

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



Abschlussbericht

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



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

Abschlussbericht

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

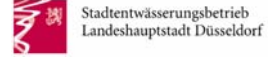


Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp
(Projektleiter)

Projektpartner

Partner	Bearbeiter
 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	Dipl.-Ing. H. Stepkes Dipl.-Ing. J. Zimmermann Dr.-Ing. J. Hennerkes Dr.-Ing. K. Müller Dipl.-Ing. M. Siekmann
 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	Dipl.-Ing. J. Niessen Dipl.-Geophys. D. Hofmann
 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	Dr.-Ing. O. Schulz

Am Projekt beteiligte Kommunen

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

Inhalt

Inhalt	V
Verzeichnis der Bilder	X
Verzeichnis der Tabellen.....	XIV
Zusammenfassung.....	1
1 Einleitung.....	2
2 Entstehung von Lagerungsdefekten an Kanalisationen	4
3 Geophysikalische Verfahren zur Bodenerkundung	8
3.1 Magnetik	8
3.2 Gravimetrie	8
3.3 Seismik	8
3.4 Geothermik	9
3.5 Radiometrie	9
3.6 Aerogeophysik.....	9
3.7 Bohrlochgeophysik	10
3.8 Geophysikalische Penetrationssondierungen.....	10
3.9 Petrophysik.....	10
3.10 Geoelektrik.....	11
3.11 Boden- oder Georadar.....	11
3.11.1 Physikalische Grundlagen	12
3.11.1.1 Elektromagnetische Wellen.....	12
3.11.1.2 Ausbreitung	15
3.11.1.3 Dämpfung.....	17
3.11.1.4 Auflösung	17
3.11.1.5 Reflexion, Transmission und Refraktion von Wellen.....	19
3.11.2 Elektromagnetische Eigenschaften des Bodens	21
3.11.2.1 Dielektrizitätskonstante ε	22
3.11.2.2 Elektrische Leitfähigkeit σ	22

3.11.2.3	Magnetische Permeabilität μ	23
3.11.3	Antennen	24
3.11.3.1	Antennentypen	24
3.11.3.2	Abstrahlcharakteristik	24
3.11.4	Radargramm	26
3.11.4.1	Reflexion von Objekten	27
3.11.4.2	Migration	28
3.11.4.3	Probleme bei der Radargrammanalyse	29
4	Beispiele für den Einsatz des Georadars	31
5	Untersuchungen	36
5.1	Messsystem zum Einsatz auf der Straßenoberfläche	36
5.1.1	Messtechnik	36
5.1.1.1	Antennen	37
5.1.1.2	GPS	40
5.1.1.3	Kamera	42
5.1.1.4	Weggeber	43
5.1.2	Praxiseinsatz	43
5.1.3	Messgeschwindigkeit	44
5.1.4	Datenmengen	45
5.1.5	Auswertung	45
5.2	Messsystem für den Einsatz aus dem Kanalrohr	48
5.3	Versuchsfeld	48
5.4	Untersuchungen in den Kommunen	53
5.4.1	Aachen	53
5.4.2	Braunschweig	53
5.4.3	Düsseldorf	54
5.4.4	Essen	54
5.4.5	Münster	54
5.5	Workshops	54

6	Ergebnisse	56
6.1	Messungen auf dem Versuchsfeld	56
6.2	Meßsystem für den Einsatz aus dem Kanalrohr.....	60
6.3	Messungen in den Kommunen	62
6.3.1	Aachen	62
6.3.2	Braunschweig	62
6.3.3	Düsseldorf	65
6.3.4	Essen.....	67
6.3.5	Münster.....	67
6.4	Workshops.....	74
6.4.1	Zusammenfassende Aussagen als Ergebnis der Workshops	74
6.5	Datenmanagement	75
6.5.1	Datenmodellierung	75
6.5.2	Datenmodelle	75
6.5.3	Daten mit XML modellieren und austauschen.....	76
6.5.3.1	DTD und XML-Schema	77
6.5.3.2	Parser.....	77
6.5.3.3	XML-Stylesheet.....	78
6.5.3.4	GML.....	78
6.5.3.5	Datenspeicherung	79
6.5.4	Kanaldatenbanken und bestehende Austauschformate.....	79
6.5.4.1	ATV-DVWK-M 150 Datenaustauschformat	82
6.5.4.2	ISYBAU-Austauschformat	84
6.5.5	Georadardaten	86
6.5.6	Datenbanksystem.....	86
6.5.6.1	Datenschema	88
6.5.6.2	XML-Datei	102
6.5.6.3	GML-Datei	104
6.6	Georeferenzierung.....	105

6.6.1	Koordinatensysteme.....	106
6.6.1.1	Der Schacht als Referenzpunkt	109
6.6.1.2	Transformationen	113
6.6.2	Haltungszuordnung durch Polarkoordinaten	115
6.7	Visualisierung	119
6.7.1	Darstellungsmöglichkeiten	120
6.7.1.1	3-dimensionale Darstellungsform.....	121
6.7.1.2	2-dimensionale Darstellungsform.....	122
6.7.1.3	1-dimensionale Darstellungsform	123
6.7.2	Visualisierungssoftware.....	124
7	Wirtschaftliche Aspekte des Georadars	126
8	Konsequenzen der Georadaruntersuchungen	127
8.1	Rechtliche Konsequenzen.....	127
8.2	Konsequenzen für die Sanierung	130
8.2.1	Sanierungsdringlichkeit	131
8.2.2	Bewertung der Sanierungsverfahren.....	131
9	Fazit und Ausblick	134
10	Literatur	135
Anhang		140
Anhang 1:	Videoaufzeichnung	141
Anhang 2:	GPS Beispieldatensatz	142
Anhang 3:	Bodenkennwerte des Versuchsfeldes.....	143
Anhang 4:	Darstellung der Messergebnisse vom 05.01.2006.....	145
Anhang 5:	Darstellung der Messergebnisse vom 19.07.2006.....	149
Anhang 6:	Darstellung der Auswertung der Messungen in Aachen.....	156
Anhang 7:	Darstellung der Auswertung der Messungen Braunschweig	182
Anhang 8:	Darstellung der Auswertung der Messungen Düsseldorf.....	208
Anhang 9:	Darstellung der Auswertung der Messungen Essen.....	236
Anhang 10:	Darstellung der Auswertung der Messungen Münster	262

Anhang 11: Vollständige Tabellenübersicht	281
Anhang 12: XML Schema.....	299

Verzeichnis der Bilder

Bild 2.1	Ergebnisse eines Infiltrationsversuches mit nachfolgender Hohlraumbildung (Punktschaden mit einem Durchmesser von 30 mm; PINNEKAMP, 2004)	5
Bild 3.1:	Funktionsweise des Georadars (nach KNÖDEL et al., 1997).....	11
Bild 3.2:	Zeitlich veränderliches elektrisches Feld und erzeugtes Magnetfeld (MESCHEDE et al., 2004)	14
Bild 3.3:	Zeitlich veränderliche Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle im Raum (DANIELS, 2004)	14
Bild 3.4:	Vertikales Auflösungsvermögen	18
Bild 3.5:	Footprint (LECKEBUSCH, 2001)	19
Bild 3.6:	Brechung und Reflexion von Wellen (ALTEKÖSTER, 2004)	20
Bild 3.7;:	Reflexions- und Transmissionskoeffizient (KNÖDEL et al., 1997).....	21
Bild 3.8:	Übergänge mit Energieverlusten des Radarsignals (nach DAVIS und ANNAN, 1989)	26
Bild 3.9:	Radargrammaufbau (DANIELS, 2004)	27
Bild 3.10:	Diffractionshyperbeln, (nach KNÖDEL et al., 1997)	28
Bild 3.11:	Multiple Reflexionen (LECKEBUSCH, 2001).....	29
Bild 3.12:	Starker Reflektor (LECKEBUSCH 2001)	30
Bild 4.1	Messfahrzeug mit Hornantennen der Fa. GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH	32
Bild 4.2	Prinzip eines im Kanal eingesetzten Georadars (OOMEN, 2007).....	32
Bild 4.3	Schadhafter Abwasserkanal mit eindringendem Grundwasser, zugehöriges Radargramm und Ergebnisse der Rammsondierung (HARTMANN und SCHULZ, 2002)	33
Bild 4.4	Bodenanomalien im Versuchsfeld (KABBE, T. et al., 2003).....	34
Bild 4.5	Prototyp des Kanalmesswagens zur Durchführung routinemäßiger Kanalerkundungen (KABBE et al., 2003)	35
Bild 5.1:	Messfahrzeug „Georail® Sprinter“	36
Bild 5.2:	Anhänger mit Messtechnik	36
Bild 5.3:	Antennenaufhängung	37

Bild 5.4:	TerraVision Antennenarray	38
Bild 5.5:	Vertikales Auflösungsvermögen bei einer Pulsweite von zwei Nanosekunden.....	39
Bild 5.6:	Horizontales Auflösungsvermögen bei einer Antennenfrequenz von 400 MHz.....	39
Bild 5.7:	Kamerabild.....	42
Bild 5.8:	Radargrammaufzeichnung.....	45
Bild 5.9:	Eingefärbtes Radargramm vor Filterung.....	46
Bild 5.10:	Radargramm nach Rauschunterdrückung	46
Bild 5.11:	Dreidimensionale Darstellung der Messergebnisse.....	47
Bild 5.12:	Radargramm mit Darstellung detektierten Schächte nach Bearbeitung	47
Bild 5.13:	Labormuster Kanalroboter	48
Bild 5.14:	Grundriss des Versuchsfeldes	50
Bild 5.15:	Grundriss des Versuchsfeldes mit Störkörpern	51
Bild 5.16:	Schnitt durch das Versuchsfeld (Metallplatten und Störkörper).....	52
Bild 5.17:	In das Versuchsfeld eingebaute Störkörper.....	53
Bild 5.18:	Ankündigung der Workshops am 14.02.2006 und 05.12.2006.....	55
Bild 6.1:	Erste Messungen mit einer 400 MHZ Hornantenne.....	56
Bild 6.2:	3-dimensionale Darstellung der Radargramme der ersten Messung (05./06.01.2006).....	57
Bild 6.3:	Schnitt durch das Versuchsfeld und Radargramm der Metallplatten.....	57
Bild 6.4:	Schnitt durch das Versuchsfeld und Radargramm der Störkörper	58
Bild 6.5:	Darstellung des Versuchsfeldes und der Messergebnisse nach Umbau	59
Bild 6.6:	Alternative Auswertungsdarstellung des Versuchsfeldes (Metallplatten) ..	60
Bild 6.7:	Radargramm von Kanalrobotermessungen, Schrittweite 15 cm.....	61
Bild 6.8:	Auswertung und Visualisierung.....	61
Bild 6.9:	Verdachtstellen und Sondierungspunkte Salzdahlumer Straße, Braunschweig	63
Bild 6.10:	Ergebnis der Sondierungen an einer Verdachtstelle in der Salzdahlumer Straße, Braunschweig.....	64

Bild 6.11:	Radargrammauswertung der Verdachtsflächen in der Düsseldorfer Straße; Düsseldorf.....	65
Bild 6.12:	Verdachtstellen in der Düsseldorfer Straße, Düsseldorf (http://www.geoserver.nrw.de/)	66
Bild 6.13:	Aufgrabung in Düsseldorf	66
Bild 6.14:	Radargrammauswertung der Verdachtsfläche 1, Grevenener Straße, Münster	68
Bild 6.15:	Luftbild der Sondierungsstelle 1, Grevenener Straße, Münster (http://geo.stadt-muenster.de)	69
Bild 6.16:	Ergebnisse der Sondierung 1, Grevenener Straße, Münster	69
Bild 6.17:	Radargrammauswertung der Verdachtsfläche 2, Friesenring, Münster	70
Bild 6.18:	Luftbild der Sondierungsstelle 2, Friesenring, Münster (http://geo.stadt-muenster.de).....	71
Bild 6.19:	Ergebnisse der Sondierung 2, Friesenring, Münster	71
Bild 6.20:	Radargrammauswertung der Verdachtsfläche 3, Cheruskerring, Münster	72
Bild 6.21:	Luftbild der Sondierungsstelle 3, Cheruskerring (http://geo.stadt-muenster.de).....	73
Bild 6.22:	Ergebnisse der Sondierung 3, Cheruskerring, Münster.....	73
Bild 6.23:	Ablauf einer Dokumentvalidierung (AMMELBURGER, 2004)	78
Bild 6.24:	Tabellenstruktur (ATV-DVWK, 2003a).....	82
Bild 6.25:	Datenbanksystem	87
Bild 6.26:	Datenstruktur der Georadardaten	89
Bild 6.27:	Gauß-Krüger-Meridianstreifen (http://www.wasy.de/deutsch/produkte/wgeo/transformation_prn.html) ..	107
Bild 6.28:	UTM-Koordinatensystem Deutschland (N.N., 2006)	109
Bild 6.29:	Koordinatentransformationen (LANGE, 2006).....	113
Bild 6.30:	Polarkoordinatenberechnung (WITTE und SCHMIDT, 1995).....	117
Bild 6.31:	Stations- und Polarkoordinatenberechnung	118
Bild 6.32:	3-D Radargramm: Schnitt durch das Radargramm	121
Bild 6.33:	3-D Radargramm: Herausgefilterte Objekte	121

Bild 6.34:	Radargramm des Versuchsfeldes mit eingezeichneten Anomalien.....	122
Bild 6.35:	Idealisierte 2-D Darstellung.....	123
Bild 6.36:	Haltungsinspektionsprotokoll	124
Bild 6.37:	Geometrietypen	125
Bild 8.1:	Vorgehensweise zur Beurteilung der Standsicherheit auf der Basis beobachteter Schäden an Abwasserkanälen (DOHMANN und HENNERKES, 2004)	129

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 2.1:	Ergebnisse der halbtechnischen Untersuchungen bei schwach-bindigen Böden (DOHMANN und HENNERKES, 2004)	6
Tabelle 2.2:	Ergebnisse der halbtechnischen Untersuchungen bei rolligen Böden (DOHMANN und HENNERKES, 2004)	7
Tabelle 3.1:	Übersicht der wichtigsten Größen in der Geoelektrik	13
Tabelle 3.2:	Dielektrizitätszahl, Leitfähigkeit, Geschwindigkeit und Dämpfung bei 100 MHz (DAVIS und ANNAN, 1989).....	23
Tabelle 6.1:	Kanaldatenbankaufbau (ATV-DVWK, 2003a)	81
Tabelle 6.2:	Tabellenübersicht nach ATV-DVWK (2003a)	83
Tabelle 6.3:	Georadartabellen	88
Tabelle 6.4:	Feldformate des ATV-DVWK-M 150.....	90
Tabelle 6.5:	Haltungsgrunddaten (ATV-DVWK, 2003a)	91
Tabelle 6.6:	Haltungsinspektionsdaten (ATV-DVWK, 2003a)	94
Tabelle 6.7:	Haltungszustandsdaten (ATV-DVWK, 2003a).....	97
Tabelle 6.8:	Haltungsgeoradarobjekte.....	99
Tabelle 6.9:	Punktgeometrie.....	100
Tabelle 6.10:	Liniengeometrie	101
Tabelle 6.11:	Zifferblattreferenzen (ATV-DVWK, 2003b)	119
Tabelle 7.1:	Kosten der Georadaruntersuchung	126
Tabelle 8.1:	Übersicht möglicher Sanierungsverfahren bei Hohlräumen (BMVBW und BMVg, 2005).....	133

Zusammenfassung

Das Georadar ist ein geeignetes Verfahren zur Ortung von Lagerungsanomalien im Bodengefüge, die durch natürliche geologische Begebenheiten oder auch durch vom Menschen geschaffene Einflüsse entstehen können. Hierzu zählen alle baulichen Veränderungen im Boden.

Von besonderem Interesse sind diese Anomalien dann, wenn es zu einer Gefährdung von Menschen oder Bauwerken kommen kann. Der Eintrag von Bodenmaterial in einen Abwasserkanal mit infiltrierendem Grundwasser kann das Bodengefüge soweit destabilisieren, dass es zum Einbruch der Oberfläche, einem sogenannten Tagbruch, kommen kann. Mit Hilfe des Georadars können Lagerungsanomalien detektiert werden, bevor es zu einer ernsthaften Schädigung des Straßenkörpers und weiterer Bauwerke kommt.

In diesem hier vorgestellten Vorhaben wurde mit Hilfe eines Georadarsystems von der Straßenoberfläche aus der Untergrund bis zu einer Tiefe von ca. 5 m im Bereich erdverlegter Abwasserkanäle untersucht. Messungen in fünf Kommunen wurden ergänzt durch Messversuche auf einem Testfeld, in dem unter definierten Randbedingungen verschiedene Hohlräume und verschiedene Lagerungsdichten simuliert und erfasst wurden. Die Messmuster der Untersuchungen am Testfeld dienten zur Verifizierung der Messergebnisse in den Kommunen.

Um die Einsatzmöglichkeit des Georadars für Kanalnetzbetreiber zu verbessern, wurde in diesem Vorhaben ein Datenmanagementsystem entwickelt, mit dessen Hilfe die Untersuchungen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer auszutauschen, zu bewerten und zu visualisieren sind. Aus bestehenden Standards wurde ein XML-basiertes Austauschformat entworfen, mit dem die Fachdaten plattformunabhängig und mit vertretbarem Aufwand in verschiedene Kanalinformationssysteme eingebunden werden können. Erweitert durch den verwendeten GML-Standard ist dies auch in Bezug auf die Visualisierungen möglich, die mit Hilfe der Geometriedaten generiert werden. Es werden hinsichtlich einer praxisgerechten Visualisierung die Messdaten georeferenziert, indem nicht nur die durch das Messfahrzeug aufgenommenen GPS-Koordinaten in verschiedene Koordinaten-Systeme transformiert wurden, sondern auch ein Datenmanagement entwickelt wurde, das es ermöglicht, die Lagegenauigkeit der erfassten GPS-Signale zu überprüfen und zu korrigieren.

Anhand der referenzierten Daten wurden zwei Darstellungsformen entwickelt, die sich in bestehende Visualisierungen, wie sie bei Kanalinformationssystemen verwendet werden, integrieren. Diese Verschneidung ermöglicht den Kommunen, die Untersuchungen bei planerischen Sanierungsmaßnahmen zu berücksichtigen.

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

1 Einleitung

Eine dauerhafte und nachhaltige Kanalnetzbewirtschaftung erfordert von den Kommunen die genaue Kenntnis der Netzstruktur. Um das öffentliche Kanalnetz mit einer Gesamtlänge von 486.159 km (BGW, 2005) zu erfassen, sind wirtschaftliche und objektive Methoden für die Inspektion dringend erforderlich. Während herkömmliche TV-Inspektionen aus dem Kanal nur die Oberfläche des Rohres erfassen, ermöglichen geophysikalische Bodenraddarmessungen (Georadar) Einblicke in die umgebende Leitungszone.

Um eine langfristige Standsicherheit zu gewährleisten, sind Abwasserkanäle vorschriftsmäßig zu betten und zu lagern. Aufgrund von Lagerungsdefekten und Hohlräumen, die sich im Bereich der Leitungszone durch eine unzureichende Verdichtung, nicht fachgerecht ausgeführte Hausanschlüsse sowie dynamische und statische Belastungen bilden, ist unter dem Aspekt einer betriebssicheren und langfristigen Nutzung auch das statische Rohr-Boden System zu überprüfen. Mit Hilfe des Georadars können Lagerungsdefekte frühzeitig erkannt werden.

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. Die Integration dieser zusätzlichen Information in ein Kanalmanagementsystem ermöglicht es dem Kanalnetzbetreiber, die Standsicherheit wieder herzustellen. Damit lassen sich auch eine Gefährdung des Verkehrsraumes sowie eine Gefährdung von Gebäuden ausschließen.

Um sowohl das Potenzial als auch gezielte Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie im Bereich erdverlegter Abwasserkanäle aufzuzeigen, werden die grundlegende Funktionsweise sowie die Theorie des Georadars zusammengefasst. Darauf aufbauend werden praxisbezogene Einsatzmöglichkeiten sowie die dafür notwendige Messtechnik vorgestellt. Das Erkennungspotenzial des eingesetzten Systems wird im Vergleich zu bisherigen Untersuchungen mit Georadar-Geräten zur Erkennung von Lagerungsdefekten, Hohlräumen sowie anderen Schadensbildern diskutiert. Die aus diesen theoretischen und

praktischen Kenntnissen gewonnenen Informationen fließen in das Datenmanagementsystem ein und werden in Beziehung zum bestehenden Datenbestand aus Kanalinformationssystemen gesetzt. Die Verschneidung der Daten gestattet auch ohne spezielles Fachwissen, die Ergebnisse in planerische Maßnahmen einzubinden.

Für eine präzise Analyse erkannter Inhomogenitäten ist die Position der Lagerungsdefekte und Hohlräume im Bereich der Leitungszone genau zu bestimmen. Im Rahmen dieser Bestimmung ist es erforderlich, eine Georeferenzierung der Daten durchzuführen, um die Lagegenauigkeit der erkannten Bodenanomalien auszuwerten.

Die Verschneidung der Daten mittels Kanalkataster und die Georeferenzierung bilden die Basis einer praxisgerechten Visualisierung. Die Daten werden in bestehende Darstellungsformen sowohl eindimensional als auch zweidimensional eingebunden.

2 Entstehung von Lagerungsdefekten an Kanalisationen

Die Entstehung von Hohlräumen im Bereich erdverlegter Kanäle ist von unterschiedlichen Randbedingungen abhängig. Diese werden im Folgenden erläutert.

Zur Quantifizierung der Hohlraumentstehung und -ausbreitung wurden am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA) im Rahmen des Forschungsvorhabens „Untersuchung des Einflusses undichter Abwasserkanäle auf die Standsicherheit des umgebenden Bodenkörpers“ (DOHMANN und HENNERKES, 2004) durch Variation von

- Bettungsmaterial und Verfüllmaterial in der Leitungszone,
- Schadensbild und Schadensausmaß,
- Grundwasserstand,
- statischer und dynamischer Belastung des umgebenden Bodens

sowie durch ergänzende Simulation des Einflusses einer Hochdruckreinigung umfassende Untersuchungen in zwei halbtechnischen Versuchsanlagen durchgeführt (vgl. a. HENNERKES, 2006).

Ein Ergebnis dieser Untersuchungen ist, dass bereits bei Schäden mit vergleichsweise geringem Ausmaß (z. B. Risse ab 3 mm) ein Bodeneintritt mit nachfolgender Bodenumlagerung bzw. Hohlraumbildung eintreten und die Standsicherheit gefährdet werden kann. Die Ergebnisse der halbtechnischen Versuche hinsichtlich einer möglichen Bildung von Hohlräumen infolge Bodeneintrags sind für einen schwach-bindigen Boden (Tabelle 2.1) und einem rolligen Boden (Tabelle 2.2) den Zustandsklassen nach ATV-Merkblatt M 149 gegenübergestellt.

Zu beachten ist dabei, dass die Hohlraumbildung stark diskontinuierlich erfolgt und damit in Abhängigkeit lokaler Randbedingungen in aller Regel "plötzlich" auftritt. Im Rahmen der halbtechnischen Untersuchungen weiteten sich die Hohlräume teilweise innerhalb weniger Stunden auf ein erhebliches Maß aus. Im dargestellten Beispiel (Bild 2.1) finden im Bodenkörper infolge des unter Grundwassereinfluss eingetragenen Bodens Erdfälle statt, die sich sukzessive zur Oberfläche fortpflanzen und innerhalb von 4 Stunden zu einer größeren Hohlraumbildung über der Schadstelle mit anschließendem Tagbruch führen.

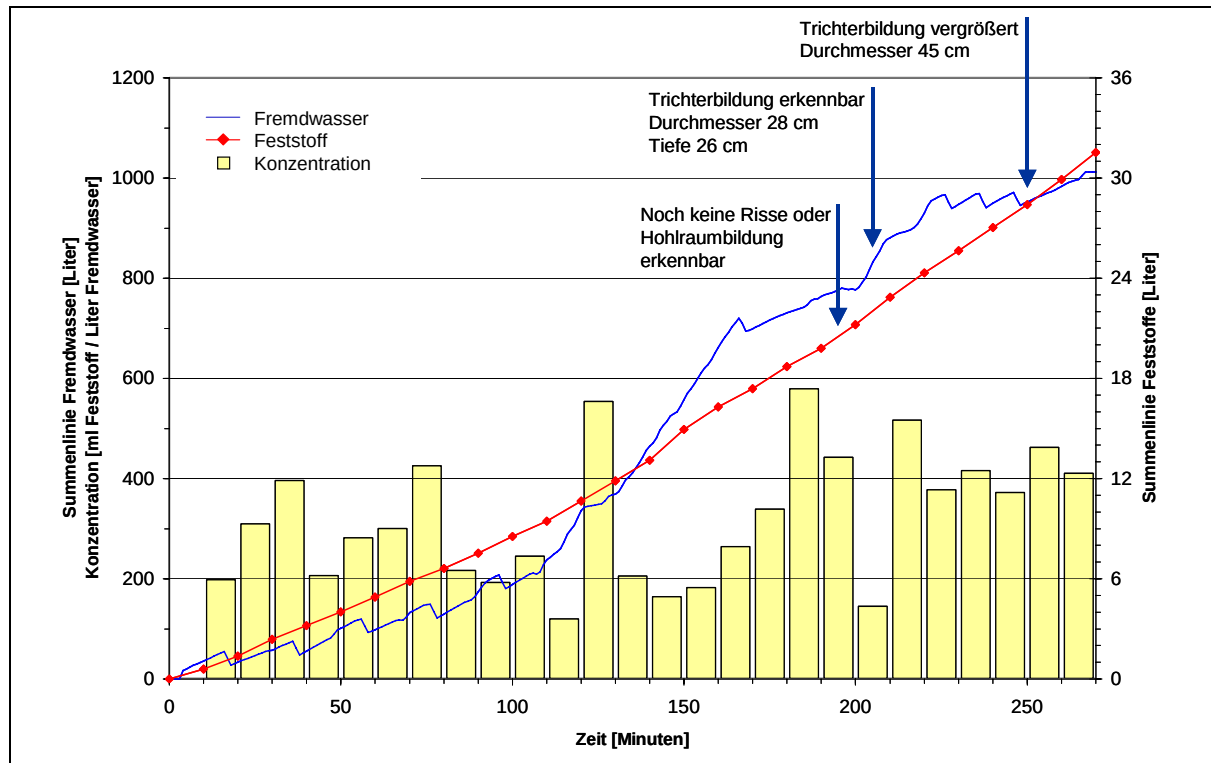


Bild 2.1 Ergebnisse eines Infiltrationsversuches mit nachfolgender Hohlraumbildung (Punktschaden mit einem Durchmesser von 30 mm; PINNEKAMP, 2004)

Es kann zwar erwartet werden, dass die Hohlraumbildung in der Praxis aufgrund von Phänomenen, die in der Versuchsanlage nicht abgebildet werden konnten, wie z. B.

- der Bodenkonsolidierung im Zeitraum zwischen Einbau des Kanals und Auftreten des entsprechenden Schadens sowie
- die in aller Regel gegenüber den Versuchsbedingungen deutlich höheren Erd- und Verkehrslasten

in einem anderen Umfang stattfindet.

Diese Phänomene führen in der Praxis zu einer entsprechenden inneren Reibung des Bodengefüges und tragen damit zur Stabilität des Bodenkörpers bei. Trotzdem kann als Ergebnis der halbtechnisch Untersuchungen bzgl. der Übertragbarkeit in die Praxis festgehalten werden, dass unter ungünstigen Randbedingungen bereits bei kleinen und durch TV-Inspektion oft nicht oder nur eingeschränkt erfassbaren Schäden (z. B. undichte Rohrverbindungen oder geeignete Schäden im Bereich der Anschlusskanäle) innerhalb relativ kurzer Zeit (bezogen auf übliche Inspektionsintervalle) Bodenumlagerungen bis hin zur Hohlraumbildungen in der Leitungszone eintreten können (vgl. Tabelle 2.1 und Tabelle 2.2).

Tabelle 2.1: Ergebnisse der halbtechnischen Untersuchungen bei schwachbindigen Böden (DOHMANN und HENNERKES, 2004)

Versuchsrandbedingungen				Zustands- klasse nach ATV-M 149	Versuchsergebnisse		
Schadensart und -umfang		Fläche	besondere Belastung		massiver Boden- eintrag	Hohlraum- bildung	weitere Unter- suchungen erforderlich ¹
undichte Muffe	-	-	GW / DYN	ZK 2 (ggf. ZK 1)	●	●	●
Punktschaden / Scherbenbildung	3 mm	0,07 cm ²		ZK 1			
	5 mm	0,20 cm ²	GW	ZK 1			
	8 mm	0,50 cm ²	GW	ZK 1			
	10 mm	0,79 cm ²	GW	ZK 1			
	15 mm	1,77 cm ²	GW / HD / DYN	ZK 1	●	●	●
	20 mm	3,14 cm ²	GW / HD / DYN	ZK 1	●	●	●
	25 mm	4,91 cm ²	GW / HD / DYN	ZK 1	●	●	●
	30 mm	7,07 cm ²	DYN	ZK 1	●	●	●
	35 mm	9,62 cm ²		ZK 1	●	●	●
Risschaden / Längsriss / Querriss	1 mm	10 cm ²		ZK 3			
	2 mm	20 cm ²	HD	ZK 2			
	3 mm	30 cm ²		ZK 2			
	5 mm	50 cm ²	HD / DYN	ZK 1			
	6 mm	60 cm ²	HD / DYN	ZK 1	●		●
	8 mm	80 cm ²	HD / DYN	ZK 1	●	●	●
	10 mm	100 cm ²	DYN	ZK 0	●	●	●
Abkürzungen HD Hochdruckreinigung DYN dynamische Belastung GW wechselnde Grundwasserverhältnisse ¹ z. B. durch Rammsondierungen oder Georadaruntersuchungen							

Tabelle 2.2: Ergebnisse der halbtechnischen Untersuchungen bei rolligen Böden (DOHMANN und HENNERKES, 2004)

Versuchsrandbedingungen				Zustands- klasse nach ATV-M 149	Versuchsergebnisse		
Schadensart und -umfang		Fläche	besondere Belastung		massiver Boden- eintrag	Hohlraum- bildung	weitere Unter- suchungen erforderlich ¹
undichte Muffe	-	-	GW / DYN	ZK 2 (ggf. ZK 1)	●	●	●
Punktschaden / Scherbenbil- dung	3 mm	0,07 cm ²	HD	ZK 1			
	5 mm	0,20 cm ²	GW / HD	ZK 1			
	6 mm	0,28 cm ²	DYN	ZK 1			
	7 mm	0,38 cm ²	HD	ZK 1	●		●
	10 mm	0,79 cm ²	DYN / HD	ZK 1	●	●	●
	14 mm	1,54 cm ²	GW / HD	ZK 1	●	●	●
	15 mm	1,77 cm ²	DYN	ZK 1	●	●	●
	16 mm	2,01 cm ²		ZK 1	●	●	●
Risschaden / Längsriss / Quer- riss	1 mm	10 cm ²	GW	ZK 3			
	2 mm	20 cm ²	GW	ZK 2			
	3 mm	30 cm ²	GW / DYN / HD	ZK 2	●		●
	4 mm	40 cm ²	HD	ZK 2	●	●	●
	5 mm	50 cm ²	GW / DYN / HD	ZK 1	●	●	●
	6 mm	60 cm ²	HD	ZK 1	●	●	●
	8 mm	80 cm ²		ZK 1	●	●	●
Abkürzungen HD Hochdruckreinigung DYN dynamische Belastung GW wechselnde Grundwasserverhältnisse ¹ z. B. durch Rammsondierungen oder Georadaruntersuchungen							

3 Geophysikalische Verfahren zur Bodenerkundung

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. KNÖDEL et al. (1997) unterscheiden hierbei u. a. die Magnetik, die Gravimetrie, die Geoelektrik, das Bodenradar, die Seismik, die Geothermik, die Radiometrie, die Aerogeophysik, die Bohrlochgeophysik, geophysikalische Penetrationssondierungen und die Petrophysik.

3.1 Magnetik

Bei der angewandten Magnetik werden das natürliche Magnetfeld der Erde, das so genannte „Hauptfeld“, das „Außenfeld“ oder „Variationsfeld“, das seinen Ursprung außerhalb des Erdkörpers hat und als „Anomalienfeld“, das durch unterschiedliche Magnetisierung des in der Erdkruste befindlichen Materials hervorgerufen wird, erfasst. Das Anomalienfeld kann durch geologische Strukturen und im Erdreich eingebrachte Gegenstände (Altmetall, Rohrleitungen aus Metall etc.) hervorgerufen werden. Die angewandte Magnetik dient zum Auffinden und Abgrenzen von magnetisch wirksamen Ablagerungen, der lithologischen Gliederung des Untergrundes und dem Nachweis von Störungszonen. (KNÖDEL et al., 1997)

Für die Detektion von Hohlräumen im Untergrund ist dieses Verfahren nicht geeignet.

3.2 Gravimetrie

Bei der Gravimetrie wird die Anziehung zweier Massen untereinander gemessen. Diese Anziehung wird als Beschleunigung gemessen. Einfluss haben die Anziehungsbeschleunigung der Erde, die Zentrifugalbeschleunigung aufgrund der Erdrotation sowie die Anziehungsbeschleunigung durch Sonne und Mond. Überlagert wurden diese Größen durch die anomale Schwerebeschleunigung (Schwereanomalie). Diese wird durch geologische oder anthropogene Dichteinhomogenitäten hervorgerufen. Die Gravimetrie kann zur Strukturerkundung und lithologischen Gliederung des Untergrundes, dem Nachweis von Störungszonen und auch dem Nachweis von Hohlräumen eingesetzt werden. (KNÖDEL et al., 1997)

Aufgrund des hohen Messaufwandes ist diese Methode zur Erkundung von Hohlräumen in der Leitungszone von Kanälen ungeeignet.

3.3 Seismik

Bei den seismischen Verfahren werden künstlich erzeugte Schallwellen in den Untergrund eingebracht und die im Untergrund reflektierten Wellen aufgezeichnet. Aus diesen lassen

sich Rückschlüsse auf den strukturellen und lithologischen Aufbau der Gesteinsschichten im Untergrund ziehen, da die Wellen an Grenzflächen reflektiert, gebeugt oder gestreut werden. Die seismische Energie kann z. B. durch Sprengstoff, Fallgewichte oder Vibratoren eingebracht werden.

Neben der Erkundung der regionalen und lokalen geologischen Strukturen im Untergrund dienen die seismischen Verfahren auch zur Lokalisierung anthropogener Strukturen im Erdreich (Bauwerke, Fundamente etc.) sowie der Erkundung von Hohlräumen. (KNÖDEL et al, 1997)

In dem Forschungsvorhaben „Quantitative Inspektion von Abwasserkanälen und -leitungen mittels geophysikalischer Verfahren“ konnten mit seismischen Untersuchungen aus einem begehbaren Kanal heraus zumindest Hohlräume detektiert werden (KABBE et al., 2003).

3.4 Geothermik

Die Temperatur in der Erde nimmt mit zunehmender Tiefe zu. Die Wärmeenergie wird aus dem Erdinneren nach außen transportiert. In homogenen Gesteinsschichten ist diese Wärmestromdichte konstant. Sie kann aber durch Anomalien im Untergrund gestört werden, die sich als Temperaturanomalie bis zur Oberfläche fortsetzen kann. Diese Störungen können nicht nur auf eine differierende Wärmeleitfähigkeit der verschiedenen Gesteine sondern auch auf biologische oder chemische Abbauprozesse im Untergrund oder Strömungs- und Transportvorgänge im Grundwasser zurückgeführt werden. (KNÖDEL et al, 1997)

Die Geothermik ist für das Auffinden von Hohlräumen im Bereich von Abwasserleitungen eher ungeeignet. Denkbar wäre ein Einsatz zur Detektion von Leckagen.

3.5 Radiometrie

Die Radiometrie dient zur Erfassung der natürlichen Radioaktivität von Gesteinen. Die Methode dient in erster Linie zur Bestimmung des lithologischen Aufbaus des Untergrundes und findet bei der Detektion von Hohlräumen im Bereich von Abwasserleitungen keine Anwendung.

3.6 Aerogeophysik

Bei aerogeophysikalischen Messungen werden von einem Flugzeug oder Hubschrauber aus verschiedene Bodenerkundungsverfahren eingesetzt. Denkbare Verfahren sind u. a. die Elektromagnetik oder die Radiometrie.

Diese Messungen können aber für den Aufgabenbereich der Detektion von kleinräumigen Strukturen im Bereich erdverlegter Kanäle nur eine sehr untergeordnete Rolle spielen und werden hier nicht weiter behandelt.

3.7 Bohrlochgeophysik

Durch die Untersuchung des Untergrundes mit den verschiedensten (geo-)physikalischen Methoden durch das Einbringen von Sonden in Bohrlöcher können z. B. Erkenntnisse über den lithologischen Aufbau, die Dichte, den Tongehalt, die Porosität und die Wassersättigung des Bodens sowie Aussagen zu physiko-chemischen Parametern des Grundwassers gewonnen werden. (KNÖDEL et al., 1997)

Bei der Detektion von Hohlräumen im Bereich von Abwasserleitungen ist dieses Vorgehen eher ungeeignet.

3.8 Geophysikalische Penetrationssondierungen

Bei einer Penetrationssondierung wird eine Sonde, die den Spitzenwiderstand, die Mantelreibung und den Porenwasserdruck misst, in den Untergrund gepresst oder gerammt. Je nach Bodenbeschaffenheit können Eindringtiefen größer 10 m erreicht werden, in Einzelfällen auch bis zu 50 m. In das Gestänge können anschließend verschiedene geophysikalische Messsonden eingebracht werden. (KNÖDEL et al, 1997)

Penetrationssondierungen sind üblich für die Untersuchung von Baugründen für Straßen, Leitungen, Kanäle, Gebäude und Dämme und dienen ebenfalls zur Bauabnahme und zur Verifizierung anderer geophysikalischer Messungen auch bei der Detektion von Lageungsfehlstellen im Bereich von Abwasserleitungen.

3.9 Petrophysik

In der Petrophysik werden die physikalischen Eigenschaften der Gesteine beschrieben. Die Kenntnis dieser Eigenschaften ist für die meisten geophysikalischen Untersuchungsmethoden Voraussetzung zur Bestimmung und Interpretation der Messergebnisse.

In der Petrophysik werden z. B. die Dichte (Korn-, Trocken-, Feuchtroh-, Sättigungsdichte), die Porosität (Gesamt-, Nutzporosität), der Wassergehalt und die Sättigung, porengometrischen Parameter (Porenradienverteilung, spez. innere Oberfläche), Durchlässigkeit (k_f -Wert), Ausbreitungsgeschwindigkeit seismischer Wellen, elektrische Eigenschaften (spez. elektr. Widerstand, Grenzflächenleitfähigkeit, Dielektrizitätszahl, Eigenpotential), Magnetisierbarkeit, Wärmeleitfähigkeit, Temperaturleitfähigkeit und die spez. Wärmekapazität bestimmt.

3.10 Geoelektrik

Unter Geoelektrik werden elektrische und elektromagnetische Verfahren verstanden, die zur Bestimmung der räumlichen Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit bzw. des spezifischen elektrischen Widerstandes, der Ermittlung von Strukturen, die sich durch eine Änderung der elektrischen Eigenschaften ergeben und der Beobachtung natürlicher elektrischer Felder im Untergrund dienen.

Zu den geoelektrischen Verfahren zählen u. a. die Messung des Eigenpotentials, die Gleichstromgeoelektrik, die Elektromagnetik, die Radiowellen-Schattenmethode und das Georadar. Das Georadar wird im folgenden Abschnitt 3.11 ausführlich beschrieben.

3.11 Boden- oder Georadar

Das Georadar (auch Bodenradar, Ground Penetrating Radar (GPR) oder elektromagnetische Reflexionsmethode (EMR) genannt) ist die leistungsfähigste Methode zur Erkundung des Untergrunds bis zu einer Tiefe von 10 m (KNÖDEL u. a. 1997). 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, wird ein Teil der Energie reflektiert und von der Empfangsantenne aufgezeichnet (s. Bild 3.1). Eine Grenzschicht ist charakterisiert durch den Wechsel von Bodenschichten mit unterschiedlichen elektromagnetischen Eigenschaften.

