grenzschichten die Reflexionsenergie nicht ausreicht und Aussagen über den Strukturaufbau tiefer gelegener Schichten nicht mehr möglich sind (LECKEBUSCH, 2001). Auch die Form des Objektes beeinflusst die Radargrammanalyse. Z. B. kann eine auf einen pyramidenförmigen Körper treffende Welle derart abgelenkt werden, dass sie von den Empfangsantennen nicht registriert wird.

### **Bisherige Untersuchungen für den Einsatz des Georadars**

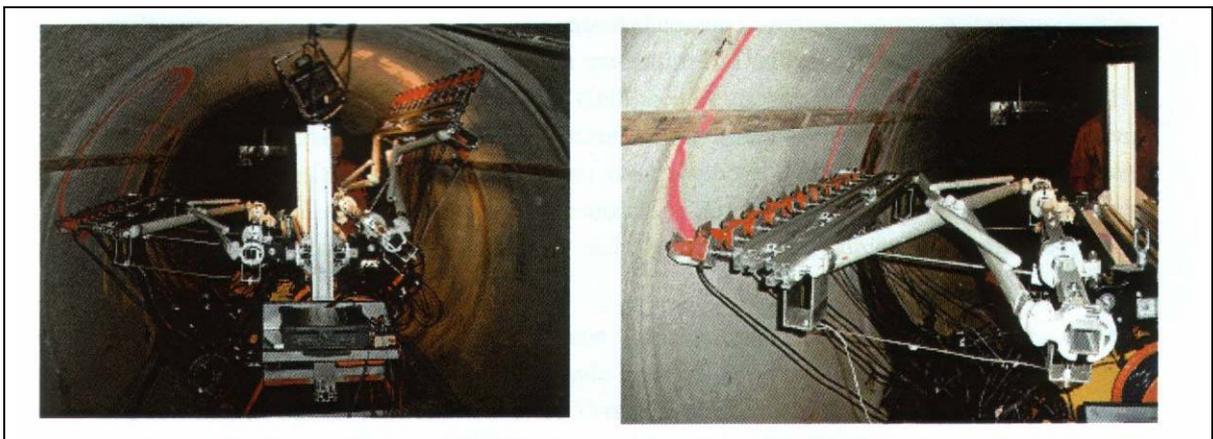
Eine Hohlraumdetektion mittels Georadar kann prinzipiell von der Geländeoberfläche oder aus dem Kanal heraus erfolgen. Eine räumlich gestaffelte Messung, d. h. die kanalachsenparallele, zeitgleiche Aufnahme mehrerer Messspuren ermöglicht eine umfassende Bewertung des gesamten Kanalumfeldes. Ein solches Messsystem der Firma Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH kommt seit Herbst 2003 zum Einsatz, z. B. in Braunschweig.

Georadarmessungen aus dem Kanalrohr heraus werden für den nicht begehbaren Nennweitenbereich ab DN 250 derzeit nur von einem Dienstleistungsunternehmen aus den Niederlanden angeboten (Fa. M.J.Oomen Groep, Sprundel, NL). Vorteil dieser Messmethodik ist, dass die Hohlräume, die in der näheren Umgebung des Kanals erwartet werden, aufgrund der geringen Distanz zwischen Sender/ Empfängereinheit und Boden-anomalie mit hoher Auflösung erfasst werden können. Nachteilig ist der Zeitaufwand für die Messun-

gen, da der Messwinkel der Antennen  $90^\circ$  beträgt und somit vier Durchfahrten zur Erfassung des gesamten Rohrumfeldes nötig sind (HARTMANN und SCHULZ, 2002).

Im Rahmen des Vorhabens „Detektion von Lagerungsdichten und Hohlräumen in der Umgebung erdverlegter Abwasserkanäle“ (HARTMANN und SCHULZ, 2002) wurden das Georadar und eine Gamma-Gamma-Dichtesonde als zerstörungsfreie, geophysikalische Messverfahren im Rahmen einer Dienstleistungsvergabe getestet. Als Ergebnis des Vorhabens wurde das konventionelle Georadar für eine qualitative Abschätzung der Lagerungsdichte von der Oberfläche und aus dem Kanal heraus als geeignet angesehen.

Das Georadar war auch Gegenstand im Rahmen des Forschungsvorhabens "Quantitative Inspektion von Abwasserkanälen und -leitungen mittels geophysikalischer Verfahren" (KABBE et al., 2003). Verschiedene Verfahren wurden unter definierten Bedingungen in einem großtechnischen Versuchsfeld eingesetzt, in das als Boden-anomalien auch Auflockerungen und Hohlräume eingebracht wurden. Die Messungen erfolgten mit dem Georadar in einem begehbaren Versuchskanal (DN 2200 Stahlbeton, DN 2000/1800 Ort beton und Mauerwerk). So genannte Schmetterlingsantennen wurden an die Kanalwandung angepresst und glitten während der Messkampagne an dieser entlang (Bild 3.2).



**Bild 3.2 Labormuster des Kanalmesswagens zur Durchführung routinemäßiger Kanalerkundungen (KABBE et al., 2003)**

Die generell gute Eignung des Georadars wurde neben der Seismik und dem Ultraschall/Impactecho zur Erfassung des Baugrundes bestätigt.

Entwicklungsbedarf bestand aber besonders noch in der Verkleinerung der Messtechnik, der Schnelligkeit der Messungen von der Straßenoberfläche aus sowie einer Messvorrichtung, die kontinuierliche Messungen auch in nichtbegehbaren Kanälen ermöglicht.

## 4 Untersuchungen

### 4.1 Verwendete Messtechnik

Im Folgenden werden die zum Einsatz gekommene Messtechnik, die Untersuchungen im Versuchsfeld und in den beteiligten Kommunen Aachen, Braunschweig, Düsseldorf, Essen und Münster dargestellt.

#### 4.1.1 Messsystem zum Einsatz auf der Straßenoberfläche

Für die Georadarmessungen wurde das Messsystem der Firma GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH eingesetzt. Die gesamte Messtechnik befindet sich auf dem „Georail® Sprinter“ sowie dem dazugehörigen Anhänger (siehe Bild 4.1 und Bild 4.2).



**Bild 4.1: Messfahrzeug „Georail® Sprinter“**

**Bild 4.2: Anhänger mit Messtechnik**

Die Messtechnik besteht im Wesentlichen aus den Komponenten ① Antennenarray der Fa. GSSI Modell TerraVision®, ② GPS, ③ Kamera und ④ Weggeber.

Verwendet werden Schmetterlingsdipolantennen, die während der Messung einen Abstand zur Fahrbahn von ca. 2 bis 3 cm haben. Das Antennenarray besteht insgesamt aus 14 bistatischen 400 MHz Antennen, von denen sieben Antennen in Fahrtrichtung und sieben Antennen quer zur Fahrtrichtung messen. Durch eine Messung in beide Richtungen können Objekte wie Leitungen im Boden erkannt werden. Der Antennenaufbau ermöglicht eine theoretische Messbreite von 1,68 m, die sich im Boden mit der Tiefe vergrößert.

Das GPS erfasst die Koordinaten, mit deren Hilfe eine nachträgliche Georeferenzierung der ausgewerteten Radargramme erfolgen kann. Da das GPS-System eine künstlich erzeugte Ungenauigkeit besitzt, wird ein Referenzdienst verwendet, der im Vorhaben eine Genauigkeit von  $\delta \approx 35$  cm besaß (NIESSEN, 2006).

Mit einer digitalen Kamera am Anhänger des „Georail® Sprinters“ wird während der Messung die abgefahrte Wegstrecke gefilmt und gespeichert. Eine wichtige Information ist die Erfassung der Schachtdeckel. Zudem werden störende Einflüsse im Verlauf der Messung registriert und festgehalten. Diese können durch parkende Autos oder durch eine Unterbrechung des GPS Signals durch Brücken und störenden Baumbewuchs entstehen.

Ein inkrementaler Weggeber (Hohlwellendrehweggeber) steuert die einzelnen Scans der Antennen während der Messung. Das Messsystem führt alle 5 bzw. 2,5 cm einen Scan durch, woraus sich eine Scannrate von 20 bzw. 40 Scans pro Meter ergibt. Für die präzise Abstimmung der einzelnen Scans gibt der Drehgeber eine Information über die zurückgelegte Wegstrecke an die Messeinheit. Damit wird sichergestellt, dass bei einem stehenden Fahrzeug nicht zusätzliche Messungen durchgeführt werden.

Während der Messung orientiert sich der Fahrer zum Erfassen der Kanaltrasse an den Schachtdeckeln. Zu Komplikationen können parkende Autos, Straßenverkehr, ungünstige Lage der Schachtdeckel, geringe Wendemöglichkeiten in Einbahnstraßen, Sackgassen oder kleinen Stichstraßen sowie der Wechsel der Kanaltrasse über mehrere Fahrspuren führen.