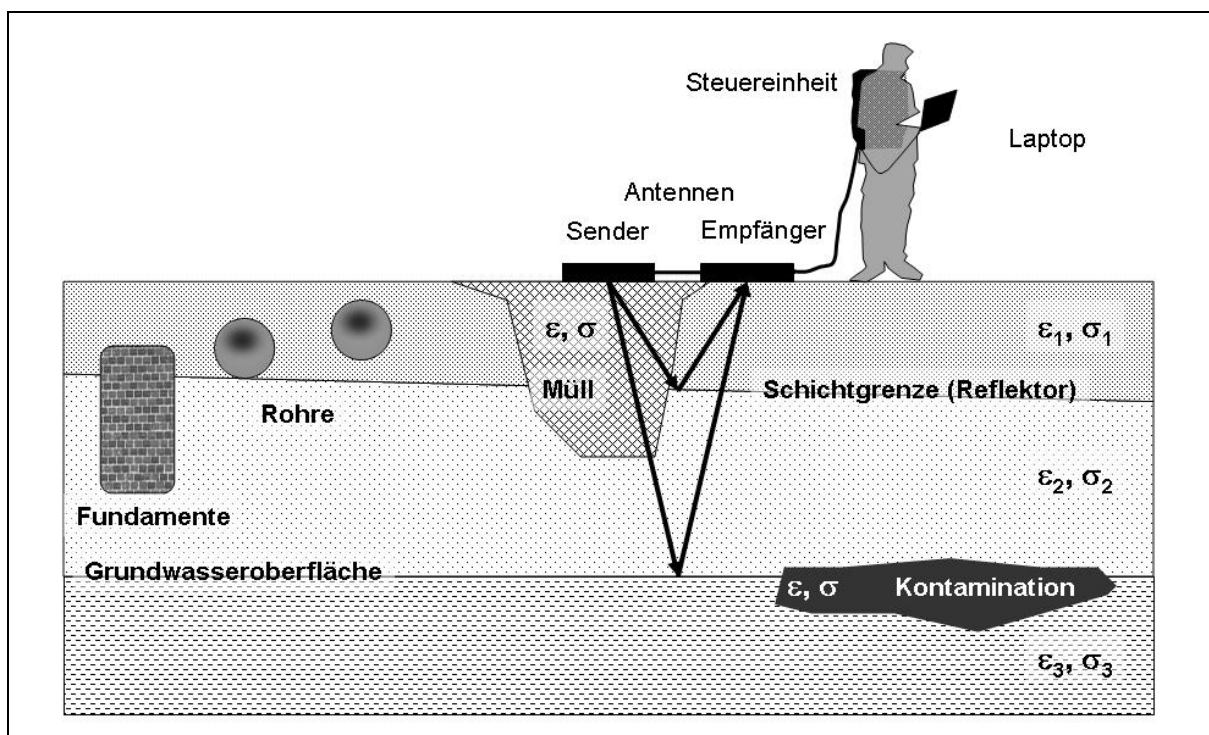


Bild 3.1: Funktionsweise des Georadars (nach KNÖDEL et al., 1997)

Die Reflexion, die durch diesen Wechsel verursacht wird, ist umso deutlicher ausgeprägt, desto mehr sich die elektromagnetischen Eigenschaften 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.

Georadarmessungen werden üblicherweise als Radargramm dargestellt. Das Radargramm setzt sich aus der Summe der Einzelspuren oder auch Radarscans zusammen. Dabei wird die Amplitude der reflektierten Welle über die Laufzeit aufgetragen (ALTEKÖSTER, 2004).

Vorteile dieser Messmethode 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. Georadar hat eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten. So können mit dem Bodenradar beispielsweise Rohrleitungen, Kabel, anthropogene Einlagerungen, Hohlräume, Tonlinsen, Eiskeile sowie Torfvorkommen geortet werden. Ebenso können Sediment- und Bodenstrukturen, Abgrenzungen von Anomalien und Homogenbereichen sowie Grundwasserspiegellagen mit dem Georadar untersucht werden (s. Bild 3.1). Sind an der Oberfläche jedoch feuchte Tone und Schluffe, Wasser mit Salzfracht, eisenhaltige Schlacken o. ä. vorhanden, kann das Verfahren nur bedingt oder gar nicht eingesetzt werden. Die Technologie des Georadars ist eine der neueren Methoden in der angewandten Geophysik und wird ständig weiterentwickelt (KNÖDEL u. a. 1997).

3.11.1 Physikalische Grundlagen

Die physikalischen Grundlagen des Georadarsystems basieren auf den Theorien der „Elektromagnetischen Welle“ und der „Geometrischen Optik“, welche die Reflexion, Transmission und Refraktion der Welle im Medium beschreibt.

3.11.1.1 Elektromagnetische Wellen

In der folgenden Tabelle 3.1 sind die wichtigsten Größen zur Beschreibung der elektromagnetischen Welle abgebildet.

Tabelle 3.1: Übersicht der wichtigsten Größen in der Geoelektrik

Formelzeichen	Größe	SI-Einheit
$\vec{E}$	elektrische Feldstärke	V / m
$\vec{D}$	elektrische Flussdichte	$C / m^2 = A \cdot s / m^2$
$\vec{H}$	magnetische Feldstärke	A / m
$\vec{B}$	magnetische Flussdichte	$T = V \cdot s / m^2$
$\vec{J}$	Stromdichte	A / m^2
ρ_e	Raumladungsdichte	$C / m^3 = A \cdot s / m^3$
ε	Permittivität, dielektrische Leitfähigkeit	$F / m = A \cdot s / (V \cdot m)$
σ	elektrische Leitfähigkeit	$S / m = A / (V \cdot m)$
ρ	elektrischer Widerstand	$\Omega \cdot m = (V \cdot m) / A$
μ	Permeabilität	$H / m = V \cdot s / (A \cdot m)$

Elektromagnetische Wellen werden durch die *Maxwellschen Gleichungen* beschrieben. Die *Maxwellschen Gleichungen* beschreiben den Zusammenhang zwischen den Feldgrößen elektrischen Feldstärke $\vec{E}$, der dielektrischen Verschiebungsdichte $\vec{D}$, der magnetischen Feldstärke $\vec{H}$ und der magnetischen Flussdichte $\vec{B}$ sowie der elektrischen Stromdichte $\vec{J}$ und der elektrischen Ladungsdichte ρ_e (DIN 1324) und lauten:

$$\text{Ampère-Maxwell:} \quad \text{rot} \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \quad (1)$$

$$\text{Faraday-Henry:} \quad \text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

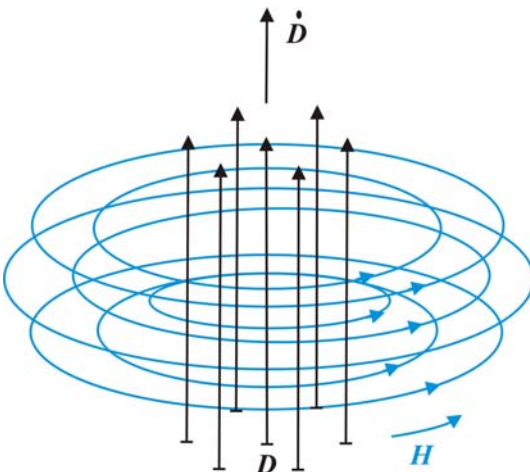
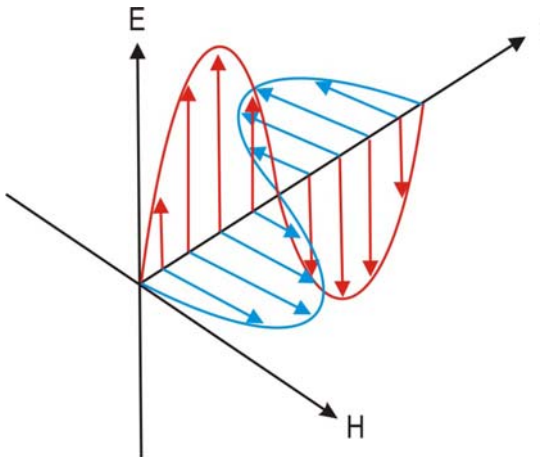
$$\text{Coulomb:} \quad \text{div} \vec{D} = \rho_e \quad (3)$$

$$\text{Gauß:} \quad \text{div} \vec{B} = 0 \quad (4)$$

Sie können wie folgt interpretiert werden:

„Ein sich zeitlich änderndes elektrisches Feld erzeugt ein magnetisches Wirbelfeld (s. Bild 3.2). Ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld erzeugt ein elektrisches Wirbelfeld (MESCHEDE et al., 2004)“

Demzufolge verhalten sich das elektrische Feld $\vec{E}$ und das magnetische Feld $\vec{H}$ bei der wellenförmigen Ausbreitung orthogonal zueinander (s. Bild 3.3).

	
Bild 3.2: Zeitlich veränderliches elektrisches Feld und erzeugtes Magnetfeld (MESCHEDE et al., 2004)	Bild 3.3: Zeitlich veränderliche Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle im Raum (DANIELS, 2004)

Breitet sich die elektromagnetische Welle innerhalb von Materie aus, beeinflusst die Materie die Welle. Der Zusammenhang zwischen den stoffspezifischen Eigenschaften und den Feldgleichungen kann über die Materialgleichungen beschrieben werden (DIN 1324):

Verschiebungsstromdichte: $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ (5)

Leitungsstromdichte: $\vec{J} = \sigma \vec{E}$ (6)

magnetische Flussdichte: $\vec{B} = \mu \vec{H}$ (7)

In die Materialgleichungen gehen die Dielektrizitätskonstante ϵ , die elektrische Leitfähigkeit σ und die magnetische Permeabilität μ ein. Eine genaue Beschreibung dieser Parameter erfolgt in Abschnitt 3.11.2.

Aus den Maxwell'schen Gleichungen und den Materialgleichungen kann die allgemeine Form der Wellengleichung (auch Telegraphengleichung genannt) hergeleitet werden:

$$\nabla^2 \vec{E} = \underbrace{\mu_0 \mu_r \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}}_{\text{Leitungsterm}} + \underbrace{\mu_0 \mu_r \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}}_{\text{Verschiebungsterm}} \quad (8)$$

Der linke Teil der Differentialgleichung beschreibt die räumliche Ausbreitung der Welle. Der rechte Teil, der aus dem Leitungsterm und dem Verschiebungsterm besteht, beschreibt die zeitliche Veränderung der Welle (LOWRIE, 2003; KNÖDEL et al., 1997).

3.11.1.2 Ausbreitung

Die Art der Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen hängt von der Frequenz ab. Hierbei wird zwischen einer wellenförmigen und einer diffusen Ausbreitung - ähnlich der Wärmeleitung - von Wellen unterschieden. Einen Hinweis auf die Art der Wellenausbreitung liefert der Qualitätsfaktor Q (Gütefaktor, Magnitudenverhältnis), der das Verhältnis des Leitungs- und des Verschiebungsterms aus Gleichung (8) widerspiegelt.

Unter der Annahme, dass das magnetische Feld $\vec{H}$ und das elektrische Feld $\vec{E}$ sinusförmig schwingen, verhält sich $\left| \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right| \sim \omega \vec{E}$ und $\left| \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \right| \sim \omega^2 \vec{E}$. Entsprechend folgt mit $\omega = 2\pi f$ (LOWRIE, 2003):

$$Q = \frac{\left| \mu_0 \mu_r \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \right|}{\left| \mu_0 \mu_r \sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right|} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r \omega^2 \vec{E}}{\sigma \omega \vec{E}} = 2\pi f \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r}{\sigma} \quad (9)$$

Für einen Qualitätsfaktor $Q > 2$ ist nach (KNÖDEL et al., 1997) von wellenförmiger Ausbreitung auszugehen. Hingegen liegt bei einem Faktor von $Q = 0,5$ schon erhöhte Diffusion vor und die Theorie der elektromagnetischen Welle ist nicht mehr anwendbar. In diesem Bereich können keine Georadarmessungen durchgeführt werden, da aufgrund der diffusen Ausbreitung keine Reflexionen im Untergrund stattfinden. Der Qualitätsfaktor Q und damit die Art der Wellenausbreitung sind stark von der verwendeten Frequenz abhängig. Mit abnehmender Frequenz sinkt auch der Qualitätsfaktor, der ein Maß für den unteren Frequenzbereich des Georadars ist.

Für eine genauere Betrachtung der Wellenausbreitung in leitfähigen Medien ist die komplexe Schreibweise sinnvoll. Vereinfachend kann angenommen werden, dass sich die Welle lediglich in Z-Richtung ausbreitet. Somit ergibt sich aus Gleichung (8) mit $i = \sqrt{-1}$ eine elektrische Feldstärke von (LEHNER, 2006):

$$E(t) = E_0 e^{i\omega t - kz} \quad (10)$$

Die Ausbreitungskonstante k (Wellenvektor) ist bei harmonischen Vorgängen im Raum ebenfalls komplex und es ergibt sich in Anlehnung an die Wellengleichung (8) (LEHNER 2006):

$$k = \sqrt{\mu \varepsilon \omega^2 - \mu \sigma i \omega} = \beta - i\alpha \quad (11)$$

Phasenverschiebungen im elektrischen Feld führen dazu, dass die Permittivität ε sowie die Leitfähigkeit σ ebenfalls als komplexe Größen zu betrachten sind (HOLLENDER und TILLARD, 1998):

$$\sigma = \sigma' + i\sigma'' \quad (12)$$

$$\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon'' \quad (13)$$

Dabei hängen der Imaginärteil der Permittivität von der Leitfähigkeit und der Imaginärteil der Leitfähigkeit von der Permittivität ab. Da sich wegen dieser Abhängigkeit die Materialgrößen nicht einzeln bestimmen lassen, werden in der Praxis die effektiven Parameter angegeben. Anhand dieser Größen kann der Tangens des Verlustwinkels $\tan \delta$ bestimmt werden. Der Tangens des Verlustwinkels ist ein Maß für die Dämpfung der Welle im Boden und verhält sich reziprok zum Qualitätsfaktor Q . Mit den Werten für die effektive Dielektrizität folgt (HOLLENDER und TILLARD, 1998; DANIELS, 2004):

$$\tan \delta = \frac{\varepsilon''_{eff}}{\varepsilon'_{eff}} = \frac{\varepsilon'' + \frac{\sigma'}{\omega}}{\varepsilon' + \frac{\sigma''}{\omega}} = \frac{\sigma'}{\omega \varepsilon'} + \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \approx \frac{\sigma'}{\omega \varepsilon'} = \frac{1}{Q} \quad (14)$$

Der Imaginärteil der Leitfähigkeit darf vereinfachend zu $\sigma \approx 0$ gesetzt werden (HOLLENDER und TILLARD, 1998; DANIELS, 2004). Mit den oben getroffenen Annahmen können die Werte für den Imaginärteil α sowie den Realteil β der Ausbreitungskonstante k (11) der komplexen Wellengleichung bestimmt werden:

$$\alpha = \pm \omega \sqrt{\frac{\mu \varepsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1 \right)} \quad (15)$$

$$\beta = \pm \omega \sqrt{\frac{\mu \varepsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \tan^2 \delta} + 1 \right)} \quad (16)$$

Von den beiden Lösungen beschreibt die imaginäre Dämpfungskonstante α die räumliche Dämpfung. Die reale Phasenkonstante β definiert die räumliche Ausbreitung (KNÖDEL et al., LEHNER, 2006).

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit $v = \frac{\omega}{\beta}$ ist mit der Lösung für die komplexe Wellengleichung ebenfalls bekannt und ergibt sich mit Gleichung (16) zu (KNÖDEL et al., 1997):

$$v = c_0 \sqrt{\frac{\varepsilon'_{eff}}{2\varepsilon_0} \left(\sqrt{1 + \tan^2 \delta} + 1 \right)} \quad (17)$$

Damit die Welle im Boden Wellencharakter besitzt, müssen die Verschiebungsströme dominieren und $Q \gg 1$ sein. In diesem Fall lässt sich die Geschwindigkeit mit $\varepsilon'_{eff} = \varepsilon'_r$ vereinfachen zu (KNÖDEL et al., 1997):

$$v \approx \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (18)$$

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle ist dementsprechend durch die Größen ε'_r und die Lichtgeschwindigkeit c_0 im Vakuum definiert.

Mit Kenntnis der Geschwindigkeit sowie der Laufzeit des Impulses wird die Tiefe der Objekte im Erdreich berechnet. Zudem muss die relative Dielektrizitätskonstante ϵ_r' bekannt sein (KNÖDEL et al, 1997; DANIELS, 2004). Daraus folgt, dass mit Kenntnis der Tiefe eines Objekts im Boden die Dielektrizitätskonstante ermittelt werden kann.

3.11.1.3 Dämpfung

Die Dämpfung der elektromagnetischen Welle bestimmt die Reichweite und damit die Eindringtiefe der Welle in den Boden. Relevant für die Dämpfung ist neben den vorliegenden Bodenverhältnissen auch die Summe der Wegverluste der elektromagnetischen Welle von der Sendeantenne bis zur Empfangsantenne (s. Abschnitt 3.11.3.2) (NUSSER, 1995).

Im Medium wird der Verlustanteil durch die Dämpfungskonstante α bestimmt und ist häufig in der logarithmischen Form mit dem Absorptionskoeffizienten

$$\alpha' = 8,686 \alpha$$

angegeben (s. Abschnitt 3.11.2.1,

Tabelle 3.2). Mit zunehmendem Wassergehalt und steigender Frequenz sinkt die Reichweite der elektromagnetischen Strahlung im Boden. Somit sollte bei der Anwendung des Bodenradars die Dämpfung 40 bis 60 dB für den zurückgelegten Weg von der Erdoberfläche durch den Boden bis zum Reflektor und zurück zur Empfangsantenne nicht überschreiten. Die restliche Energie benötigen u. a. die Ausbreitungsverluste oder technisch bedingte Rauschanteile. Mit der Gleichung für die Dämpfungskonstante (15) und dem zweifachen Weg der Welle liegt die maximale Eindringtiefe h_{max} bei:

$$h_{max} \approx \frac{60dB}{2\alpha'} \quad (19)$$

Eine genauere Bestimmung ist nur mit den Systemparametern der Antenne und den Umgebungsparametern (Bandbreite, Empfindlichkeit, Leistung des Impulsgenerators, Antennenwirkungsgrad, Antennenwirkfläche und spektrale Verteilung der Rauschanteile sowie die Hochfrequenzeigenschaften des Untergrundes) möglich (KNÖDEL et al., 1997).

3.11.1.4 Auflösung

Beim Georadar wird zwischen vertikaler und horizontaler Auflösung unterschieden. Bei der lateralen oder auch horizontalen Auflösung ist die Entfernung zwischen den Reflektoren entscheidend. Das vertikale Auflösungsvermögen beschreibt den Abstand d aufeinander folgender Grenzschichten, die das Georadar gerade noch wahrnimmt. Hierbei hängt die Mindestschichtdicke primär von der Pulslänge τ' der Welle ab. Zwei reflektierte Wellen grenzen sich höchstens gegeneinander ab, wenn das Maximum der Reflexion der

zweiten Grenzschicht (Welle 1) den Empfänger nicht erreicht, bevor das Minimum der an der ersten Grenzschicht reflektierten nachfolgenden Welle (Welle 2) am Empfänger ankommt (s. Bild 3.4). Dies setzt voraus, dass der Impuls zwischen Ausstrahlung und Empfang nicht signifikant verändert wurde (PARASNIS, 1997). Da beim Georadar im Allgemeinen Zweiweglaufzeiten zu berücksichtigen sind, ergibt sich die erforderliche Mindestdicke d für eine Schicht, deren Ober- und Unterkante gerade noch festgestellt werden kann, zu (MILITZER, 1986):

$$d = \frac{\tau' c_0}{2\sqrt{\epsilon_r}} \quad (20)$$

Mit kürzerer Pulslänge und größerer Dielektrizitätskonstante nimmt das Auflösungsvermögen zu (MILITZER, 1986). Das horizontale Auflösungsvermögen bestimmt, wie nahe lateral benachbarte Objekte nebeneinander liegen dürfen, um vom Bodenradar auseinander gehalten werden zu können.

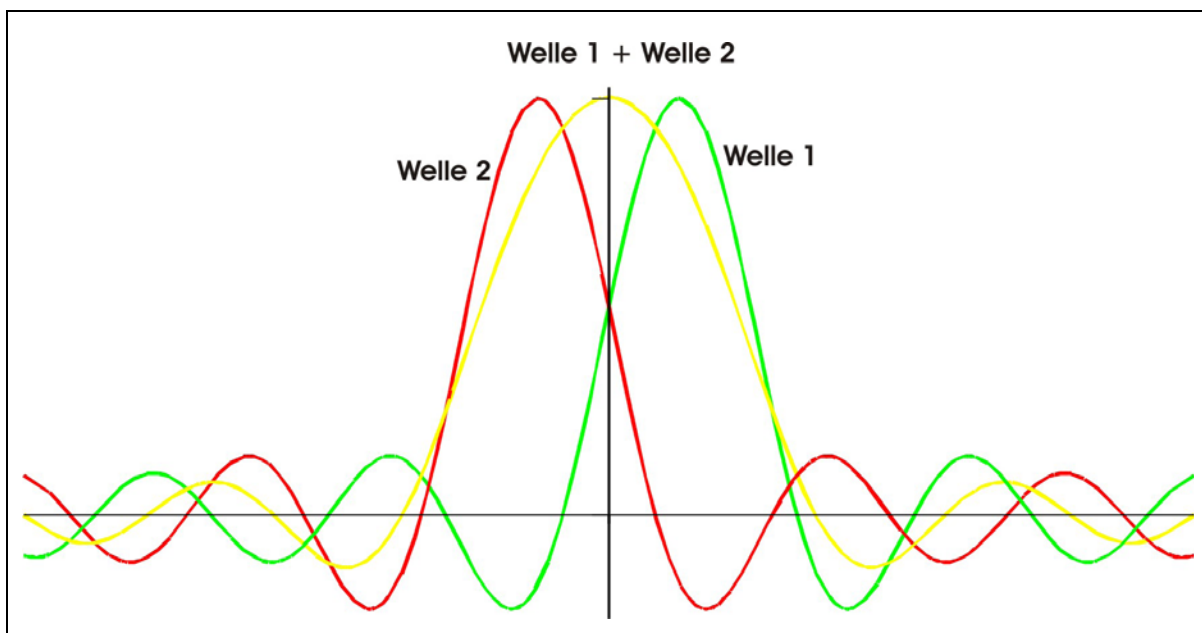


Bild 3.4: Vertikales Auflösungsvermögen

Die Antenne strahlt in den Boden nicht punktförmig sondern kegelförmig und es entsteht eine kreisförmige Fläche, der „Footprint“ (Bild 3.5).

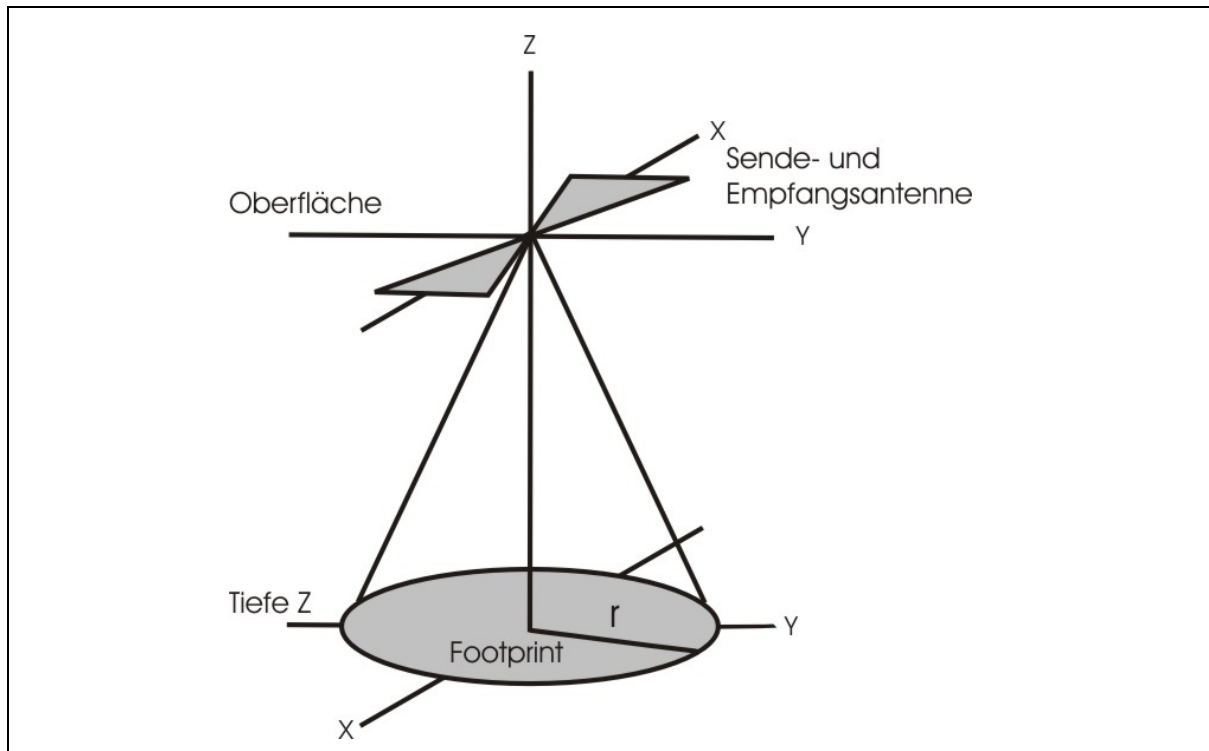


Bild 3.5: Footprint (LECKEBUSCH, 2001)

Der Footprint ist abhängig von der Tiefe Z und der Wellenlänge λ und gewinnt mit zunehmender Tiefe Z an Größe, während die Auflösung abnimmt. Beschrieben wird der Mindestabstand r der Objekte durch (LECKEBUSCH, 2001):

$$r = \sqrt{\frac{\lambda Z}{2} + \frac{\lambda^2}{16}} \quad (21)$$

Um das Objekt im Boden noch sauber zu erkennen, muss der Reflektor in der lateralen Ausdehnung größer als der Radius r sein. Ist hingegen der Reflektor in der lateralen Ausdehnung kleiner als das zu erkennende Objekt, überwiegen die Diffraktionsmuster und es ist schwierig, das Objekt sauber zu erkennen. Aus diesem Grund sollte der Abstand zweier benachbarter Objekte den Radius r überschreiten, damit eine Trennung der Körper möglich ist (PARASNIS, 1997; LECKEBUSCH, 2001).

Infolgedessen steht das Auflösungsvermögen im Gegensatz zur Eindringtiefe des Georadars. Für eine große Reichweite sind möglichst „niedrige“ Frequenzen erforderlich, für das Erzielen einer hohen Auflösung möglichst „hohe“ Frequenzen (MILITZER, 1986).

3.11.1.5 Reflexion, Transmission und Refraktion von Wellen

Treffen die elektromagnetischen Wellen auf eine elektrische Diskontinuität, die sich in Form einer Grenzschicht im Boden seitlich ausprägt, bilden sich eine reflektierte und eine gebrochene Welle. Der Verlauf der Welle kann über den Mechanismus der Reflexion und

Brechung aus der „Geometrischen Optik“ beschrieben werden. Die Welle verhält sich bei der Reflexion an einer Grenzschicht wie eine elastische Kugel mit

Eingangswinkel $\Theta_e =$ Ausgangswinkel Θ_a .

Der Teil der elektromagnetischen Welle, der nicht reflektiert wird, tritt mit einer Richtungsänderung (Refraktion) in das Medium ein.

Die Richtungsänderung beschreibt das Snelliussche Brechungsgesetz $k_1 \sin \Theta_e = k_2 \sin \Theta_b$ (s. Bild 3.6) und gibt den weiteren Verlauf der Welle im Medium an (MESCHEDE et al., 2004).

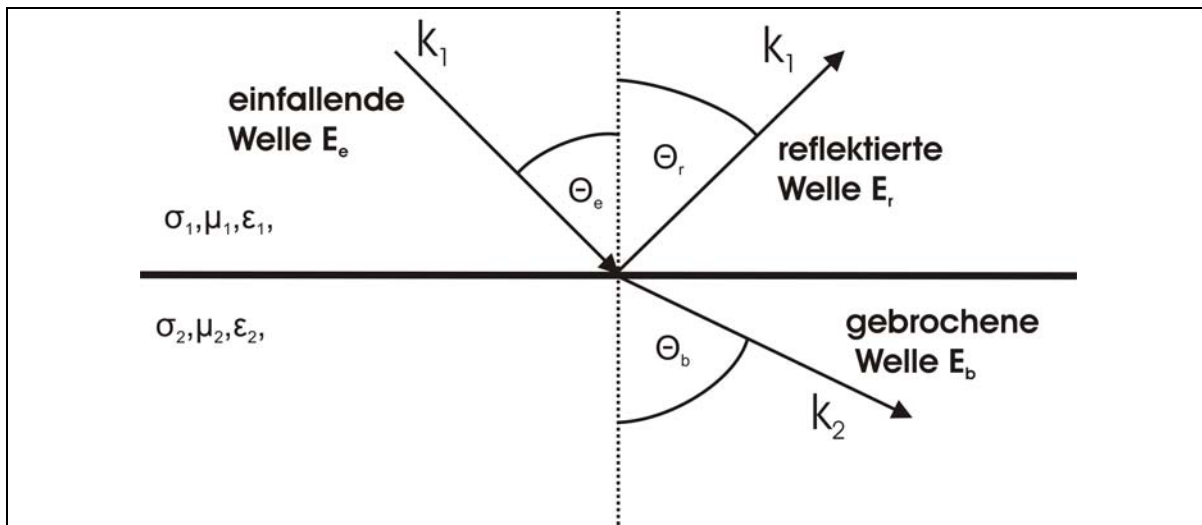


Bild 3.6: Brechung und Reflexion von Wellen (ALTEKÖSTER, 2004)

Die Intensität, mit der die Welle zurückgestrahlt wird, beschreibt der Reflexionskoeffizient R . Dieser ist abhängig von dem komplexen Wellenwiderstand (elektrische Impedanz) $Z = \frac{\omega\mu}{k}$ mit der Ausbreitungskonstanten k aus Gleichung (11). Die restliche Energie wird durch die Grenzschicht transmittiert und es folgt mit der Beziehung $T = 1 + R$ (s. Bild 3.7) (PARASNIS, 1997):

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \text{ und } T = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (22)$$

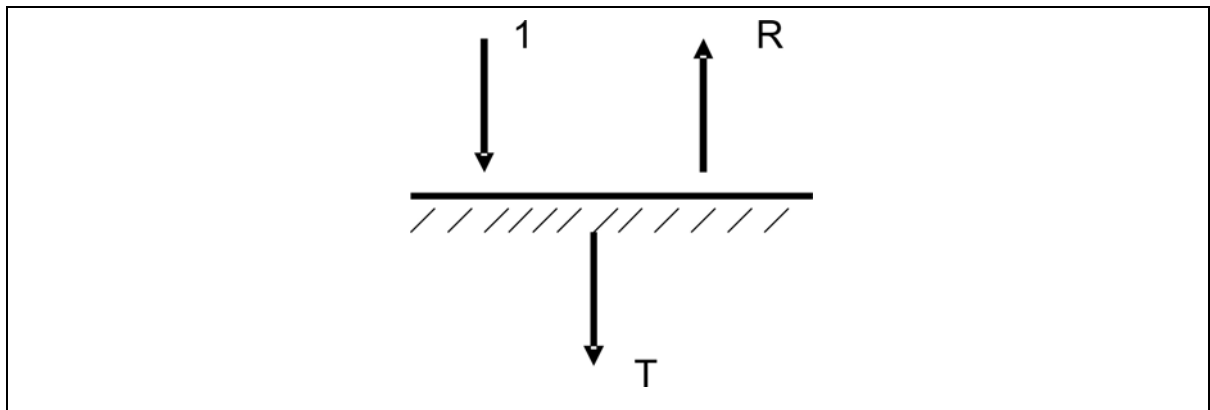


Bild 3.7;: Reflexions- und Transmissionskoeffizient (KNÖDEL et al., 1997)

Im Bereich hoher Frequenzen gilt $\sigma \approx 0$. Mit der Permeabilität $\mu = 1$ in nicht magnetischen Medien kann $Z = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_r}}$ gesetzt werden. Durch die getroffenen Annahmen vereinfachen sich Reflexions- und Transmissionskoeffizient zu:

$$R = \frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad \text{und} \quad T = \frac{2\sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \quad (23)$$

An Objekten, deren Abmessungen im Vergleich zur Wellenlänge klein sind, kann eine Diffraktion (Beugung) der Welle auftreten. Dieses Phänomen gestattet es der Welle, sich an Diskontinuitäten (Ecken, Kanten) um ein Objekt zu beugen. Somit können sich Wellen in einem Gebiet ausbreiten, welches durch das Objekt vollständig abgedeckt wäre.

Auf der Suche nach ausgedehnten Diffraktoren wie Kabeln oder Rohren im Untergrund ist darauf zu achten, dass das E-Feld der elektromagnetischen Welle parallel zum Objekt verläuft. Bei unbekannter Lage der Objekte erfordert dies mit entsprechender Antennen- ausrichtung eine Messung in zwei orthogonale Richtungen (KNÖDEL et al., 1997).

Die Streuung des Radarsignals durch die mit der Optik vergleichbaren Methoden und die damit verbundene Abschwächung des Radarsignals wird auch als „scattering“ bezeichnet (FÖRSTER, 2001).

3.11.2 Elektromagnetische Eigenschaften des Bodens

Die elektromagnetischen Wellen werden im Boden von drei gesteinsphysikalischen Parametern beeinflusst. Von diesen drei Parametern weisen die Dielektrizitätskonstante ϵ und die elektrische Leitfähigkeit σ die größte Variationsbreite auf. Die relative magnetische Permeabilität μ schwankt nur gering und kann in nicht magnetischen Medien mit $\mu \approx 1$ angenommen werden.

3.11.2.1 Dielektrizitätskonstante ε

Wird ein elektrisches Feld mit einem Isolator gefüllt, greift das elektrische Feld durch den isolierenden Stoff. Aufgrund dieser Eigenschaft werden Isolatoren auch Dielektrika (di = durch) genannt. In den Dielektrika wird ein Teil des Verschiebungsstromes durch die Polarisierung gebunden. Die relative Dielektrizitätskonstante ε_r' ist ein Verhältniswert und wird ausgedrückt in Relation zu ihrem Vakuumwert (MESCHEDE et al., 2004, FÖRSTER, 2001) $\varepsilon_0 = 8,854187817 \times 10^{-12} \frac{As}{Vm}$.

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (24)$$

Die Dielektrizität oder auch Permittivität wirkt sich primär auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit (18) der elektromagnetischen Welle im Medium aus. Die meisten Böden und künstlich geschaffenen Materialien können trocken eine Dielektrizitätskonstante von $\varepsilon_r \approx 2 - 9$ vorweisen. Die in der Praxis gemessenen Werte für die relative Dielektrizitätskonstante ε_r' von Böden und Baustoffen liegen jedoch im Bereich von 4 bis 40 (DANIELS, 2004). Die dielektrischen Eigenschaften von natürlichen Materialien setzen sich aus ihren einzelnen Komponenten in Abhängigkeit ihrer geometrischen Form, Verteilung, physikalischen oder chemischen Wechselwirkungen, deren Dielektrizitätszahl und den verschiedenen Volumenanteilen zusammen. Der größte beeinflussende Faktor der Dielektrizitätskonstante ist der Feuchtegehalt. Mit $\varepsilon_r' \approx 80$ besitzt Wasser eine vergleichsweise hohe Permittivität. Die Mineralisation des Wassers spielt bei der Permittivität im Vergleich zur Leitfähigkeit eine untergeordnete Rolle (ALTEKÖSTER, 2004; FRICKE, 1999).

Die absolute Dielektrizitätskonstante ε ist frequenzabhängig, besitzt aber für den eingesetzten Frequenzbereich des Bodenradars eine weitestgehend konstante Größe. Eine Übersicht der verschiedenen Dielektrizitätszahlen bei einer Frequenz von 100 MHz bietet Tabelle 3.2 (DANIELS, 2004).

3.11.2.2 Elektrische Leitfähigkeit σ

Die elektrische Leitfähigkeit σ ist der reziproke Wert des spezifischen elektrischen Widerstands ρ .

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (25)$$

Zudem ist die elektrische Leitfähigkeit der Haupteinflussfaktor bei der Dämpfung der elektromagnetischen Welle (s. Abschnitt 3.11.1.3). Maßgebender Faktor bei der Leitfähigkeit von porösen Materialien ist wie bei der Dielektrizitätskonstante der Feuchtegehalt.

Die Poren und Kluftwässer weisen bei Gesteinen eine elektrolytische Leitfähigkeit auf, die meist den dominierenden Anteil darstellt (SCHÖN, 1983). Die verschiedenen Bestandteile lassen sich in Elektronenleitung, typisch für Metalle und einige Kristalle, Halbleitung für Kristalle wie Silikate, dielektrische Leitung für Isolatoren und Elektrolytleitung für Flüssigkeiten unterteilen (LOWRIE, 2003). Die Leitung von Flüssigkeiten hängt sowohl von der Konzentration der gelösten Salze als auch von der Temperatur ab. Diese bestimmt die Mobilität der im Wasser gelösten Ionen. Eine hohe Leitfähigkeit liegt ebenfalls bei tonhaltigen Böden vor (s. Tabelle 3.2). Dies resultiert aus den elektrochemischen Oberflächeneffekten (Kationenaustauschvermögen), die bei Tonmineralien zusätzlich zur elektrolytischen Leitfähigkeit vorhanden sind (FRICKE, 1999).

Tabelle 3.2: Dielektrizitätszahl, Leitfähigkeit, Geschwindigkeit und Dämpfung bei 100 MHz (DAVIS und ANNAN, 1989)

Material	Dielektrizitätszahl $\varepsilon_r [-]$	Leitfähigkeit $\sigma [mS/m]$	Geschwindigkeit $v [m/ns]$	Dämpfung $\alpha' [dB/m]$
Luft	1	0	2,998	0
Aqua dest.	80	0,01	0,033	0,002
Süßwasser	80	0,5	0,033	0,1
Meerwasser	80	30.000	0,01	1.000
trockener Sand	3-5	0,01	0,15	0,01
gesättigter Sand	20-30	0,01-1	0,6	0,03-0,3
Schluff	5-30	1-100	0,07	1-100
Ton	5-40	2-1.000	0,06	1-300
Kalkstein	4-8	0,5-2	0,12	0,4-1
Schiefer	5-15	1-100	0,9	1-100
Granit	4-6	0,01-1	0,13	0,01-1
trockenes Salz	3-4	0,01	0,16	0,01

3.11.2.3 Magnetische Permeabilität μ

Die magnetische Permeabilität wird in der Regel wie die Dielektrizitätszahl relativ zu ihren Werten im Vakuum ausgedrückt:

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (26)$$

Im Vakuum beträgt ihr Wert $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$.

Die magnetischen Eigenschaften des Bodens können bei Bodenradarmessungen meist vernachlässigt werden. Die Permeabilität wird für die meisten geologischen Materialien

mit $\mu_r = 1$ angenommen und ist dimensionslos. Damit verhält sich $\mu \approx \mu_0$ und ist lediglich durch ferromagnetische Stoffe im Boden zu beeinflussen (FÖRSTER, 2001; KNÖDEL et al., 1997).

3.11.3 Antennen

Antennen können für verschiedene Aufgaben eingesetzt werden. Die Sendeantenne wandelt die ihr zugeführte Energie in einen für die Ausbreitung im freien Raum geeigneten Wellentyp um. Die Empfangsantenne hingegen führt die Energie aus dem Raum wieder in leitungsgeführte Wellen zurück. In der Regel stehen mehrere Lösungsmöglichkeiten für Umwandlungen zur Verfügung. Diese werden jedoch durch den technischen Aufwand, das Strahlungsverhalten, Gewicht, Beweglichkeit oder aber auch mechanische Stabilität eingeschränkt (HEILMANN, 1970).

3.11.3.1 Antennentypen

Im Bereich des Bodenradars existiert eine Vielzahl von Antennentypen, die eingesetzt werden können. Von besonderer Relevanz sind hier die verwendeten Dipol- und Hornantennen.

Horn- oder Trichterantennen erleichtern dabei den Übergang der Strahlung in den Raum. Die Antennen weiten sich trichterförmig nach vorne aus und besitzen einen runden oder rechteckigen Querschnitt. Durch ihre Abmessungen sind die Einsatzmöglichkeiten von Hornstrahlern stark begrenzt (HEILMANN, 1970). Bei einer Frequenz von 100 MHz können Hornstrahler bereits eine Fläche von $A = 2,5 \text{ m}^2$ und eine Länge von 1,5 m besitzen. Die frequenzabhängige Größe begrenzt damit die Einsatzmöglichkeiten der Hornantennen.

Im Vergleich zu den Horn- und Trichterantennen sind Dipolantennen wesentlich kleiner und zeichnen sich durch eine geringere Richtwirkung und eine beschränkte Bandbreite aus. Im Bereich des Georadars eignen sich besonders Schmetterlingsdipolantennen (NUSSER, 1995).

3.11.3.2 Abstrahlcharakteristik

Das charakteristische Abstrahlverhalten von Dipolantennen ist durch die elektrischen und magnetischen Felder bestimmt. Die Einkopplung der Welle in den Boden erfolgt meist durch horizontal angebrachte Dipole über der Erde. Das elektrische Feld strahlt hierbei senkrecht zur Dipolachse und das magnetische parallel zur Achse. Der Abstrahlwinkel ϕ in den Boden hängt von der Dielektrizitätskonstanten (KNÖDEL et al., 1997) ab:

$$\phi = \arcsin \frac{1}{\varepsilon_r} \quad (27)$$

Die Höhe über dem Boden ist für eine verlustarme Einkopplung in den Boden von entscheidender Bedeutung. Je größer der Abstand zwischen Boden und Antenne ist, desto mehr Energie geht verloren und desto schlechter ist die Einkopplung in den Boden. Zusätzlich kommt es durch die reflektierte Energie zum „Antennenklingeln“. Die Höhe der Antenne über dem Boden hängt zudem von der Wellenlänge ab. Mit zunehmendem Abstand bilden sich bedingt durch die Reflexion so genannte „Nebenzipfel“. Durch die Reflexion wird zusätzliche Energie benötigt, die nicht in den Boden eingekoppelt werden kann. In Bezug auf die Reflexionsverluste besitzen die Hornantennen bessere Eigenschaften als die Dipolantennen und können daher auch mit einem höheren Bodenabstand betrieben werden. Diese Eigenschaft zeichnet sich besonders aus, wenn Messungen im fließenden Straßenverkehr durchgeführt werden müssen. Der höhere Abstand ermöglicht eine einfache Positionierung der Antennen am Fahrzeug. Da bei Dipolantennen der Abstand zur Oberfläche nur wenige Zentimeter beträgt, sind an den Antennen Schutzmechanismen vorzusehen, die einen Verschleiß der Antennen durch Kontakt mit der Straßenoberfläche vermeiden (NIESSEN, 2006).

Vorteilhaft in Bezug auf die Einkopplung der Energie in den Boden ist bei Hornantennen, dass bei den Hornstrahlern die Welle im Trichter erzeugt wird und sich mit fast vollständiger Wellenlänge in den Raum ablöst. Dies ermöglicht somit einen höheren Abstand der Antenne zum Boden, der ungefähr mit $2/3 \lambda$ abgeschätzt werden kann. Im Vergleich dazu sollten die Dipolantennen einen Abstand von $\lambda / 4$ nicht überschreiten (NIESSEN, 2006).

Die Eindringtiefe hängt folglich nicht nur von den vorhandenen Bodenparametern und Frequenzbereichen ab, sondern von der Summe der Verluste, die zwischen dem Senden und Empfangen des Signals auftreten können. In Bild 3.8 sind die verschiedenen Übergänge, die eine Schwächung des Signals bewirken, dargestellt.

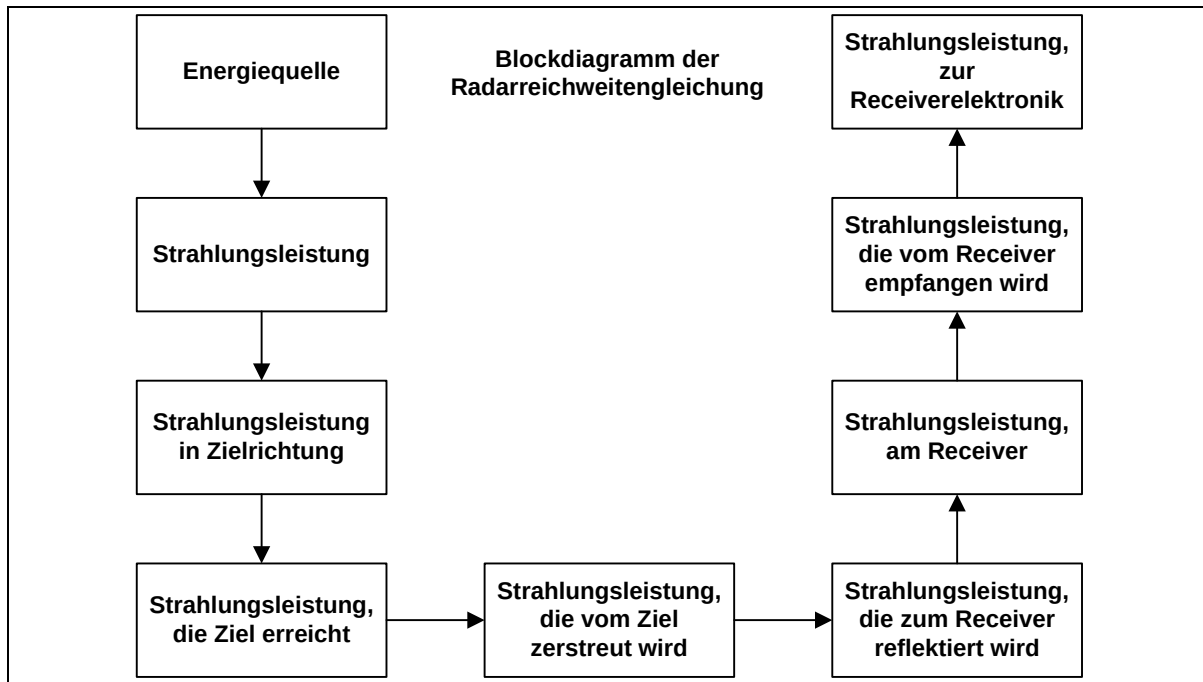


Bild 3.8: Übergänge mit Energieverlusten des Radarsignals (nach DAVIS und ANNAN, 1989)

3.11.4 Radargramm

In Radargrammen werden die einzelnen Messspuren der Antennen veranschaulicht. Eine einzelne Messspur, nach DANIELS (2004) auch A-Scan genannt, stellt die Bodenantwort eines einzelnen Messpunktes dar. Zur Darstellung von 2- oder 3-dimensionalen Bildern werden die einzelnen Scans in B-Scans oder C-Scans (s. Bild 3.9) zusammengefasst.

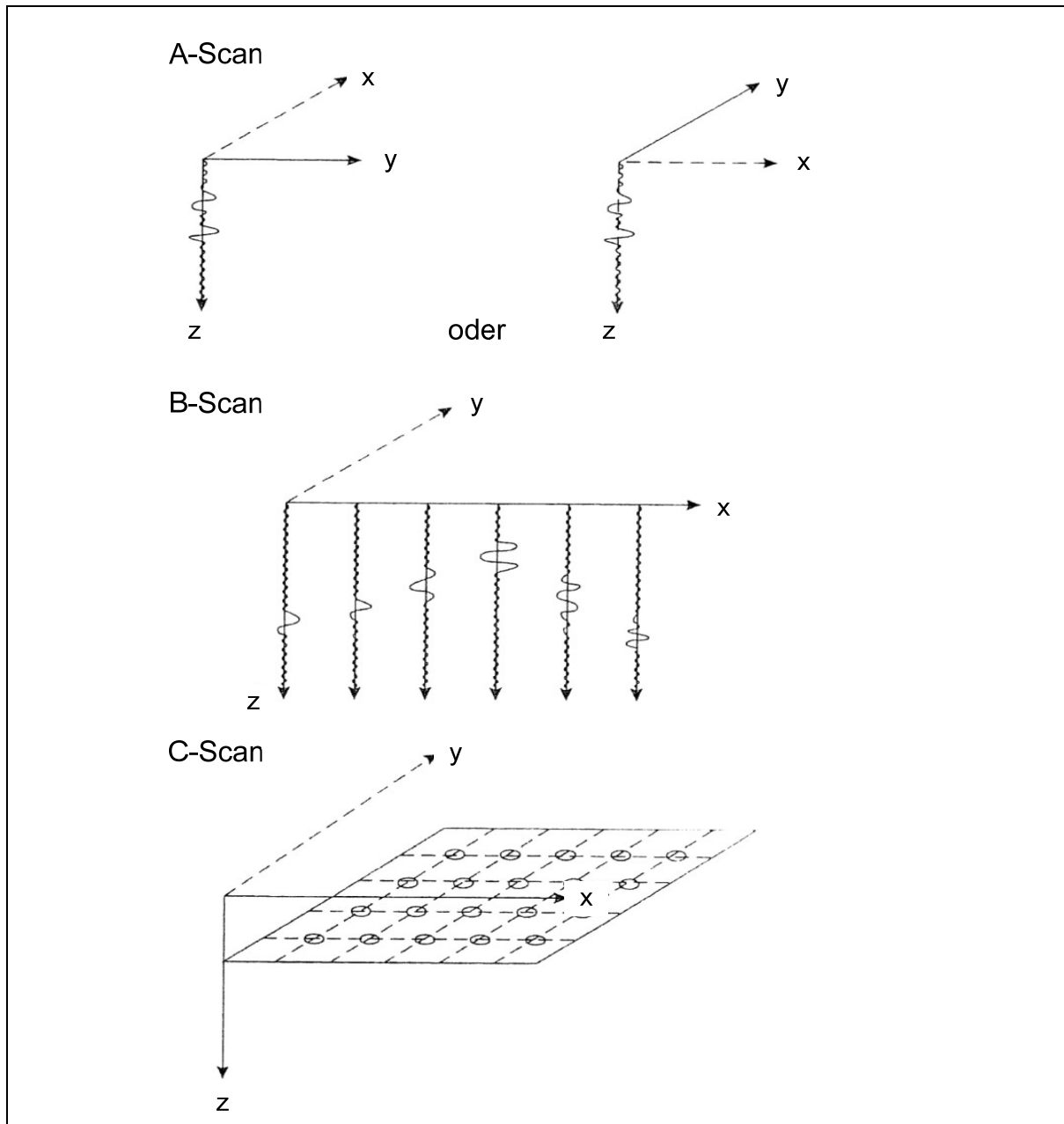


Bild 3.9: Radargrammaufbau (DANIELS, 2004)

3.11.4.1 Reflexion von Objekten

Die Antenne strahlt ihre Energie in einem Winkel von ca. 60° ab. Wird die Antenne über ein Objekt oder einen Schichtwechsel bewegt, empfängt die Antenne auch Signale von Objekten, die sich nicht unmittelbar in vertikaler Richtung unter der Antenne befinden.

Daraus ergibt sich die charakteristische Hyperbelform, die durch die Gleichung der Laufzeit-Hyperbel (KNÖDEL et al., 1997)

$$t_r = \frac{1}{v} \sqrt{x^2 + 4h^2} \quad (28)$$

wiedergegeben werden kann. In Bild 3.10 ist der typische Verlauf einer Diffraktionshyperbel von einem Punktobjekt dargestellt. Infolgedessen werden die Objekte in einem Radargramm nicht realitätsgetreu abgebildet.

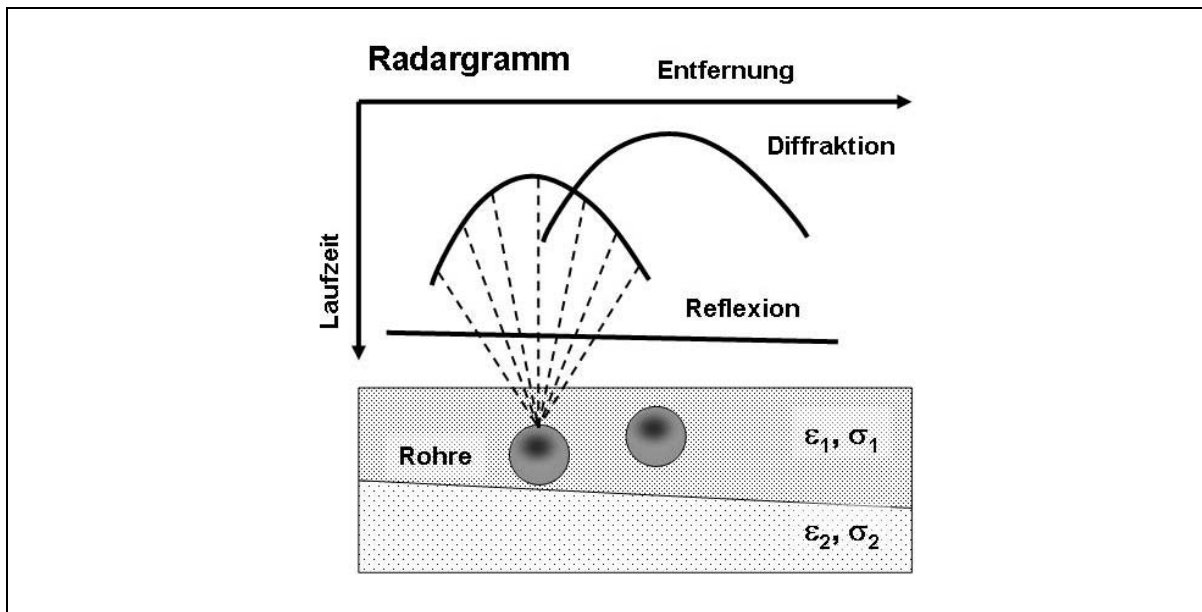


Bild 3.10: Diffraktionshyperbeln, (nach KNÖDEL et al., 1997)

Eine große Anzahl von Diffraktionshyperbeln verschiedenartiger Objekte erschwert die Interpretation der Radargramme. Um Aussagen über den Zustand im untersuchten Bodenkörper treffen zu können, ist durch die komplex zusammengesetzten Bilder ein hohes Maß an Erfahrung nötig (KNÖDEL et al., 1997).

3.11.4.2 Migration

Mit Hilfe der Migration wird die Oberfläche des detektierten Körpers konstruiert. Bei diesem Prozess wird die Orts-Zeit Darstellung des Radargramms in eine Orts-Orts Darstellung überführt. Im Normalfall wird in einem Radargramm die Amplitude über die Laufzeit aufgetragen, so dass Objekte demnach nicht realitätsgetreu wiedergegeben werden. Durch den Migrationsprozess wandert die Diffraktionshyperbel (vgl. Bild 3.1) in ihren Scheitelpunkt zurück. Für eine erfolgreiche Umwandlung 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. Für die Migration stehen unterschiedliche Methoden zur Verfügung, die sich nicht nur in den verwendeten Algorithmen, sondern auch in ihren Ergebnissen hinsichtlich des Rechenumfangs und der Genauigkeit unterscheiden (DANIELS, 2004; LECKEBUSCH, 2001).

3.11.4.3 Probleme bei der Radargrammanalyse

Die Analyse eines Radargramms wird durch verschiedene Eigenschaften der elektromagnetischen Welle zusätzlich erschwert. So können in manchen Fällen z. B. Mehrfachreflexionen (Multiple) auftreten. Die elektromagnetische Welle wird in diesem Fall zwischen zwei Grenzschichten hin- und herreflektiert und überlagert sich schließlich mit den Wellensignalen aus tiefer gelegenen Schichten. Daraus folgt ein verstärkter Anstieg der Amplitude, der eine Grenzschicht unter der Reflexionsebene vortäuscht. Insbesondere treten Multiple vermehrt bei Messungen mit niedrigen Rauschanteilen auf. Dies ist vor allem bei Messungen im Süßwasser der Fall, da die Signale nicht durch die Rauschanteile des Bodens überlagert werden (LECKEBUSCH, 2001). In Bild 3.11 ist der Verlauf eines mehrfach reflektierten Radarsignals wiedergegeben.

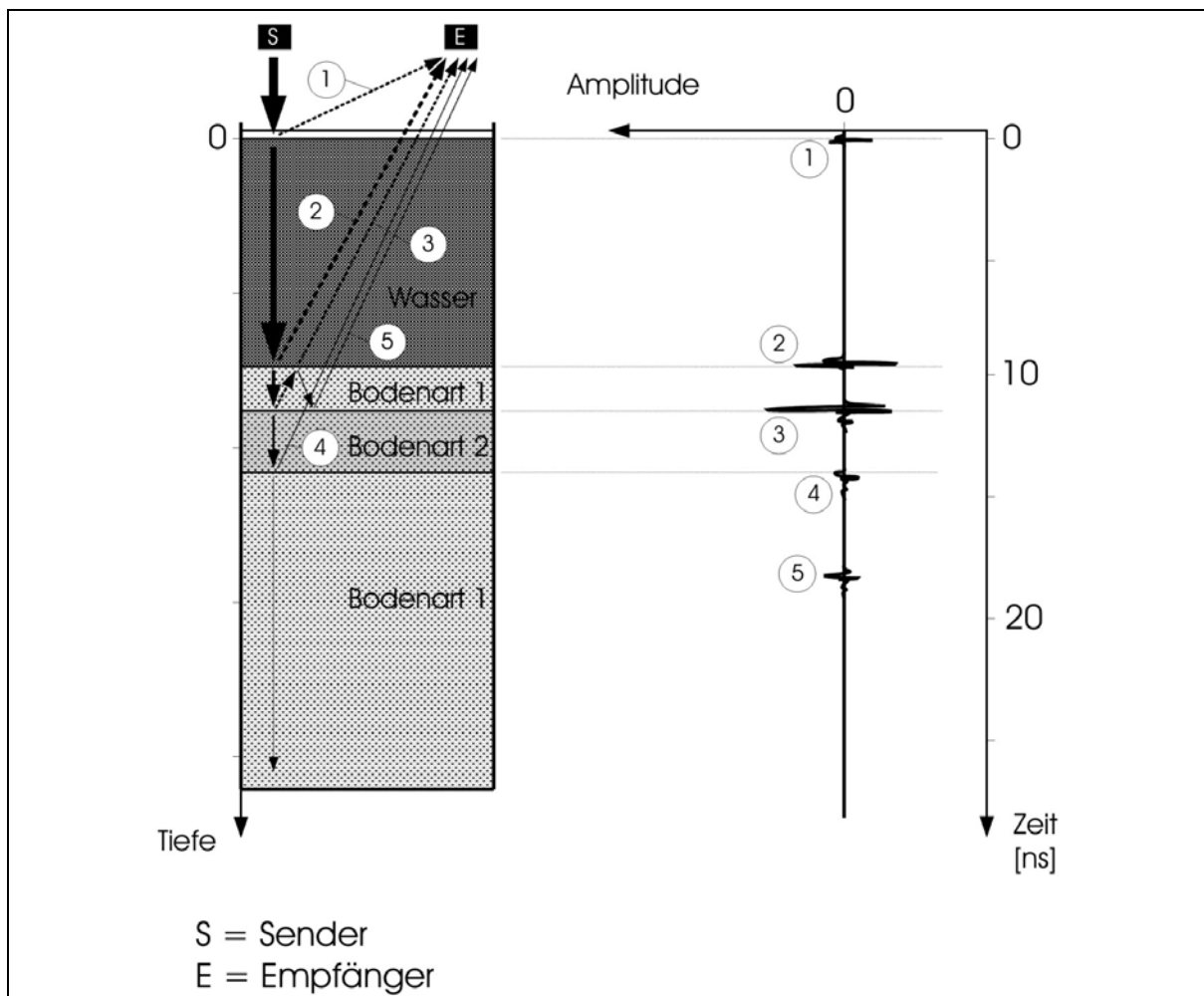


Bild 3.11: Multiple Reflexionen (LECKEBUSCH, 2001)

Die Empfangsantenne E nimmt die vom Sender S ausgesendeten Signale in der Reihenfolge der Nummerierung auf und erhält aufgrund der Reflexion eine imaginäre Grenzschicht bei Punkt fünf. Die Reflexion der Wellen ist vereinfacht dargestellt und entspricht

nicht der Wellenausbreitung, die nach den Reflexions- und Brechungsgesetzen aus Abschnitt 3.11.1.5 zu erwarten wären.

Ein weiteres Problem bei der Auswertung von Radargrammen sind starke Reflektoren. Durch diese kann das Signal so weit abgeschwächt werden, dass für die folgenden Grenzschichten die Reflexionsenergie nicht ausreicht. Aussagen über den Strukturaufbau tiefer gelegener Schichten sind dann nicht mehr möglich (LECKEBUSCH, 2001). In Bild 3.12 ist ein entsprechendes Beispiel dargestellt. Auch hier ist die Wellenausbreitung vereinfacht wiedergegeben.

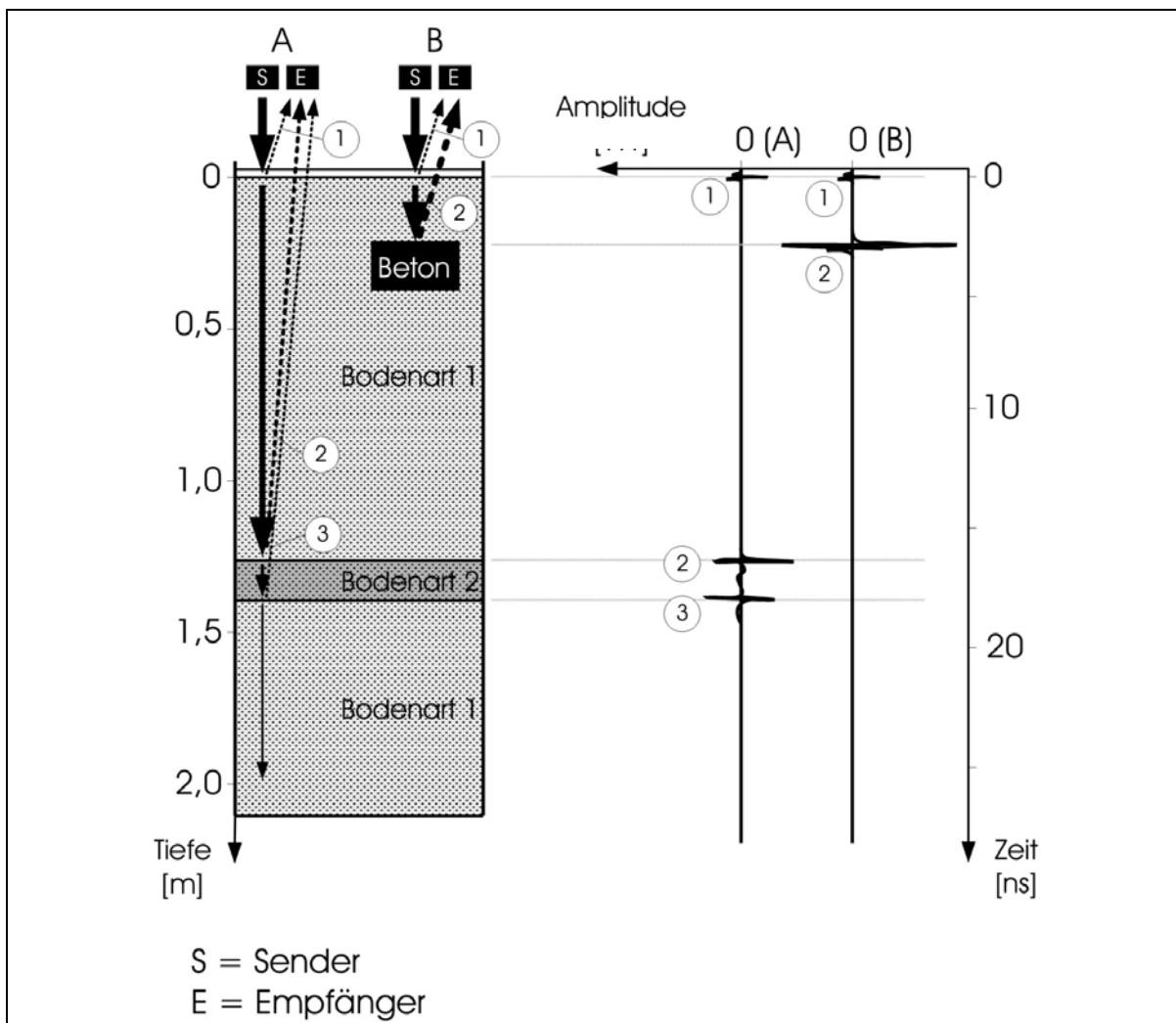


Bild 3.12: Starker Reflektor (LECKEBUSCH 2001)

Aber auch die Form des Objektes beeinflusst die Radargrammanalyse. So kann eine Welle, die auf einen pyramidenförmigen Körper trifft, derart abgelenkt werden, dass die Welle von den Empfangsantennen nicht registriert wird. Diese Objekte sind in gewisser Weise „unsichtbar“ für Radarsignale. Da eine Welle den unter Abschnitt 3.11.1.5 beschriebenen Reflexionsgesetzen folgt, können solche Objektformen trotz ausreichendem Reflexionsgrad nicht erkannt werden.

4 Beispiele für den Einsatz des Georadars

Im Folgenden werden die Inhalte und Ergebnisse zweier Forschungsvorhaben zum Themenbereich Detektion von Hohlräumen und Lagerungsdefekten im Bereich erdverlegter Abwasserkanäle vorgestellt. Dies ist das von der Stadt Braunschweig beauftragte Vorhaben „Detektion von Lagerungsdichten und Hohlräumen in der Umgebung erdverlegter Abwasserkanäle“ (HARTMANN und SCHULZ, 2002) und das von den Stadtentwässerungsbetrieben Köln als Projektträger beauftragte Forschungsvorhaben „Quantitative Inspektion von Abwasserkanälen und Leitungen mittels geophysikalischer Verfahren“ (KABBE et al., 2003). Weiterhin gab es Bestrebungen das Georadar zur Ortung von Leckagen (z. B. Risse, fehlende oder verschobene Dichtringe) allein oder im Rahmen eines Multisensorsystems einzusetzen (vgl. EISWIRTH und HÖTZL, 1993 oder KABBE et al., 2003). Bewährt hat sich die Georadartechnik hierfür bislang nicht, so dass hier diesbezüglich keine näheren Ausführungen erfolgen.

Eine Hohlraumdetektion mittels Georadar kann prinzipiell von der Geländeoberfläche oder aber aus dem Kanal heraus erfolgen.

Georadarmessungen von der Gelände- bzw. Straßenoberfläche her können bei Beachtung der messtechnischen Rahmenbedingungen und dem Einsatz von Hornantennen eine schnelle und kostengünstige Abschätzung des Untergrundzustandes ermöglichen. Eine räumlich gestaffelte Messung, d. h. die kanalachsenparallele, zeitgleiche Aufnahme mehrerer Messspuren ermöglicht eine umfassende Bewertung des gesamten Kanalumfeldes. Ein entsprechendes Messsystem, das im fließenden Verkehr eingesetzt werden kann, befindet sich seit Herbst 2003 im Einsatz (Bild 4.1).



Bild 4.1 Messfahrzeug mit Hornantennen der Fa. GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH

Georadarmessungen aus dem Kanalrohr heraus werden für den nicht begehbaren Nennweitenbereich derzeit nur von einem Dienstleistungsunternehmen aus den Niederlanden angeboten (Fa. M.J.Oomen Groep, Sprundel, NL). Vorteil dieser Messmethodik (vgl. Bild 4.2), die derzeit ab Nennweiten von etwa DN 250 eingesetzt werden kann, ist, dass die Hohlräume, die zunächst in der näheren Umgebung des Kanals erwartet werden, aufgrund der geringen Distanz zwischen Sender/ Empfängerinheit und Bodenanomalie mit hoher Auflösung erfasst werden können. Problematisch ist, dass die Messungen aus dem Kanal heraus erhebliche Zeit beanspruchen, da der Messwinkel der Antennen nur 90° beträgt, sodass vier Durchfahrten erforderlich werden, um das gesamte Rohrfeld erfassen zu können (HARTMANN und SCHULZ, 2002).

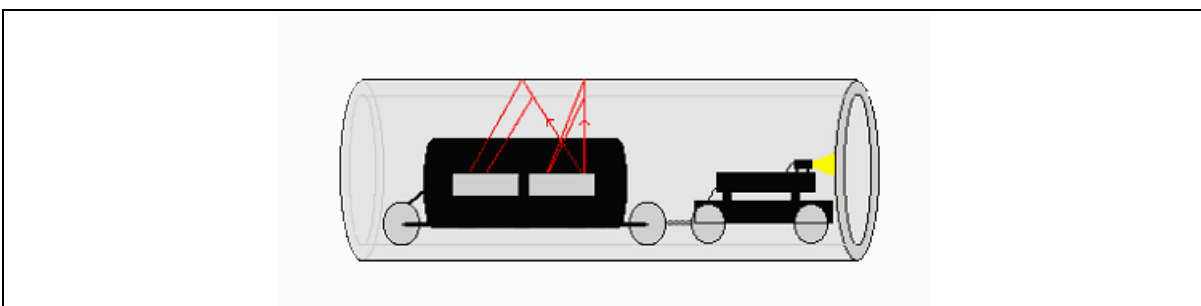


Bild 4.2 Prinzip eines im Kanal eingesetzten Georadars (OOMEN, 2007)

Im Rahmen des Braunschweiger 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 experimentell im Rahmen einer Dienstleistungsvergabe

getestet. Erschwert wurde die Interpretation der Ergebnisse durch die inhomogenen Bodenverhältnisse und den schlechten Zustand der Abwasserkanäle im zu untersuchenden Bereich. Als Ergebnis des Braunschweiger Vorhabens wurde das konventionelle Georadar für eine qualitative Abschätzung der Lagerungsdichte von der Oberfläche und aus dem Kanal heraus als geeignet angesehen. Ein Beispiel für die erzielten Messergebnisse zeigt Bild 4.3.

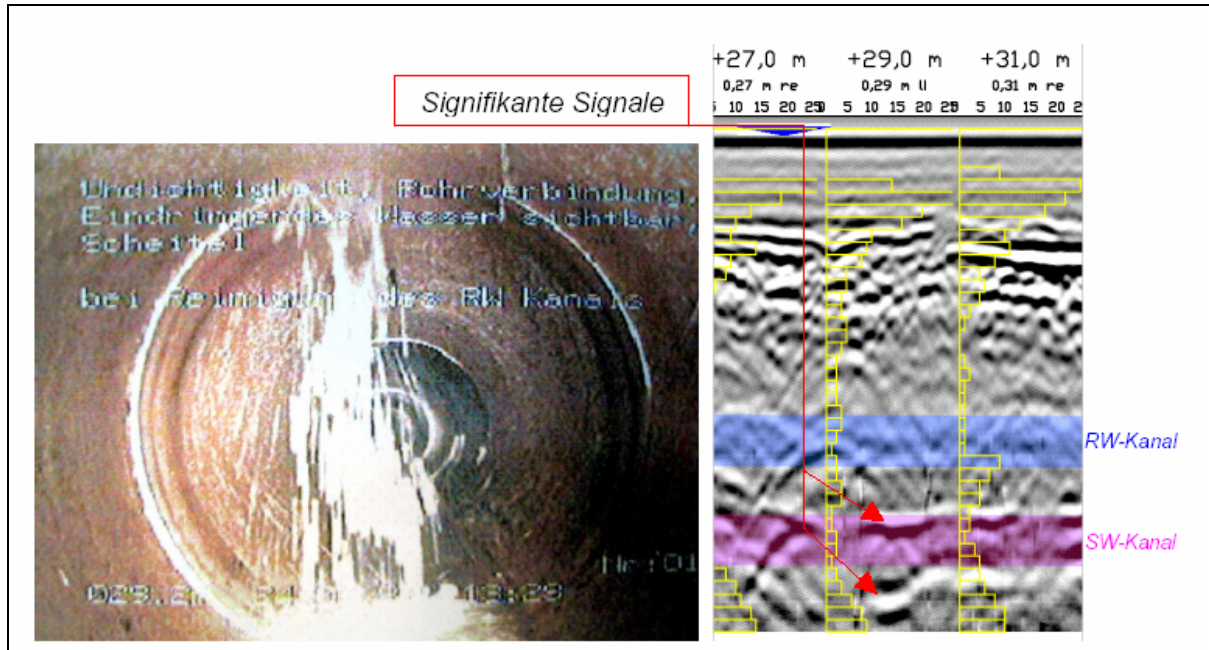


Bild 4.3 **Schadhafter Abwasserkanal mit eindringendem Grundwasser, zugehöriges Radargramm und Ergebnisse der Rammsondierung (HARTMANN und SCHULZ, 2002)**

Das Georadar war auch Gegenstand des Forschungsvorhabens "Quantitative Inspektion von Abwasserkanälen und -leitungen mittels geophysikalischer Verfahren" (KABBE et al., 2003). Um die verschiedenen Verfahren gegenüberzustellen, wurden die Messsysteme unter definierten Bedingungen in einem großtechnischen Versuchsfeld eingesetzt. In dieses Versuchsfeld wurden als Bodenanomalien auch Auflockerungen und Hohlräume eingebracht (Bild 4.4).

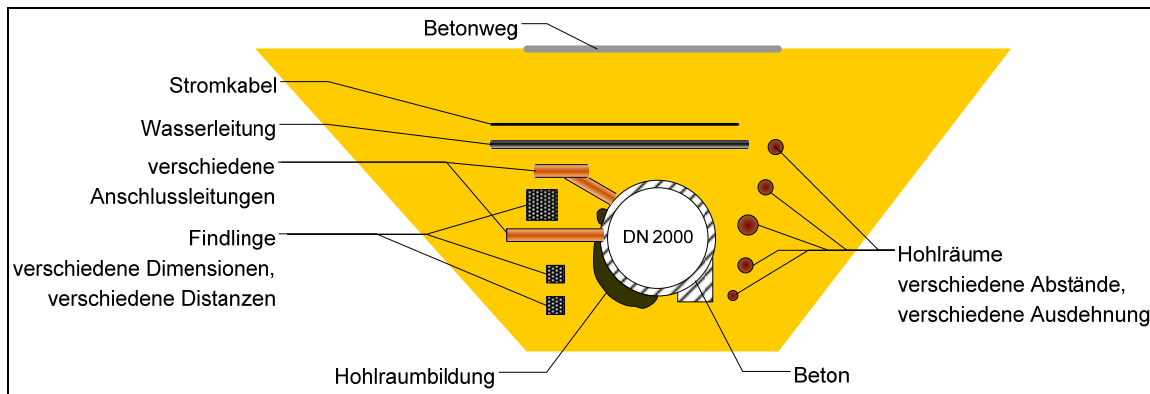


Bild 4.4 Bodenanomalien im Versuchsfeld (KABBE, T. et al., 2003)

Nach KABBE et al., (2003), wurden die Messungen mit dem Georadar aus einem begehbaren Versuchskanal (DN 2200 Stahlbeton, DN 2000/1800 Ortbeton und Mauerwerk) durchgeführt. Dabei wurden in Bezug auf das Rohr folgende Objekte und Bereiche mit praxisüblichen Geräten erkannt:

- Wanddicke absolut
- Veränderungen (z. B. Vorsprung über den Umfang)
- Betonaufleger 5/6
- Schichtgrenze der geklinkerten Sohle
- Bewehrung
- Abstand der Bewehrungen und Veränderungen
- Tiefenlage der Bewehrungen und Veränderungen
- unterschiedliche Fugenausbildung
- Arbeitsfuge Betonkanal
- ohne Fugenband
- Fugenblech
- Fugenband
- Dehnungsfuge Betonkanal
- Fugenband
- Schäden
- Anomalien
- Kiesnester
- Stahlkeile im Auflagerbeton

Außerdem wurden mit Einschränkungen weitere Anomalien festgestellt. Diese Ergebnisse wurden mit einem Georadar aus dem Kanal heraus gemessen.

Aufbauend auf den Versuchsergebnissen konnten Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen bestimmt werden, mit denen unter gegebenen Randbedingungen die aussagekräftigsten Ergebnisse erwartet werden. Ebenfalls wurde eine Miniaturisierung eines Georadars vorgenommen, der von der Oberfläche arbeitet, sodass diese Modifikation auch innerhalb begehbaren Kanalquerschnitte eingesetzt werden konnte. Von einer Weiterentwicklung des Verfahrens für nicht begehbare Querschnitte wurde im Rahmen des Vorhabens abgesehen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden in einer Bewertungsmatrix zusammengefasst, aus der hervorgeht, dass sich die Baugrundverhältnisse durch den Georadar gut erfassen lassen.

Der In-situ-Einsatz des Georadars erfolgte an einem begehbaren Kanal. Eingesetzt wurden Schmetterlingsantennen, die an die Kanalwandung angepresst wurden und während der Messkampagne an dieser entlang glitten (Bild 4.5). Auch hier wurde die generell gute Eignung des Georadars neben der Seismik und des Ultraschalls/ Impactechos zur Erfassung des Baugrundes bestätigt.

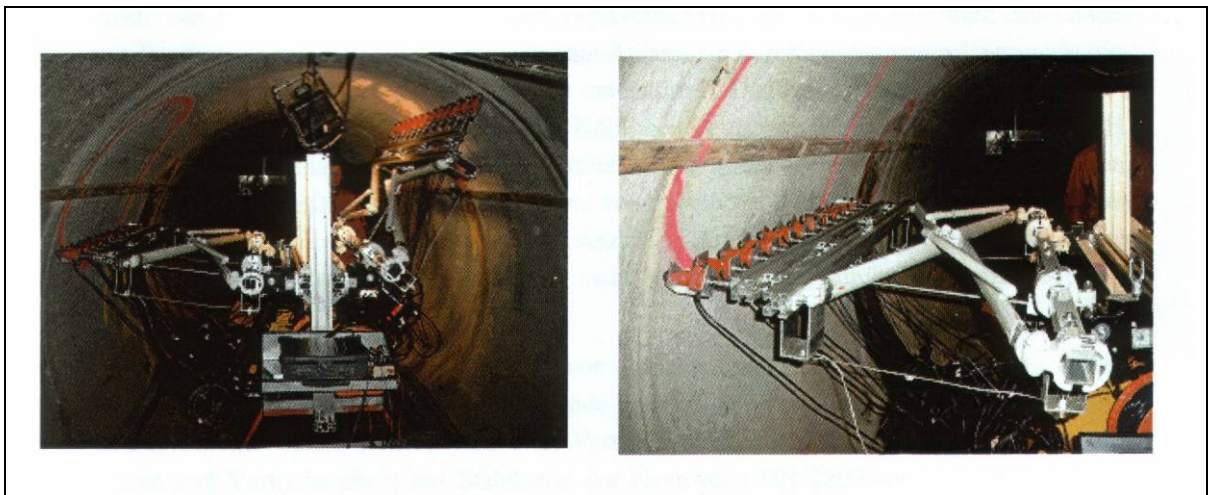


Bild 4.5 Prototyp des Kanalmesswagens zur Durchführung routinemäßiger Kanalerkundungen (KABBE et al., 2003)

5 Untersuchungen

Im Folgenden werden die zum Einsatz gekommene Messtechnik und die Rahmenbedingungen der Untersuchungen im Versuchsfeld und in den beteiligten Kommunen Aachen, Braunschweig, Düsseldorf, Essen und Münster dargestellt, die verschiedene Strecken für eine GEORADAR-Untersuchung auswählten.

5.1 Messsystem zum Einsatz auf der Straßenoberfläche

Für die Georadarmessungen in den Kommunen wurde das Messsystem der Firma GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH eingesetzt.

Das Messsystem setzt sich aus vier verschiedenen Komponenten zusammen, die für die vollständige Erfassung aller notwendigen Daten zuständig sind. So werden neben den Radarsignalen zusätzliche Daten für die Georeferenzierung in Form von GPS (Global Positioning System) Koordinaten benötigt. Die gesamte Messtechnik befindet sich auf dem „Georail® Sprinter“ sowie dem dazugehörigen Anhänger (siehe Bild 5.1 und Bild 5.2).



Bild 5.1: Messfahrzeug „Georail® Sprinter“

Bild 5.2: Anhänger mit Messtechnik

5.1.1 Messtechnik

Die Messtechnik besteht im Wesentlichen aus den folgenden Komponenten:

- ① TerraVision Antennen,
- ② GPS,
- ③ Kamera und
- ④ Weggeber.

Die jeweiligen Aufgaben sowie die gegenseitige Beeinflussung der Messgeräte werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

5.1.1.1 Antennen

Die Antennen sind die wichtigste Messeinheit und befinden sich am hinteren Ende des Anhängers. Wegen der Empfindlichkeit der Antennen gegenüber gut leitenden Materialien ist lediglich die Achse des Anhängers aus Metall. Der Rest wurde in einer Spezialanfertigung aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) hergestellt.

Bei dem verwendeten Antennentyp handelt es sich um Schmetterlingsdipol- oder Bow-Tie Antennen. Dieser Antennentyp verlangt im Vergleich zu Hornantennen einen sehr nahen Abstand zur Fahrbahn, da sonst das unter Abschnitt 3.11.3.2 erklärte Einkoppelverhalten zu unerwünschten Energieverlusten führte. Daher besteht zwischen Antenne und Straßenoberfläche lediglich ein Abstand von 2-3 cm. Um eventuelle Beschädigungen durch die Straßenoberfläche zu vermeiden, sind die Antennen in einen Kunststoffschlitten eingelassen. Die flexible Aufhängung des Schlittens ermöglicht gemeinsam mit den zur Fahrtrichtung abgerundeten schrägen Kanten (s. Bild 5.3) auch das Überfahren von größeren Unebenheiten der Fahrbahn.



Bild 5.3: Antennenaufhängung

Das Antennenarray der Fa. GSSI Modell „TerraVision“ besteht insgesamt aus 14 bistatischen Antennen, von denen sieben Antennen in Fahrtrichtung und sieben Antennen quer zur Fahrtrichtung messen (s. Bild 5.4). Die gleichzeitige Messung in X- und Y- Achse ermöglicht die Erfassung von dreidimensionalen Daten in einem Schritt. Eine Messung in beide Richtungen ist notwendig, um unbekannte Objekte wie Leitungen im Boden erkennen zu können. Die elektromagnetische Welle sollte möglichst parallel zum Objekt verlaufen (s. Abschnitt 3.11.3.1).

Die Messungen werden durch einen internen Multiplexer (MUX) verarbeitet und synchronisiert.

Der Antennenaufbau ermöglicht eine theoretische Messbreite von 1,68 m. Die tatsächliche Breite hängt jedoch von der Abstrahlcharakteristik der Antennen sowie der Dielektrizitätskonstanten ab. Dementsprechend vergrößert sich die Messbreite im Boden mit der Tiefe und ist über den zunehmenden Footprint, der in Bild 3.5 dargestellt ist, erkennbar.