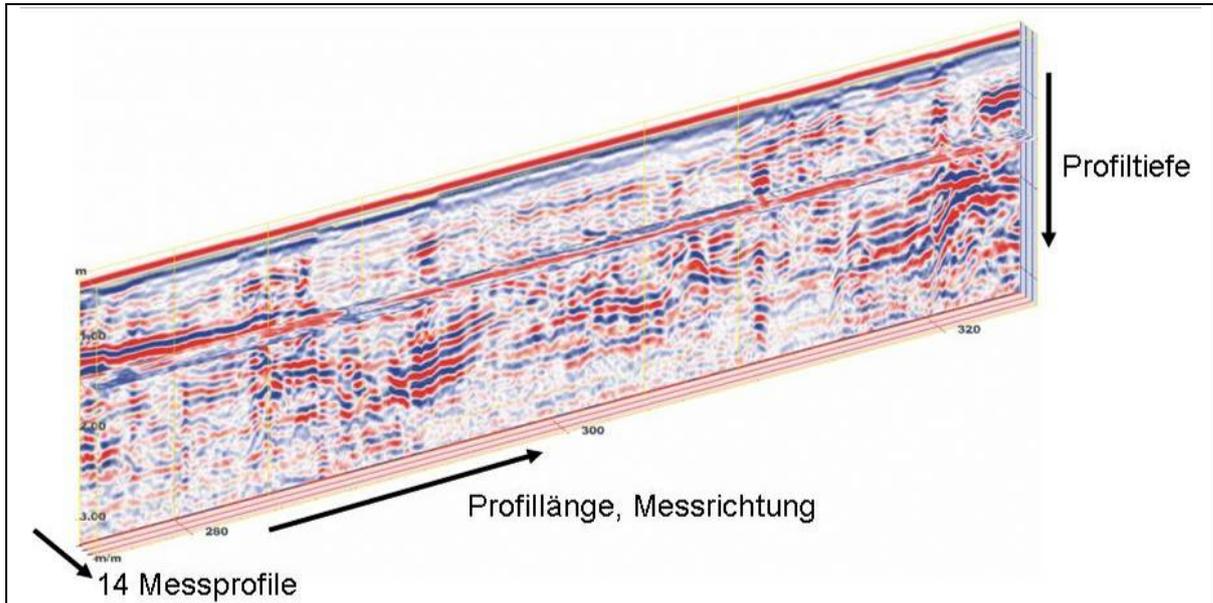
Die Rüstzeiten für das verwendete Messsystem belaufen sich auf ca. eine Stunde vor Messbeginn. Ortswechsel zwischen den Messungen verursachen zusätzliche Auf- und Abbauzeiten, die zu koordinieren und einzuplanen sind.

Die Messgeschwindigkeit wird durch das Antennenarray begrenzt. Die zzt. vorhandene Hardwarekonfiguration ermöglicht eine Messgeschwindigkeit von 12 km/h bei 20 Scans pro Meter. Bei einer Auflösung mit 40 Scans pro Meter verringert sich die Messgeschwindigkeit auf 6 km/h. Die Tagesleistung des „Georail® Sprinters“ beträgt ca. 20-50 km Fahrspur pro Tag. Durch eine zu erwartende Steigerung der Leistungsfähigkeit der Hardware werden zukünftig Messfahrten im fließenden Verkehr möglich sein. Die zu speichernde Datenmenge beträgt pro km erfasster Fahrspur ca. ein GB (1024 MB).

Die Messungen werden in Radargrammen dargestellt und durch Geologen ausgewertet. Die in dem aufgezeichneten Radargramm dargestellten Reflexionsmuster werden je nach reflektierter Wellenlänge verschieden eingefärbt. Anschließend wird mit der Auswertungssoftware mit Filtern das sogenannte Rauschen unterdrückt, um Kontraste zu erhöhen und Störungen bzw. Anomalien hervorzuheben.

Es können alle 14 erfassten Messspuren abgebildet werden (Bild 4.3), so dass eine 3-dimensionale Darstellung des Bodenkörpers erzeugt wird. In weiteren Schritten wird mit Hilfe des vorhandenen Kartenmaterials, den Haltungsdaten, den GPS-Daten und der Videoaufzeichnung die Lage von Schächten etc. bestimmt und in die Darstellung einge-

zeichnet. Mit Hilfe einer entsprechenden Datenbankstruktur und des dazugehörigen Datenmanagements kann dieser Schritt teilweise automatisiert werden.



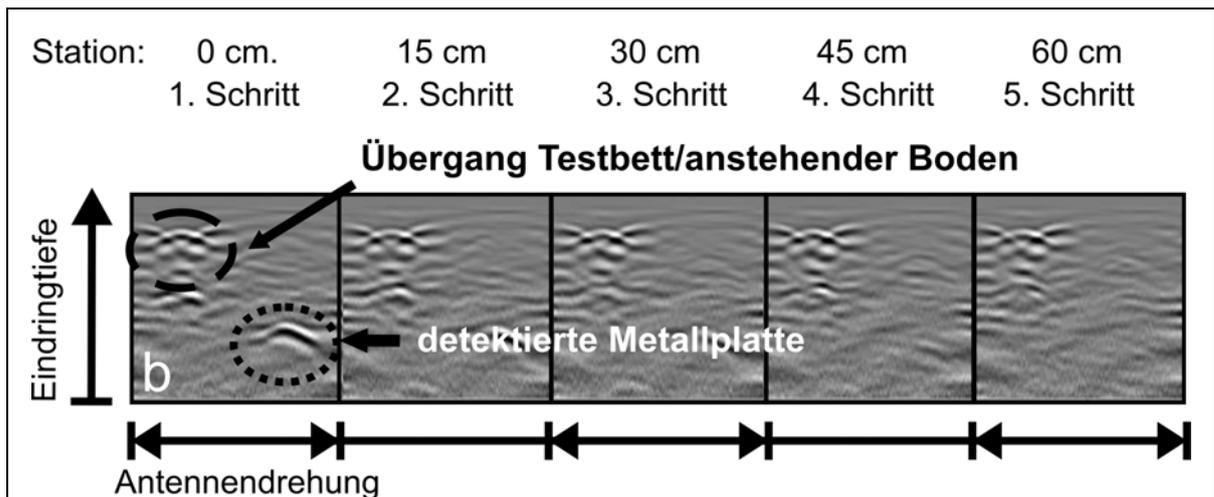
**Bild 4.3:** Dreidimensionale Darstellung der Messergebnisse

#### 4.1.2 Meßsystem für den Einsatz aus dem Kanalrohr

Für die Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen in der Leitungszone wurde ein Labormuster eines Kanalroboters entwickelt. Mit diesem können Messungen aus dem Kanalrohr heraus durchgeführt werden. Das Labormuster wurde zunächst für Rohre DN 600 entwickelt.

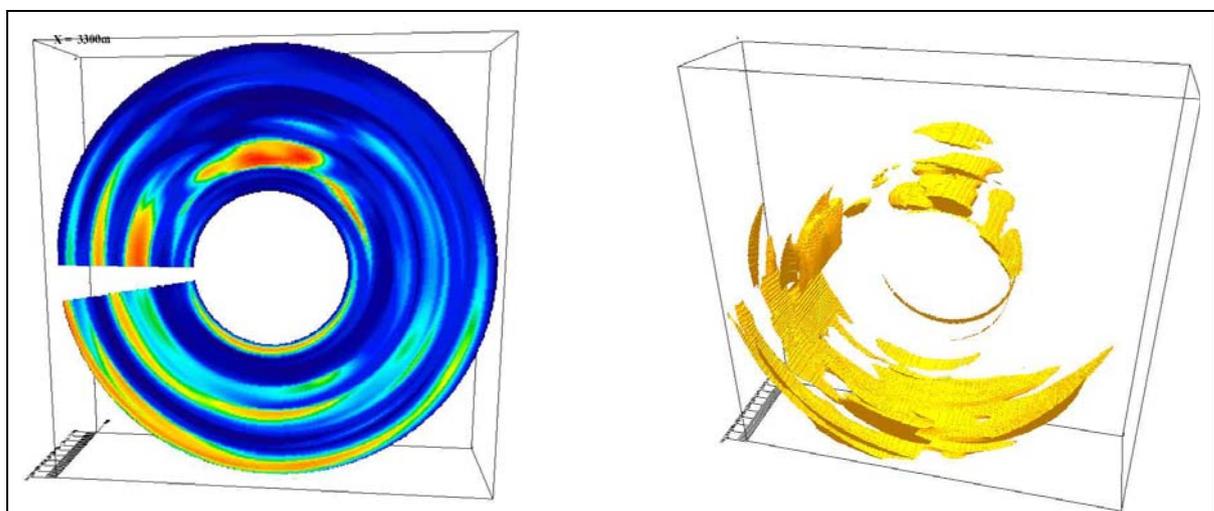
Der Kanalroboter bewegt sich in vorgegebenen Schrittweiten durch die Leitung. Aufgrund der Datenübertragung über ein an der Antenne angeschlossenes Kabel kann bei dem Labormuster zzt. nur jeweils eine 360° Drehung erfolgen. Anschließend muss die 900 MHz Schmetterlingsantenne wieder in ihre Ausgangsposition zurückgestellt werden. Der Roboter fährt wieder ein Stück vor und an der Rohrwandung entlang erfolgt der nächste 360°-Scan. Die Reichweite des Radars beträgt ca. 1 – 2 m in den umgebenden Bodenkörper.

In Bild 4.4 sind 5 Radargramme dargestellt, die in Schrittweiten á 15 cm erstellt wurden. Es ist das Reflexionsmuster einer der über der Leitung befindlichen Metallplatten sowie der Übergang des Testbettes (Sand) zum anstehenden gewachsenen lehmigen Boden zu erkennen.



**Bild 4.4: Radargramm von Kanalrobotermessungen, Schrittweite 15 cm**

In Bild 4.5 sind zwei verschiedene Auswertungen dargestellt. Links ist ein Radargramm zu einer ringförmigen Darstellung aufbereitet. Da der Roboter in diesem Fall keinen vollständigen Umlauf entlang der Rohrwandung durchführte, fehlt ein Kreisringsegment. Die in gelben Farbtönen gehaltenen Signale, die auf eine Anomalie hindeuten, sind im rechten Bild aus den Einzelradargrammen räumlich zusammengestellt worden. Die Bereiche zwischen den einzelnen Schritten wurden interpoliert, so dass eine durchgehende Struktur dargestellt werden kann.



**Bild 4.5: Auswertung und Visualisierung**

In der weiteren Entwicklung des Kanalroboters ist die Übertragung der Daten über einen Schleifkontakt bzw. drahtlos (Bluetooth etc.) vorgesehen, damit eine kontinuierliche, spiralförmige Messung erfolgen kann. Auch die Bereifung und die Elektronik werden dann den Gegebenheiten in einem Kanal (Feuchtigkeit, Ex-Schutz usw.), angepasst werden.

## 4.2 Versuchsfeld

Zur Erprobung der Messtechnik und für die Gewinnung von Referenzdaten wurde ein Versuchsfeld mit den Abmessungen ca. 7 m x 15 m und einer Tiefe von ca. 3,5 m angelegt. In das Versuchsfeld wurden zwei Rohrleitungsstränge aus Beton und Stahlbetonrohren mit DN 600 sowie aus PE und Steinzeug DN 300 verlegt. Die jeweiligen Rohrstränge waren an Schächten angeschlossen und zugänglich. Zur Simulation eines Grundwasserspiegels im Versuchsfeld wurde dieses zu den Seiten und nach unten mit einer Folie abgedichtet. Die Wasserbeaufschlagung und die Ableitung von Sickerwasser erfolgte über eine Drainage.

In das Versuchsfeld wurden Metallplatten, verschieden geformte Styropor<sup>®</sup>-Körper und ein hälftig mit Wasser gefüllter Kunststoff sack als Störkörper eingebracht.

## 4.3 Untersuchungen in den Kommunen

In fünf Kommunen wurden nach Vorgabe der jeweiligen Entwässerungsbetriebe Straßenzüge mit dem Georadar-Messsystem gescannt. Ausgewertet wurden jeweils ca. 600 m der befahrenen Straßen, ebenfalls nach Vorgabe der Entwässerungsbetriebe.

Die Stadt **Aachen** wählte ein Untersuchungsgebiet, in dem noch keine weiteren Informationen über den Zustand der Kanalisation vorlagen. Insgesamt wurden 3.035 m Straßenabschnitte mit dem TerraVision<sup>®</sup> System gescannt. Die Stadtwerke **Essen** AG benannten für die Georadaruntersuchungen Straßenzüge, bei denen Sie vermuteten, dass es zu Hohlraumbildungen oder Lagerungsdefekten gekommen sein könnte. Es wurden 715 m Straßen mit dem Georadarsystem befahren.

Die Stadt **Braunschweig** wählte zur Befahrung drei Straßenabschnitte aus, bei denen die optische TV-Inspektion der Abwasserkanäle Schadensbilder zeigte, die die Entstehung von Lagerungsdefekten oder Hohlräumen vermuten ließen. Es wurden hier Straßenabschnitte mit insgesamt 1.610 m Länge gescannt.

Die Stadt **Düsseldorf** hat im Stadtteil Oberkassel wiederholt Probleme mit Tagbrüchen. In mehreren Straßenzügen wurde aufgrund der örtlichen Gegebenheiten (schmale Straßen mit starkem Anliegerverkehrsaufkommen) die Kanalisation in Stollenbauweise erstellt. Beim Bau der Stollen wurde eine verlorene Schalung aus Holz gewählt. Nach Einbau der Kanalrohre wurde der verbleibende Hohlraum nicht immer vollständig mit einem Dämmstoff verfüllt. Zusammen mit den verrottenden Holzschalungen bildeten sich Hohlräume, die zu Tagbrüchen führen. Es wurden 8.212 m Straßenabschnitte gescannt.

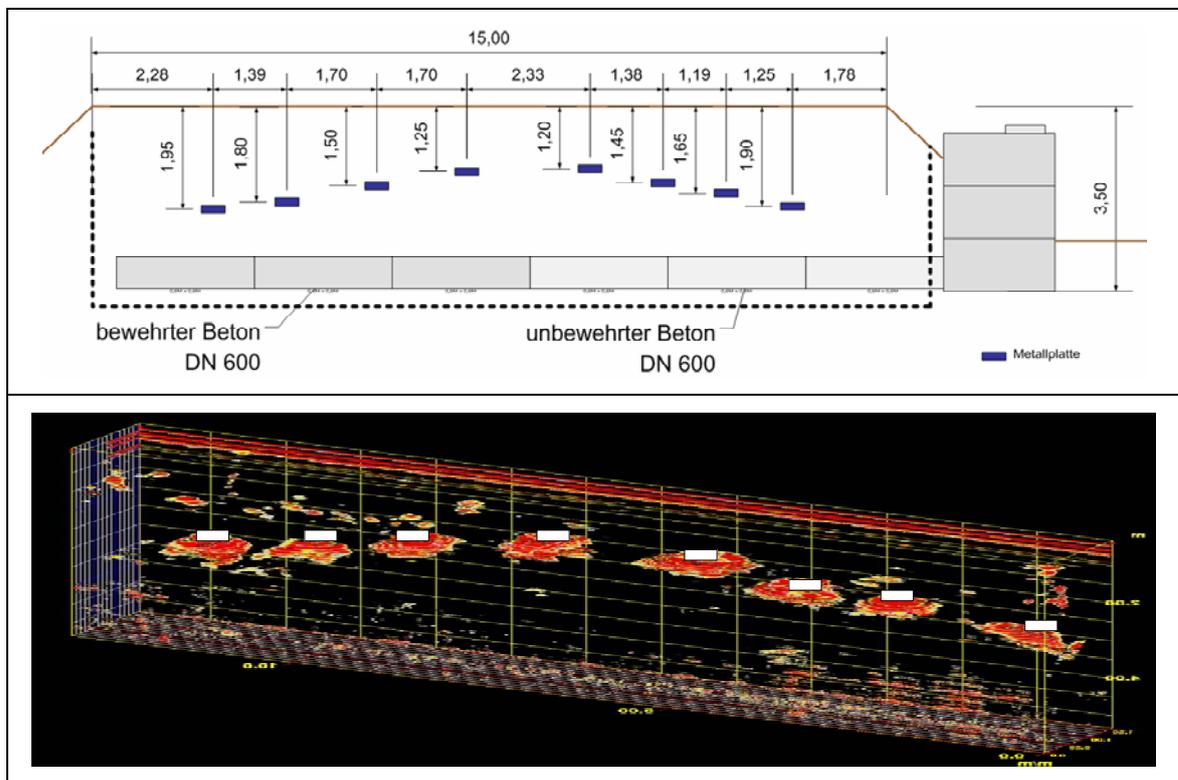
Die Stadt **Münster** hat in z. T. stark befahrenen Straßenzügen immer wieder mit Tagbrüchen Probleme und wählte solche Bereiche für eine Befahrung aus. Es bestand die Hoffnung, dass durch die Detektion von Verdachtsflächen und deren vorrangige Einplanung

bei der Sanierung ein plötzliches Versagen der Tragfähigkeit der Straßendecke vorgebeugt werden kann. Es wurden 7.950 m Straßenabschnitte gescannt