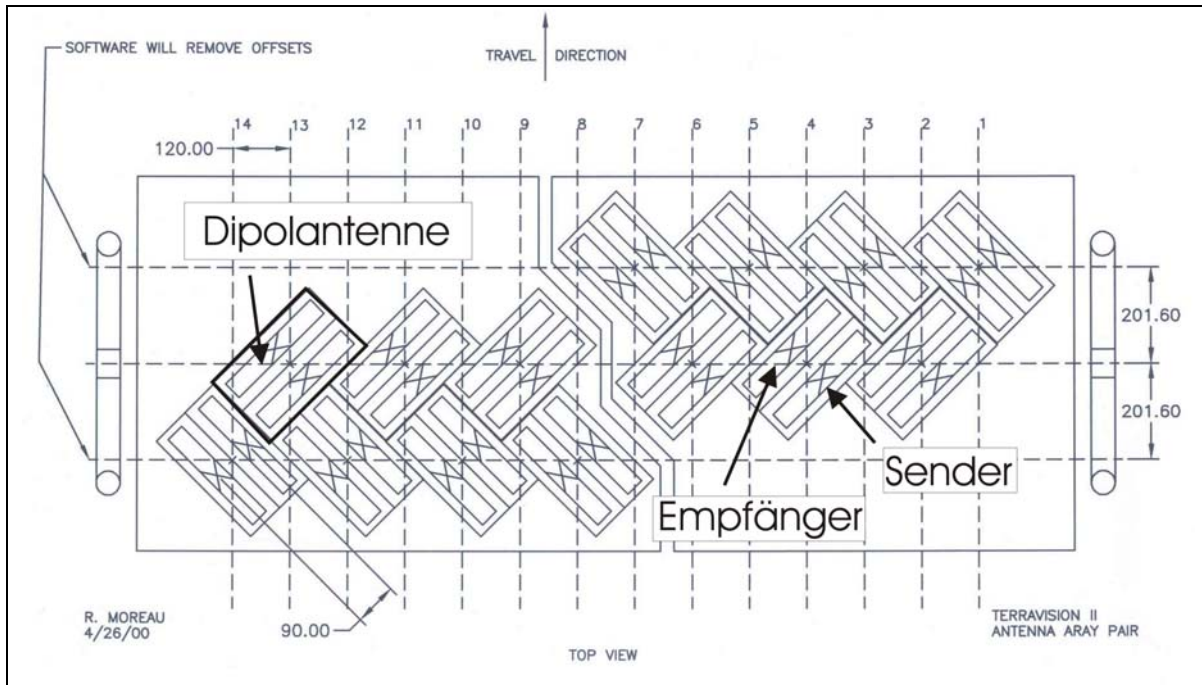


Bild 5.4: TerraVision Antennenarray

Das vertikale Auflösungsvermögen ist nach Gleichung (20) von der Bandbreite des Pulssignals τ' und der Dielektrizitätskonstanten ε abhängig. Die Bandbreite berechnet sich aus der Differenz von oberer und unterer Grenzfrequenz und ist durch die vorgegebene Mittenfrequenz von 400 MHz eingeschränkt. Infolgedessen ist die vertikale Auflösung von der Frequenz abhängig und kann nicht beliebig variiert werden. Daher impliziert eine höhere oder niedrigere Auflösung auch immer eine Änderung der Frequenz. Für eine Mittenfrequenz von 400 MHz liegt die Pulsweite bei ca. zwei Nanosekunden. Die Auflösung ist in Bild 5.5 für verschiedene Dielektrizitätskonstanten ε aufgetragen.

Neben dem vertikalen Auflösungsvermögen ist die Ortung von Objekten in der horizontalen Ebene von Bedeutung. Mit der vorhandenen Frequenz von 400 MHz kann nach Gleichung (20) die horizontale Auflösung angegeben werden. Dabei ist wie bei der vertikalen Auflösung eine Beeinflussung durch die Dielektrizitätskonstante ε zu beachten.

Die Wellenlänge λ ist von der Geschwindigkeit der Welle im Medium abhängig, womit die laterale Auflösung mit der Tiefe und mit der Dielektrizitätskonstante ε bei konstanter Frequenz variiert. Einen Überblick über die möglichen Auflösungen in verschiedenen Materialien mit einer konstanten Frequenz von 400 MHz bietet Bild 5.6.

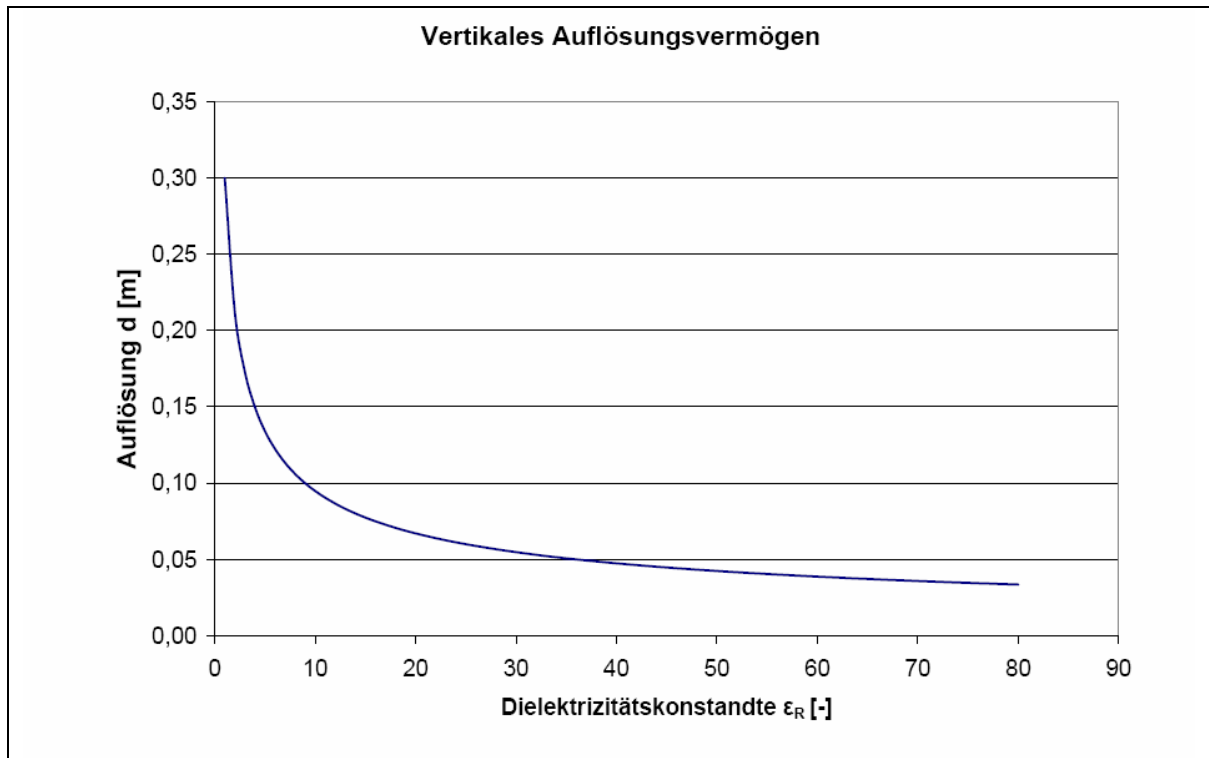


Bild 5.5: Vertikales Auflösungsvermögen bei einer Pulsweite von zwei Nano-sekunden

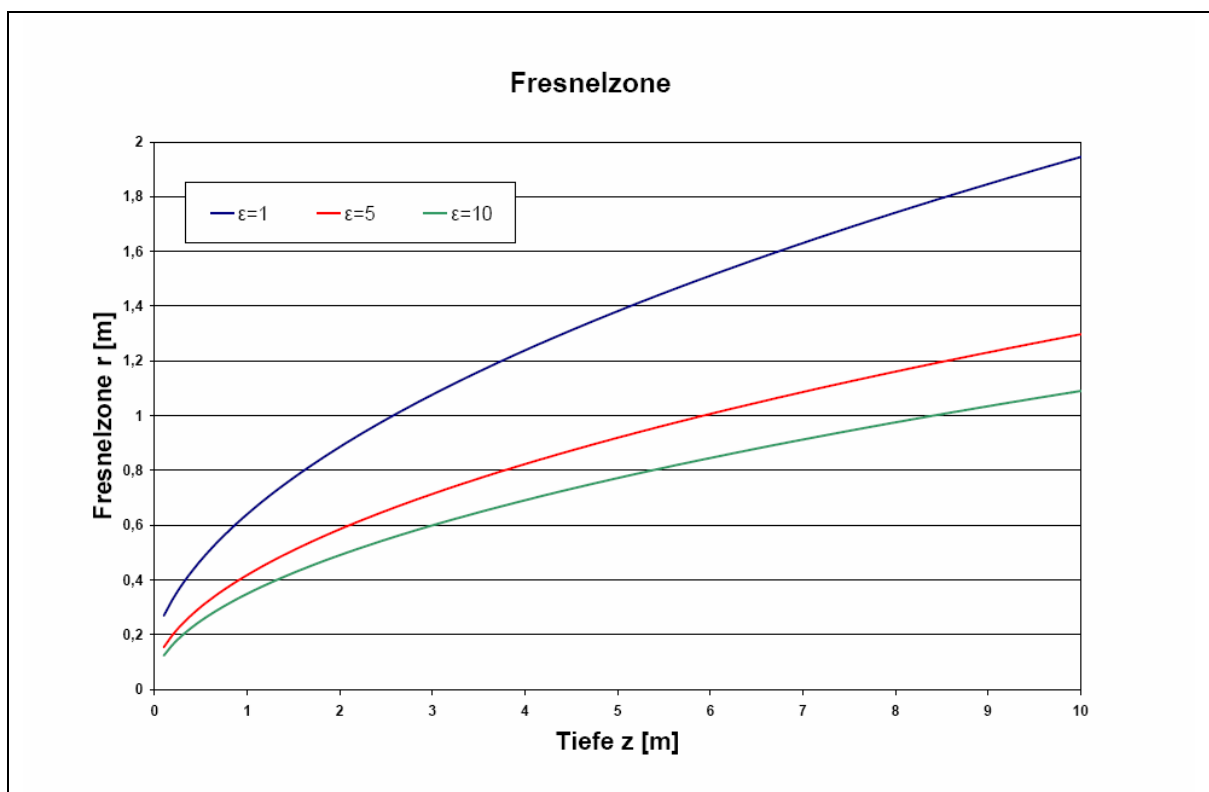


Bild 5.6: Horizontales Auflösungsvermögen bei einer Antennenfrequenz von 400 MHz

Ein weiterer Aspekt, der die Auflösung beeinflusst, ist die vorhandene Abtastrate (Sampling) des Eingangssignals. Die Dauer eines ausgesendeten Signals beträgt zwischen 0 und 120 Nanosekunden; gleichzeitig ist die Abtastrate mit 512 Scans pro Laufzeitsignal konstant vorgegeben. Dies bedeutet, dass bei längerer Signallaufzeit die Abstände zwischen den einzelnen Abtastungen größer werden und sich somit die Auflösung verschlechtert, während sich umgekehrt mit kürzerer Laufzeit die Auflösung aufgrund der höheren Abtastung verbessert. In gleicher Weise wird die Eindringtiefe von der einstellbaren Laufzeit bestimmt. Demzufolge vergrößert sich die Eindringtiefe mit zunehmender Laufzeit während die Abtastrate abnimmt. Damit ist das Sampling bei einer Auswertung der einzelnen Radargramme zu beachten.

Nach den theoretischen Grundlagen aus Abschnitt 3.11.1.1 ist die Eindringtiefe des Georadars wesentlich komplexer aufgebaut als die zuvor betrachteten Auflösungen. Für eine genaue Bestimmung der Eindringtiefe sind die nach Gleichung (15) verwendeten Größen sowie die genauen Systemparameter der Antennen anzugeben. Demzufolge müssen für die genaue Bestimmung der Eindringtiefe die Bodenkennwerte wie die Dielektrizitätskonstante und die Leitfähigkeit bekannt sein. Aufgrund der ggf. inhomogenen Bodenstrukturen, die sich aus mehreren Schichten der verschiedenen Bodenarten und den zugehörigen Feuchtegehalten zusammensetzen, ist eine theoretische Abschätzung schwer möglich. Auf eine Berechnung der theoretischen Eindringtiefen mit Gleichung (19) wird wegen der Anzahl an unbekannten Größen verzichtet.

5.1.1.2 GPS

Das GPS erfasst die Koordinaten, mit deren Hilfe eine nachträgliche Georeferenzierung der ausgewerteten Radargramme erfolgen kann. Für eine erfolgreiche Auswertung und Visualisierung der Schadensbilder in einem Kanalkataster sowie der Verschneidung mit den bestehenden Kanaluntersuchungen ist eine genaue Kenntnis der Lage der einzelnen Schadensbereiche notwendig. Die GPS-Daten ermöglichen eine entsprechende Georeferenzierung der detektierten Problembereiche. Infolgedessen lassen sich die erkannten Objekte in einem GIS-Programm darstellen.

Zur Bestimmung der Koordinaten wird in der Regel das Satellitennavigationssystem NAVSTAR-GPS (Navigation System with Time and Ranging - Global Positioning System) verwendet. Das vom US-amerikanischen Verteidigungsministerium finanzierte GPS-System besitzt dabei eine künstlich erzeugte Ungenauigkeit. Da das Verteidigungsministerium die Bahndaten sowie das Satellitenuhrenverhalten für kommerzielle Zwecke verändert, verringert sich die Genauigkeit des Echtzeit-Navigrationsverfahrens. Hierdurch soll einem Missbrauch der Daten vorgebeugt werden (WITTE und SCHMIDT, 1995). Um dennoch das Satellitennavigationssystem für die Georeferenzierung nutzen zu können, wird

der Referenzdienst ascos-satellite positioning services der E.ON Ruhrgas AG verwendet. Der ascos-Dienst bildet Korrekturmodelle mit der Vernetzungssoftware der Referenzstationsdaten.

Die so ermittelten Daten werden vom Endnutzer über ein Mobiltelefon abgerufen und sind deutschlandweit verfügbar. Hierbei basieren die Referenzstationsdaten auf eigenen Stationen des Anbieters sowie den Referenzstationen des Satellitenpositionierungsdienstes der deutschen Landesvermessung (SAPOS). Ergänzend zum amerikanischen NAVSTAR GPS-System werden in Teilbereichen Satelliten des russischen GLONASS-Systems (GLObal NAvigation Satellite System) verwendet, um eine bessere Netzabdeckung an schwierigen Standorten zu gewährleisten. Nach einer Inbetriebnahme des europäischen Satelliten-Navigationssystems Galileo wird der ascos-Dienst die Nutzung von Korrekturdaten anbieten (E.ON-Ruhrgas-AG, 2006). Die Firma Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH verwendet den Präzisen Echtzeitdienst (PED), der nach eigenen Angaben (NIESSEN, 2006) eine Genauigkeit von $\delta \approx 35$ cm besitzt.

Als Empfänger für die GPS Signale wird von der Firma Leica Geosystems der Leica SR510 GPS Survey Receiver benutzt. Dieser befindet sich mittig auf dem Anhänger (s. Bild 5.2) und zeichnet somit die mittlere Position der Antennen auf. Dementsprechend muss die Auswertungssoftware den Abstand $\Delta = x$ in Fahrtrichtung ausgleichen und die Koordinaten hinsichtlich des Antennenarrays zentrieren. Die Koordinaten liegen im GPFGA (Global Positioning System Fix Data, Time, Position and fix related data for GPS receiver) Format vor, das auf dem NMEA 0183 (National Marine Electronics Association) Standard basiert.

Anhand der Koordinaten ist nicht nur eine Positionsbestimmung möglich, sondern auch eine Aussage über die Genauigkeit der erfassten Lagepunkte. Zu jedem Koordinatenpaar, das im ETRS89¹ Koordinatensystem erfasst wird (s. Abschnitt 6.6.1), werden zusätzliche Informationen über die Genauigkeit aufgezeichnet. So kann nachvollzogen werden, ob ein GPS Signal empfangen und der Referenzdienst (Differentielles GPS) genutzt wurde.

Darüber hinaus werden die Anzahl der empfangenen Satelliten sowie die jeweilige Genauigkeit angegeben. Die Genauigkeitsangabe bezieht sich auf die „dilution of precision“ (DOP). Je kleiner diese Genauigkeitsangabe, desto präziser ist die Positionsbestimmung (s. Anhang 2).

¹ In der Regel werden die NAVSTAR-GPS Koordinaten im WGS84 (World Geodetic System 1984) Format angegeben. Der ascos-Referenzdienst bezieht sich aber auf das ETRS89 (Europäische Terrestrische Referenzsystem 1989), welches um 1 bis 2 cm vom WGS84 abweicht.

5.1.1.3 Kamera

Neben den Antennen befindet sich eine digitale Kamera am Anhänger des „Georail® Sprinters“, mit der während der Messung die abgefahrte Wegstrecke gefilmt und gespeichert wird. Somit können nach Abschluss der Messungen zusätzliche Informationen über die Wegstrecke gewonnen werden. Eine wichtige Information ist die optische Erfassung der Schachtdeckel. Sie ermöglicht eine nachträgliche Zuordnung der GPS-Koordinaten mit den vorgegebenen Schachtdeckelkoordinaten der Kanalnetzbetreiber. Durch die Kontrolle der gemessenen GPS-Koordinaten zu den Schachtdeckelkoordinaten aus den Haltungsdaten können die GPS-Koordinaten nachträglich transformiert und dadurch eine bessere Übereinstimmung erzielt werden (s. Abschnitt 6.6).

Bild 5.7 zeigt eine Aufnahme während einer Untersuchungsfahrt.



Bild 5.7: Kamerabild

Darauf sind der Schachtdeckel, die Umgebung der Antennen sowie die Straßenverhältnisse deutlich zu erkennen. Zudem besteht die Möglichkeit, störende Einflüsse im Verlauf der Messung zu registrieren und festzuhalten. Diese können durch parkende Autos oder durch eine Unterbrechung des GPS Signals von Brücken und störendem Baumbewuchs entstehen. Die GPS-Koordinaten werden im oberen Bereich des Bildes eingeblendet und sind als Längen- und Breitengrad des vorliegenden Koordinatensystems eingetragen. Die Kamera zeichnet mit dem üblichen Phase Alternating Line (PAL) Standard auf und ermöglicht eine praktische Auflösung von 576 x 288 Pixeln.

5.1.1.4 Weggeber

Der inkrementale Hohlwellendrehgeber HWI 103 der Fa. Hohner steuert die einzelnen Scans der Antennen während der Messung. Bei inkrementalen Drehgebern werden, im Unterschied zu potentiometrischen oder induktiven Drehgebern, digitale Ausgangssignale geliefert. Dabei erfasst der Drehgeber die Rotation der Hinterachse des „Georail® Sprinters“ über optische Sensoren, die eine in helle und dunkle Flächen (sogenannte Inkremente) eingeteilte kreisrunde Scheibe abtasten. Das Messsystem führt alle 5 cm bzw. 2,5 cm einen Scanvorgang durch, woraus sich eine Scanrate 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 auch sichergestellt, dass bei einem stehenden Fahrzeug nicht zusätzliche Messungen durchgeführt werden. Die Scans sind weggesteuert und werden in gleichen Abständen ausgeführt.

Eine zweite Kontrolle bietet der Drehgeber mit der präzisen Geschwindigkeitsangabe des Fahrzeugs. Da die Messgeschwindigkeit beim Aufzeichnen der Daten nicht überschritten werden darf (s. Abschn. 5.1.3), ist durch die genaue Angabe der Fahrzeuggeschwindigkeit sichergestellt, dass der Grenzbereich eingehalten wird.

5.1.2 Praxiseinsatz

Für die Durchführung der Messungen des „Georail® Sprinters“ sind zwei Personen vorgesehen. So ist neben dem Fahrer auch eine zweite Person einzusetzen, die die Messapparatur bedient, um die jeweilige Messung zu starten und zu beenden. Zusätzlich müssen die abgefahrenen Straßen im System eingegeben werden, um später eine leichtere Zuordnung zu ermöglichen. Ebenfalls ist sicherzustellen, dass die vorgesehene Inspektionsroute eingehalten wird, damit die vom Auftraggeber angegebenen Haltungen mit dem System vollständig erfasst werden.

Während der Messung orientiert sich der Fahrer zum Erfassen der Kanaltrasse an den Schachtdeckeln. Der Fahrer ist angehalten, möglichst geradlinig zwischen zwei Schachtdeckeln zu manövrieren. Mit einer Fahrspur werden in der Breite nahe der Straßenoberfläche 1,68 m Kanaltrasse abgedeckt. Mit zunehmender Eindringtiefe des Radarsignals in den Untergrund gewinnt das Antennensystem durch den Footprint an Breite (s. Abschn. 5.1.1.1). Zu Komplikationen kann es hierbei durch

- parkende Autos,
- Straßenverkehr,
- ungünstige Lage der Schachtdeckel,
- geringe Wendemöglichkeiten in Einbahnstraßen, Sackgassen oder kleine Stichstraßen sowie

- durch Wechsel der Kanaltrasse über mehrere Fahrspuren

kommen. Beispiele einzelner Situationen sind in Anhang 1 dargestellt. Die Unberechenbarkeit der möglichen Komplikationen durch die Straßenverhältnisse lässt keine generelle Aussage über die Streckenleistung des Fahrzeuges pro Tag zu. Hinzu kommt auch die Kompaktheit des Einsatzgebietes. Somit bedingen Unterbrechungen aufgrund größerer Ortswechsel zwischen den Messungen gleichzeitig zusätzliche Auf- und Abbauzeiten, die zu koordinieren und einzuplanen sind.

Um eine Verbesserung der Ergebnisse sowie eine optimale Abdeckung der Kanaltrasse zu ermöglichen, ist neben dem Einsatz von Begleitfahrzeugen durch den Auftraggeber in stark befahrenen Gebieten ggf. auch die Einrichtung von Halteverbotszonen vorzusehen.

Die Rüstzeiten des Fahrzeugs belaufen sich auf ca. eine Stunde vor Messbeginn. In dieser Zeit befestigt das Messteam die Antennen am Anhänger und schließt die nötige Verkabelung an. Während der Messung sind an den Messvorrichtungen keine Einstellungen mehr vorzunehmen.

5.1.3 Messgeschwindigkeit

Die Messgeschwindigkeit wird durch das Antennenarray begrenzt. Bei jedem Messvorgang müssen die Daten der 14 Antennen verarbeitet und aufgezeichnet werden. Die vorhandene Hardwarekonfiguration ermöglicht eine Messgeschwindigkeit von 12 km/h bei 20 Scans pro Meter. Sollte eine höhere Auflösung durch eine Vergrößerung auf 40 Scans pro Meter erwünscht sein, verlangsamt sich die Messgeschwindigkeit um die Hälfte auf 6 km/h. Die Geschwindigkeit verhält sich damit umgekehrt proportional zur Anzahl der Scans. Die theoretische Leistungsfähigkeit liegt mit ca. 15 km/h knapp über dieser Geschwindigkeit. Die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit wird zwar dem Fahrer während der Messung durch den Weggeber angezeigt, ist aber in der Praxis nicht immer genau einzuhalten. Aus diesem Grund wird ein Sicherheitspuffer von ca. 20% der maximal theoretisch möglichen Geschwindigkeit eingehalten. Die Tagesleistung des „Georail® Sprinters“ wird von der Firma GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH mit ca. 20-50 km Fahrspur pro Tag angegeben.

Für die Zukunft kann eine höhere Messgeschwindigkeit erwartet werden. Die obere Grenze ist durch die Leistungsfähigkeit der Hardware eingeschränkt, die in den nächsten Jahren weiter gesteigert werden kann. Laut Firma GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH werden Messfahrten mit dem fließenden Stadtverkehr in Zukunft möglich sein (NIESSEN, 2006).

5.1.4 Datenmengen

Die Datenmengen, die durch die Anzahl der vorhandenen Messgeräte sowie die Leistung des Antennenarrays entstehen, sind entsprechend zu berücksichtigen. Nach Angaben des Herstellers fallen für eine Messstrecke von 100 m mit einer Abtastrate von 20 Scans pro Meter ca. 28,5 Megabyte Daten an. Das entspricht bei einer Geschwindigkeit von 12 km/h ungefähr einem Megabyte (MB) pro Sekunde. Hinzu kommen die GPS Koordinaten, die Videodatei der Kamera und die Geschwindigkeitsangaben des Weggebers.

Zum Schutz vor Datenverlusten werden sämtliche Daten nach der Erfassung zusätzlich im Fahrzeug gesichert. Dementsprechend verdoppelt sich die erhobene Datenmenge durch das Backup im Fahrzeug. Bei einer Tagesleistung des „Georail® Sprinters“ mit ca. 20-50 Kilometer Fahrspur pro Tag ergibt sich daraus ein Antennenarraydatenvolumen zwischen 5,6 und 13,8 GB pro Tag ohne Datensicherung.

Von der Kamera werden pro Sekunde 50 Halb-Bilder aufgenommen. Damit ergibt sich mit 576 x 288 Pixeln pro Farbbild eine Größe von ca. 24 MByte pro Sekunde.

Jedoch wird die Bilddatei vor dem Speichern komprimiert und um den Faktor 10 auf 2,4 MB verkleinert. Die GPS Daten mit knapp 8 kB können dagegen vernachlässigt werden. Die bei voller Messgeschwindigkeit aufgenommenen Daten mit einer Gesamtkapazität von ca. 3,4 MB pro Sekunde werden im Fahrzeug auf dem Videorechner mit einer Kapazität von 200 GB bzw. auf dem TerraVision Notebook gespeichert. Damit steht genügend Speicherplatz für mehrere Messtage zur Verfügung.

5.1.5 Auswertung

Die Messungen werden in Radargrammen erfasst. Die Darstellung erfolgt über die Laufzeit der Wellen und die Amplituden (vgl. Kap. 3.11.4).

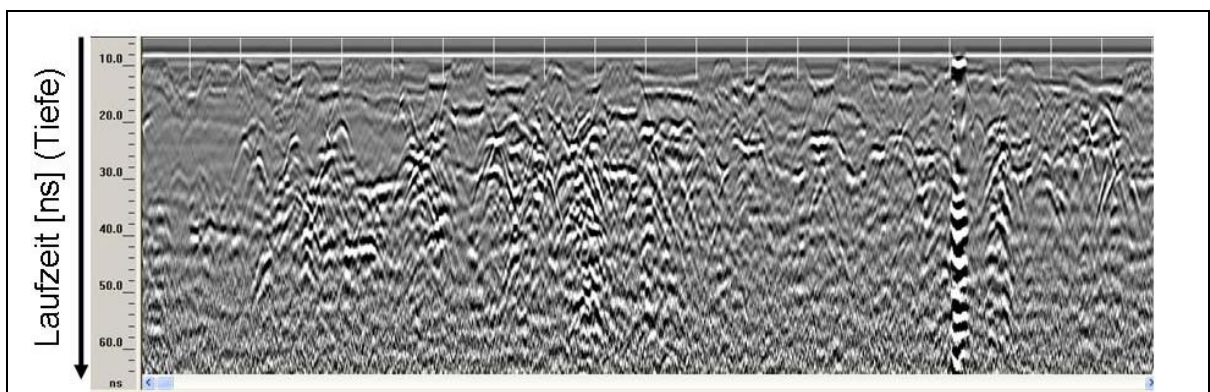


Bild 5.8: Radargrammaufzeichnung

Die Auswertung der Radargramme erfolgt durch Geologen.

Zunächst werden die in dem aufgezeichneten Radargramm (z.B. Bild 5.8) dargestellten Reflexionsmuster je nach der reflektierten Wellenlänge verschieden eingefärbt (s. Bild 5.9.).

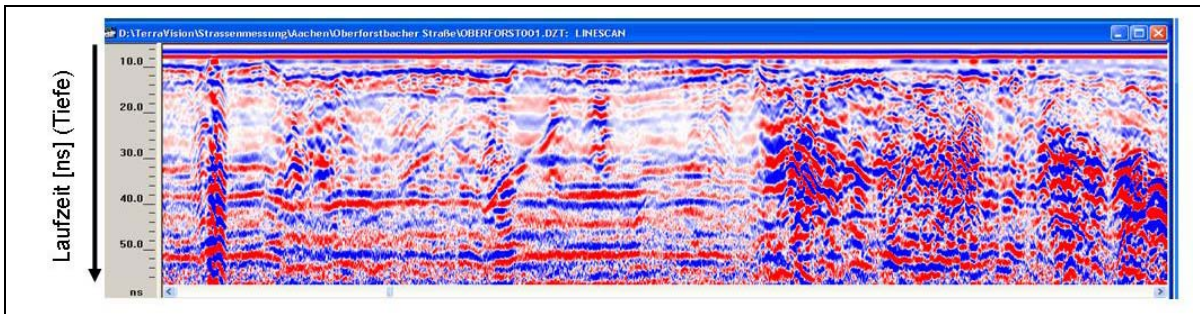


Bild 5.9: Eingefärbtes Radargramm vor Filterung

Anschließend wird mit der Auswertungssoftware mit Filtern das sogenannte Rauschen unterdrückt, um Kontraste besser hervorheben zu können (s. Bild 5.10.) Die Störungen bzw. Anomalien sind nun deutlicher erkennbar.

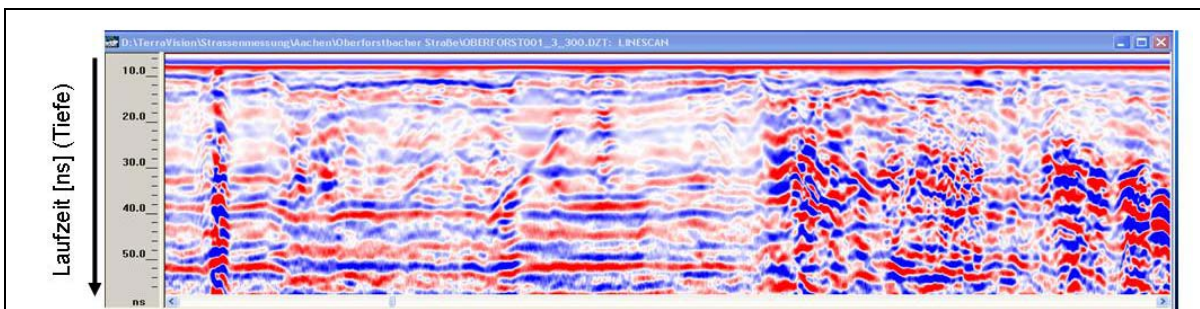


Bild 5.10: Radargramm nach Rauschunterdrückung

Mit der entsprechenden Software können alle 14 Messspuren, die mit dem TerraVision® System erfasst werden, in einer Darstellung abgebildet werden (Bild 5.11).

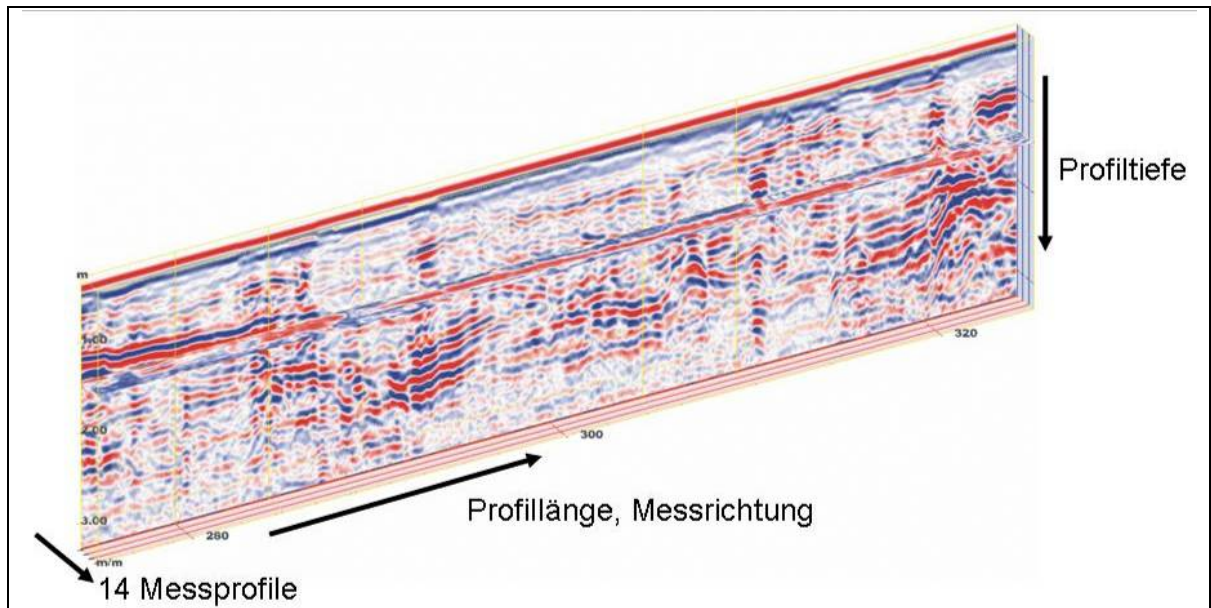


Bild 5.11: Dreidimensionale Darstellung der Messergebnisse

Die einzelnen Messspuren können scheibenweise betrachtet werden und auch einzelne Tiefenschnitte sind möglich.

In weiteren Schritten können mit Hilfe des vorhandenen Kartenmaterials, den Haltungsdaten, den GPS-Daten und der Videoaufzeichnung die Lage von Schächten etc. bestimmt und in die Darstellung eingezeichnet werden. In Bild 5.12 sind über dem Radargramm die bei ca. 1 m Tiefe erfassten Reflexionsmuster (Amplituden) des dargestellten Querschnittes in starker Überhöhung aufgetragen, um Anomalien deutlicher hervorzuheben.

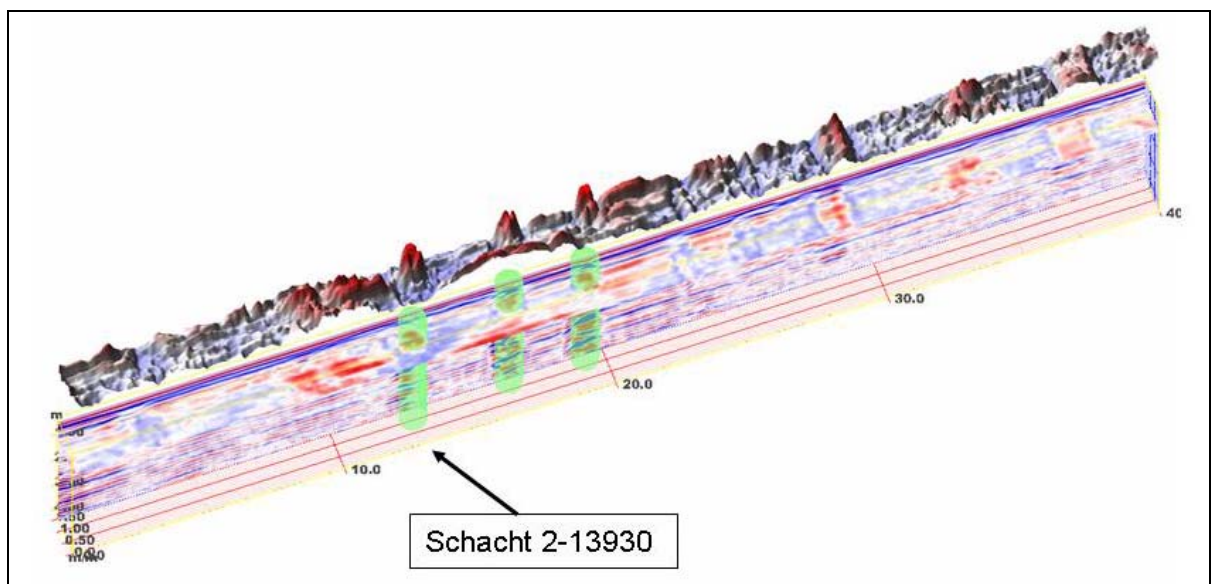


Bild 5.12: Radargramm mit Darstellung detektierten Schächte nach Bearbeitung

Mit Hilfe einer entsprechenden Datenbankstruktur und des dazugehörigen Datenmanagements kann dieser Schritt zumindest teilweise automatisiert werden (vgl. Abschnitt 6.5).

5.2 Messsystem für den Einsatz aus dem Kanalrohr

Für die Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen in der Leitungszone aus dem Kanal heraus wurde ein Labormuster eines Kanalroboters entwickelt. Das Labormuster wurde zunächst für Rohre mit der Nennweite DN 600 entwickelt.

Der Kanalroboter wird über eine Software gesteuert und 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.



Bild 5.13: Labormuster Kanalroboter

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.

5.3 Versuchsfeld

Zur Erprobung der Messtechnik und für die Gewinnung von Referenzdaten wurde ein Versuchsfeld auf dem Gelände des Prüf- und Entwicklungsinstituts für Abwassertechnik an der RWTH Aachen e.V. (PIA) errichtet. Das PIA befindet sich auf dem Gelände der ehe-

maligen Kläranlage Aachen-Bildchen. Das Versuchsfeld besteht aus einem Sandkörper und misst ca. 7 m x 15 m bei einer Tiefe von annähernd 3,5 m. Die Ergebnisse der Dichtebestimmung und die Sieblinie des eingebrachten Sandes finden sich in Anhang 3.

In das Versuchsfeld wurden zwei Rohrleitungsstränge aus Beton und Stahlbetonrohren mit DN 600 sowie aus PE und Steinzeug DN 300 verlegt. Die jeweiligen Rohrstränge sind an Schächten angeschlossen und zugänglich.

Damit im Versuchsfeld teilweise ein Grundwasserspiegel simuliert werden kann, wurde dieses zu allen Seiten und nach unten mit einer Folie abgedichtet. Sowohl zur Wasserbeaufschlagung als auch um Sickerwasser aus dem Versuchsfeld zu entfernen, wurde an einer Seite eine Drainage verlegt und an einem eigenen Schacht angeschlossen. Das Sickerwasser wird aus dem Drainageschacht in das ehemalige Nachklärbecken der stillgelegten Kläranlage gepumpt. Zum Befüllen der Versuchsanlage wird das Wasser ebenfalls dem ehemaligen Nachklärbecken entnommen. Das Versuchsfeld wurde zur Sicherung vor Wind und Regen mit einer Folie abgedeckt. Die Folie übt keinen Einfluss auf die Messergebnisse aus.

Bild 5.14 und Bild 5.15 zeigen das Versuchsfeld im Grundriss. Zur Simulation von Inhomogenitäten im Boden wurden unterschiedliche Störkörper in das Versuchsfeld eingebaut. Bei diesen Störkörpern handelt es sich zum einen um Metallplatten und zum anderen um verschieden geformte Styropor[®]-Körper (s. Bild 5.17) und einen hälftig mit Wasser gefüllten Kunststoffsack. Bild 5.16 zeigt Schnitte des Versuchsfeldes. Die unterschiedliche Höhenlage der Störkörper wird so deutlich.