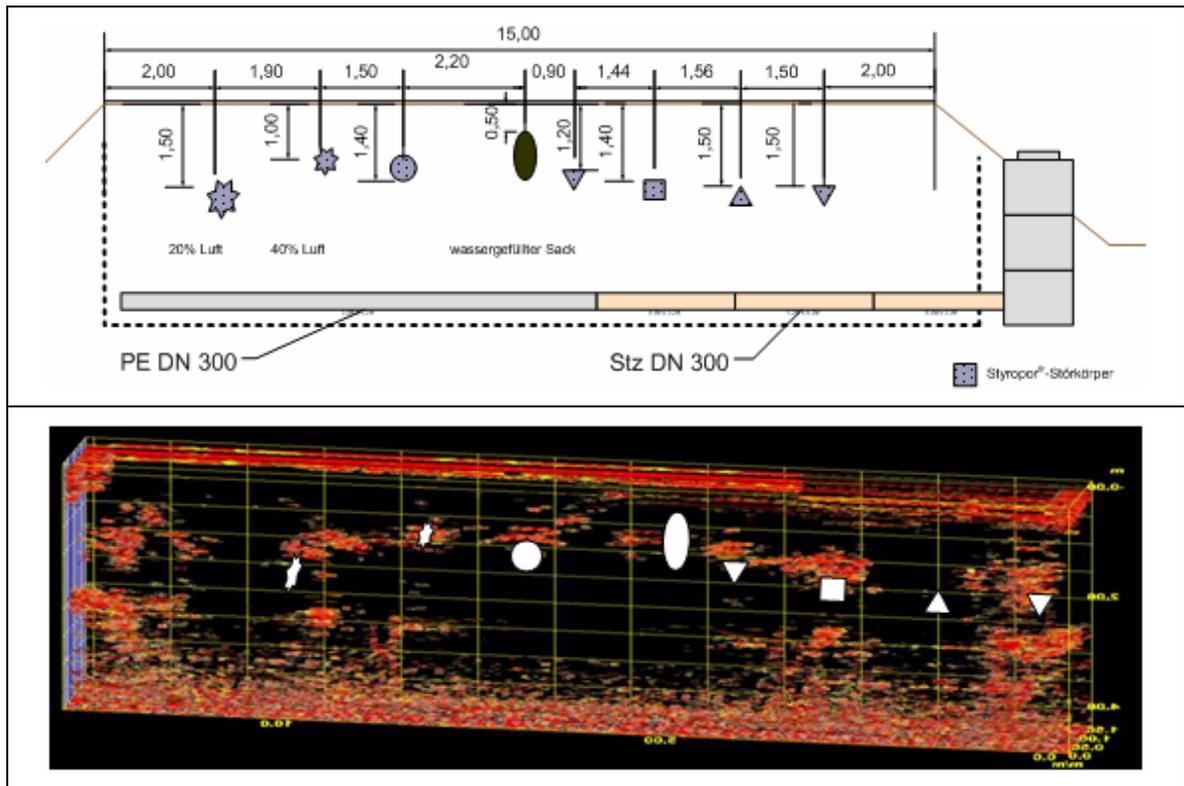
## 4.4 Ergebnisse

### 4.4.1 Messungen auf dem Versuchsfeld

Das TerraVision® System, mit dem auch die Messungen in den Kommunen durchgeführt wurden, kam auf dem Versuchsfeld zum Einsatz. Hierzu wurde das System in mehreren parallelen Messspuren über das Versuchsfeld gezogen. Die Messungen wurden von der Fa. Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH ausgewertet. Während der Auswertung waren die Leitungen nicht zu detektieren. Dies kann auf die starken Reflexionen der Versuchsfeldseitenwände zurückgeführt werden. Die Metallplatten, die zur Tiefenbestimmung eingebaut wurden, sind sehr deutlich zu erkennen.



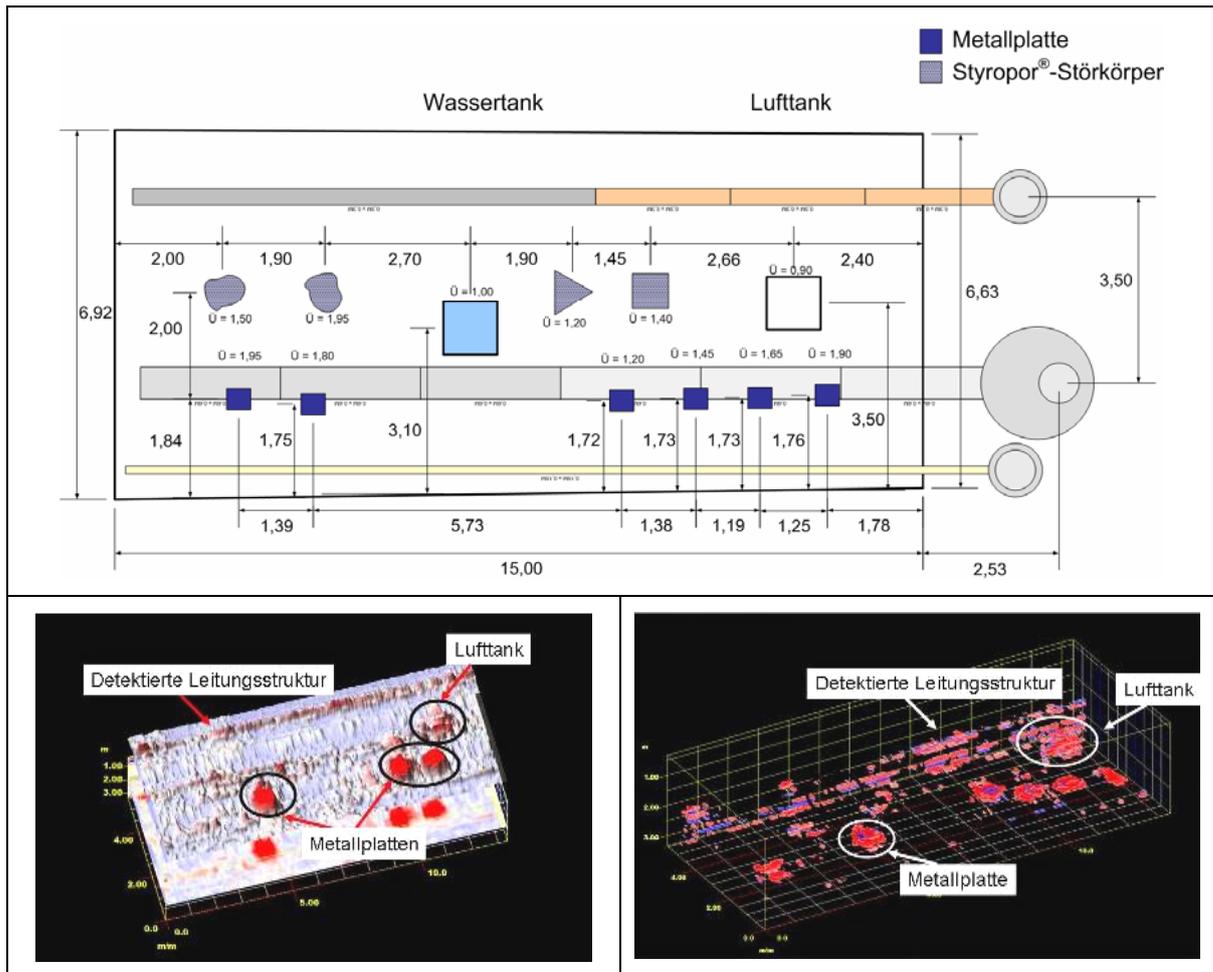
**Bild 4.6:** Schnitt durch das Versuchsfeld und Radargramm der Metallplatten



**Bild 4.7: Schnitt durch das Versuchsfeld und Radargramm der Störkörper**

Die Störkörper konnten zum überwiegenden Teil erkannt werden (Bild 4.7). Lediglich ein pyramidenförmiger Styroporkörper, der mit der Spitze nach oben eingebaut worden war, konnte erwartungsgemäß nicht detektiert werden.

Mitte Juli 2006 wurden einzelne Störkörper ersetzt. Im Versuchsfeld wurden große Hohlräume simuliert, indem mit Luft bzw. mit Wasser gefüllte 1.000 L „Intermediate Bulk Container“ ohne stabilisierenden, aber die Messungen störenden, Metallkorb eingebaut wurden. Ein Teil der Styroporkörper und der Metallplatten wurden aus dem Versuchsfeld entfernt. Die anschließenden Messungen mit dem TerraVision®-System zeigten jedoch nur den mit Luft gefüllten Container (s. Bild 4.8), da der mit Wasser gefüllte Container nach dem Einbau zusammengefallen war. Die Auswertungen zeigen jedoch nun auch die PE und Steinzeugleitungen. Die Beton- und Stahlbetonleitungen, die unter den Metallplatten liegen, konnten je nach Filtereinstellung aus den Radargrammen gefiltert werden



**Bild 4.8:** Darstellung des Versuchsfeldes und der Messergebnisse nach Umbau

#### 4.4.2 Messungen in den Kommunen

Die Auswertungen der Untersuchungen in Aachen und Essen ergaben vereinzelt Hinweise auf Inhomogenitäten. Eine weitere Untersuchung während der Projektlaufzeit erfolgte durch die Stadtwerke Aachen AG bzw. die Stadtwerke Essen AG nicht. Somit kann zu den Übereinstimmungen der Messmuster mit den tatsächlichen örtlichen Gegebenheiten keine Aussage getroffen werden.