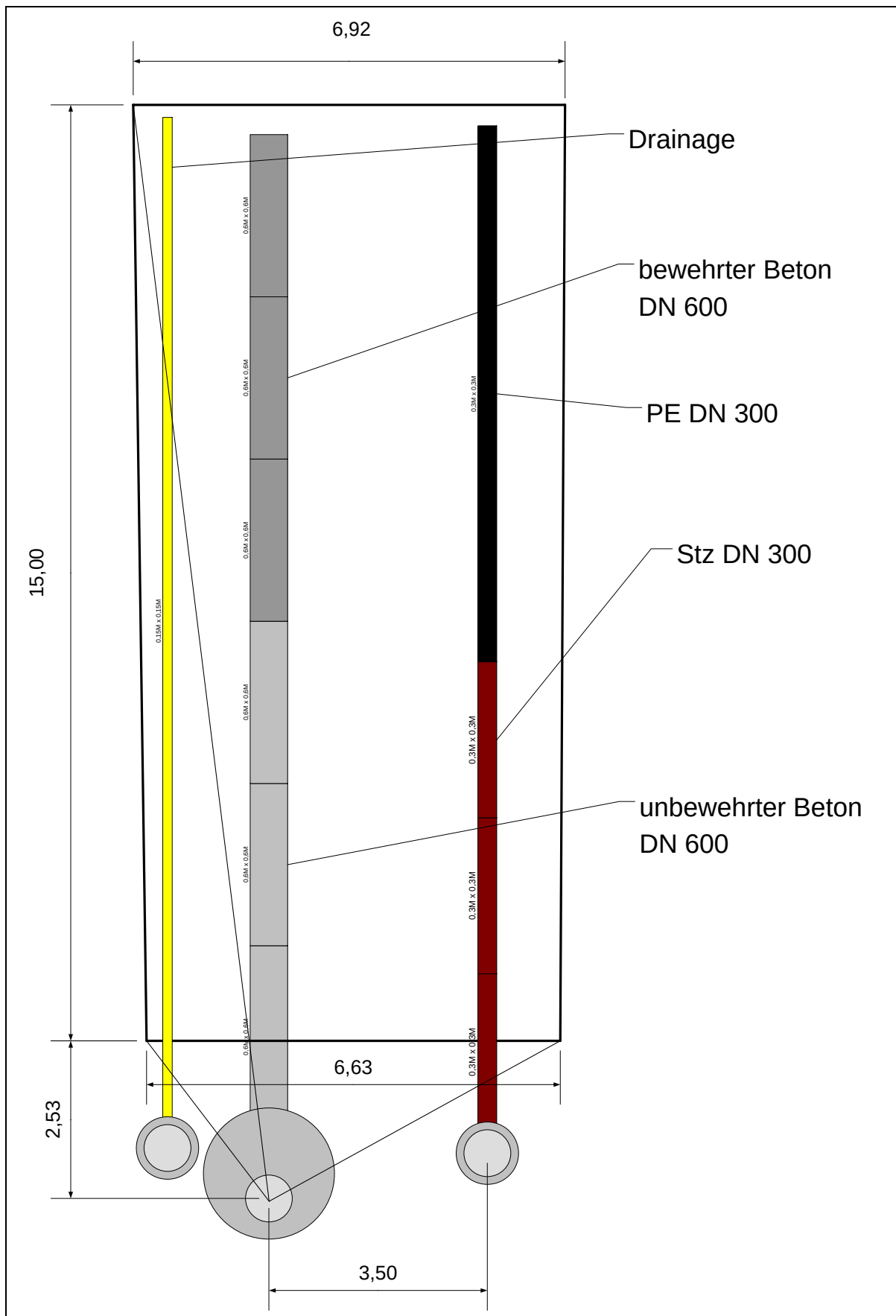


Bild 5.14: Grundriss des Versuchsfeldes



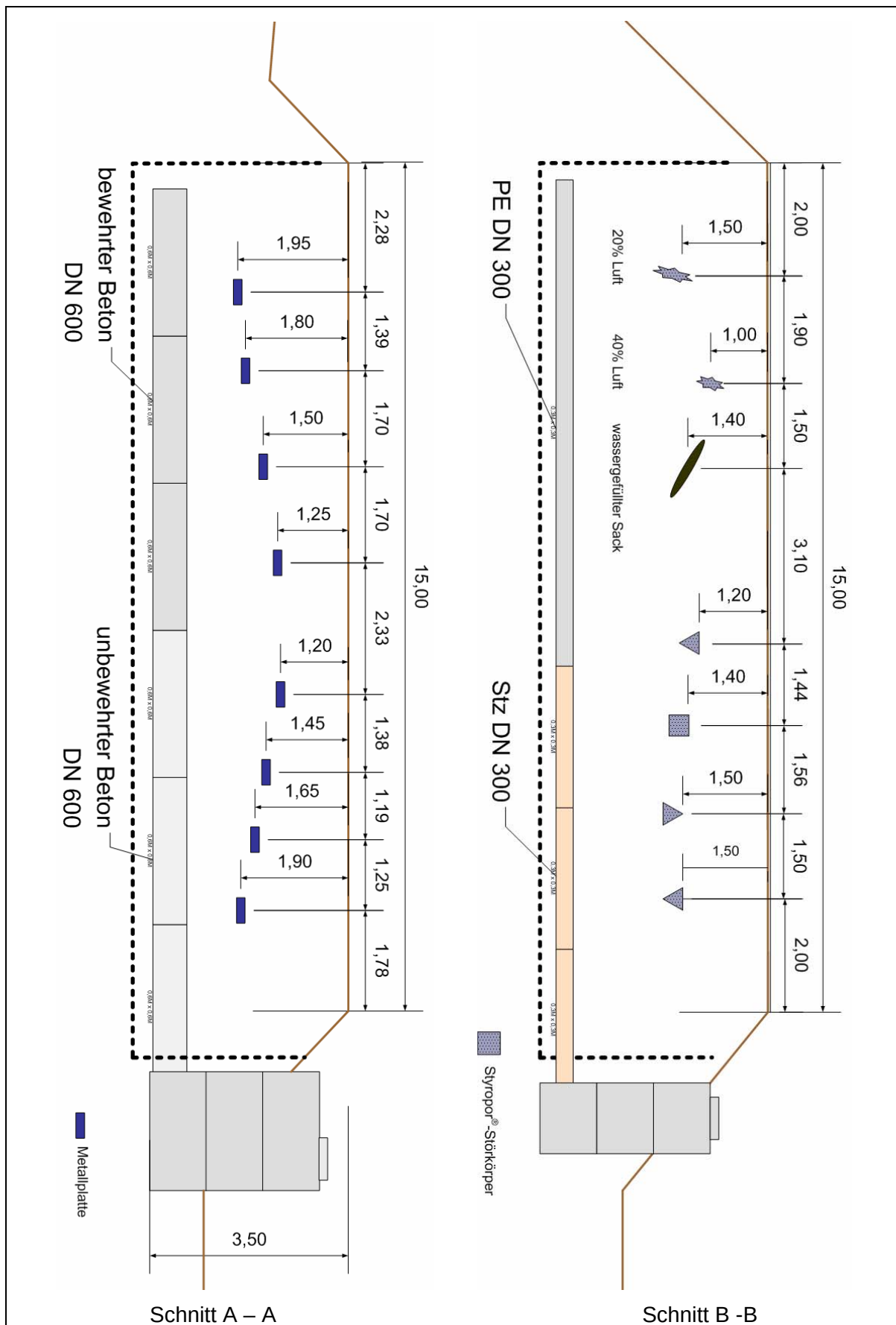


Bild 5.16: Schnitt durch das Versuchsfeld (Metallplatten und Störkörper)



Bild 5.17: In das Versuchsfeld eingebaute Störkörper

5.4 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.

5.4.1 Aachen

Die Stadt Aachen wählte ein Untersuchungsgebiet, in dem noch keine weiteren Informationen über den Zustand der Kanalisation vorlagen. Die befahrenen Straßenabschnitte liegen im Stadtteil Oberforstbach mit dörflichem Charakter. Insgesamt wurden 3.035 m Straßenabschnitte mit dem TerraVision® System gescannt.

5.4.2 Braunschweig

Die Stadt Braunschweig wählte zur Befahrung drei Straßenabschnitte aus, bei denen die optische 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.

5.4.3 Düsseldorf

Die Stadt Düsseldorf hat im Stadtteil Oberkassel wiederholt Probleme mit Tagbrüchen. In mehreren Straßenzügen Oberkassels wurde aufgrund der örtlichen Begebenheiten (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 mit einem Dämmer verbaut. Dieser füllte aber nicht immer den Hohlraum vollständig. Zusammen mit den verrotten Holzschalungen bildeten sich im Untergrund Hohlräume, die zu Tagbrüchen führten.

Die vermuteten Hohlräume liegen unmittelbar in der Leitungszone, so dass die in der Straßenmitte liegenden Kanäle gut erfasst werden können, ohne dass die schwierige Parksituation und die anspruchsvollen Anwohner durch Halte-/Parkverbote verschärft wird. Die Überdeckung beträgt ca. 3-4 m, ist aber z. T. erheblich geringer. Die Kanäle haben Nennweiten DN 300-500.

Weitere Informationen über den Untergrund und den Zustand der Straßen wurden in Düsseldorf nicht erhoben. Die gesamte zu befahrende Strecke beträgt etwa 3-4 km.

5.4.4 Essen

Die Stadtwerke Essen AG wählte für die Georadaruntersuchungen Straßenzüge aus, in denen Sie vermuteten, dass es zu Hohlräumbildungen oder Lagerungsdefekten gekommen sein könnte. Weitere Informationen wurden nicht zur Verfügung gestellt. Es wurden 715 m Straßen mit dem Georadarsystem befahren.

5.4.5 Münster

Die Stadt Münster hat in verschiedenen Straßenzügen, hiervon zum Teil stark befahrene Abschnitte, immer wieder mit Tagbrüchen Probleme. Diese Bereiche wurden für eine Befahrung ausgewählt. Es bestand die Hoffnung, dass mit der neuen Untersuchungstechnik Tagbrüche durch die Detektion von Verdachtsflächen und deren vorrangige Einplanung bei der Sanierung ein plötzliches Versagen der Tragfähigkeit der Straßendecke vermieden werden kann. Es wurden 7.950 m Straßenabschnitte gescannt

5.5 Workshops

In projektbegleitenden Workshops sollten die Anforderungen und die Wünsche der späteren potentiellen Anwender in den Kommunen mit in das Projekt einfließen.

Ein erster Workshop wurde zusammen mit einer Projektbesprechung am 01.03.2006 in Aachen durchgeführt. Die am Workshop interessierten Vertreter verschiedener Kommu-

nen wurden hierzu eingeladen. In diesem Workshop wurden die ersten Ergebnisse der Messungen auf dem Versuchsfeld vorgestellt und eine erste mögliche Darstellungsweise bzw. die gewünschten Anforderungen an ein Datenmanagement besprochen.

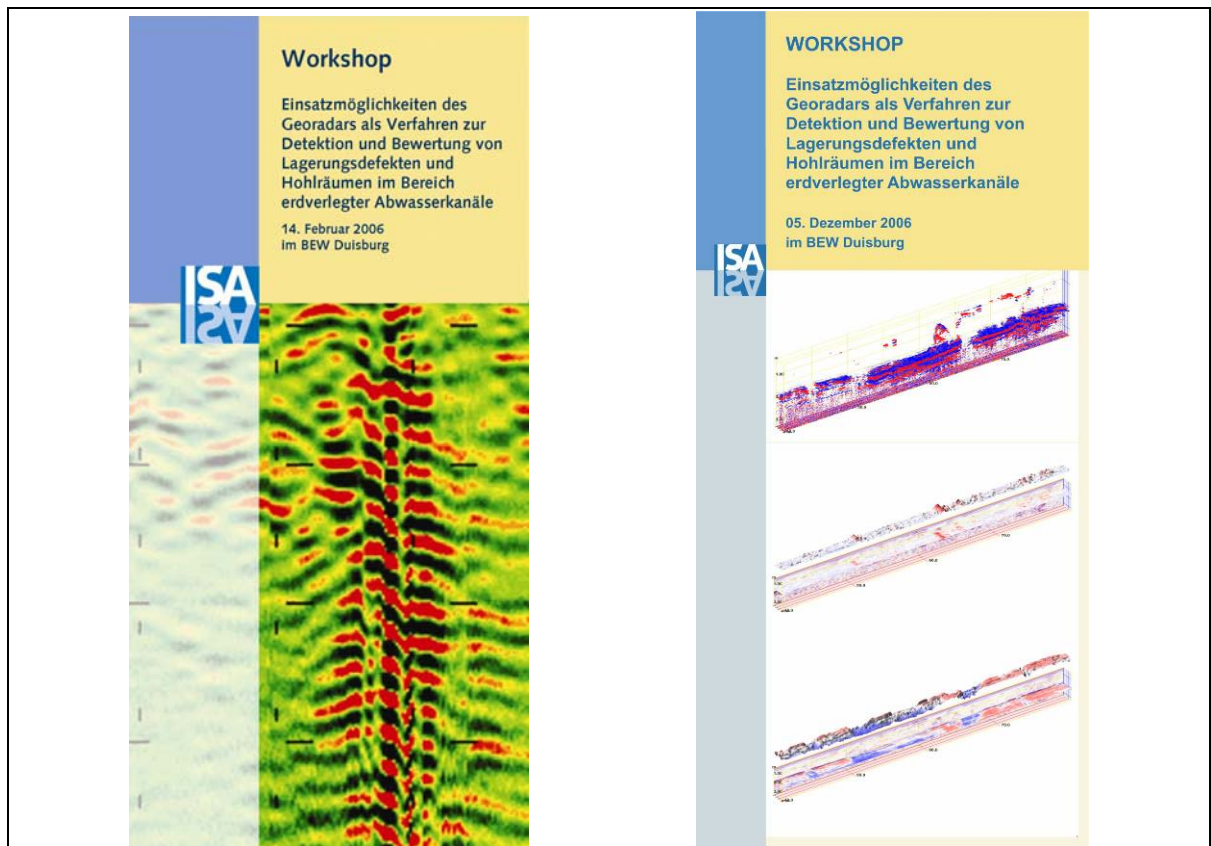


Bild 5.18: Ankündigung der Workshops am 14.02.2006 und 05.12.2006

Ein zweiter Workshop fand am 05.12.2006 im BEW in Essen statt. Es wurden die Ergebnisse der Messungen in den Kommunen erläutert, die ersten Messungen mit dem Kanalroboter präsentiert und das im Projekt erarbeitete Datenmanagement vorgestellt.

6 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Untersuchungen in den fünf beteiligten Kommunen sowie die Ergebnisse des Einsatzes des Kanalroboters dargestellt.

6.1 Messungen auf dem Versuchsfeld

Anfang Januar 2006 konnten die ersten Messungen mit einer 400 MHz Hornantenne (vgl. Bild 6.1) auf dem Versuchsfeld durchgeführt werden. Gemessen wurde in Längs- und Querrichtung und zusätzlich mit um 90° gedrehter Antenne.



Bild 6.1: Erste Messungen mit einer 400 MHz Hornantenne

Die aufgezeichneten Radargramme wurden (Bild 6.2, s. a. Anhang 4) 3-dimensional aufgetragen. Die verwendete Software „Radan“ der Firma GSSI (Geophysical Survey Systems, Inc.) erlaubt ein „gleiten“ durch die Darstellung. In den Abbildungen sind die zuvor beschriebenen Hyperbeln, die durch die Störkörper verursacht werden, deutlich zu erkennen.

In Bild 6.2 sind die Reflexionsmuster der Metallplatten zu erkennen.

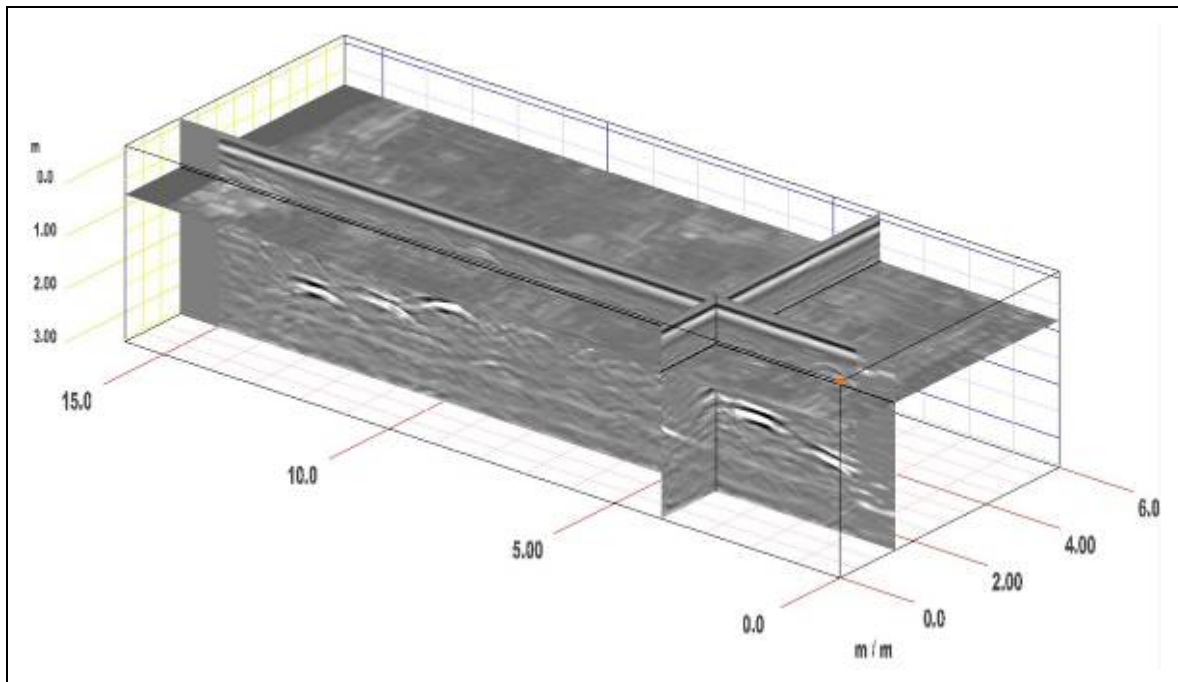


Bild 6.2: 3-dimensionale Darstellung der Radargramme der ersten Messung (05./06.01.2006)

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 Testfeldseitenwände zurückgeführt werden.

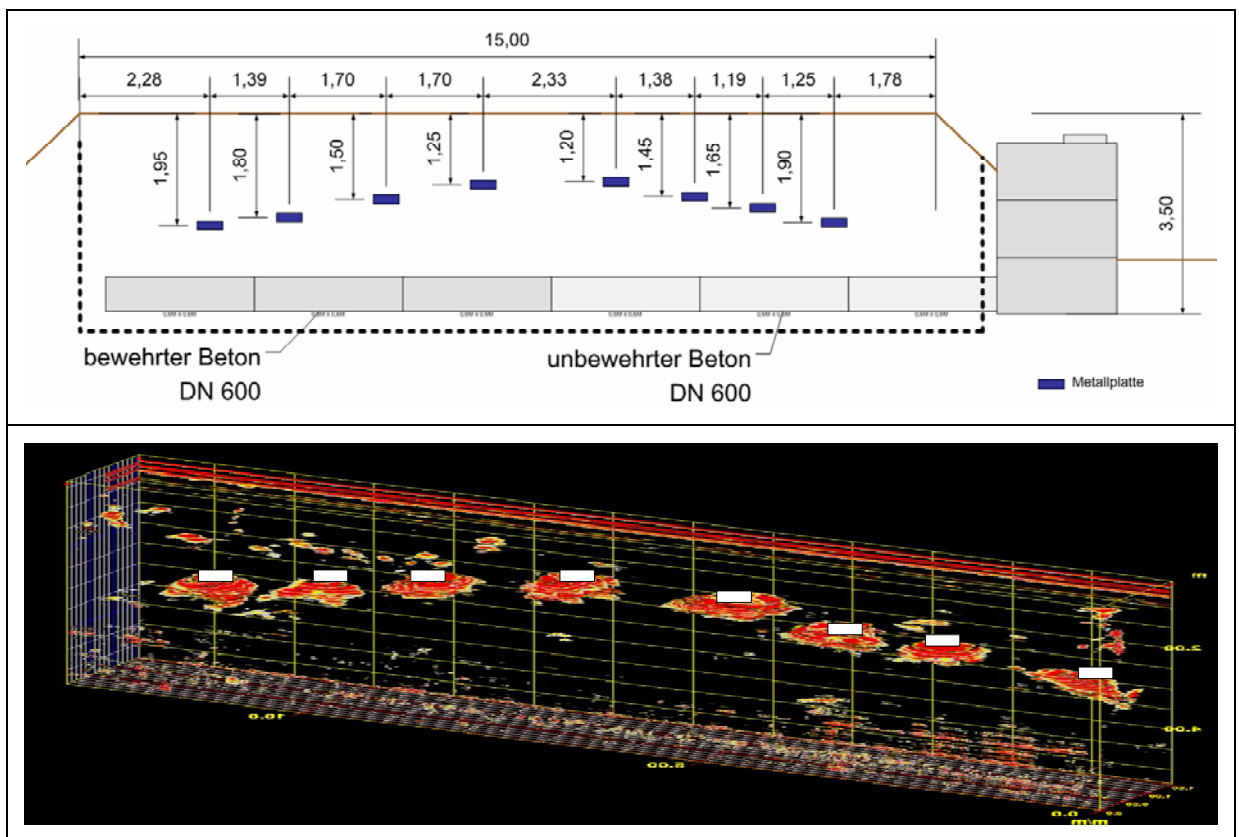


Bild 6.3: Schnitt durch das Versuchsfeld und Radargramm der Metallplatten

Das TerraVision® Messsystem, mit dem auch die Messungen in den Kommunen durchgeführt wurde, kam im Juni 2006 auf dem Testfeld zum Einsatz. Hierzu wurde die Wanne mit den Antennen mit Rädern versehen und in mehreren parallelen Messspuren über das Testfeld gezogen.

Die Metallplatten und Störkörper, die in den Radargrammen deutlich erkannt werden konnten, sind in Bild 6.3 und Bild 6.4 markiert. Die Störkörper konnten zum überwiegenden Teil erkannt werden (Bild 6.4). Lediglich ein pyramidenförmiger Styroporkörper, der mit der Spitze nach oben eingebaut worden war, konnte erwartungsgemäß nicht detektiert werden.

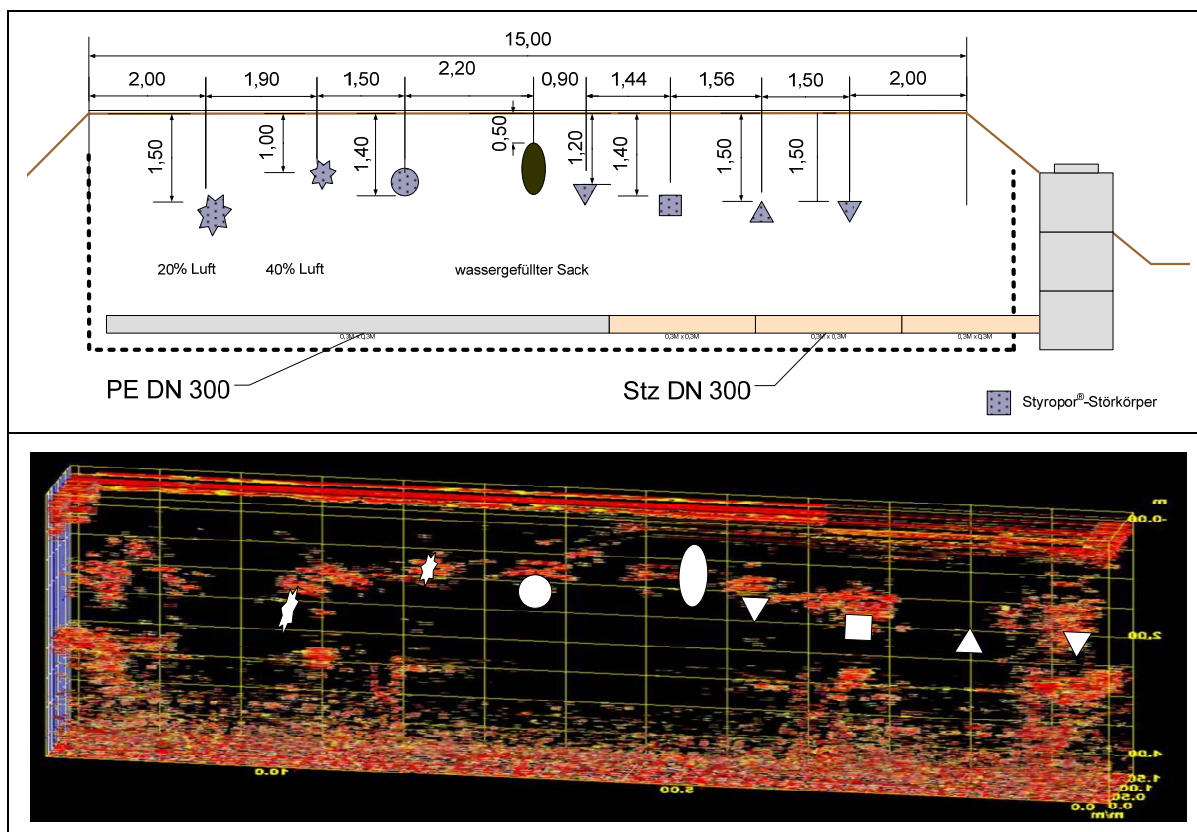


Bild 6.4: Schnitt durch das Versuchsfeld und Radargramm der Störkörper

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, da 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 Tank (s. Bild 6.5), da der mit Wasser gefüllte Tank nach dem Einbau zusammengefallen war.

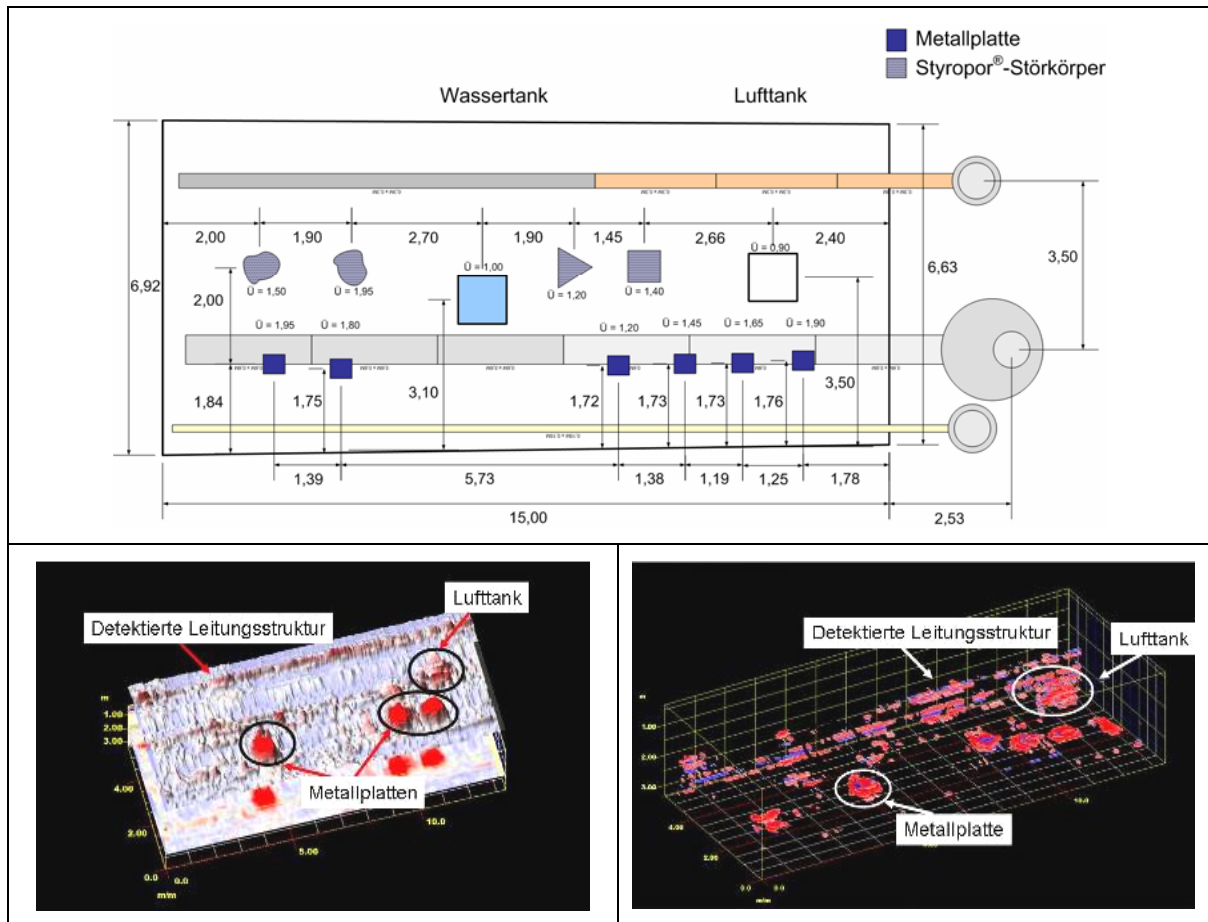


Bild 6.5: Darstellung des Versuchsfeldes und der Messergebnisse nach Umbau

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 6.6 zeigt eine alternative Auswertung, durch die die unter den Metallplatten liegenden Betonrohre dargestellt werden konnte.

Ende Juli 2006 wurde das Versuchsfeld geflutet. Bis zum Niveausgleich zwischen ehemaligem Nachklärbecken und dem Versuchsfeld wurde über mehrere Tage Wasser über die Drainage zugeführt. Die Rohrleitungen hätten nach den Wasserständen im Drainagewasserschacht und dem ehemaligen Nachklärbecken mit Wasser überdeckt sein müssen. Dennoch konnte bei den Auswertungen der Radargramme wieder erwarten kein Unterschied festgestellt werden. Das Georadar hätte zumindest eine Grenzschicht detektieren müssen. Entweder stand nicht genügend Wasser zur Ausbildung einer stabilen, künstlichen Grundwasseroberfläche zur Verfügung oder aber die Drainage wurde fehlerhaft angeschlossen, so dass das Wasser dem Erdreich unter der Sohlabdichtung zugeführt wurde und nicht in das Versuchsfeld gelangen konnte. Hierüber kann erst nach dem Rückbau des Versuchsfeldes abschließend Auskunft gegeben werden.

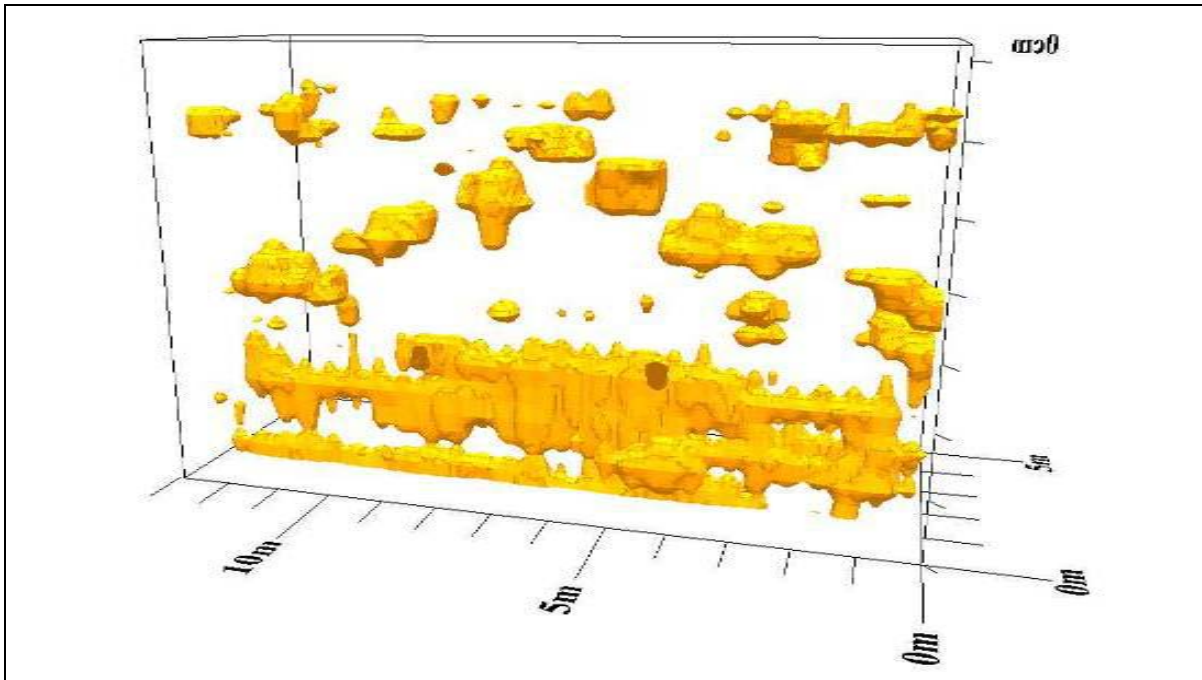


Bild 6.6: Alternative Auswertungsdarstellung des Versuchsfeldes (Metallplatten)

6.2 Meßsystem für den Einsatz aus dem Kanalrohr

Das von der Firma Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH in Eigenleistung entwickelte Labor-muster des Kanalroboters wurde am 14. und 15. November 2006 im Testfeld erprobt. Die Messung erfolgte wie in Kapitel 5.2 beschrieben im Betonrohr DN 600.

Aufgrund der noch nicht mit der feuchten Umgebung im Kanal angepassten Elektronik und den noch nicht optimierten Rädern des Roboters konnte versuchsweise nur ein relativ kleiner Abschnitt der Leitung untersucht werden. Ausgewählt für die Untersuchung wurde ein Leitungsabschnitt, über dem eine der Metallplatten in das Testfeld eingebracht worden war.

Im Bild 6.7 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.

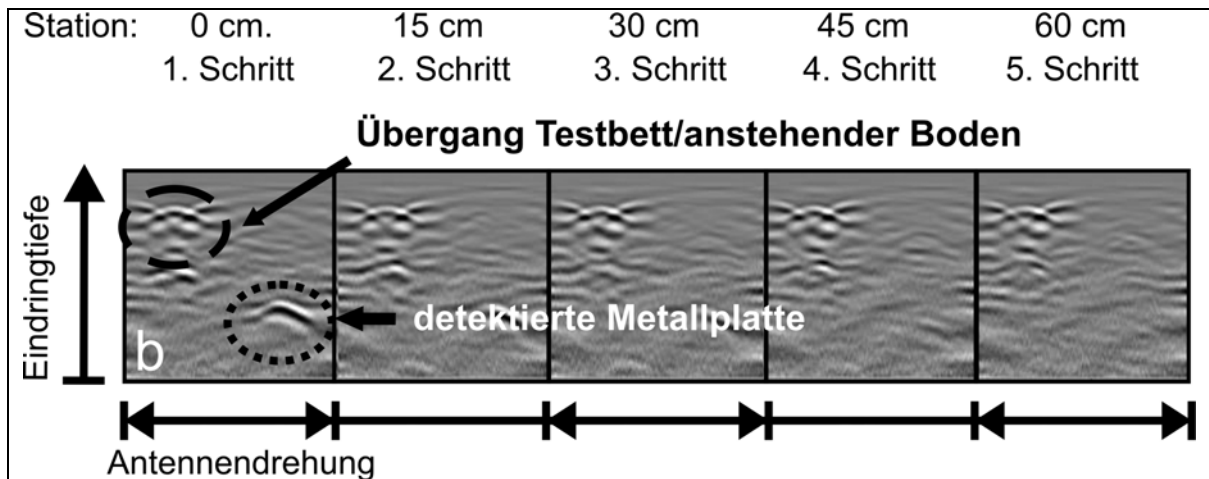


Bild 6.7: Radargramm von Kanalrobotermessungen, Schrittweite 15 cm

Bei einer 360° Umdrehung der Antenne entlang der Rohroberfläche werden 1.800 Scans durchgeführt. Die für die Auswertung eingesetzte Software teilt alle aufgezeichneten Scans in Abschnitte von jeweils 1.800 Scans und setzt diese dann zu einer Ringförmigen bzw. 3-dimensionalen Darstellung zusammen.

In Bild 6.8 sind zwei verschiedene Auswertungen dargestellt.

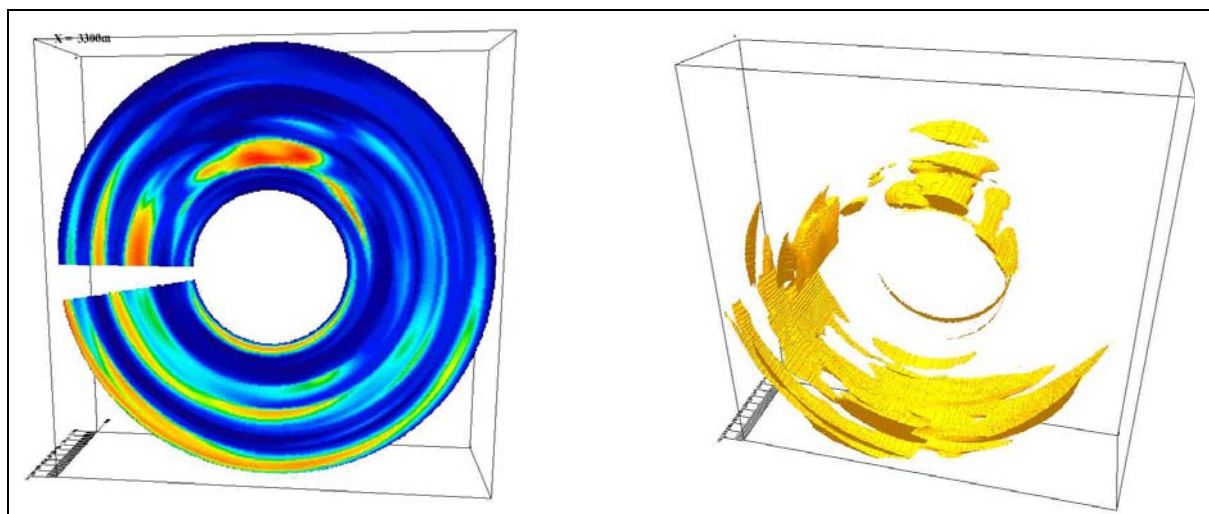


Bild 6.8: Auswertung und Visualisierung

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.

In der weiteren Entwicklung des Kanalroboters ist die Übertragung der Daten über einen Schleifkontakt bzw. drahtlos (Bluetooth etc.) vorgesehen, damit eine kontinuierliche, spi-

ralförmige Messung erfolgen kann. Auch die Bereifung und die Elektronik werden dann den Gegebenheiten in einem Kanal (Feuchtigkeit, Ex-Schutz usw.), angepasst werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das System grundsätzlich geeignet ist. In Zusammenarbeit mit einem Anbieter für Kanalroboter und Kanal - TV – Inspektionssysteme soll bei entsprechender Marktnachfrage das Labormuster zu einer praxistauglichen Version weiterentwickelt werden.

6.3 Messungen in den Kommunen

In den Städten Aachen, Braunschweig, Düsseldorf, Essen und Münster wurden je bis zu 8 km Straßenlänge mit dem Georadarsystem befahren. Diese Kanalhaltungen waren zuvor von den jeweiligen Abwasserbetrieben bestimmt worden. Von diesen erfassten Leitungsabschnitten wurden jeweils ca. 600 m ausgewertet.

Die Auswahl der auszuwertenden Leitungsabschnitte wurde ebenfalls von den jeweiligen Kanalnetzbetreibern getroffen.

Die Durchführung gestaltete sich weitgehend ohne Probleme. Aufgrund der Trassenführung der Abwasserkanäle wäre bei zukünftigen Befahrungen im Auftrag eines Entwässerungsbetriebes darauf zu achten, dass im Vorfeld ggf. Halte- und Parkverbote für die Dauer der Untersuchungen eingerichtet werden, da über den Kanälen geparkte Autos ein Überfahren der Trasse verhindert.

6.3.1 Aachen

In Aachen wurden insgesamt 3035 m Straßenabschnitte mit dem TerraVision® System gescannt. In den später ausgewerteten Straßenabschnitten (Darstellung s. Anhang 6) konnten Inhomogenitäten detektiert werden.

Leider erfolgte keine weitere Untersuchung während der Laufzeit des Projektes seitens der Stadtwerke Aachen AG, da durch den Übergang des Kanalnetzes von der Stadt Aachen auf die Stadtwerke Aachen AG eine größere Umstrukturierungsmaßnahme erfolgte.

Somit kann zu den Übereinstimmungen der Messmuster mit den tatsächlichen örtlichen Gegebenheiten keine Aussage getroffen werden.

6.3.2 Braunschweig

In Braunschweig wurden in drei Straßenabschnitten auf 1.610 m Messungen vorgenommen. Die Georadaruntersuchung ergab in der Hamburger Straße und in der Salzdahlumer Straße einige Verdachtspunkte mit lockerer Lagerung des Bodens (Bild 6.9, s.a. Anhang 7).

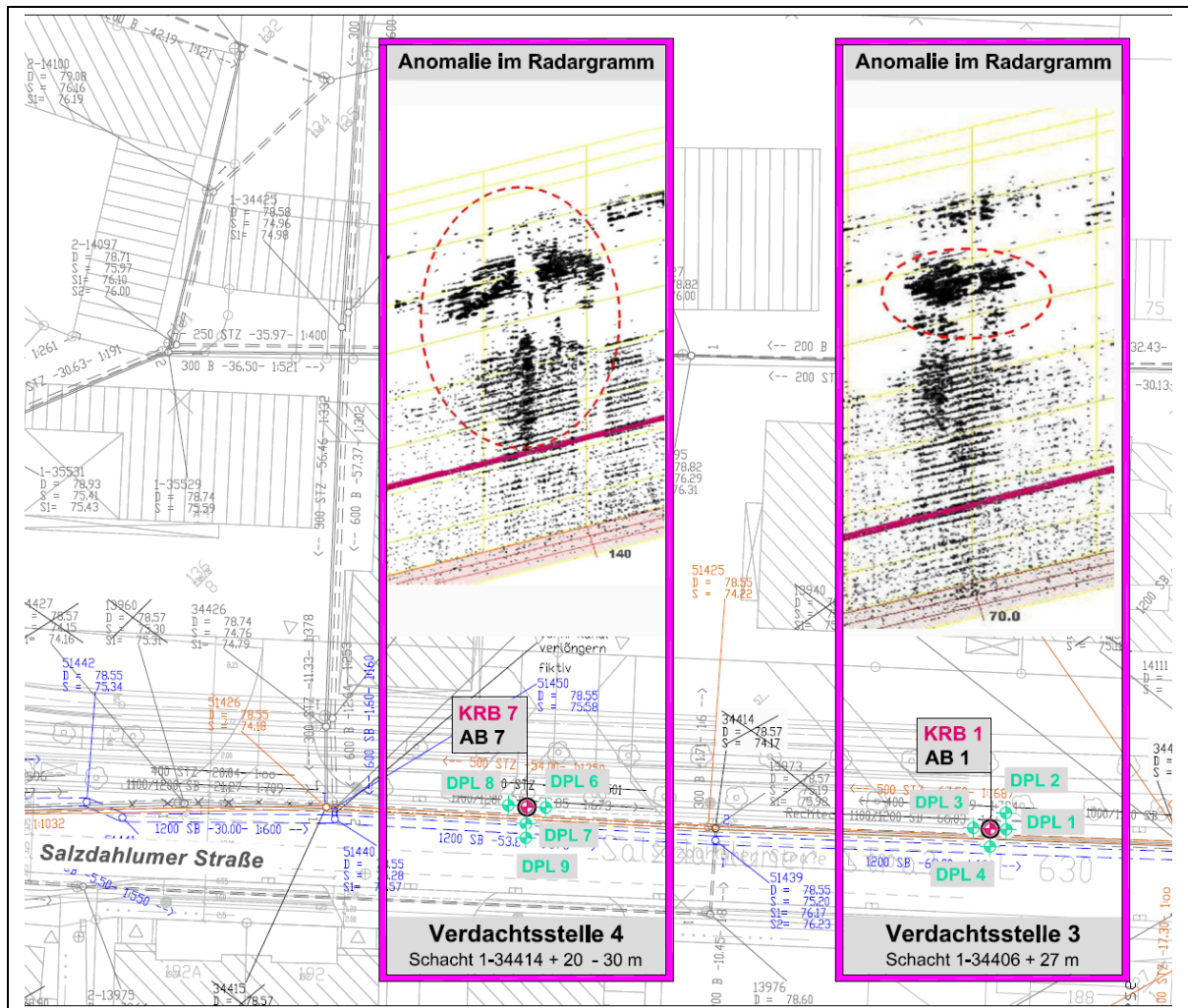


Bild 6.9: Verdachtstellen und Sondierungspunkte Salzdhallumer Straße, Braunschweig

Auf Veranlassung des Stadtentwässerungsbetriebes wurden Rammsondierungen durchgeführt. Das Ergebnis dieser Sondierungen mit Schlagzahlen pro 10 cm Eindringtiefe im Bereich von 5 Schlägen ergab jedoch keinen sofortigen Handlungsbedarf sondern den Hinweis auf eine Lagerungsanomalie, wie sie z. B. durch lehmige Zonen im Untergrund hervorgerufen werden kann (vgl. Bild 6.10). Die Erneuerung der Kanäle ist für 2008 vorgesehen und wird somit nicht vorgezogen.