In Braunschweig ergab die Auswertung in zwei Straßenabschnitten Verdachtspunkte mit lockerer Lagerung des Bodens. Auf Veranlassung des Stadtentwässerungsbetriebes wurden Rammsondierungen durchgeführt. Das Ergebnis dieser Sondierungen mit 5 Schlägen pro 10 cm Eindringtiefe erforderte jedoch keinen sofortigen Handlungsbedarf, sondern gab den Hinweis auf eine Lagerungsanomalie, wie sie z.B. durch lehmige Zonen im Untergrund hervorgerufen werden kann. Die Erneuerung der Kanäle ist für 2008 vorgesehen und musste somit nicht vorgezogen werden.

Sowohl in Düsseldorf als auch in Münster konnten zahlreiche Hinweise auf Inhomogenitäten detektiert werden. Beide Kommunen gaben Sondierungen in Auftrag. Echte Hohlräu-

me wurden dabei nicht gefunden, jedoch ergaben die Sondierungen, dass in Münster grobes Verfüllungsmaterial verwendet wurde, was für leichte Lagerungsdefekte sprechen kann. Die Reflexionen in den Radargrammen können auf die vorgefundenen Materialien (Schotter, Kies, Holzreste) zurückgeführt werden, die für eine eher lockere Lagerungsdichte sprechen. Bei den von den Entwässerungsbetrieben Düsseldorf in Auftrag gegebenen Schürfungen und Sondierungen, die z. T. mit einem Bagger erfolgten, zeigte sich, dass unter der Straßenoberfläche sehr inhomogene Materialien verbaut wurden (u. a. fanden sich Trümmerreste und Schutt aus dem zweiten Weltkrieg). Da beim Bau der Abwasserkanäle in Stollenbauweise keine Aufgrabungen stattgefunden hatten, konnten die hier detektierten Inhomogenitäten jedoch nicht eindeutig Schädigungen des Kanals oder zusammengefallenen Hohlräumen, die nach dem Verrotten der Stollenmaterialien entstanden waren, zugeordnet werden.

Die Stadt Nürnberg gab ebenfalls Georadaruntersuchungen in Auftrag, um diese Technik zu testen. Hier zeigten sich in den Radargrammen vergleichbare Strukturen, wie sie auch in den am Projekt beteiligten Kommunen gefunden wurden. Sondierungen führten zu der Detektion von Hohlräumen und sehr aufgelockerten Bodenlagerungen.

**Tabelle 4.1: Übersicht der durchgeführten Untersuchungen**

Kommune	Messstrecke	ausgewertet	festgestellte Schäden	Zustandsinformationen vorhanden	Sondierungen
Aachen	3.035 m	je ca. 600 m	Inhomogenitäten	nein	nein
Braunschweig	1.610 m			ja	ja
Düsseldorf	8.212 m			nein	ja
Essen	715 m			nein	nein
Münster	7.950 m			nein	ja

## 5 Datenmanagement und Visualisierung

Im Rahmen des Vorhabens wurde ein Managementsystem für die Handhabung der Messdaten und Messergebnisse erarbeitet und eine mögliche Visualisierung der Untersuchungsergebnisse in Kanaldatenbanken entwickelt.

Das Datenmanagementsystem für den Bereich der Georadaruntersuchungen wurde in Anlehnung an die bestehenden Protokollstandards des ATV-DVWK Merkblatts M 150 „Datenaustauschformat“ und das ISYBAU-Austauschformat (eXtensible Markup Language-

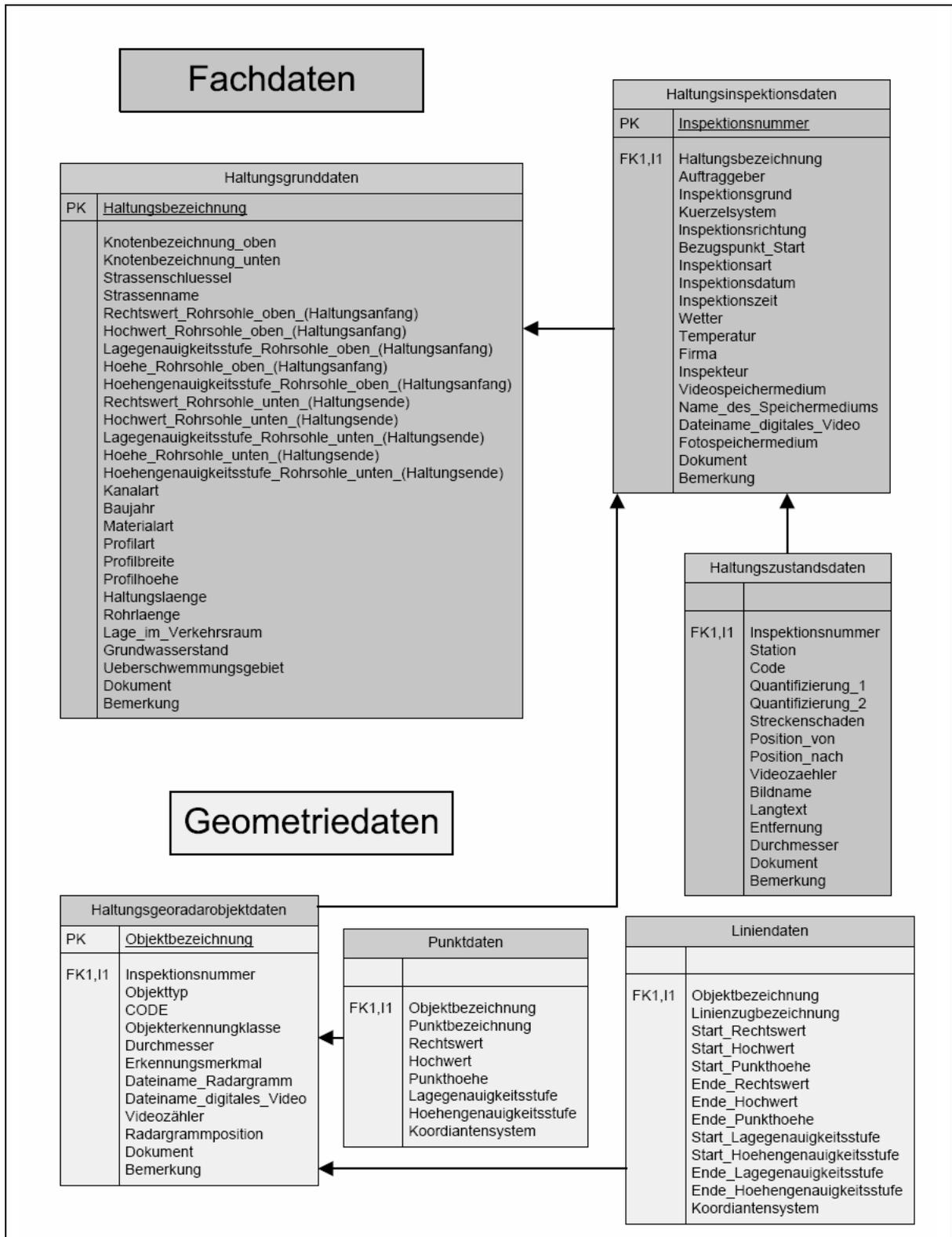
ge - XML) entwickelt. Mit XML besteht die Möglichkeit, Daten als Textformat abzulegen. Dieses Format ist für den Menschen lesbar und kann mit einem einfachen Texteditor bearbeitet werden.

## 5.1 Datenmodell

Für eine Georadaruntersuchung sind zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer umfangreiche Daten auszutauschen. Zu Beginn der Untersuchungen ist es sinnvoll, z. B. die Kanalstammdaten an den Auftragnehmer zu übermitteln. Während und nach Abschluss des Vorhabens sind die Messergebnisse sowie deren Auswertungen an den Auftraggeber zu übergeben.