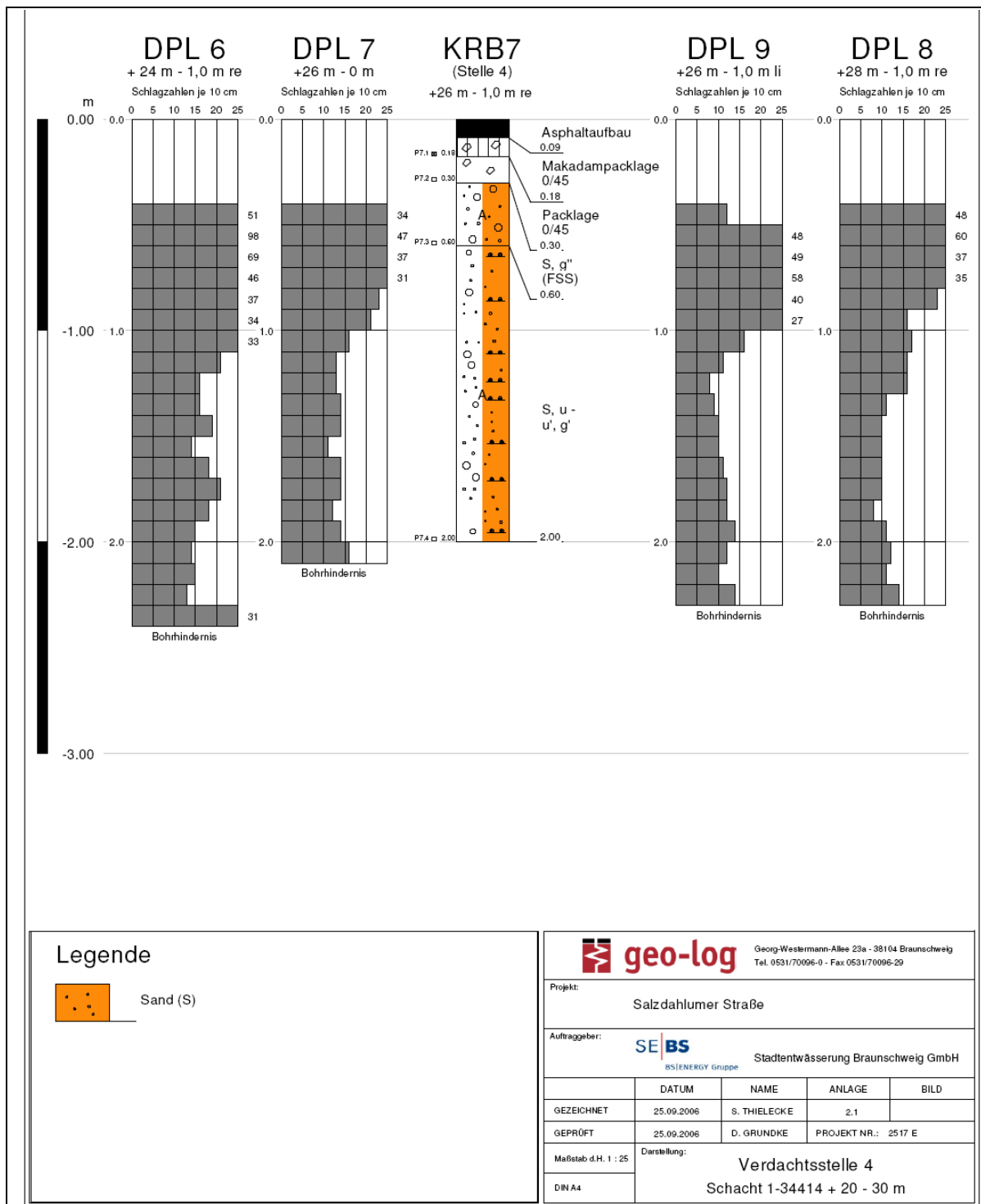


Bild 6.10: Ergebnis der Sondierungen an einer Verdachtsstelle in der Salzdahlumer Straße, Braunschweig

6.3.3 Düsseldorf

Im Stadtgebiet Düsseldorfs wurden insgesamt 8.212 m Straßenabschnitte gescannt. Es ergaben sich bei der Messauswertung der von den Stadtentwässerungsbetrieben Düsseldorf als besonders relevant eingestuften Straßenabschnitten, zahlreiche Hinweise auf Inhomogenitäten im Untergrund (Bild 6.11 und Bild 6.12, s. a. Anhang 8).

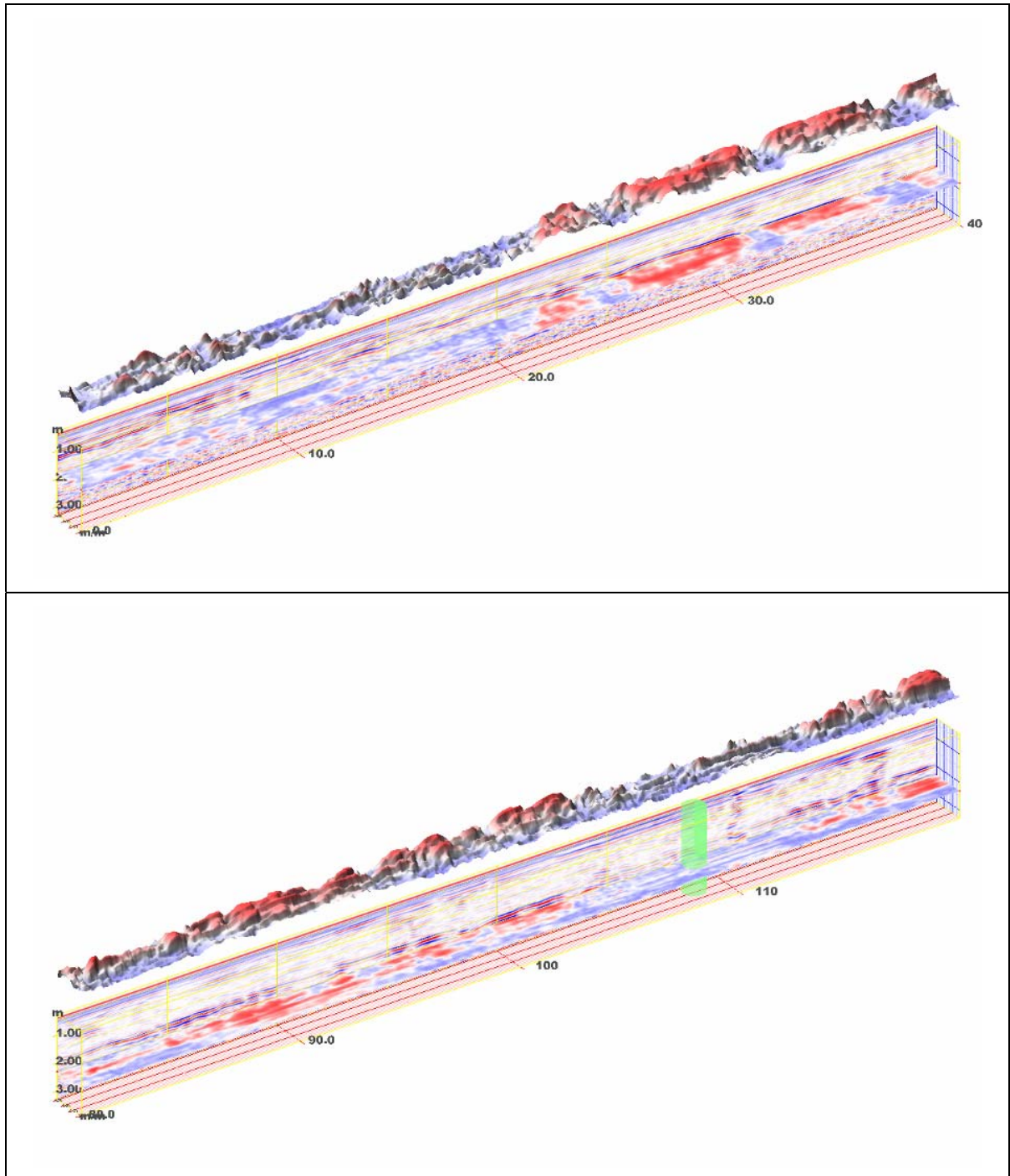


Bild 6.11: Radargrammauswertung der Verdachtsflächen in der Düsseldorfer Straße; Düsseldorf

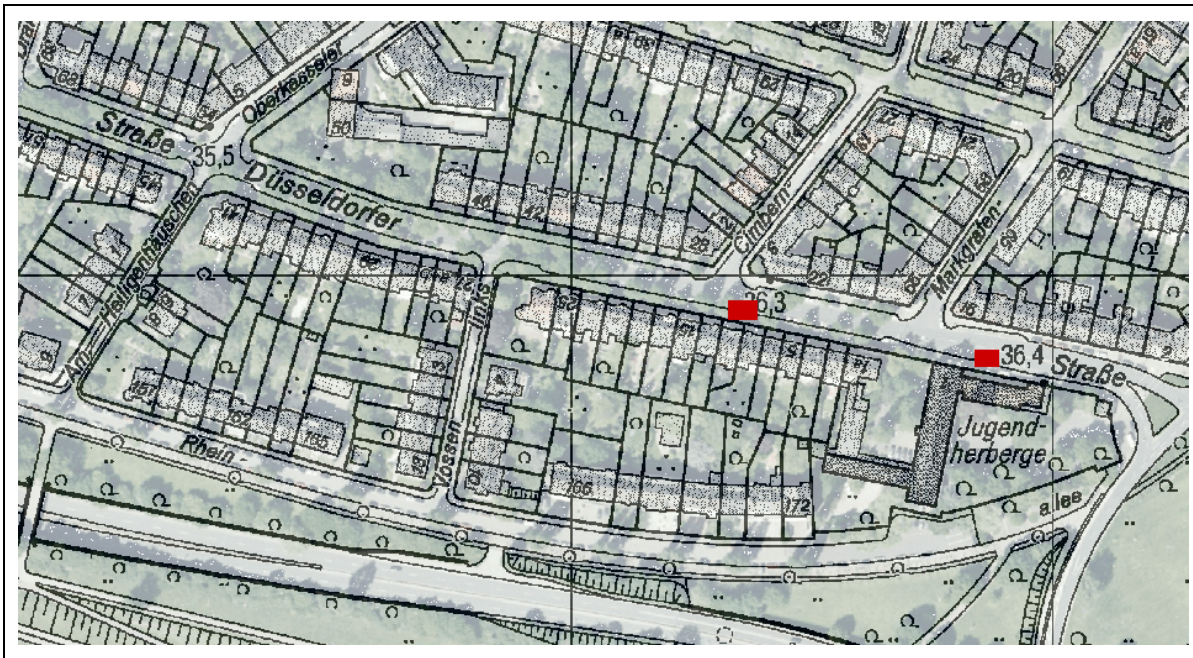


Bild 6.12: Verdachtstellen in der Düsseldorfer Straße, Düsseldorf
(<http://www.geoserver.nrw.de/>)

Daraufhin wurden von den Stadtentwässerungsbetrieben Düsseldorf Schürfungen und Sondierungen beauftragt. Bei den Schürfungen und Aufgrabungen, die mit einem Bagger erfolgten, fanden sich jedoch keine Hohlräume (s. Bild 6.13).

Es zeigte sich, dass unter der Straßenoberfläche sehr inhomogene Materialien verbaut wurden (z. T. fanden sich noch Trümmerreste und Schutt aus dem zweiten Weltkrieg). Da beim Bau der Abwasserkanäle keine Aufgrabungen stattgefunden hatten, weil die Kanäle in diesem Stadtteil in Stollenbauweise errichtet wurden, konnten die hier detektierten Inhomogenitäten nicht Schädigungen des Kanals oder zusammengefallenen Hohlräume, die nach dem Verrotten der beim Stollenbau verwendeten Materialien entstanden waren, zugeordnet werden.



Bild 6.13: Aufgrabung in Düsseldorf

Weitere von den Stadtentwässerungsbetrieben Düsseldorf beauftragte Sondierungen gaben keinen Hinweis auf Auffälligkeiten. Bis zum Abschluss des Projektes konnten die Sondierungsergebnisse nicht zur Verfügung gestellt werden.

6.3.4 Essen

In Essen wurden insgesamt 715 m Straßen mit dem Georadarsystem befahren.

Diese Abschnitte waren von der Stadtwerke Essen AG vorgeschlagen worden. Die Auswertungen der Untersuchungen ergaben nur vereinzelt Hinweise auf Inhomogenitäten (vgl. Anhang 9).

Von der Stadtwerke Essen AG wurden keine Sondierungen veranlasst, so dass ein Abgleich der Untersuchungsergebnisse mit den vor Ort aufzufindenden Begebenheiten nicht durchgeführt werden konnte.

6.3.5 Münster

In Münster wurden insgesamt 7.950 m Straßenabschnitte mit dem Georadar befahren. Drei Straßenabschnitte wurden auf Wunsch des Tiefbauamtes der Stadt Münster ausgewertet (z. B. Bild 6.14 und Bild 6.15, vgl. Anhang 10).

Das Tiefbauamt der Stadt Münster gab nach den Vorschlägen der auswertenden Geologen an drei Verdachtsstellen Rammkernsondierungen und leichte Rammsondierungen in Auftrag. Bei diesen Untersuchungen wurden keine Hohlräume entdeckt. Die bei der Georadaruntersuchung festgestellten Anomalien lassen sich jedoch anhand der Ergebnisse der Sondierungen z. T. verifizieren. Die Sondierungsergebnisse lassen auf grobes Verfüllungsmaterial schließen, was auch für leichte Lagerungsdefekte sprechen kann.

In der Grevener Strasse wurden bei einer Rammkernsondierung (RKS1) im Bereich zwischen 0,5 und 1 m Tiefe Beton- und Schotterreste detektiert. Diese ergeben im Radarogramm deutliche Reflexionen und sprechen insgesamt für eine lockere Lagerungsdichte. Des Weiteren wurde in einer Tiefe von 1 bis 1,3 m Kiessand detektiert, der vermutlich durch seine Körnigkeit für eine schwache Lagerungsdichte spricht. Bei der leichten Rammsondierung (DPL1) sprechen die unter 10 liegenden Schlagzahlen ebenfalls für eine lockere Lagerung (vgl. Bild 6.16).

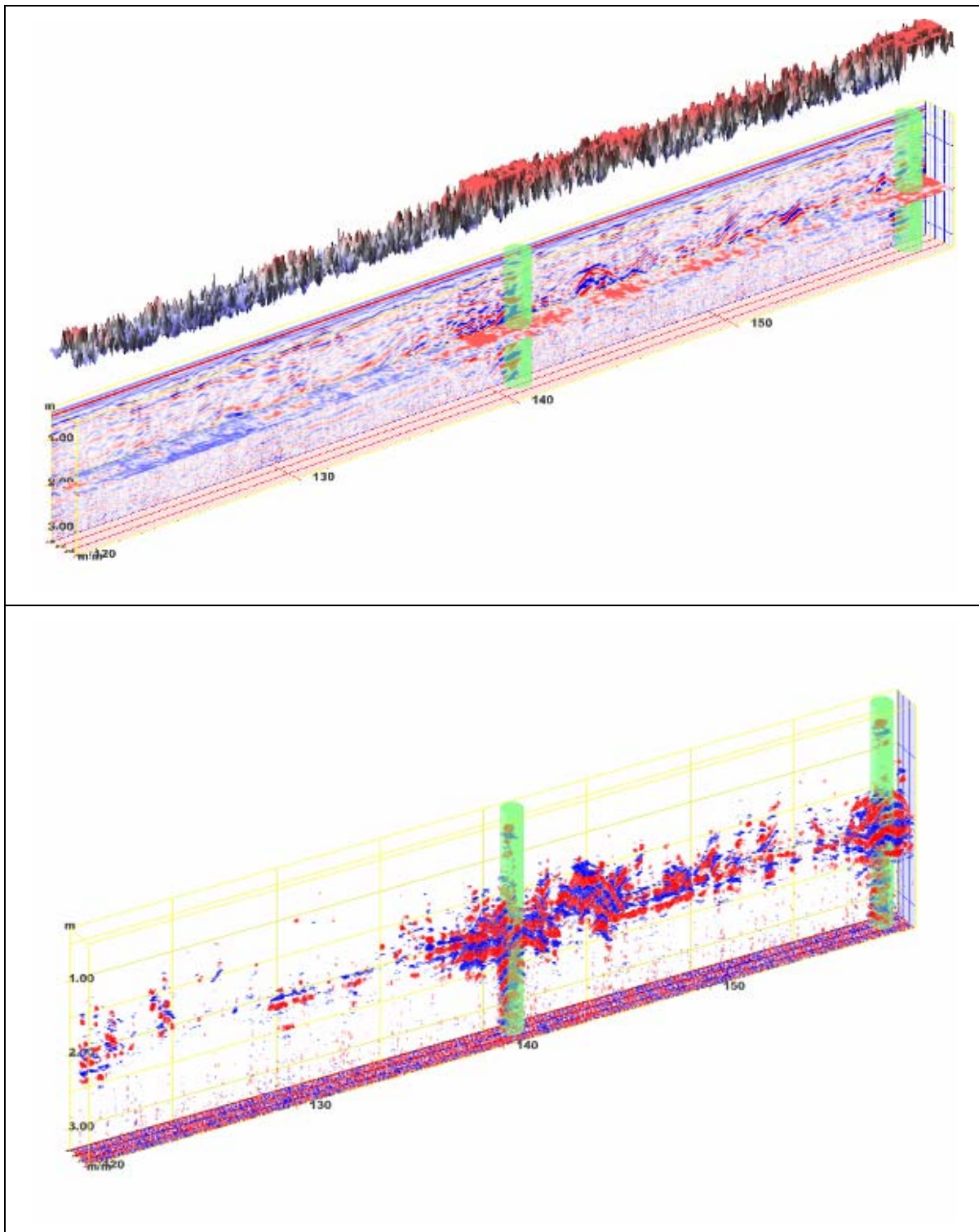


Bild 6.14: Radargrammauswertung der Verdachtsfläche 1, Grevener Straße, Münster

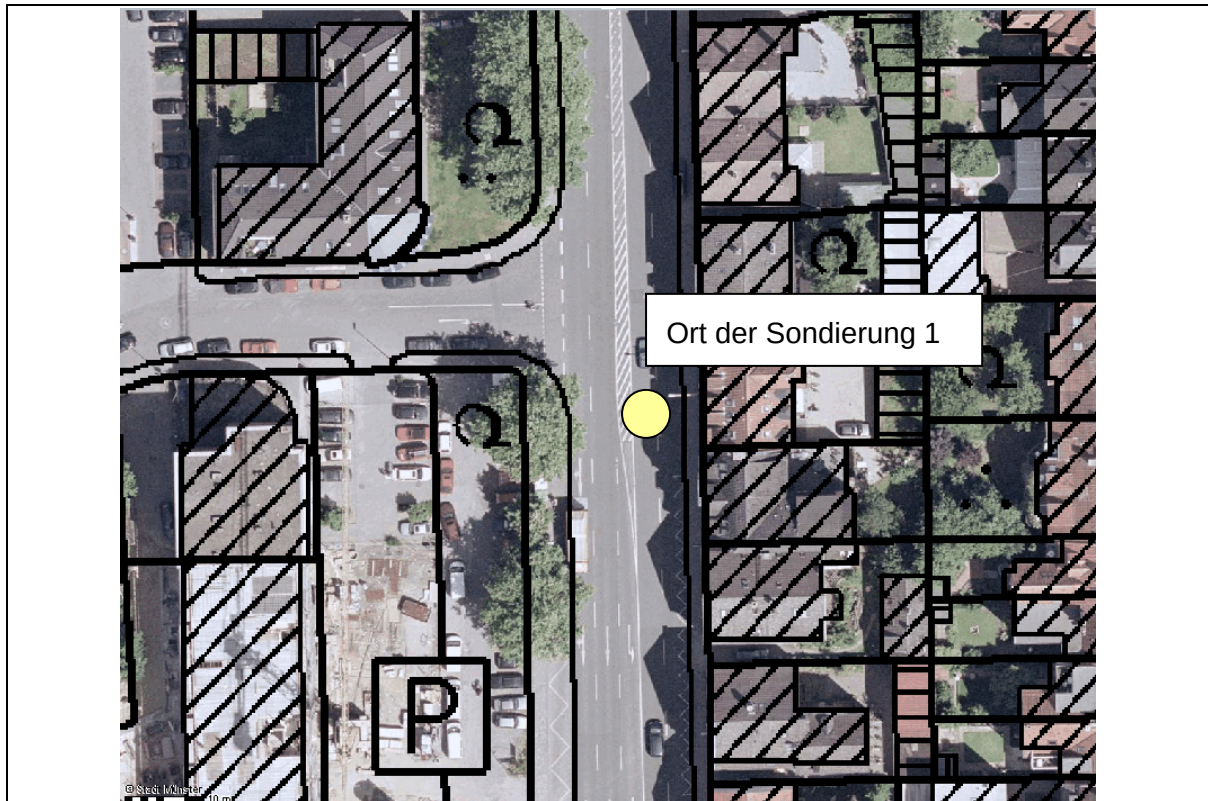


Bild 6.15: Luftbild der Sondierungsstelle 1, Greverer Straße, Münster
(<http://geo.stadt-muenster.de>)

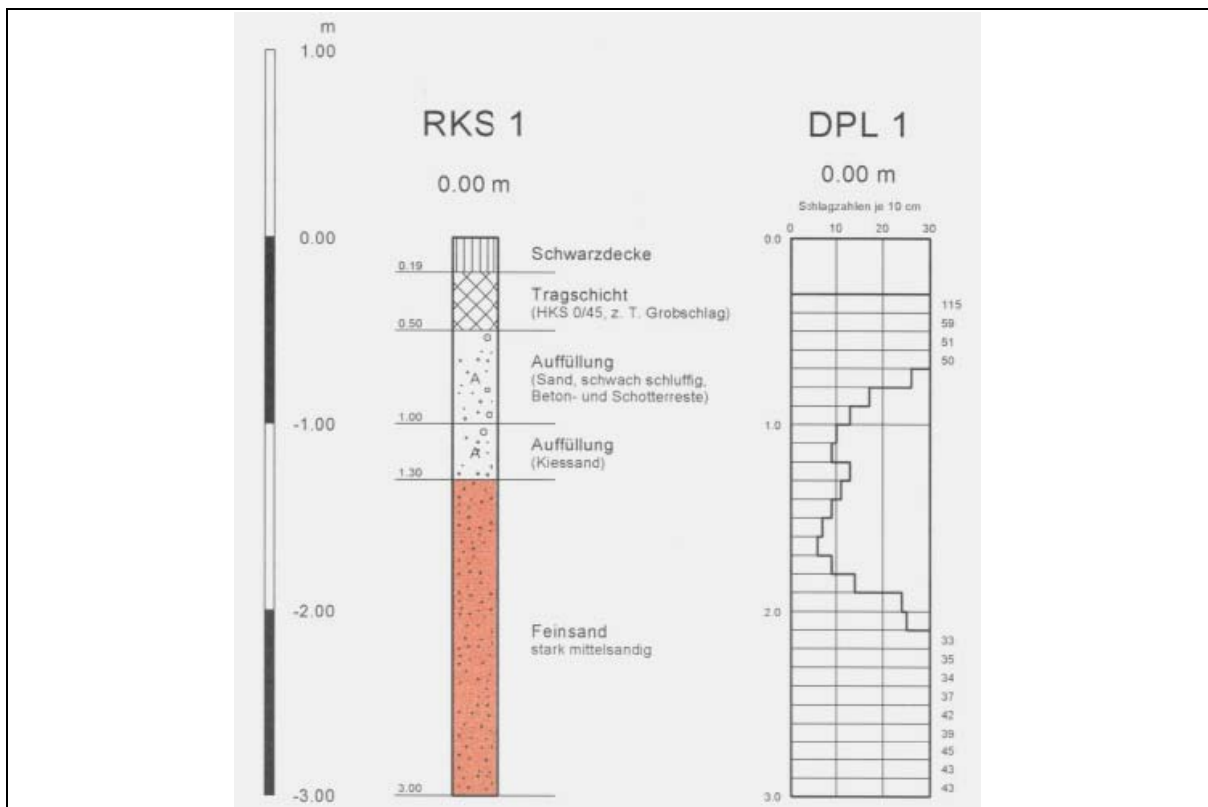


Bild 6.16: Ergebnisse der Sondierung 1, Greverer Straße, Münster

Am Friesenring (Radargramme Bild 6.17, Luftbild Bild 6.18) wurden im Bereich unterhalb 2 m bei der DPL 2 Schlagzahlen meist deutlich unter 10 erreicht (vgl. Bild 6.19), was insgesamt für eine schwächere Lagerungsdichte spricht. Allerdings waren hier in dem untersuchten Abschnitt die Reflexionen in den Radargrammen eher schwach, was dafür sprechen könnte, dass in diesem Profil die Lagerungsdefekte eher gering sind.

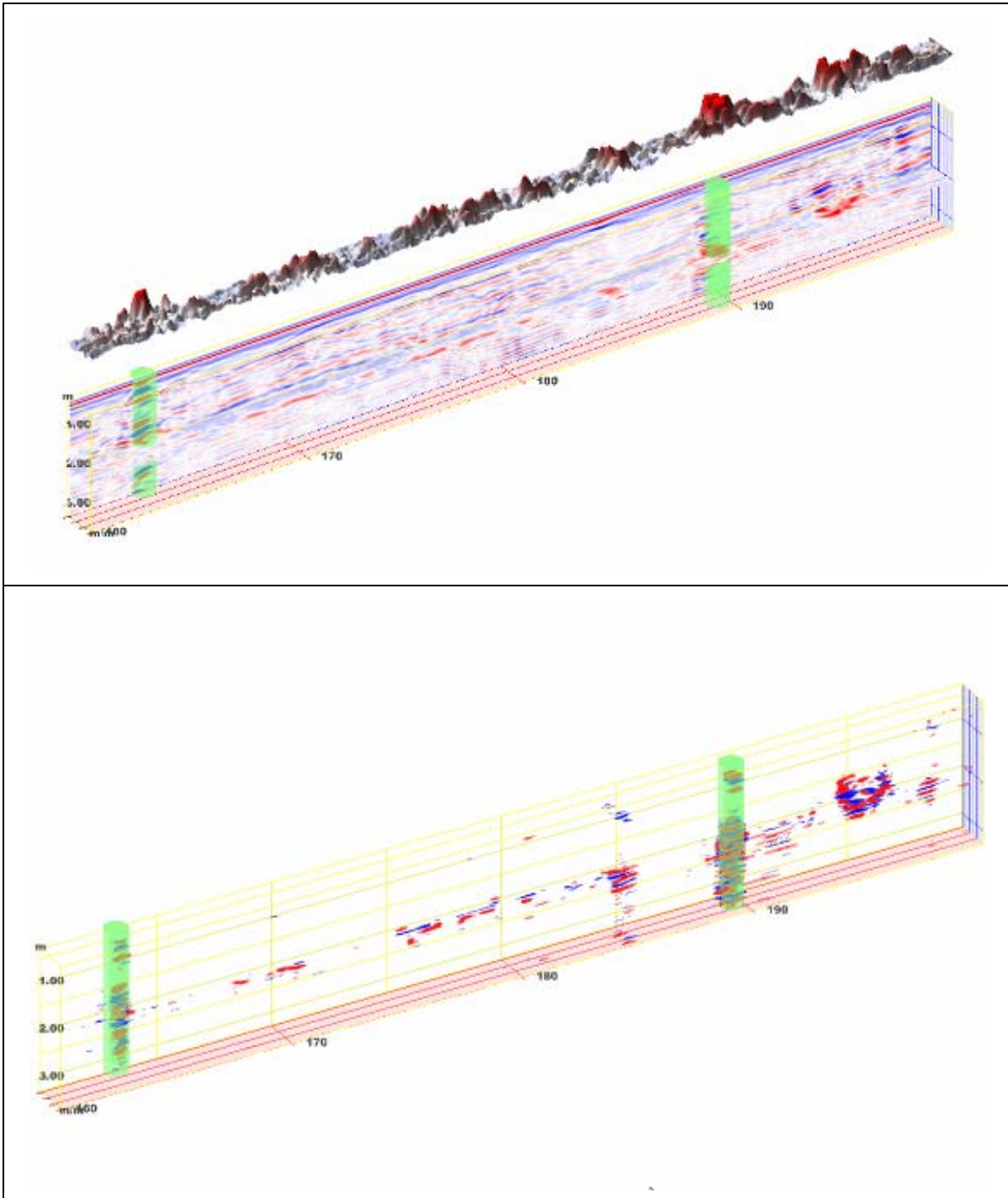


Bild 6.17: Radargrammauswertung der Verdachtsfläche 2, Friesenring, Münster

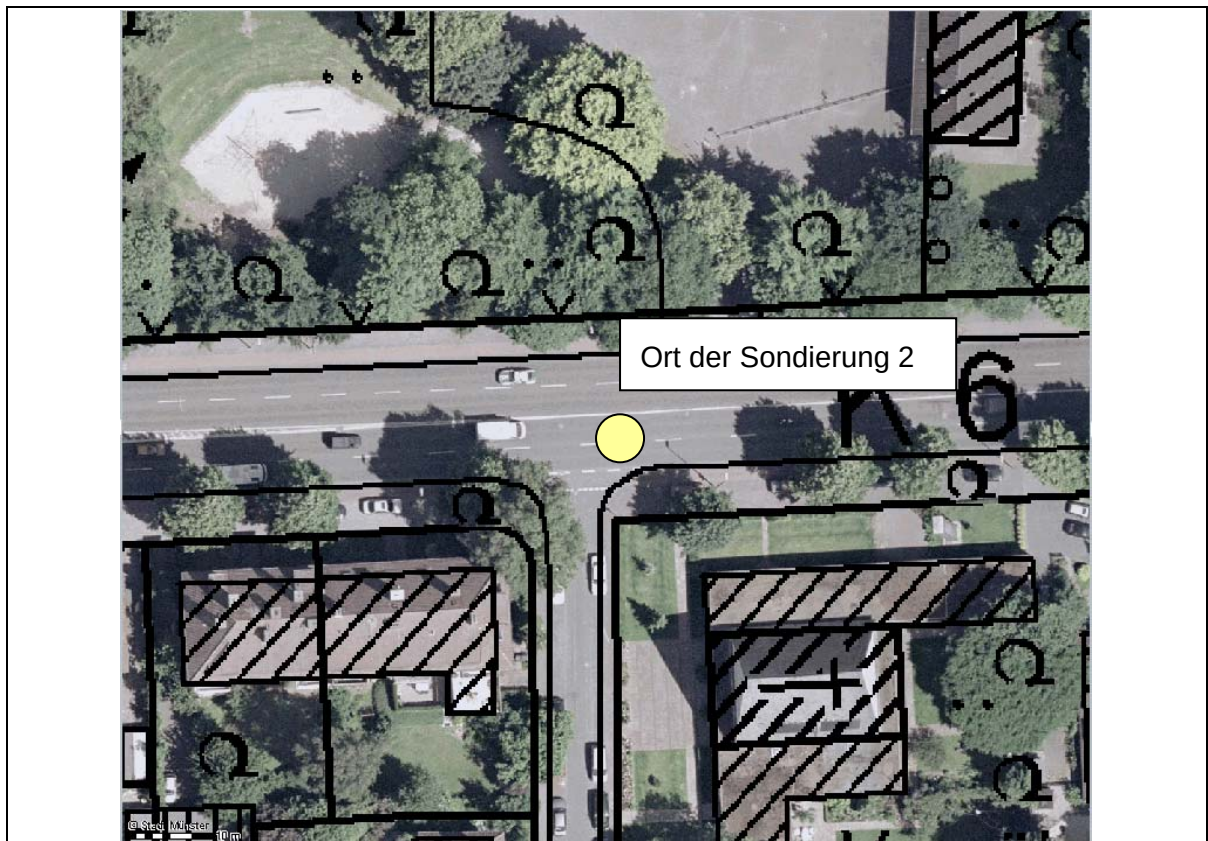


Bild 6.18: Luftbild der Sondierungsstelle 2, Friesenring, Münster
(<http://geo.stadt-muenster.de>)

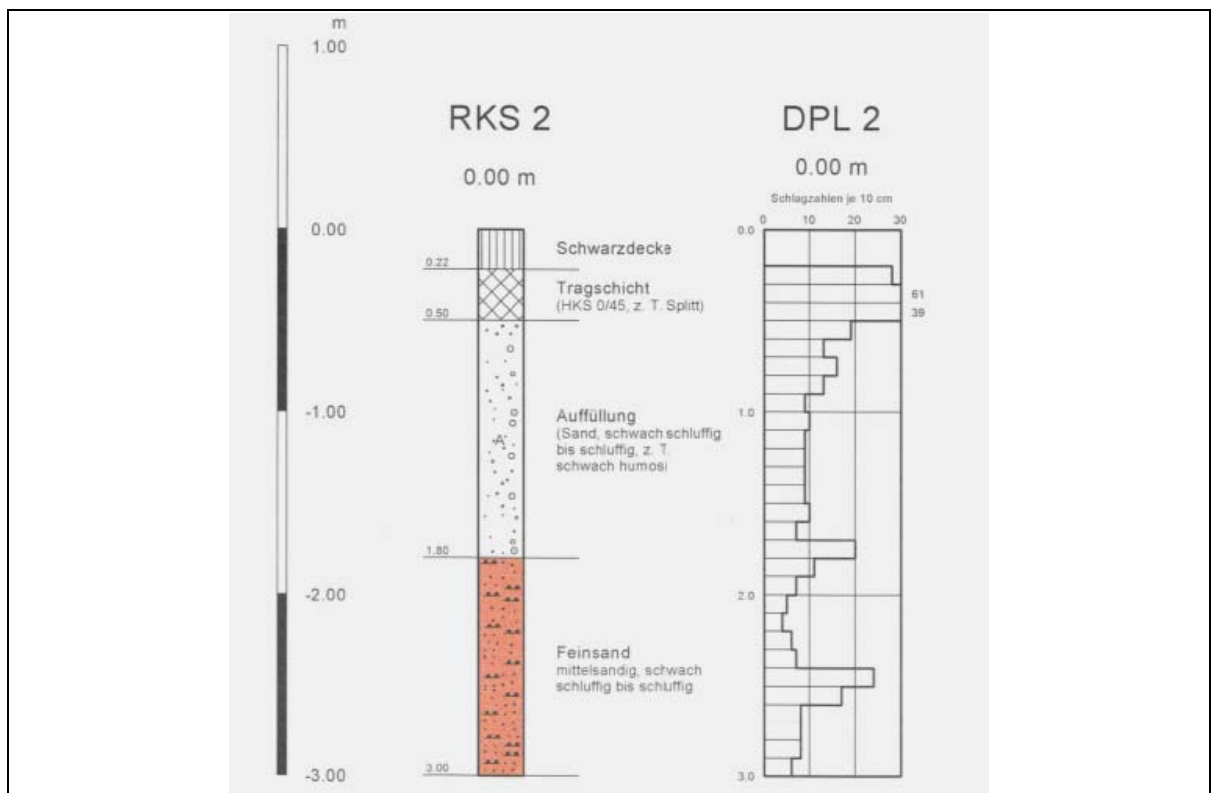


Bild 6.19: Ergebnisse der Sondierung 2, Friesenring, Münster

Eine weitere Sondierung (RKS 3a, 3b und DPL 3a, 3b) wurde im Cheruskerring vorgenommen (s. Bild 6.20 und Bild 6.21). Bei der RKS 3a wurden ab 0,55 m im Auffüllmaterial Lehmreste detektiert und in einer Tiefe ab 0,85 m als Auffüllmaterial Schotter und Splitt. Diese Materialien sprechen für eine lockere Lagerungsdichte und erklären somit auch die detektierten Reflexionen in den Radargrammen.

Bei der RKS 3b wurden ab 0,95 m als Auffüllmaterial ebenfalls Schotterreste vorgefunden sowie ab einer Tiefe von 1,1 m Holzreste. Auch dies spricht für eine lockere Lagerungsdichte (vgl. Bild 6.22).

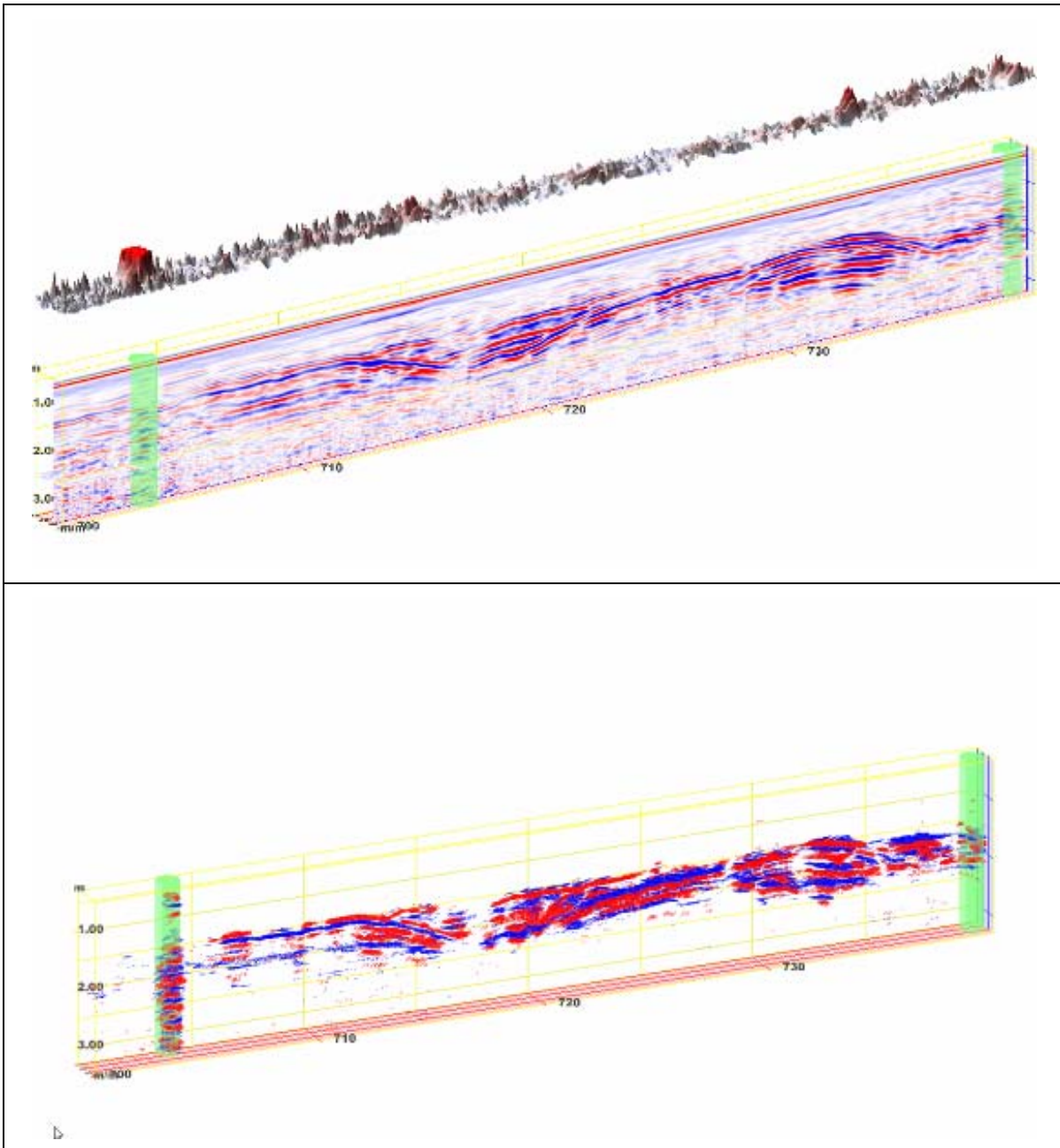


Bild 6.20: Radargrammauswertung der Verdachtsfläche 3, Cheruskerring, Münster

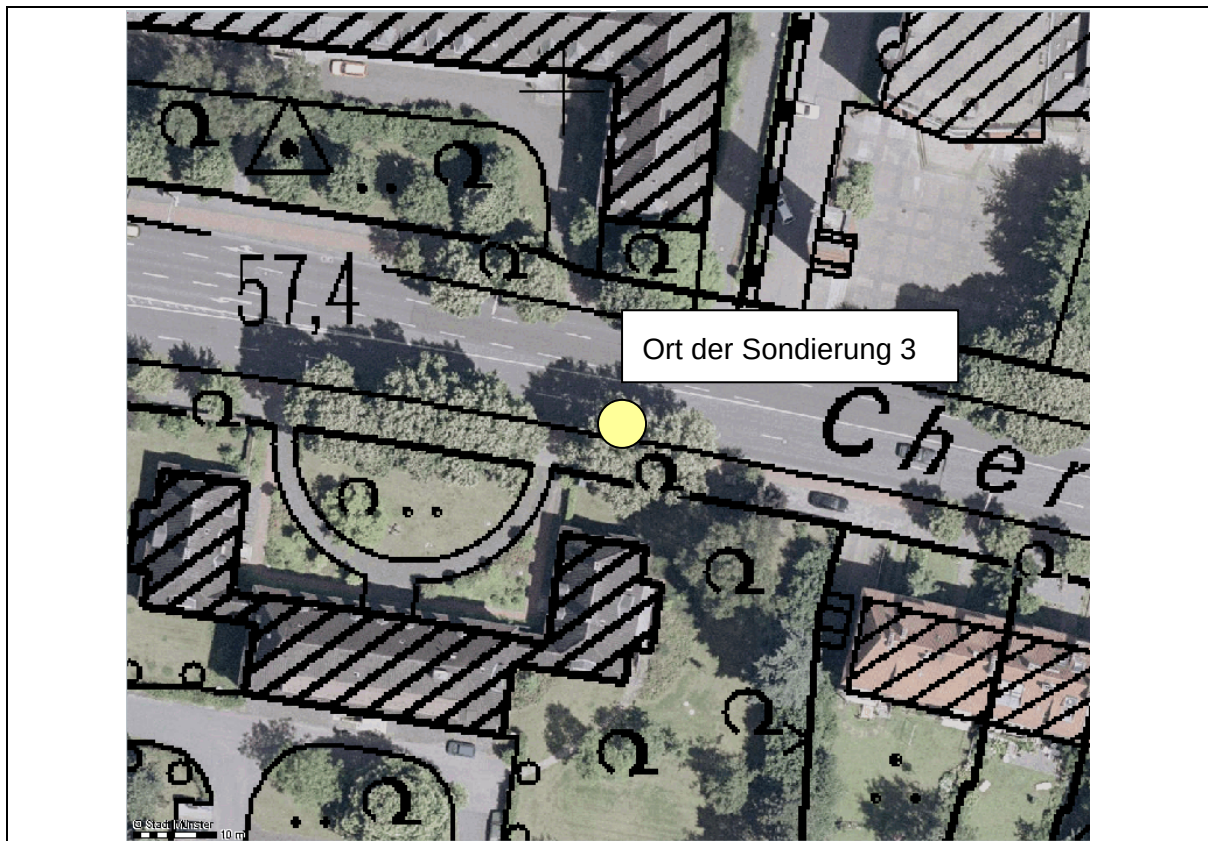


Bild 6.21: Luftbild der Sondierungsstelle 3, Cheruskerring (<http://geo.stadt-muenster.de>)

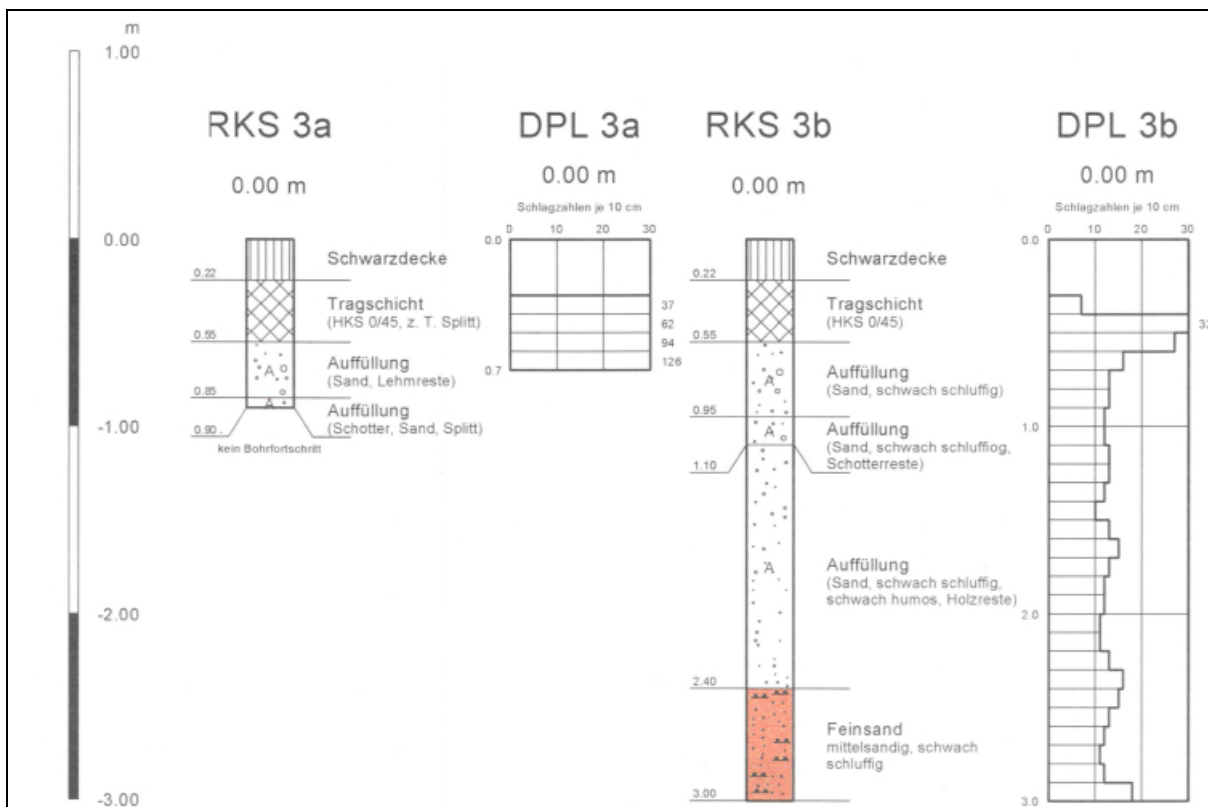


Bild 6.22: Ergebnisse der Sondierung 3, Cheruskerring, Münster

Insgesamt betrachtet können die Reflexionen in den Radargrammen auf die vorgefundenen Materialien (Schotter, Kies, Holzreste) zurückgeführt werden, die für eine lockere Lagerungsdichte sprechen.

6.4 Workshops

Beim ersten Workshop am 01. März 2006, der mit einer Projektbesprechung zusammengelegt wurde, konnten erste Ergebnisse der Messungen auf dem Testfeld präsentiert werden. Die Resonanz bei den Teilnehmern war überwiegend positiv. Mögliche Vorteile und Entwicklungspotenziale des Georadars wurden angeregt diskutiert.

Während dieses Workshops sollten die teilnehmenden Kommunen Aussagen zu einer möglichen Datenbankstruktur, einer gewünschten Visualisierung und die gewünschten Einbindungsmöglichkeiten hinsichtlich der Georadar-Messergebnisse in vorhandene (Kanal-) Kataster geben. Auf der Grundlage erster Hinweise und Wünsche der Teilnehmer des 1. Workshops wurden für den nächsten Workshop bereits eine fertige Datenbankstruktur erarbeitet.

Ein zweiter Workshop wurde am 05. Dezember 2006 im BEW in Duisburg durchgeführt. Es wurde das Vorgehen bei den Messungen und der Auswertung der Untersuchungen in den Kommunen vorgestellt, die Versuche am Testfeld präsentiert und ein Überblick über den Stand der Erarbeitung des DWA Merkblattes M 149 „Zustandserfassung und –beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 4: Detektion von Lagerungsdefekten und Hohlräumen in der Umgebung erdverlegter Leitungen“ gegeben. Die mögliche Visualisierung, die Datenbankstruktur und die Einbindung der Messergebnisse in vorhandene Kanal-Informationen-Systeme wurden vorgestellt.

In der anschließenden Diskussion wurde der Einsatz des Georadars zur Abnahme der Baudurchführung von Kanalbauarbeiten, bei denen der Bodenkörper aufgegraben oder anderweitig verändert werden musste, gewünscht. Hierzu sollte eine Messung von der Oberfläche und aus dem Rohr heraus erfolgen. Es kann so erwartet werden, dass eine bessere Baudurchführung bei angekündigter vollständiger Kontrolle erfolgt. Ziel sei nicht eine stichprobenartige Überprüfung mittels Rammsondierung sondern eine vollständige Erfassung des umgebenden Bodenkörpers. Eine Validierung der Radarmessergebnisse mittels einer Rammsondierung ist in der Regel notwendig, die Anzahl dieser Künzelungen hängt aber von der Intention und den Rahmenbedingungen des Auftrages ab.

6.4.1 Zusammenfassende Aussagen als Ergebnis der Workshops

Neben einer Unterstützung zur Abnahme von Bauleistungen und der damit verbundenen Qualitätssicherung dient der Einsatz des Georadars in erster Linie als Entscheidungshilfe für oder gegen ein bestimmtes Sanierungsverfahren. Indem alle möglichen Informationen

während der Planungsphase (Zeichnungen und abgeglichen, TV-Inspektion, Georadar) verschnitten und abgeglichen werden kann eine Prioritätenliste aufgestellt werden.

Im Vorhaben zeigte sich, dass die Auswertung der Radargramme schwierig ist. In der Regel werden keine richtigen Hohlräume sondern häufiger Änderungen des Lagerungsgefüges des Bodens festgestellt, die das Potenzial zur Hohlraumbildung haben.

Bei den Messungen aus dem Rohr heraus bestehen noch zu lösende Konflikte zwischen der Technik und den gewünschten Messaussagen. Vor allem bei bewehrten Betonrohren sind Frequenzen > 2 GHz notwendig, was zu relativ geringen Eindringtiefen des Messsignals in den umgebenden Bodenkörper führt.

Entscheidend für die Zukunft des Georadars wird auch der Preis sein, der sich an den Kosten einer TV-Inspektion orientieren muss.

Die Darstellungsart und das Datenmanagement der Ergebnisse, wie sie in diesem Vorhaben erarbeitet wurden (vgl. Kapitel 6.5), trafen genau die Anforderungsprofile der Betreiber. Was letztlich erstellt werden kann oder soll (Zeichnung, Längsschnitt, Untersuchungsprotokoll etc.), muss jedoch der einzelne Auftraggeber vorgeben.

6.5 Datenmanagement

6.5.1 Datenmodellierung

Die Datenmodellierung setzt sich aus den folgenden vier Phasen zusammen:

- Planung
- Analyse
- Design
- Implementierung

In der Planungsphase werden die Anforderungen mit dem Anwender durch Interviews, Formulare und Auswertung bestehender Datenstrukturen spezifiziert. In einer anschließenden Analyse der gewonnenen Informationen werden erste logische oder konzeptionelle Teilsysteme erstellt und diese im Anschluss zu einem ganzheitlichen logischen System zusammengeführt. In der Designphase wird das Datenmodell erstellt, welches schließlich durch die Software implementiert werden kann (ERBS, 2003).

6.5.2 Datenmodelle

Für die Modellierung einer Datenbank stehen verschiedene Modelle zur Verfügung. Das zzt. gebräuchlichste Datenbankmodell ist das relationale Modell, welches 1969 von E. F. Codd bei IBM entwickelt wurde. Die Idee des Modells ist es, Tabellen mit untergeordneten

Daten zueinander in Beziehung zu stellen und das Ergebnis von ausgewerteten Daten wieder in Tabellen zu überführen. Form und Inhalt der Tabellen sollten konsistent und ohne Redundanzen sein. Unter Redundanzen werden Mehrfachspeicherungen gleicher Informationen in einer Datenbank verstanden, durch die bei der Verwaltung und Änderung neben erhöhtem Personalaufwand und größerem Speicherbedarf durch Fehleingaben Inkonsistenzen entstehen können. Ein inkonsistentes System liegt vor, wenn widersprüchliche Information zum selben Objekt existieren (ERBS, 2003; ALBRECHT, 2004).

6.5.3 Daten mit XML modellieren und austauschen

Für die Datenmodellierung steht als eine Möglichkeit XML zur Verfügung. Die Abkürzung XML steht für **eXtensible Markup Language** und bezeichnet eine Meta-Auszeichnungssprache für Textdokumente. Struktur, Syntax und Semantik dieser Sprache wurden vom World Wide Web Consortium (W3C)² entwickelt.

Ein Vorteil von XML ist es, strukturierte Daten in einer Textdatei speichern zu können. Im Allgemeinen benutzen Programme zum Datenaustausch binäre Dateien, die jeweils in dem programm- und anbieterspezifischen Format gespeichert sind. Es besteht zwar in der Regel die Möglichkeit, Textdateien zu erzeugen bzw. einzulesen, doch ist die optimale Nutzung meist auf die eigenen Programmformate ausgelegt. Zwischen verschiedenen Programmen lassen sich aufgrund der proprietären Dateiformate Daten nur schwer untereinander austauschen (SHEPHERD, 2002; W3C, 2006b).

Mit XML besteht die Möglichkeit, Daten als Textformat abzulegen. Dieses Format ist für den Menschen lesbar und kann mit einem einfachen Texteditor bearbeitet werden. Die Daten werden als Text in das XML-Dokument übergeben und in Textauszeichnungen³ (Tags) eingebettet. Diese Einheit aus Daten und Tags bildet ein Element. Durch ihre Eigenschaft als Meta-Auszeichnungssprache ermöglicht XML den Autoren und Entwicklern bei Bedarf eigene Tags zu definieren. Ingenieure können somit Sachverhalte im Bereich Bauwesen, wie Bauwerke, Straßen, Kanäle und Sanierungsverfahren, beschreiben. Damit trotz dieser hohen Flexibilität, die durch die Variationsvielfalt der möglichen Bezeichnungen für die Textauszeichnungen besteht, eine Austauschbarkeit und Verbreitungsfähigkeit von Dokumenten gewährleistet ist, einigten sich Personen und Organisationen darauf nur bestimmte Tags zu verwenden (HAROLD, 2001). Zwei Beispiele werden im Abschnitt

² Das World Wide Web Consortium ist eine internationale Organisation, dessen Ziel das langfristige Wachstum des Webs mit der Entwicklung von Protokollen und Richtlinien ist.

³ XML Auszeichnung, bei der zwischen Start-Tag (z.B. <xy>) und Ende-Tag (z.B. </xy>) unterschieden wird; vgl. Tag englisch für Kennzeichen oder Kennzeichnung

6.5.4.1 durch das Merkblatt ATV-DVWK-M 150 und im Abschnitt 6.5.4.2 durch das ISYBAU Austauschformat vorgestellt.

Durch das Textformat wird die Software, mit der die Datei erzeugt wurde, nicht zum Lesen oder Bearbeiten benötigt. XML ist zudem lizenzfrei, plattformunabhängig, eindeutig definiert sowie erweiterbar und kann mit einer Reihe von Softwareprodukten verwendet werden (SHEPHERD, 2002) (W3C, 2006b).

Die Darstellung der Daten wird durch das XML-Dokument nicht definiert. Bei XML handelt es sich um eine strukturelle und semantische Auszeichnungssprache und nicht um eine Darstellungssprache (s. Abschnitt 6.5.3.3) (HAROLD, 2001).

6.5.3.1 DTD und XML-Schema

Die Abkürzung DTD steht für Document Type Definition und beschreibt eine Grammatik für eine XML-Datei. Die DTD definiert die einzelnen Auszeichnungen, die in der XML-Datei verwendet werden. In ihr werden Position, Elementart (z. B. Zahl oder Text), Attribute sowie die Beziehungen der Elemente untereinander angegeben. Die DTD kann Bestandteil der XML-Datei sein oder ausgelagert in einer separaten Datei mitgeliefert werden. Entspricht das XML-Dokument der in der DTD definierten Form, spricht man von einem gültigen Dokument. XML-Dateien können auch, wenn sie ungültig sind, dennoch wohlgeformt sein. Dies bedeutet, dass die Struktur innerhalb der XML-Datei korrekt ist, aber die zusätzlichen Bedingungen aus der DTD nicht eingehalten wurden und die Datei nicht verwendungsfähig ist.

Das XML-Schema ist eine Weiterentwicklung der Document Type Definition und eine Empfehlung des World Wide Web Consortiums. Die XML-Schema Datei definiert ebenfalls eine Grammatik, die zum Analysieren der Dokumente verwendet werden kann.

Zusätzlich zu der oben vorgestellten DTD können mit XML-Schemata Datentypen und Wertebereiche definiert werden. Die Elemente in der XML-Datei werden somit genauer beschrieben. Es kann z. B. genau vorgegeben werden, ob es sich um einen Texteintrag mit einer Anzahl von n Zeichen handelt oder um eine Fließkommazahl mit einer Anzahl von x Nachkommastellen (AMMELBURGER, 2004; SHEPHERD, 2002; HAROLD, 2001).

6.5.3.2 Parser

Der Parser ist ein separates Programm, das die Syntax der vorliegenden XML-Datei auf ihre Korrektheit prüft. Der Parser kennt die XML-Syntax, die vom W3C oder einer anderen Organisation aufgestellt wurde und überprüft anhand der Vorgaben aus der DTD oder dem XML-Schema das Dokument. Treten bei diesem Vorgang Probleme auf, bricht der Parser den Vorgang ab und meldet an der entsprechenden Stelle einen Fehler.

Diese Fehlermeldung ist unabhängig vom Ausmaß des Fehlers. So führen auch kleinste Mängel am Dokument zu einem Abbruch. Konnte der Parser keinen Fehler feststellen und wurde das Dokument auf eine DTD oder ein XML-Schema gegengeprüft, handelt es sich um ein validiertes oder gültiges Dokument. Wird lediglich eine XML-Datei geparkt, weil kein Schema erstellt wurde, liegt bei fehlerfreiem Inhalt ein wohlgeformtes Dokument vor. Das Ziel besteht darin, die Kompatibilität bei verschiedenen Softwarekomponenten sicherzustellen. Die Überprüfung der Datei kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen (SHEPHERD, 2002; AMMELBURGER, 2004; HAROLD, 2001). In Bild 6.23 ist der Arbeitsablauf zum Überprüfen einer XML-Datei schematisch dargestellt.

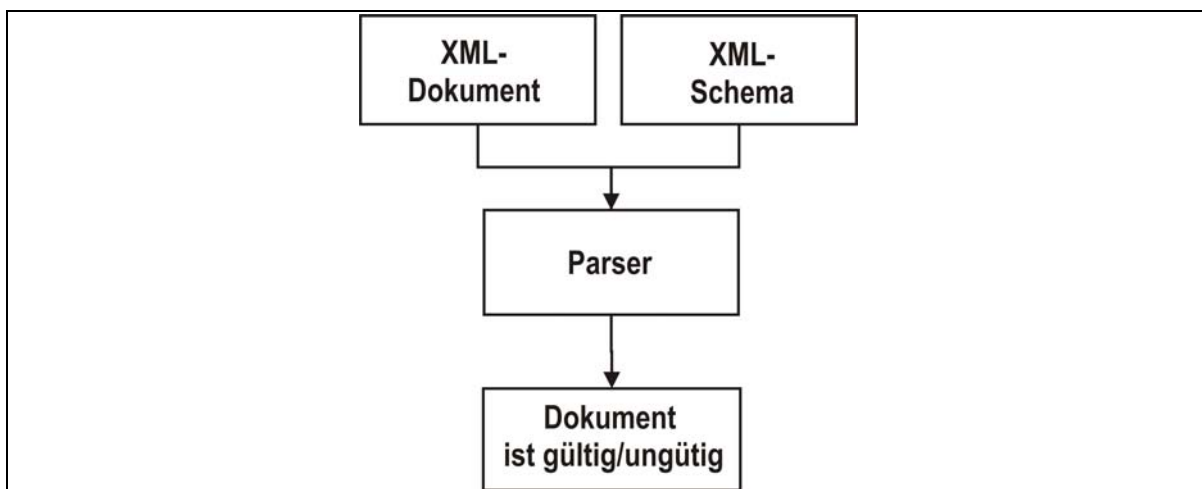


Bild 6.23: Ablauf einer Dokumentvalidierung (AMMELBURGER, 2004)

6.5.3.3 XML-Stylesheet

Durch die XML-Sprache wird die Struktur des Dokuments definiert, nicht jedoch dessen Darstellung. Diese Aufgabe übernimmt das Stylesheet, welches die Darstellungsform der Daten bestimmt. Die XML-Dokumente lassen sich wie ein normaler Text lesen, sie werden aber üblicherweise optisch aufbereitet, bevor sie präsentiert werden. Für die Transformation in ein Ausgabeformat stehen verschiedene Sprachen (Extensible Stylesheet Language Transformations, Document Style Sheet and Semantics Language) zur Verfügung. Zur Erstellung eines Datenaustauschformates werden diese Transformationen nicht benötigt (HAROLD, 2001), da XML-Dateien lediglich als Austauschchnittstelle fungieren und von den verwendeten Datenbanksystemen eingelesen oder weiterverarbeitet werden. Eine direkte Anzeige der Daten findet in der Regel nicht statt.

6.5.3.4 GML

Die Geography Markup Language (GML) ist eine Erweiterung von XML. XML-Schema Syntax und Mechanismen sind in der NORM ISO 19136 Gi - Geography Markup Language

ge angegeben. Diese Norm wurde gemeinsam vom International Institute for Standardisation (ISO) und dem Open GIS Consortium (OGC) entwickelt. GML 3.0 ermöglicht die Modellierung, den Transport und die interoperable gegenseitige Nutzung von einfachen und komplexen Geoinformations-Objekten mit zwei- und dreidimensionaler Geometrie, deren einfache Default-Visualisierungen sowie die räumliche und zeitliche Angabe von Bezugssystemen (BARTELME, 2005).

GML ist eine Sprache, die es ermöglicht, geographische Objekte jeglicher Art zu beschreiben. Die realen Objekte werden dabei als Features klassifiziert und ermöglichen die Beschreibung konkreter Objekte wie Flüsse, Straßen und Kanälen oder auch abstrakter Objekte wie politische Grenzen oder Einzugsgebiete von Kläranlagen. Die Features werden durch geometrische und nicht geometrische Eigenschaften näher bezeichnet. So sind neben den geometrischen Eigenschaften wie Form, Ort und Ausdehnung auch Informationen über Farbe, Geschwindigkeit und Material hinterlegbar. Ein Kanal kann z. B. durch seine Haltungsnummer, seine genaue Lage, Material und Baujahr definiert werden (LAKE, 2004).

6.5.3.5 Datenspeicherung

Ein Problem bei der Erstellung von XML- und GML-Dokumenten ist die Datenspeicherung, da die Dateigröße wesentlich größer ist als die bekannter Dateiformate mit gleicher Information. Informationen in Binär-Formaten lassen sich wesentlich kompakter abspeichern.

Bei der Speicherung ist zwischen Transport und Datenaustausch sowie der Speicherung für die tägliche Nutzung der Daten zu unterscheiden. Für die tägliche Speicherung der Daten ist das XML-Format nur bedingt geeignet, da es eine hohe Rechenleistung erfordert. Dafür sollten die Daten in einem binären Datenformat gespeichert und nur für den Datenaustausch in eine XML- oder GML-Datei umgewandelt werden (SRIPADA et al., 2004). Da mit dem Datenaustausch in der Regel auch immer ein Transport verbunden ist, können die XML- und GML-Daten mit den üblichen Werkzeugen (ZIP-Format) komprimiert werden, um Speicherplatz zu sparen.

6.5.4 Kanaldatenbanken und bestehende Austauschformate

Eine Kanaldatenbank stellt ein optimales Arbeitswerkzeug zur koordinierten und zukunftsorientierten Kanalinstandhaltung dar. Mit ihr können die Bestandsdaten und Inspektionsergebnisse dokumentiert und aktualisiert werden (STEIN, 1999). Bewährt haben sich Kanaldatenbanken durch ihre kurzen Zugriffszeiten auf große Datenbestände und übersichtliche Datenverarbeitung bei gleichzeitigem Benutzerkomfort (ATV-DVWK, 2000). Die Datenbanken umfassen die notwendige Dokumentation für Planung, Bau und Unterhaltung

einer abwassertechnischen Anlage. Nach BMVBW und BMVg (2005) hat diese Dokumentation auf einer einheitlichen, konsistenten und dauerhaften digitalen Datengrundlage zu erfolgen. Dadurch sollen Redundanzen und inkonsistente Daten vermieden, eine standardisierte Qualität gewährleistet und die Auskunftsfähigkeit erhöht werden. Weiterhin können die Kanaldaten infolge einer Verschneidung mit einem durch grafische Datenverarbeitung (GDV) gestützten Kanalkataster visualisiert werden.

Anhand der grafischen Darstellung lassen sich die Daten überprüfen und weiterverarbeiten.

Demzufolge erscheint eine Visualisierung für eine optimale Datenauswertung als zwingend notwendig (STEIN, 1999). Mit Hilfe einer grafischen Oberfläche wird auf das Kanalkataster zugegriffen und die Daten einfach und zielorientiert bearbeitet. Aufgrund der zentralen Datenspeicherung sind schnelle und gezielte Abrufe realisierbar. Für die grafische Auswertung wird das Kanalkataster über eine entsprechende Schnittstelle in ein Geoinformationssystem (GIS) eingebunden, welche der Darstellung, Verwaltung, Nutzung sowie Analyse raumbezogener Daten dient und so ein Kanalinformationssystem (KIS) darstellt. Geoinformationssysteme bilden somit die Bearbeitungsgrundlage von städtebaulichen Problemstellungen in den Bereichen Umweltplanung, Tiefbau, Vermessung und Einbeziehung der Ver- und Entsorgungswirtschaft.

Anhand des Geoinformationssystems ist eine umfassende und übergreifende Bestandsdokumentation möglich, die den wachsenden Anforderungen und dem Informationsbedarf im Bereich abwassertechnischer Anlagen genügt (STEIN, 1999).

Um diesen Einsatzmöglichkeiten gerecht zu werden, setzt sich ein GDV Kanalkataster aus verschiedenen Datentypen zusammen, die sich in Geometrie- und Fachdaten unterteilen lassen. Die Geometriedaten bilden die Grundlage für eine Visualisierung von abwassertechnischen Anlagen und bestehen aus den vermessungstechnisch ermittelten Lage- und Höhenkoordinaten der abwassertechnischen Anlage. Die Fachdaten enthalten die fachtechnische Basis zu Planung, Bau und Betrieb von abwassertechnischen Anlagen (BMVBW und BMVg 2005). In Tabelle 6.1 sind die nach Merkblatt ATV-DVWK-M 145 (ATV-DVWK, 2000) verwendeten Begriffe und verschiedenen Datentypen definiert.

Diese genannten Datentypen können für alle abwassertechnischen Anlagen wie Haltungen, Schächte und Bauwerke erhoben werden. Somit besteht der allgemeine Aufbau von Kanalinformationssystemen aus den folgenden vier Gruppen (ATV-DVWK, 2000):

- Haltungsdateien
- Schachtdateien
- Anschlussdateien

- Sonderbauwerksdateien

Für die Georadarinspektionen ist nur der Teil der Daten von Interesse, der sich auf die Haltungsdatei sowie die dazugehörigen Grund- und Zustandsdaten beschränkt. Damit ergeben sich in Bezug auf Haltungen die Untergruppen

- Ordnungsdaten,
- Stammdaten sowie
- Zustandsdaten.

Tabelle 6.1: Kanaldatenbankaufbau (ATV-DVWK, 2003a)

Begriff	Beschreibung
Ordnungsdaten	stellen die eindeutige örtliche Zuordnung der Daten eines Kanalinformationssystems zu den Teilen eines Kanalnetzes sicher. Unter Teilen eines Kanalnetzes werden Haltungen, Schächte, Anschlüsse und Sonderbauwerke verstanden.
Stammdaten	beschreiben die Lage, Geometrie, Funktion und bauliche Ausbildung des Kanalnetzes.
Grunddaten	Ordnungsdaten und Stammdaten bilden die Grundlagen eines Kanalinformationssystems und werden daher zusammenfassend als Grunddaten bezeichnet.
Zustandsdaten	beschreiben den baulichen Zustand eines Kanalnetzes zu den Inspektionszeitpunkten.
Betriebsdaten	beschreiben den Betriebszustand und die Wartung eines Kanalnetzes.
Hydraulische Daten	sind Daten, die zur Durchführung hydraulischer Berechnungen benötigt werden und auch Ergebnisdaten hydraulischer Berechnungen.
Kostendaten	sind Daten, die zur Durchführung von Vermögensbewertungen und Kostenermittlungen benötigt werden, sowie die Ergebnisse dieser Berechnungen.
Sachdaten	Zustands-, Betriebsdaten, hydraulische Daten und Kostendaten sind sach- und zweckbezogen und werden daher als Sachdaten bezeichnet.

Die anderen Daten spielen für die Untersuchungen nur eine untergeordnete Rolle und werden nicht näher betrachtet. Das zu entwickelnde Datenmanagementsystem für den Bereich der Georadaruntersuchungen soll in Anlehnung an bestehende Protokollstan-

dards erfolgen. In diesem Zusammenhang werden in der Planungsphase die bestehenden Datenstrukturen des Merkblattes ATV-DVWK-M 150 „Datenaustauschformat“ und die Schlussfassung des Vorabzuges des ISYBAU-Austauschformates (XML) näher betrachtet.

6.5.4.1 ATV-DVWK-M 150 Datenaustauschformat

Eine einheitliche Definition einer EDV-Schnittstelle, die den Datentransfer für die Kanalisation regelt, ist durch Merkblatt ATV-DVWK-M 150: „Datenaustauschformat – Teil 1: Zustandserfassung von Entwässerungssystemen“ gegeben. Veranlassung zu diesem Merkblatt war die Einführung der europäischen Norm DIN EN 13508-2 „Zustand von Erfassungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2 : Kodiersystem für die optische Inspektion“. Das Merkblatt regelt die Standardisierung und Vereinheitlichung der Austauschformate und somit den Transfer zwischen Vertragspartnern. Das einheitliche Datenaustauschformat soll den Aufwand für die Programmentwicklung und Pflege reduzieren und somit eine Qualitätssteigerung durch Wirtschaftlichkeit erreichen (ATV-DVWK, 2003a).

Im Vergleich zum ISYBAU Austauschformat bezieht sich das Merkblatt nur auf die notwendigen Ordnungs- und Stammdaten sowie die Daten für die Zustandserfassung von Kanalisationen. Es beinhaltet keine Sonderbauwerke wie z. B. Pumpstationen, Regenüberlaufbecken etc. In Bild 6.24 ist die Tabellenstruktur der Daten dargestellt, deren Aufbau nach einem relationalen Datenmodell erfolgt.

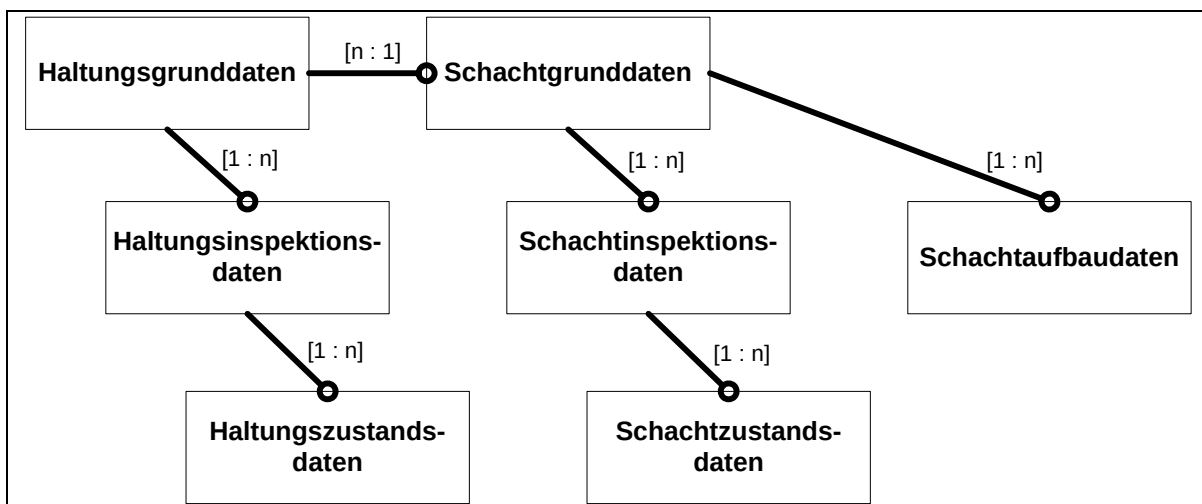


Bild 6.24: Tabellenstruktur (ATV-DVWK, 2003a)

So sind z. B. n Haltungsgrunddaten einem Schacht zugeordnet oder die Grunddaten einer Haltung mit n Haltungsinspektionsdaten verknüpft.

Das ATV-Austauschformat besteht aus einer XML-Datei mit der die Daten übergeben werden und einer Datei für die Datenstruktur, dem XML-Schema. Zu den Daten werden die Bild- und Videodateien nach dem Stand der Technik mitgeliefert (ATV-DVWK, 2003a).

Die zugehörige XML-Datei gliedert sich in die drei Blöcke:

- Allgemeiner Teil
- Titel
- Daten

Im allgemeinen Teil sind die XML spezifischen Angaben wie Versionsnummer, Sprache und XML-Schema hinterlegt. Der Titel bezieht sich auf eine „Übersetzungsliste“ zwischen den vorgegebenen Kennungen und sprachspezifischen Überschriften. Im letzten Block sind die Austauschdaten hinterlegt und durch die Felddefinitionen (Tags) beschrieben.

Die verwendeten Tags werden durch die Definitionen des Merkblattes genau beschrieben und ermöglichen den einheitlichen und standardisierten Austausch der Daten (ATV-DVWK, 2003a).

Die Felder werden in 8 Tabellen mit entsprechender Kennung aufgeteilt (s. Tabelle 6.2).

Tabelle 6.2: Tabellenübersicht nach ATV-DVWK (2003a)

Nr.	Gruppe	Kennung
1	Haltungsgrunddaten	HG
2	Haltungsinspektionsdaten	HI
3	Haltungszustandsdaten	HZ
4	Knotengrunddaten	KG
5	Knoteninspektionsdaten	KI
6	Knotenzustandsdaten	KZ
7	Knotenaufbaudaten	KA
8	Referenztabellen	RT

In den verschiedenen Tabellen sind die zugehörigen Datenfelder mit den jeweiligen Feldbezeichnungen hinterlegt. Die Daten aus den Tabellen bilden die Grundlage für das XML-Dokument und werden aus diesen in die Datei übertragen. Für die Georadaruntersuchungen werden jedoch nur die haltungsbezogenen Daten betrachtet. Damit reduzieren sich die Tabellen auf die Haltungsgrunddaten HG, Haltungsinspektionsdaten HI und Haltungszustandsdaten HZ. Die Referenztabellen RT für z. B. abweichende Materialien oder Pro-

filarten sind grundsätzlich mit anzugeben und können in eine weitere XML-Datei übertragen werden. Mit Hilfe der Referenztabelle ist es möglich, die jeweiligen Feldinhalte zu beschreiben sowie die Einträge zu definieren. In der Datenbank sollten sich keine von den Referenztabelle abweichenden Dateninformationen befinden.

Das ATV-Austauschformat besitzt im Vergleich zum ISYBAU-Austauschformat kein vorgegebenes festes XML-Schema und ist nach den ausgewählten Feldinformationen gestaltbar. Somit können die verschiedenen Datentypen und weitere Restriktionen für die Feldinhalte selbstständig vorgenommen werden. Ein Nachteil liegt in der Gefahr eines inkonsistenten und redundanten Datenaustausches.

6.5.4.2 ISYBAU-Austauschformat

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) haben die Oberfinanzdirektion (OFD) Hannover als Leitstelle des Bundes für Abwassertechnik benannt. In diesem Zusammenhang hat die OFD Hannover den Auftrag, die Arbeitshilfen Abwasser zu erarbeiten und fortzuschreiben sowie DV-gestützte Informationssysteme zu entwickeln. Zur virtuellen Beschreibung der Kanalisation wurde das ISYBAU Austauschformat entwickelt.

Seit März 2006 existiert mit der Schlussfassung des Vorabzugs ISYBAU Austauschformate (XML) ein standardisierter Datenaustausch zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer auf XML-Basis. Das neue XML-ISYBAU-Austauschformat beinhaltet dabei die volle inhaltliche Migrierbarkeit der bestehen ISYBAU-Austauschformate.

Die Schnittstelle dient dazu, die Daten zwischen der Software KanDATA-Windows, den zugehörigen Fachprogrammen HSYSTEM-EXTRAN, ZEBEV, KOSIM sowie den Bestandsdokumentationen des Liegenschaftsinformationssystem Außenanlagen (LISA®) auszutauschen. Aufgrund der weiten Verbreitung bieten Hersteller anderer Kanalinformationssysteme eine ISYBAU-Schnittstelle an.

Während das ATV-Austauschformat auf die haltungs- und schachtbezogenen Daten beschränkt ist und lediglich die Daten der Zustandserfassung von Entwässerungssystemen berücksichtigt, können im ISYBAU Austauschformat eine Vielzahl von Informationen hinterlegt werden. Dazu gehören auch Bauwerke wie Pumpwerke, Wehre und Überläufe sowie Kläranlagen, etc. Weiterhin besteht die Möglichkeit, Daten über den hydraulischen Zustand, den Betrieb und die Kosten zu hinterlegen. Demzufolge gliedert sich das Austauschformat in die für Kanaldatenbanken typischen sechs Datenarten:

- Metadaten
- Stammdaten
- Zustandsdaten

- Hydraulische Daten
- Betriebsdaten
- Kostendaten (werden zu einem späteren Zeitpunkt in das Schema integriert)

Die zugehörigen Referenzlisten werden zentral geführt. Mit dieser Maßnahme sollen Redundanzen vermieden werden (BMVBW und BMVg, 2006).

Die Metadaten entsprechen dabei ungefähr den in Tabelle 6.1, S. 81, genannten Ordnungsdaten und stellen den Bezug zu den Fachdatenkollektiven (Stamm-, Zustands-, Hydraulik-, Betriebs- sowie Kostendatenkollektiv) her. Als Kopf des ISYBAU-Austauschformates enthalten sie administrative Daten und Informationen zu Liegenschaften. Darüber hinaus erlauben die Metadaten eine thematische Gruppierung der Daten in den Fachdatenkollektiven. So können beispielsweise Bestandsdatenkollektive aus den Stamm- und Zustandsdaten gebildet werden oder Zustandsdatenkollektive, die Zustandsdaten verschiedener Inspektionen sowie Dichtheitsprüfungen umfassen. Demnach besteht die Möglichkeit, ein eigenes Kollektiv für die Datengruppe der Georadardaten mit den zuständigen Stamm- und Zustandsdaten zu definieren und somit lediglich die notwendigen Informationen für die Georadarauswertung zu betrachten. Als Orientierung für eine Datenauswahl dient das ATV-Austauschformat.

Die Daten, die wie beim ATV-Austauschformat in einer XML-Datei übergeben werden, können anhand der zur Verfügung gestellten Schemadateien, die für jede der sechs Datenarten vorhanden ist, validiert werden. Im Vergleich zum ATV-Austauschformat bietet die ISYBAU-Schnittstelle mit den vorliegenden Schemata eine genaue Definition der Feldinhalte, die nicht nur den Datentyp und die Feldlänge festlegen, sondern auch, ob ein Feld optional ist. Das ISYBAU-Austauschformat ist dementsprechend durch seine genaue Definition unflexibler in Bezug auf die Georadardaten. Bei diesem komplex aufgebauten Kanaldatenbankschema können nur mit hohem Aufwand zusätzliche Daten angefügt und eingegliedert werden. Andererseits ermöglicht die genaue Beschreibung den Export und Import exakt definierter Datentypen und deren Feldeinträge. Die Schnittstelle zu den Georadardaten ist aus diesem Grund nur als Export vom Auftraggeber vorgesehen und wird nicht in das ISYBAU-Austauschformat zurück transformiert. Die Daten werden somit nach der Auswertung als eigenständige Maßnahme unabhängig von der Datenbank betrachtet. Durch die genaue Beschreibung der Feldinhalte ist eine Anpassung an das unter Abschnitt 6.5.6.1 beschriebene Datenschema relativ einfach. Hierfür muss die Georadardatenschnittstelle, die auf dem ATV-Austauschformat basiert, entsprechend angepasst werden, was durch die erweiterbare Struktur und den eigenständigen Entwurf eines Datenschemas für dieses Austauschformat möglich ist.

6.5.5 Georadardaten

Die Georadardaten bestehen aus Informationen, die von Auftraggeber zu Auftragnehmer gehen, sowie den Auswertungsinformationen, die nach der Untersuchung an den Auftraggeber überreicht werden. Hinsichtlich der Auswertung und Durchführung der Inspektion als auch für die nachträgliche Bearbeitung interessieren sich Auftragnehmer und Auftraggeber für verschiedene Informationen. Eine genaue Übersicht der notwendigen Daten ist in Abschnitt 6.5.6.1 gegeben.