Mit Hilfe der von den beteiligten Kommunen vorgegebenen Fach- und Geoinformationen wurde eine Datenbank entworfen, die die genannten Aufgaben vereinfacht. Bislang existiert für Georadaruntersuchungen keine datenbankbasierte Auswertung und die Beschreibung einer Schnittstelle ist ebenfalls ohne Datenstruktur nicht möglich. Die Datenbank bietet die Möglichkeit, Informationen zu abwassertechnischen Anlagen entsprechend dem Merkblatt ATV-DVWK M 150 und dem ISYBAU-Austauschformat zu übernehmen. Um eine Angleichung zwischen ATV-DVWK M 150 und der ISYBAU-Schnittstelle zu erreichen, wurden einige Felder angepasst bzw. aufgeweitet. So setzen sich z. B. die Haltnungsnummern in beiden Austauschformaten aus einer unterschiedlichen Anzahl von Zeichen zusammen. Diese können aufgrund der Feldlänge nicht in die Datenbank übernommen werden, die auf dem ATV-Austauschformat basiert. Eine Anpassung war deswegen an dieser Stelle erforderlich.

Aufgrund der fest vordefinierten Struktur von Kanalinformationssystemen können die zusätzlichen Georadarinformationen nicht universell in bestehende Systeme übernommen werden. Mögliche Redundanzen und Inkonsistenzen, die anhand von vordefinierten Feldinhalten (Referenztabellen) überprüft werden, müssen an dieser Stelle vermieden werden. Um dies sicher zu stellen müssten erst normierte Standards zur Beschreibung der einzelnen Untersuchungen und Geometrien gesetzt werden. Deshalb ist es sinnvoll, die Fach- und Geoinformationen, die unabhängig vom Kanalinformationssystem verwendet werden können, immer als vollständige Einheit an den Auftragnehmer weiterzugeben. So wirkt sich die Aufweitung der entworfenen Datenbank, die sowohl das ATV- als auch das ISYBAU-Austauschformat aufnehmen kann, nicht negativ auf die Schnittstelle aus, zumal die Zustandsdaten der Georadaruntersuchung auf Wunsch der am Vorhaben beteiligten Kommunen als externe Maßnahme betrachtet und vorerst nicht in bestehende Kanalinformationssysteme übernommen werden sollen.



**Bild 5.1 Datenstruktur der Georadardaten (grau Hinterlegt: Fachdaten aus Kanaldatenbank)**

Die Datenbank organisiert die Ablage der Informationen. Das hierfür verwendete Datenschema basiert auf den drei Tabellen Haltungsgrunddaten HG, Haltungsinspektionsdaten

HI und Haltungszustandsdaten HZ des Merkblattes ATV-DVWK M 150. Für die ausgewerteten Georadaruntersuchungen wurden die Tabellen Haltungsgeoradarobjekte HO, Punktdaten PK und Liniendaten LI hinzugefügt. Die Tabellen sind in zwei Gruppen eingeteilt. Die aus dem Merkblatt ATV-DVWK M 150 bestehenden Tabellen HG, HI und HZ bilden die Gruppe mit Fachdaten (Kanalstammdaten). Die neu erstellten Tabellen HO, PK sowie LI bilden die Gruppe mit Geometriedaten, die einer Visualisierung in einem GIS bzw. einer Auswertung in einem eindimensionalen Haltungsprotokoll dienen. In Bild 5.1 ist eine Übersicht der einzelnen Tabellen und Felder gegeben.

Auf der Grundlage der so definierten Datenbankstruktur ist es möglich, ein XML-Schema, das die Informationen der Datenschnittstelle beschreibt, mit der zugehörigen XML-Datei bzw. GML-Datei, zu entwerfen. Die GML-Datei ist ähnlich wie die XML-Datei aufgebaut und kann genutzt werden, um die erkannten Objekte als geografische Objekte in einem XML-basierten Austauschformat zu speichern. Durch die leicht lesbare Form der Dateien und die fest definierten Standards sollte in jedem Fall die GML-Datei als Austauschschnittstelle für die Geometriedaten dienen. Die dem Datenaustausch dienende XML-Datei und GML-Datei können beliebig erweitert oder gekürzt und auf die jeweiligen Problemstellungen angepasst werden. Die XML-Datei enthält die Fachdaten. Die übrigen Informationen werden in die GML-Datei geschrieben und beziehen sich auf die Geometriedaten.

## 5.2 Georeferenzierung

Die Georeferenzierung ordnet Karten in ein georäumliches Koordinatensystem ein und minimiert Ungenauigkeiten der Datenerfassung. Durch die Vielzahl von Koordinatensystemen, in denen Geoobjekte erfasst werden können, existiert in der Regel kein wohldefiniertes Bezugssystem, da die erfassten Koordinaten meist gerätespezifische Eigenschaften besitzen und nicht in einem der Landesvermessung üblichen Koordinatensystem (z. B. Gauß-Krüger-Koordinaten) vorliegen. Um trotzdem die vordefinierten Bezugssysteme nutzen zu können, müssen die Gerätekoordinaten transformiert werden.

Für die nachträgliche Georeferenzierung dienen die Schachtdeckelkoordinaten als Referenzpunkte, da die Schächte sowohl mit dem Georadar leicht zu erkennen als auch durch die amtliche Vermessung als Koordinaten in den Katasterkarten sowie Kanaldatenbanken vorhanden sind. Für die Auswertung der Georadardaten können die Schachtdeckelkoordinaten der mit den GPS Daten verschnittenen Videos oder der ausgewerteten Radargramme zur Georeferenzierung verwendet werden.

## 5.3 Visualisierung

Für eine Visualisierung der mit dem Georadar erkannten Anomalien in einem Haltungsprotokoll ist es notwendig, die Gauß-Krüger-Koordinaten der Anomalien in haltungsbezogene Polarkoordinaten umzuwandeln. Ziel dieser Umwandlung ist es, die erkannten Objekte in eine für die Kanalsanierung übliche Form der Darstellung zu überführen und somit die zusätzlichen Informationen aus den Georadaruntersuchungen mit den bereits bestehenden TV-Inspektionen zu verschneiden. Die Umrechnung der Koordinaten erfolgt auf Basis der Schachtdaten für die jeweiligen Haltungen.

In einer ersten Näherung werden alle Objekte, die sich in einem Abstand bis zu 5 m von einer Haltung befinden, dieser Haltung zugeordnet. Der Radius ist frei wählbar und soll den Einflussbereich einer erkannten Anomalie widerspiegeln. Darüber hinaus sind mit dem festgelegten Radius Abweichungen durch das GPS als auch von der optimalen Messspur abgedeckt. Der Radius kann gezielt angepasst werden, um beispielsweise verschiedene Objektarten (Hohlräume, Inhomogenitäten oder Schachtdeckel), die erkannt werden, unterschiedlichen Einflussbereichen zuzuordnen. Somit werden die Objekte auf die Haltungen beschränkt, die im potenziellen Einflussbereich z. B. eines Hohlräumeliegen und die haltungsbezogene Sanierungsplanung wird nicht von zusätzlichen Informationen irrelevanter Objekte beeinträchtigt. Bei Trennsystemen wird ein Objekt jeweils beiden Haltungen zugewiesen, unter der Voraussetzung, dass der Abstand nicht größer als der vorher definierte Radius ist. Somit ist bei der Betrachtung der Haltungsprotokolle sowohl bei der Regenwasserhaltung als auch bei der Schmutzwasserhaltung das gleiche Objekt vorhanden. Im zweiten Schritt werden die Polarkoordinaten berechnet, womit die Station und die Entfernung einzelner Objekte zur Haltung ermittelt werden.

Für eine vollständige Lagebeschreibung ist die Position des Objektes als Zifferblattreferenz in Bezug auf den Mittelpunkt der Haltung und in Bezug auf die Fließrichtung anzugeben. Da bei den Georadaruntersuchungen im Unterschied zur TV-Inspektion, die aus dem Rohr heraus erfolgt, die Lage nicht eindeutig ermittelt werden kann, wird für die Bestimmung die Achse der jeweiligen Haltung genommen und für die Höhenlage die Sohlenhöhe über NN zuzüglich der halben Profilhöhe der Haltung. Diese Lageangaben werden zu jeder Haltung mit den entsprechenden Inspektionsdaten in die Haltungsinspektionstabelle HI und die Haltungszustandstabelle HZ übertragen.

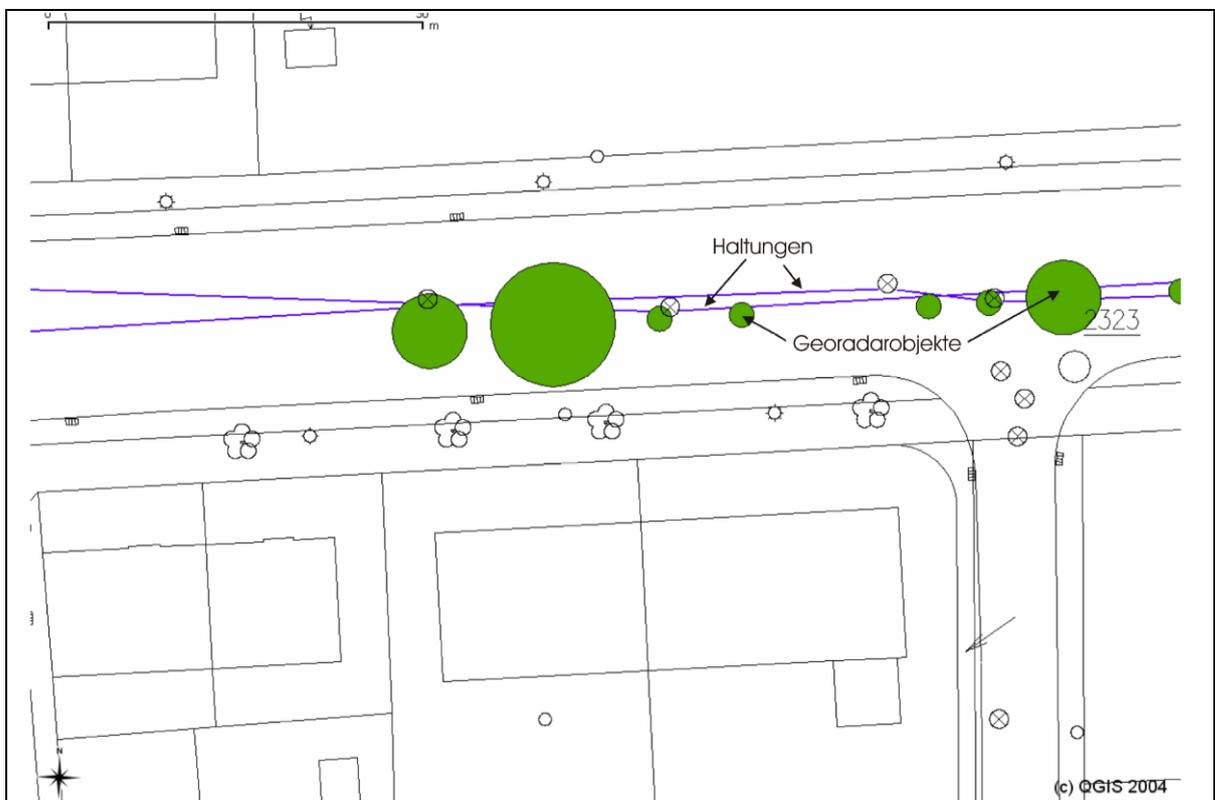
### 5.3.1 3-dimensionale Darstellungsform

Die einzelnen Scans des Antennenarray stellen die Grundlage der Georadaruntersuchungen dar, die 3-dimensional aufbereitet werden können. Dadurch ist es möglich, die erkannten Objekte aus den Radargrammen über geeignete Filtermethoden zu extrahieren (vgl. Bild 4.6 bis Bild 4.8). Trotz der hohen Auflösung und der aufwendigen 3-dimensio-

nen Visualisierung hat diese Darstellungsmöglichkeit Nachteile. Zwar werden nur die von den Radargrammdateien gewonnenen Informationen wiedergegeben, jedoch ist eine Auswertung der Signaturen in den Radargrammen schwierig. Ohne das entsprechende Fachwissen ist es für den Betrachter unmöglich, die Darstellung zu interpretieren, da durch zusätzliche Störungen in den Radargrammen Reflexionsmuster auftreten, die ohne qualifizierte Kenntnisse nicht gedeutet werden können. Auf Basis dieser Visualisierungsform ist die Planung einer Sanierungsmaßnahme nur schwer durchführbar. Daneben sind die Abbildungen unvorteilhaft in Bezug auf einen ersten Überblick der detektierten Objekte. Es ist eine Darstellung vorzuziehen, die die Objekte idealisiert in Form von geometrischen Figuren wie Ellipsoiden oder Quadraten darstellt.

### 5.3.2 2-dimensionale Darstellungsform

Im Vergleich zur 3-dimensionalen idealisierten Darstellung ist die Einbindung in bestehende Karteninformationen hilfreich, mit der sich der Betrachter durch die bekannte Darstellungsform schnell einen Überblick verschaffen kann. Hierfür werden die Radargramm-Informationen in eine 2-dimensionale Darstellung übertragen und die kreisförmigen Objekte in bestehende Pläne eingebunden. Der in Bild 5.2 gezeigte Kartenausschnitt kann in die planerischen Maßnahmen einer Kommune leicht integriert werden und die Darstellungsform ist mit den üblichen GIS- und CAD-Werkzeugen einfach zu realisieren.



**Bild 5.2: Idealisierte 2-D Darstellung**

### 5.3.3 1-dimensionale Darstellungsform

Eine dritte Form der Darstellung (s. Bild 5.3) ist die haltungsbezogene Darstellung. Diese als sogenanntes „Haltungsprotokoll“ bekannte Form wird bei Sanierungsplanungen im Bereich der Kanalisation allgemein verwendet und entspricht damit den üblichen Konventionen auf dem Anwendungsgebiet der Kanalsanierung.

## ***Haltungsinspektionsprotokoll***

*Version 1.0*

---

**Haltungsnummer:** R02195006.00R02195005.00

---

**Auftraggeber:** Stadtentwässerung A-Stadt      **Datum:** 04.04.2006      **Uhrzeit:** 12:15:11  
**Firma:** Geokanal GmbH      **Inspekteur:** Herr Mustermann

**Grund:** N    **Art:** Z    **Richtung:** I    **Kürzelsystem:** Z

**Wetter:** Trocken      **Temperatur:** 20

**Videospeichermedium:** MOD      **Speichermedium:** Festplatte01

**Bemerkung:**

Station	CODE:	Strescha.	Pos 1:	Pos 2:	Entfernung	Durchm.:	Langtext:
0,23	GSC		11		1,46	1	Georadar, Schacht
2,12	GUS		4		1,63	0,83	Georadar, unbekannte Signatur
2,33	A--L		9				Abzweig, linker Kämpfer
3,87	GSC		11		1,04	1	Georadar, Schacht
4,13	A--R		13				Abzweig, rechter Kämpfer
4,23	A--L		9				Abzweig, linker Kämpfer
17,88	GUS		12		0,01	1,35	Georadar, unbekannte Signatur
24,43	A--L		9				Abzweig, linker Kämpfer
25,53	A--L		9				Abzweig, linker Kämpfer
28,13	GUS		10		1,10	1,52	Georadar, unbekannte Signatur
35,03	A--L		9				Abzweig, linker Kämpfer
35,33	A--R		3				Abzweig, rechter Kämpfer
37,33	AU-R		3				Abzweig, undurchlässig, rechter Kämpfer
38,03	A--R		3				Abzweig, rechter Kämpfer

**Bild 5.3:      Haltungsinspektionsprotokoll**

Sie ermöglicht eine haltungsbezogene Detailanalyse im Kontext der üblichen Schadensbeschreibung bei Abwasserkanälen. In Verbindung mit der vorgestellten 2-dimensionalen Darstellungsart bietet die 1-dimensionale Visualisierung die Option, sowohl einen schnell-

len und informativen Überblick zu gewinnen als auch eine detaillierte Analyse durchzuführen, die das Verständnis und die Kommunikation der Georadarauswertungen erleichtern.

Die hier vorgestellten 1 und 2-dimensionalen Visualisierungsmöglichkeiten können mit den üblichen GIS Systemen, die in den Kommunen verwendet werden, dargestellt werden.

## 6 Kosten der Georadaruntersuchung

Die Akzeptanz des Georadars bei den Kanalnetzbetreibern als zusätzliche Informationsquelle zur TV-Inspektion wird neben dem erwarteten Erkenntnisgewinn über den Zustand des den die Kanalisation umgebenden Bodenkörpers wesentlich durch den Preis des Verfahrens bestimmt werden. Die Kosten können in die Datenerfassung, die Auswertung und Darstellung der Messdaten und die zusätzlich zur Untersuchung nötigen Rammsondierungen aufgeteilt werden (vgl. Tabelle 6.1). Die Rammsondierungen dienen zur Verifizierung der Georadarmessung und werden nicht flächendeckend, sondern nach Bedarf vorgenommen.

**Tabelle 6.1: Kosten der Georadaruntersuchung**

	Messung (incl. Auf- und Abbau, ca. 10 km/d)	Auswertung und Darstellung	Rammsondierung (ca. 5 m tief)
<b>Kosten</b>	0,20 €/m	4,50 €/m	150 €/Stück

Unter der Annahme, dass alle 100 m eine Rammsondierung erfolgt, entstehen Kosten in Höhe von 6,2 €/m für die Georadarmessung. Eine erhöhte Routine bei der Auswertung und Darstellung der Messergebnisse lässt deutliche Kostenreduzierungen erwarten. Die Kosten für die Inspektion, Kanalreinigung, TV-Inspektion und Zustandsbewertung betragen ca. 5,0 €/m (JUNG, 2005). Somit liegen die Kosten der Georadaruntersuchung bereits jetzt etwa in der gleichen Größenordnung wie die TV-Kanalinspektion.

## 7 Ausblick

Neben den reinen Kosten für die Georadaruntersuchung muss sich der Kanalnetzbetreiber über die rechtlichen Konsequenzen einer solchen Untersuchung bewusst sein. Da mit dem Georadar der Straßenaufbau und der Untergrund untersucht werden, können auch Lagerungsdefekte detektiert werden, die nicht durch Schäden in der Kanalisation verursacht sein müssen, sondern z. B. auf eine unsachgemäße Bauausführung im Straßenbau zurückzuführen sind. Hier ist zu klären, wer die Kosten für eine notwendige Maßnahme übernehmen muss. Werden größere Hohlräume erkannt, die einen Sach- oder Personenschaden durch einen Einsturz der Oberfläche bewirken können, besteht mit der Bekanntgabe der Ergebnisse auch die Möglichkeit einer Haftung bei Schadensersatzansprüchen.

Weitere Möglichkeiten für den Einsatz des Georadar-Messsystems ergeben sich aus der Erkundung des Baugrundes vor einer Baumaßnahme, um die Pflicht bei der Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen bei einer offenen Erneuerung von Kanalisationen zur Bereitstellung ausreichender Informationen über die Bodenverhältnisse, den Baugrund und dessen Tragfähigkeit zu erfüllen (VOB Teil C Abschnitt 0.1.7). Andererseits kann der Kanalnetzbetreiber das Georadar für eine vollständige Kontrolle der Mängelfreiheit bei einer Bauabnahme einsetzen. Hierfür ist der Einsatz eines Georadars aus dem Kanal heraus wünschenswert.

Ebenso können mit Hilfe der Georadaruntersuchungen weiterführende Informationen über den Ist-Zustand des Entwässerungssystems gewonnen werden, die bei einer Verfahrensauswahl der Sanierungsmaßnahmen berücksichtigt werden sollten.

Da bzgl. der Georadaruntersuchungen noch keine Bewertung nach Schadensart, Schadensstelle, Schadensausmaß sowie Schadensanzahl erfolgt, ist die Einordnung in bestehende Zustandsklassifizierungs- und Zustandsbewertungssysteme schwierig. Die festgestellten Schäden müssen mit bestehenden TV-Inspektionsergebnissen verschnitten werden, um genauere Aussagen hinsichtlich der Schadensursache und der Schadensfolge treffen zu können, die ebenfalls in eine Bewertung der Schäden mit einfließen können (ATV-DVWK, 1989). Die DWA-Umfrage zum Zustand der Kanalisation in Deutschland 2004 (BERGER und LOHAUS, 2005) ergab, dass 49 % der Haltungen erneuert, 25 % repariert und 26 % renoviert wurden. Damit käme das Georadar als Hilfe für eine Sanierungsentscheidung bei Reparations- und Renovationsverfahren für etwa 50 % der sanierungsbedürftigen Kanäle in Frage.

Die in diesem Vorhaben durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass das Georadar zur Detektion von Lagerungsanomalien im Untergrund geeignet ist. Auch die Entwicklung eines Kanalroboters zur Untersuchung von Lagerungsdefekten aus nicht begehbaren Kanälen heraus zeigt großes Potential. Die Auswertung der Untersuchungen erfolgt noch relativ zeitaufwändig durch Geologen, lässt bislang jedoch keine präzise Interpretation der Lagerungsdefekte und Hohlräume zu. Es können Bereiche mit abweichender Lagerungsdichte detektiert, aber aufgrund der Darstellung im Radargramm nicht eindeutig mit einer bestimmten Lagerungsdichte verbunden werden. Durch den Aufbau einer Datenbank bzgl. der Bodenverhältnisse, der Lagerungsdichte etc. und den dazugehörigen Radargrammmustern könnte ein Abgleich mit den bei Messungen im Straßenraum gewonnenen Daten erfolgen. Hierzu müssten weitere Untersuchungen stattfinden, die beispielsweise mit Hilfe weiterer Simulationen von Lagerungsdefekten und Hohlräumen auf Versuchsfeldern erfolgen können. Wenn beispielhafte Reflexionsmuster in ausreichender Anzahl gewonnen werden und diese bestimmten Bodentypen und deren Lagerungsdichten eindeutig zugeordnet werden können, könnte in einem weiteren Schritt eine automatisierte Aus-

wertung der Daten erfolgen. Hierzu könnten EDV-gestützte Verfahren zur Mustererkennung eingesetzt werden.

Die Verschneidung der Messergebnisse mit den Kanalkatasterdaten kann mit dem hier dargestellten Datenmanagement vorgenommen werden. Für eine Darstellung der Messergebnisse in einem Kanalkataster sind jedoch weitere Anstrengungen in Bezug auf eine einheitliche Nomenklatur für die Austauschformate erforderlich. Auch für ein Bewertungsschema müssten einheitliche Regelungen gefunden werden.

Infolge der Eigenschaften elektromagnetischer Wellen im Boden sind numerische Simulationen von Anomalien im Bereich von Abwasserleitungen möglich. Solche Simulationen könnten Aufschluss darüber geben, wie sich Anomalien in Radargrammen darstellen, und somit eine Auswertung unterstützen.

Durch eine verbesserte Verschneidung mit bestehenden TV-Inspektionsergebnissen bzw. -daten können weitere Konsequenzen bzgl. der Sanierungsmaßnahmen geklärt werden. Mit statistischen Untersuchungen kann demzufolge eine eventuelle Korrelation zwischen den Schadensbildern aus der optischen Inspektion und den Boden-anomalien aus der Georadaruntersuchung analysiert werden.

Schließlich wären die rechtlichen Folgen hinsichtlich der Ausschreibung von Bauleistungen und der Haftung der Kommunen bei Einsatz des Georadars zu prüfen, um daraus gezielte Anweisungen bzgl. des Einsatzes der Georadaruntersuchungen für die Kommunen abzuleiten.

## 8 Literatur

- ALTEKÖSTER, C. A., 2004: Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit von Bodenradarmessungen, Bonn, Univ., Dissertation, 2004
- ATV-DVWK, 1989: ATV M 143 Teil 1. Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen. Hennef (Sieg): ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 1989
- ATV-DVWK, 2003: ATV-DVWK M 150. Datenaustauschformat Teil 1: Zustandserfassung von Entwässerungssystemen. 1. Aufl. Hennef (Sieg): ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2003
- BERGER, C., LOHAUS, J., 2005: Zustand der Kanalisation in Deutschland. Ergebnisse der DWA-Umfrage 2004. In: KA Abwasser, Abfall (2005), Nr. 05, S. 528-539
- BMVBW und BMVg, 2005: Arbeitshilfen Abwasser. Planung, Bau und Betrieb von abwassertechnischen Anlagen in Liegenschaften des Bundes. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen/ Bundesministerium der Verteidigung, 2005
- BMVBW und BMVg, 2006: ISYBAU-Austauschformate (XML). Vorabzug (Schlussfassung). Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen/ Bundesministerium der Verteidigung, 2006
- DANIELS, D. J. 2004: Ground penetrating radar. 2. ed. London: Institution of Electrical Engineers, 2004
- HARTMANN, A., SCHULZ, O., 2002: Detektion von Lagerungsdichten und Hohlräumen in der Umgebung erdverlegter Abwasserkanäle; Erläuterungsbericht (unveröffentlicht)
- JUNG, P., 2005: „Anforderungen an die Inspektion als Basis einer sinnvollen Sanierungsplanung“, Vortrag beim 18.Lindauer Seminar „Praktische Kanalisationstechnik – Instandhaltung von Kanalisationen“ am 10. und 11. März 2005, Lindau
- KABBE, T., REDMANN, B., LEHMANN, B., ORLOWSKY, D., ELSER, R., RÜBEL, H. J., 2003: Quantitative Inspektion von Abwasserkanälen und –leitungen mittels geophysikalischer Verfahren, Statusbericht: Ergebnisse über die geophysikalischen Untersuchungen in einer Versuchsstrecke (begehbare Kanal) auf dem IKT-Gelände in Gelsenkirchen. IKT, 2003
- KNÖDEL, K.; KRUMMEL, H.; LANGE, G., 1997: Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Band 3: Geophysik; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR, Berlin [u.a.]: Springer, 1997
- LECKEBUSCH, J., 2001: Die Anwendung des Bodenradars (GPR) in der archäologischen Prospektion. 3D-Visualisierung und Interpretation; Rahden/Westf.: Leidorf, 2001 (Internationale Archäologie. Naturwissenschaft und Technologie. Bd. 3)
- NIESSEN, J., 2006: mündliche Auskunft am 22.06.2006
- OGC, 2006: OpenGIS Geography Markup Language (GML) Encoding Specification. 22.05.2006. URL: <http://www.opengeospatial.org/>
- OOMEN, M. J., 2007: Firmeninformation, URL: <http://www.mjoomen.nl/radartech.html#>
- STEIN, D., 1999: Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Aufl. Berlin: Ernst, 1999