Im Rahmen der Messungen, die in den beteiligten Kommunen durchgeführt wurden, lagen von den Auftraggebern jeweils unterschiedliche Datenformate und Inhalte vor, die aus den folgenden Dateiformaten bestanden:

- MapInfo Datei mit Geoinformationen und zugehörigen Handlungsgrunddaten
- Formatierte Textdatei mit Semikolon oder Leerzeichen getrennt (CSV-Format)
- TV-Kandis Export-Textdatei mit entsprechenden Handlungsgrund- und Zustandsdaten

Zudem wurden für eine grafische Auswertung Hintergrundkarten und Haltungen der einzelnen Untersuchungsgebiete in folgender Form bereitgestellt:

- MapInfo Datei
- Drawing Interchange Format (DXF) der Firma Autodesk für CAD-Anwendungen
- Portable Document Format (PDF) der Firma Adobe Systems

6.5.6 Datenbanksystem

Die verschiedenen Dateiformate mussten für eine einheitliche Auswertung jeweils konvertiert und importiert werden. Für die Verwaltung der einzelnen Daten wurde das freie objektrelationale Open Source Datenbanksystem PostgreSQL verwendet. Ferner wurden die Geoinformationen auf einer *spatial Database* für Geoinformationssysteme abgelegt. Hierfür wurde PostGIS eingesetzt, das die objektrelationale Datenbank um GIS Funktionalitäten erweitert. PostGIS basiert auf dem OpenGIS Standard und hält über 300 GIS Funktionen bereit. Demzufolge können mit der Datenbank nicht nur die einzelnen Karten und Haltungsdarstellungen verwaltet werden, sondern auch GIS Operationen, die Abstände bzw. Längen von Objekten bestimmen oder aber auch Pufferbereiche erzeugen, ausgeführt werden. Entsprechend werden Fachinformationen und die Geoinformationen in einer Datenbank gespeichert. Darüber hinaus ist die hohe Anzahl von Schnittstellen für den Datenimport und -export vorteilhaft. Durch ein zusätzliches Softwaretool können verschiedenartige Formate ein- und ausgelesen werden. Ferner kann die Datenbank über eine ODBC Verbindung mittels diverser grafischer Oberflächen und Auswertungsprogramme bearbeitet werden. Dadurch erlaubt der Server, die Daten unter anderem in MS Access,

MS Excel, MapInfo und ArcView zu verwenden und mit Hilfe einer Reihe von Programmiersprachen wie Visual Basic, Java und weiteren Softwareprodukten können sie bearbeitet werden. Das Datenbanksystem wurde auf einem Linux Betriebssystem installiert, ist aber in gleicher Weise auf Microsoft Betriebssysteme anwendbar (vgl. Bild 6.25).

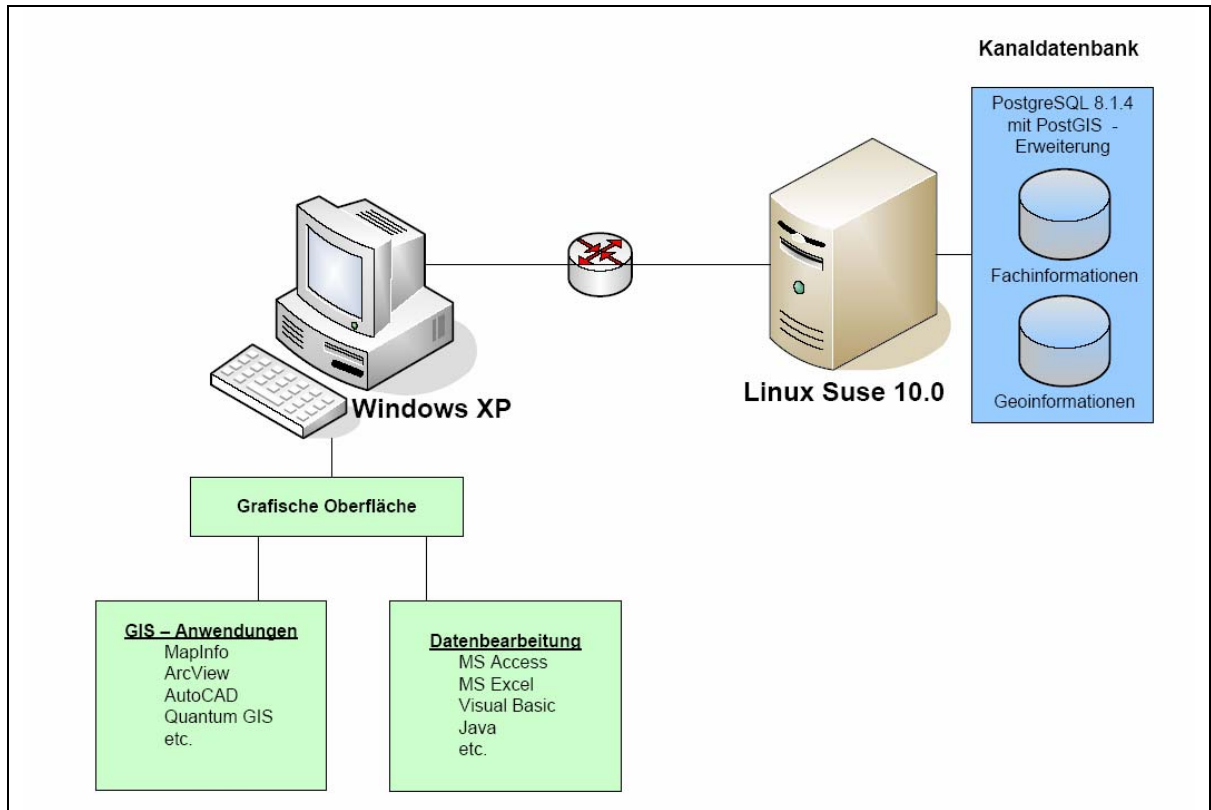


Bild 6.25: Datenbanksystem

Mit Hilfe der vorgegebenen Fach- und Geoinformationen wurde ein erster Datenbankentwurf vorgenommen. Dieser war notwendig, da für die Georadaruntersuchungen bislang keine datenbankbasierte Auswertung existiert, und die Beschreibung einer Schnittstelle ohne Datenstruktur nicht möglich ist. Die Datenbank sollte die Möglichkeit bieten, Informationen zu den abwassertechnischen Anlagen aus dem Merkblatt ATV-DVWK-M 150 und dem ISYBAU-Austauschformat zu übernehmen und erforderte die Aufweitung der vorgegebenen Felddefinitionen aus beiden Austauschformaten. So setzten sich z. B. die Haltungsnummern in beiden Austauschformaten aus einer unterschiedlichen Anzahl von Zeichen zusammen und konnten aufgrund der Feldlänge nicht in die Datenbank übernommen werden, die auf dem ATV-Austauschformat basiert. Eine Anpassung war deswegen an dieser Stelle erforderlich. Die Zustandsdaten der Georadaruntersuchung werden nach HARTMANN (2006) nicht in das bestehende Kanalinformationssystem übernommen, sondern als externe Maßnahme betrachtet. Aufgrund der fest vordefinierten Struktur von Kanalinformationssystemen können die zusätzlichen Georadarinformationen nicht in das bestehende System übernommen werden. Mögliche Redundanzen und Inkonsistenzen,

die anhand von vordefinierten Feldinhalten (Referenztabellen) überprüft werden, sollen an dieser Stelle vermieden werden. Hierfür müssen erst normierte Standards zur Beschreibung der einzelnen Untersuchungen und Geometrien gesetzt werden.

Infolgedessen erscheint es sinnvoll, die Fach- und Geoinformationen, die unabhängig vom Kanalinformationssystem verwendet werden können, immer als vollständige Einheit an den Auftraggeber weiterzugeben. Aus diesem Grund wirkt sich ebenfalls eine Aufweitung der Datenbank, die sowohl das ATV- als auch das ISYBAU-Austauschformat aufnehmen kann, nicht negativ auf die Schnittstelle aus. Im folgenden Abschnitt 6.5.6 wird die Struktur der einzelnen Fach- und Geoinformationen vorgestellt.

6.5.6.1 Datenschema

Das verwendete Datenschema basiert auf den Tabellen des Merkblattes ATV-DVWK-M 150 und den zusätzlich entworfenen Tabellen für die Georadarauswertung, die nach dem gleichen Konzept entworfen wurden. Tabelle 6.3 enthält eine Übersicht der Bezeichnungen.

Tabelle 6.3: Georadartabellen

Nr.	Gruppe	Kennung
1	Haltungsgrunddaten	HG
2	Haltungsinspektionsdaten	HI
3	Haltungszustandsdaten	HZ
4	Haltungsgeoradarobjekte	HO
5	Punktdaten	PK
6	Liniendaten	LI
7	Referenztabellen	RT

Die Datenschnittstelle für die Georadarauswertung besteht aus den drei bereits bekannten Tabellen Haltungsgrunddaten HG, Haltungsinspektionsdaten HI und Haltungszustandsdaten HZ, die sich aus dem Merkblatt ATV-DVWK-M 150 ergeben. Hinzugefügt wurden die Tabellen für die ausgewerteten Georadaruntersuchungen Haltungsgeoradarobjekte HO, Punktdaten PK und Liniendaten LI. In der Tabelle Haltungsgeoradarobjekte HO befinden sich allgemeine Informationen zu den Georadarobjekten. Die Tabellen PK und LI enthalten die Geometrietypen Punkt und Linie, die einer Visualisierung in einem GIS bzw. einer Auswertung in einem eindimensionalen Haltungsprotokoll dienen. In Bild 6.26 ist eine Übersicht der einzelnen Tabellen und Felder gegeben.

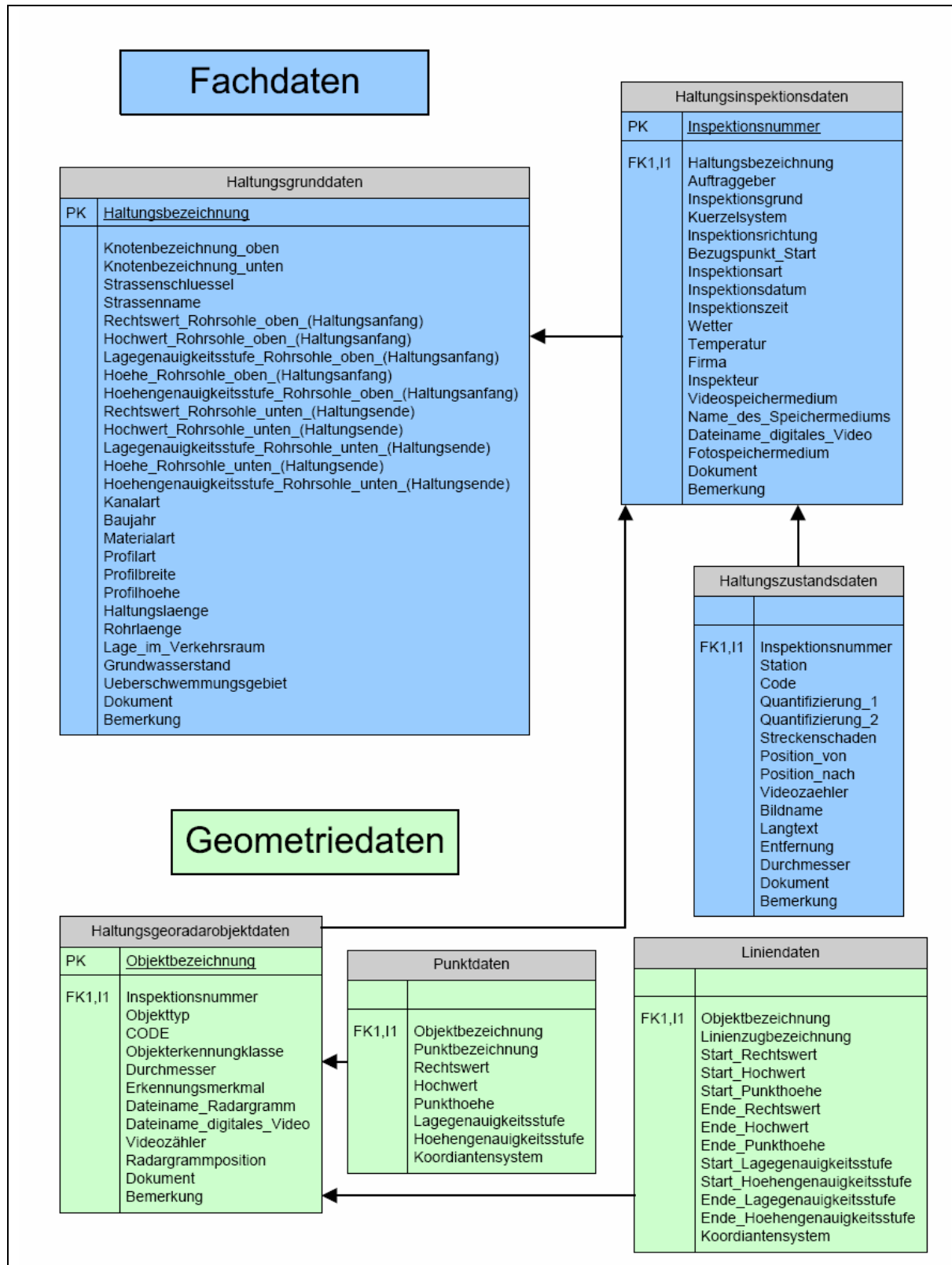


Bild 6.26 Datenstruktur der Georadardaten

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 und die neu erstellten Tabellen HO, PK sowie LI bilden die Gruppe mit geografischen Daten.

In Tabelle 6.5 bis Tabelle 6.8 ist eine Vorauswahl, basierend auf den Format Typen A und B des Merkblattes, beschrieben. Typ A enthält die Haltungsgrunddaten des Auftraggebers für den Auftragnehmer. Typ B enthält die Haltungsgrund-, Haltungsinspektions- und Haltungszustandsdaten des Auftragnehmers für den Auftraggeber.

Bei der TV-Inspektion werden dem Auftragnehmer zu Beginn die Haltungsgrunddaten (Typ A) als übergeben. Dieser gibt nach Durchführung der Arbeiten die Zustandsdaten (Typ B) zurück. Bei der Georadaruntersuchung ist es sinnvoll, dem Auftragnehmer zu Beginn sowohl die Haltungsgrunddaten als auch die Haltungszustandsdaten als Informationsquelle zu übergeben. Sollte keine TV-Inspektion vorliegen, beschränkt sich das Austauschformat auf Typ A, die Haltungsgrunddaten, und wie bei der TV-Inspektion werden die Daten von Typ B zurückgegeben. Ferner ist es möglich, diese Auswahl beliebig abzuändern und eine individuelle Definition von Typ C zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zu entwickeln. Eine vollständige Felderliste der einzelnen Tabellen befindet sich in Anhang 11 und ist darüber hinaus erweiterbar.

Das Merkblatt ATV-DVWK-M 150 sieht entsprechende Formattypen (vgl. Tabelle 6.4) vor.

Tabelle 6.4: Feldformate des ATV-DVWK-M 150

Kürzel	Beschreibung	XML-Datentyp
A	alphanumerisches Feld	normalized String
B	Boolean (Zahl 1 = Ja / 0 = Nein)	Boolean
D	Datumfeld	Date (Format JJJJ-MM-TT)
F	Fließkommazahl	Double
I	Integer (Ganzzahl)	Integer
M	Memo (alphanumerisches Feld beliebiger Länge)	String
N	Dateiname	eingeschränkter String
V	Variant (kann verschiedene Datentypen annehmen)	eingeschränkter String

Hinter den Kürzeln werden Zahlen angegeben, die die jeweilige Feldlänge definieren. (Beispiele: A10 - alphanumerisches Feld mit 10 Stellen; F6.2 - Fließkommazahl mit 6 Stellen vor dem Komma und zwei Nachkommastellen) Diese können ebenso in einem XML-Schema definiert werden. In der linken Tabellenspalte befinden sich Kennung, Einheit und

Format des jeweiligen Feldes. In der rechten Spalte befinden sich die Feldbezeichnungen, die Referenztabelle (Ref.:) sowie Hinweise aus dem Merkblatt und Bemerkungen, die auf Bedeutung und Relevanz der Felder des Datenschemas Bezug nehmen.

Tabelle 6.5: Haltungsgrunddaten (ATV-DVWK, 2003a)

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
HG001 [-] A24	Haltungsbezeichnung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes
	<i>Bemerkung:</i> Die Haltungsbezeichnung ist die eindeutige Kennung zu der alle Informationen hinterlegt werden. Aufgrund einer haltungsorientierten Datenbankstruktur ist diese Kennung für jede Kanaldatenbank zwingend notwendig. Das im Merkblatt ATV-DVWK-M 150 vorgegebene Format sieht für die Haltungsbezeichnung lediglich 16 Stellen vor. Das Format wurde hier um 8 Stellen auf 24 erweitert, da nicht alle Kommunen eine ähnliche Haltungskodierung benutzen und es hier zu Problemen kommen kann.
HG003 [-] A12	Knotenbezeichnung_oben Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Knotenbezeichnung (Haltungsanfang) in Fließrichtung oben
	<i>Bemerkung:</i> Die Knotenbezeichnung wird für eine eventuelle nachträgliche Georeferenzierung benötigt. Die Haltungsbezeichnung setzt sich oftmals aus der Knotenbezeichnung oben und unten zusammen, kann aber auch davon abweichende Bezeichnungen beinhalten. Die Anzahl der Stellen wurde an die Haltungsbezeichnung angepasst.
HG004 [-] A12	Knotenbezeichnung_unten Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Knotenbezeichnung (Haltungsanfang) in Fließrichtung unten
	<i>Bemerkung:</i> siehe Feld HG003
HG101 [-] I6	Strassenschluessel Ref.: 001
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes nach Referenztabelle Straßenschlüssel
	<i>Bemerkung:</i> Aufgrund der eindeutigen Bezeichnung ist dieses Feld vom Kanalnetzbetreiber mitzuliefern. Der Schlüssel erlaubt eine eindeutige Kennung und ist hilfreich, falls es bei verschiedenen Zeichensatzcodierungen durch den Datenaustausch zu Problemen kommt.
HG102 [-] M	Strassenname Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Wird nur informativ geführt, Straßenschlüssel ist maßgebend
	<i>Bemerkung:</i> Am Straßennamen kann sich das Messteam orientieren und im Voraus eine Inspektionsroute für das Messfahrzeug entwerfen. Des Weiteren werden die Radargrammdateien in der Regel nach den Straßennamen abgelegt
HG201 [m] F11.3	Rechtswert_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> In Fließrichtung nach Gauß-Krüger-Koordinatensystem
	<i>Bemerkung:</i> Anhand der Koordianten können die Haltungen in ein GIS importiert und dargestellt werden. Zusätzlich sind sie für eine eventuell vorzunehmende Georeferenzierung erforderlich. Mit Hilfe der dargestellten Haltungskoordinaten können ebenfalls die abgefahrene Messtrecke sowie die Position der erkannten Anomalien im GIS überprüft werden.

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
HG202	Hochwert_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang Ref.: -
[m]	<i>Hinweis:</i> In Fließrichtung nach Gauß-Krüger-Koordinatensystem
F11.3	<i>Bemerkung:</i> Siehe Feld HG201
HG203	Lagegenauigkeitsstufe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang Ref.: 101
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Lagegenauigkeit
A1	<i>Bemerkung:</i> Die Lagegenauigkeitsstufe dient zur Orientierung einer nachträglichen Georeferenzierung, die nicht auf Grundlage ungenauer Daten erfolgen sollte. Anhand dieser Genauigkeitsstufe kann überprüft werden, ob die Daten für eine Georeferenzierung geeignet sind.
HG204	Höhe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang Ref.: -
[m ü. NN]	<i>Hinweis:</i> Höhe der Rohrsohle oben in Fließrichtung
F8.3	<i>Bemerkung:</i> Die Höhe der Haltung dient der Orientierung bei der Lageauswertung. Zusätzlich zur Stationierung der Daten erfolgt eine ungefähre Positionierung des erkannten Georadarobjektes als Zi_erblattreferenz. Damit die Lage der Haltung in Bezug auf die erkannte Anomalie berechnet werden kann, sind sowohl von Haltung als auch Anomalie Höhenangaben mitzuliefern. Zudem ist die Höhenangabe der Haltung ein Referenzpunkt für die berechneten Lagen aus den Radargrammen.
HG205	Höhen-genauigkeitsstufe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang Ref.: 102
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Höhen-genauigkeit
A1	<i>Bemerkung:</i> Die Höhen-genauigkeitsstufe dient als Genauigkeitskontrolle bei einer entsprechenden Positions-berechnung der Objekte als auch bei der Überprüfung der Tiefenlage in den Radargrammen.
HG206	Rechtswert_Rohrsohle_unten_Haltungs-ende Ref.: -
[m]	<i>Hinweis:</i> In Fließrichtung nach Gauß - Krüger - Koordinatensystem
F11.3	<i>Bemerkung:</i> siehe Feld HG202
HG207	Hochwert_Rohrsohle_unten_Haltungs-ende Ref.: -
[m]	<i>Hinweis:</i> In Fließrichtung nach Gauß - Krüger - Koordinatensystem
F11.3	<i>Bemerkung:</i> siehe Feld HG201
HG208	Lagegenauigkeitsstufe_Rohrsohle_unten_Haltungs-ende Ref.: 101
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Lagegenauigkeit
A1	<i>Bemerkung:</i> siehe Feld HG203
HG209	Höhe_Rohrsohle_unten_Haltungs-ende Ref.: -
[m ü. NN]	<i>Hinweis:</i>
F8.3	<i>Bemerkung:</i> siehe Feld HG204
HG210	Höhen-genauigkeitsstufe_Rohrsohle_unten_Haltungs-ende Ref.: 102
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Höhen-genauigkeit
A1	<i>Bemerkung:</i> siehe Feld HG205

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
HG301	Kanalart Ref.: 103
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Kanalart
A1	<i>Bemerkung:</i> Die Kanalart kann Hinweise für die Auswertung enthalten, da zwischen Freispiegelleitungen und Druckleitungen unterschieden wird und sich diese im Radargramm unterschiedlich abbilden.
HG303	Baujahr Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i>
I4	<i>Bemerkung:</i> Aus dem Baujahr können Hinweise über den Zustand der Haltung abgeleitet werden. So ist beispielsweise bei alten Kanälen, die vor 1960 erbaut wurden aufgrund fehlerhafter Muffenverbindungen mit einem erhöhten Eintrag von Bettungsmaterial zu rechnen (HARTMANN, 2006).
HG304	Materialart Ref.: 105
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Material
A4	<i>Bemerkung:</i> Das Material ist für die Auswertung der Radargramme entscheidend. So besitzt bewehrter Beton ein anderes Reflexionsverhalten als Steinzeugmaterial.
HG305	Profilart Ref.: 106
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Profilart
A2	<i>Bemerkung:</i> Die Profilart ist für die Auswertung interessant, da verschiedene Formen unterschiedliche Reflexionen in den Radargrammen erzeugen und ausgeschlossen werden muss, dass es sich um eine Anomalie oder ein Sonderprofil handelt.
HG306	Profilbreite Ref.: -
[mm]	<i>Hinweis:</i>
I4	<i>Bemerkung:</i> Die Profilbreite ist für eine Überprüfung der ausgewerteten Radargramme wichtig. Aufgrund dieser Angabe kann die Objektgröße im Radargramm überprüft werden.
HG307	Profilhoehe Ref.: -
[mm]	<i>Hinweis:</i>
I4	<i>Bemerkung:</i> siehe Feld HG306
HG310	Haltungslaenge Ref.: -
[m]	<i>Hinweis:</i>
F8.3	<i>Bemerkung:</i> Zu unterscheiden ist zwischen der berechneten Haltungslänge aus den Haltungs koordinaten und der Rohrlänge. Für eine Stationierung der erkannten Georadarobjekte kann die Angabe der Rohrlänge vorteilhaft sein, um eine bessere Vergleichbarkeit zur TV-Inspektion zu gewährleisten.
HG314	Rohrlaenge Ref.: -
[m]	<i>Hinweis:</i>
F7.3	<i>Bemerkung:</i> siehe Feld HG310

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
HG404	Lage_im_Verkehrsraum Ref.: 112
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Lage im Verkehrsraum
A2	<i>Bemerkung:</i> Die Lage im Verkehrsraum kann für die Planung der Inspektionsroute von Relevanz sein, da bei von der Fahrbahn abweichenden Lagen eventuell besondere Maßnahmen notwendig sind. Bei Bedarf muss der Auftraggeber Halteverbotsschilder im Bereich von Parkstreifen aufstellen.
HG405	Grundwasserstand Ref.: 113
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Grundwasserstand
A1	<i>Bemerkung:</i> Die Eindringtiefe des Georadars ist abhängig vom Grundwasserstand. Bei zu hohem Grundwasserstand kann die Eindringtiefe zu gering und damit die Messung ohne verwertbares Ergebnis verlaufen. In Grundwasserzonen liegt zudem ein erhöhtes Risiko für Lagerungsdefekte durch eingetragenes Bettungsmaterial vor.
HG406	Überschwemmungsgebiet Ref.: 114
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Überschwemmungsgebiet
A1	<i>Bemerkung:</i> In Überschwemmungsgebieten kann nach Überschwemmungseignissen die Messung durch feuchte Bodenverhältnisse erschwert werden. Durch die wechselnden Verhältnisse kann auch hier ein erhöhtes Lagerungsdefektrisiko bestehen.
HG998	Dokument Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Freie Bezeichnung des Dokuments
M	<i>Bemerkung:</i>
HG999	Bemerkung Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Freie Bemerkung zur Haltung
M	<i>Bemerkung:</i>

Tabelle 6.6: Haltungsinspektionsdaten (ATV-DVWK, 2003a)

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
HI001	Auftraggeber Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes
M	<i>Bemerkung:</i>
HI003	Inspektionsnummer Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes
I4	<i>Bemerkung:</i>
HI004	Inspektionsgrund Ref.: 201
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Inspektionsgrund
A1	<i>Bemerkung:</i>

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
HI005	Kuerzelsystem Ref.: 202
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Kürzelsystem
A8	<i>Bemerkung:</i> Das Kürzelsystem beschreibt das verwendete Kodiersystem und kann auf verschiedenen Normen basieren. Für die Ergebnisse der Georadaruntersuchungen besteht noch kein solches System. Um ein entsprechendes Kürzelsystem für die Georadaruntersuchungen zu entwickeln, sollten alle infrage kommenden Anomalien, die mit dem System erkannt werden können präzise beschrieben werden.
HI101	Inspektionsrichtung Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> I in Fließrichtung; G in Gegenrichtung
A1	<i>Bemerkung:</i> Die Inspektionsrichtung wird von der TV-Inspektion übernommen. Die Stationen der erkannten Anomalien sollten nach dieser Vorgabe berechnet werden. Hierdurch soll vermieden werden, dass die TV-Inspektionsergebnisse später invertiert werden müssen. Nach ATV-DVWK (1989) ist die Dokumentationsrichtung im Allgemeinen die Fließrichtung und bei fehlenden TV-Inspektionen als Standardrichtung vorzusehen.
HI102	Bezugspunkt_Start Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> A Rohranfang; C Mittelpunkt des Bauwerks; D Mittelpunkt des Gerinnes; Z Andere
A1	<i>Bemerkung:</i> Der Bezugspunkt für den Beginn der TV-Inspektion ist für eine bessere Anpassung der Stationen an die Haltungen zu berücksichtigen. Als Startpunkt für eine Stationierung stehen nach den Angaben in der Datenbank die Koordinaten Haltungsanfang und Haltungsende zur Verfügung. Eventuelle Unterschiede zwischen Haltungslänge und Rohrlänge könnten mit Hilfe dieser Angabe ausgeglichen werden.
HI103	Inspektionsart Ref.: 203
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Inspektionsart
A3	<i>Bemerkung:</i> Die Inspektionsart ist entsprechend der Georadaruntersuchungen auszufüllen.
HI104	Inspektionsdatum Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i>
D10	<i>Bemerkung:</i> Das Datum ist neben der eindeutigen Bezeichnung bei Mehrfachuntersuchungen auch hinsichtlich der Jahreszeit zu beachten. Jahreszeit bedingte Grundwasserschwankungen können das Georadar entscheidend beeinflussen.
HI105	Inspektionszeit Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Uhrzeit der Inspektion
A8	<i>Bemerkung:</i>
HI106	Wetter Ref.: 204
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Wetter
A7	<i>Bemerkung:</i> Das Wetter beeinflusst die Georadaruntersuchungen. Bei Regenwetter ist wegen der veränderten elektrischen Leitfähigkeit mit anderen Ergebnissen zu rechnen als bei trockenem Wetter.

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
HI108	Temperatur Ref.: -
[°Celsius]	<i>Hinweis:</i>
I3	<i>Bemerkung:</i> Die Temperatur kann sich auf die Ausbreitung des Radarwellen auswirken.
HI111	Firma Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Firmenname
M	<i>Bemerkung:</i>
HI112	Inspekteur Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Name des Inspektors
M	<i>Bemerkung:</i>
HI114	Videospeichermedium Ref.: 207
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Videospeichermedium
A3	<i>Bemerkung:</i> Dieses Feld ist entsprechend der Speicherart der Radargramme und Videos anzuwenden.
HI115	Name_des_Speichermediums Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> z. B. Videonummer, CD _ Bezeichnung o. Ä. gemäß Vorgaben des Projektes
M	<i>Bemerkung:</i> siehe Feld HI114
HI116	Dateiname_digitales_Video Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> gemäß Vorgaben des Projektes
M	<i>Bemerkung:</i> siehe Feld HI114
HI117	Fotospeichermedium Ref.: 208
[-]	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Fotospeichermedium
A7	<i>Bemerkung:</i> siehe Feld HI114
HI998	Dokument Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Freie Bezeichnung eines Dokuments
M	<i>Bemerkung:</i>
HI999	Bemerkung Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Freie Bemerkung zur Haltungsinspektion
M	<i>Bemerkung:</i>

Tabelle 6.7: Haltungszustandsdaten (ATV-DVWK, 2003a)

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
HZ001 [m] F6.2	Station Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Vom Startpunkt aus gesehen
	<i>Bemerkung:</i> Die Station gibt die Länge in Metern in Inspektionsrichtung wieder und wird aus den GPS Koordinaten berechnet. Als Bezugspunkt für die Umrechnung dienen die Haltungskordinaten.
HZ002 [] A5	Code Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Gemäß gewähltem Kürzelsystem
	<i>Bemerkung:</i> Der CODE besteht in der Regel aus einer vierstelligen Buchstabenkombination kann aber je nach verwendetem Kürzelsystem variieren. Für die Georadaruntersuchungen existiert bisher kein Kürzelsystem. Als Interimslösung, die einer ersten Beschreibung der Objekte dienen soll, wurden alle Georadarcodes mit einem G an erster Stelle versehen. An zweiter und dritter Stelle stehen die Bezeichnungen aus der Referenztabelle für den Georadarobjekttyp.
HZ003 [] V	Quantifizierung_1 Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Gemäß gewähltem Kürzelsystem
	<i>Bemerkung:</i> Die Quantifizierung richtet sich nach dem verwendeten Kürzelsystem für die Daten aus der TV-Inspektion. Damit die TV-Inspektion mit den Georadaruntersuchungen verschnitten werden kann, sind diese Angaben bei vorhandenen Einträgen mitzuführen.
HZ004 [] V	Quantifizierung_2 Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Gemäß gewähltem Kürzelsystem
	<i>Bemerkung:</i> siehe HZ003
HZ005 [] A7	Streckenschaden Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Gemäß gewähltem Kürzelsystem
	<i>Bemerkung:</i> Der Streckenschaden kennzeichnet die Linienobjekte, die in Stationen umgerechnet wurden mit einer Identifizierungsnummer für die Start- und Endstation des Linienobjektes analog zu Streckenschäden bei der TV-Inspektion.
HZ006 [] A2	Position_von Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> „Position von“ im Uhrzeigersinn
	<i>Bemerkung:</i> Die Position gibt die Zifferblattreferenz der erkannten Anomalie wieder und wird aus den GPS-Koordinaten berechnet. An dieser Stelle können sowohl Punkt- als auch Linienobjekte aus den Georadaruntersuchungen eingetragen werden.
HZ007 [] A2	Position_nach Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> „Position nach“ im Uhrzeigersinn
	<i>Bemerkung:</i> Siehe Feld HZ006
HZ008 [] A11	Videozaehler Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Videozählerstand
	<i>Bemerkung:</i> Siehe Feld HI114

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
HZ009 [] M	Bildname Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Digitaler Bildname gemäß Vorgaben des Projektes
	<i>Bemerkung:</i> Siehe Feld HI114
HZ010 [] M	Langtext Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Gemäß gewähltem Kürzelsystem, nur informativ
	<i>Bemerkung:</i>
HZ900 [m] F6.2	Entfernung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Entfernung des Georadarobjektes zur Haltung
	<i>Bemerkung:</i> Die Entfernung wurde zusätzlich eingefügt und gibt den lateralen Abstand der erkannten Anomalie zur Haltung an und wird aus den GPS- und Haltungskoordinaten berechnet.
HZ901 [m] F2.2	Durchmesser Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Horizontale Ausdehnung des Objektes
	<i>Bemerkung:</i> Der Durchmesser gibt eine ungefähre Größenordnung für die horizontale Ausdehnung des Objektes an.
HZ998 [] M	Dokument Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Freie Bezeichnung eines Dokuments
	<i>Bemerkung:</i>
HZ999 [] M	Bemerkung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Freie Bemerkung zu den Haltungszustandsdaten.
	<i>Bemerkung:</i>

Für die Georadarauswertungen wurde die Datenbankstruktur neu entworfen. Dabei wurde in der Planungsphase auf bereits bestehende Strukturen zurückgegriffen, die in ähnlicher Weise nach ATV-DVWK (2003a) sowie nach BMVBW und BMVg (2006) bestehen. In Gesprächen mit der GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH wurde in einem ersten Schritt ein Konzept entwickelt. Trotz bestehender Strukturen musste für eine Auswertung der erkannten Anomalien ein neues Schema entwickelt werden, das eine einfache Visualisierung in einem GIS Programm ermöglicht und die benötigten Fachdaten erfassen kann. Die objektbezogenen Fachdaten werden in der Tabelle HO gespeichert und bestehen aus den folgenden Feldinformationen:

Tabelle 6.8: Haltungsgeoradarobjekte

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
HO001	Objektbezeichnung Ref.: -
[]	<i>Hinweis:</i> Eindeutige Bezeichnung des erkannten Georadarobjektes
A16	<i>Bemerkung:</i>
HO002	Objekttyp Ref.: 911
[]	<i>Hinweis:</i> Klassifizierung des Objekttyps nach Referenztable
A2	<i>Bemerkung:</i> Der erkannte Objekttyp beschreibt die Art der Anomalie und bildet die Basis für den im Feld CODE angegebenen Wert.
HO004	CODE Ref.: 912
[]	<i>Hinweis:</i> Gemäß gewähltem Kürzelsystem
A4	<i>Bemerkung:</i> Siehe Feld HZ002
HO005	Objekterkennungsklasse Ref.: 914
[]	<i>Hinweis:</i> Mit welcher Sicherheit wurde das Objekt erkannt; Angaben nach Referenztable
A1	<i>Bemerkung:</i> Die Objekterkennungsklasse gibt an, mit welcher Qualität das Objekt erkannt wurde. Da nicht alle Objekte während einer Radargrammauswertung sicher erkannt werden, ist der Inspekteur in der Lage, beispielsweise sicher erkannte oder vermutete Objekte zu hinterlegen. Somit besteht die Möglichkeit, auch unsichere Objekte in die Auswertung mit aufzunehmen und eventuell zu einem späteren Zeitpunkt genauer zu klassifizieren.
HO008	Durchmesser Ref.: -
[m]	<i>Hinweis:</i> Horizontale Ausdehnung des Objektes
F2.2	<i>Bemerkung:</i> Siehe Feld HZ901
HO101	Erkennungsmerkmal Ref.: 913
[]	<i>Hinweis:</i> Merkmal nach Referenztable
A1	<i>Bemerkung:</i> Das Erkennungsmerkmal unterscheidet zwischen Video und Radargramm.
HO102	Dateiname_Radargramm Ref.: -
[]	<i>Hinweis:</i> Eindeutige Bezeichnung der Radargrammdatei
M	<i>Bemerkung:</i>
HO103	Dateiname_digitales_Video Ref.: -
[]	<i>Hinweis:</i> Eindeutige Bezeichnung der Videodatei
M	<i>Bemerkung:</i>
HO104	Videozähler Ref.: -
[]	<i>Hinweis:</i> Videozählerstand
A11	<i>Bemerkung:</i>
HO105	Radargrammposition Ref.: -
[]	<i>Hinweis:</i> Position im Radargramm
A11	<i>Bemerkung:</i>

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
HO998	Dokument Ref.: -
[]	<i>Hinweis:</i> Freie Bezeichnung eines Dokuments
M	<i>Bemerkung:</i>
HO999	Bemerkung Ref.: -
[]	<i>Hinweis:</i> Freie Bemerkung zu den Haltungsgeoradarobjekten
M	<i>Bemerkung:</i>

Um die Objektinformationen mit einem Geoinformationssystem verarbeiten zu können, werden zu jedem Objekt Geometriedaten benötigt. Diese können in den Tabellen PK und LI, die die Eingabe von Geometrietypen ermöglichen, abgelegt werden. Berücksichtigt werden Punkt- und Liniengeometrien. Daneben besteht bei Bedarf die Option, die Tabellen um eine dritte Gruppe mit Polygonzügen zu erweitern. Die verwendeten Geometrietypen sind in Bild 6.37 auf Seite 125 dargestellt.

Zu den Geometrien werden außer jeder Koordinate weiterführende Informationen benötigt, die in den Tabellen wie folgt zusammengesetzt sind.

Tabelle 6.9: Punktgeometrie

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
PK001	Punktbezeichnung Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Eindeutige Bezeichnung zusammenhängender Punkte (Multipoint)
A16	<i>Bemerkung:</i> Werden mehrere Objekte einem Bereich zugeordnet, können diese durch eine Punktbezeichnung zusammengefasst werden. So ist es möglich, einen Bereich von Auffälligkeiten zusammenzufassen .
PK101	Rechtswert Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Rechtswert des Objektes im vorgegebenen Koordinatensystem
F10.3	<i>Bemerkung:</i>
PK102	Hochwert Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Hochwert des Objektes im vorgegebenen Koordinatensystem
F10.3	<i>Bemerkung:</i>
PK103	Punkthöhe Ref.: -
[ü. NN]	<i>Hinweis:</i>
F7.3	<i>Bemerkung:</i>

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
PK201	Lagegenauigkeitsstufe Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Genauigkeit der erfassten Koordinate
A1	<i>Bemerkung:</i> Als Lagegenauigkeitsstufe kann die aus der GPS-Aufzeichnung bekannte Genauigkeitsangabe verwendet werden. Dazu wird die sich dem Punkt am nächsten befindliche GPS-Aufzeichnung ausgewertet und durch eine zusätzliche Entfernungsangabe ergänzt. Somit gibt die Lagegenauigkeitsstufe für jeden Punkt ein definiertes Maß für die Genauigkeit an und ist für das spätere Auffinden der Punkte nutzbar. Der Wert besitzt folgenden Aufbau: G.G/MM.MM (Genauigkeitsangabe/Entfernung)
PK202	Hoehengenaugkeitsstufe Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Genauigkeit der erfassten Höhe
A1	<i>Bemerkung:</i> Siehe Feld PK201
PK301	Koordiantensystem Ref.: 903
[-]	<i>Hinweis:</i> Koordinatensystem nach Referenztabelle
I5	<i>Bemerkung:</i> Das Koordinatensystem sollte für jede Koordinate hinterlegt werden. Durch die unterschiedlichen verwendeten Koordinatensysteme in Deutschland (s. Abschnitt 5.1) kann hiermit eine eindeutige Bezeichnung hinterlegt werden. Eine standardisierte Auswahl international verwendeter Koordinatensysteme wird durch die European Petroleum Survey Group (EPSG) zur Verfügung gestellt und ist als vollständige Liste im Internet unter http://www.epsg.org/ verfügbar. Weiterhin findet der Code bei einem GML basierten Datenaustausch Verwendung und kann das Bezugssystem in einer GML-Datei angeben.

Tabelle 6.10: Liniengeometrie

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
LI001	Linienzugbezeichnung Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Eindeutige Bezeichnung des Linienzuges
A16	<i>Bemerkung:</i> Mit der Linienbezeichnung können mehrere Linienobjekte zu einer Gruppe (Multilinestring) zusammengefasst werden. Beispielsweise können Bruchteile einer Haltung somit haltungsbezogen als ein Objekt behandelt werden.
LI101	Start_Rechtswert Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Rechtswert des Objektstarts im vorgegebenen Koordinatensystem
F10.3	<i>Bemerkung:</i>
LI102	Start_Hochwert Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Hochwert des Objektstarts im vorgegebenen Koordinatensystem
F10.3	<i>Bemerkung:</i>
LI103	Start_Punkthoehe Ref.: -
[ü. NN]	<i>Hinweis:</i> Punkthöhe am Linienstart
F7.3	<i>Bemerkung:</i>

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise/ Bemerkungen
LI104	Ende_Rechtswert Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Rechtswert des Objektendes im vorgegebenen Koordinatensystem
F10.3	<i>Bemerkung:</i>
LI105	Ende_Hochwert Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Hochwert des Objektendes im vorgegebenen Koordinatensystem
F10.3	<i>Bemerkung:</i>
LI106	Ende_Punkthoehe Ref.: -
[ü. NN]	<i>Hinweis:</i> Punkthöhe am Linienende
F7.3	<i>Bemerkung:</i>
LI201	Start_Lagegenauigkeitsstufe Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Genauigkeit der erfassten Koordinate
A1	<i>Bemerkung:</i> Siehe Feld PK201
LI202	Start_Hoehengenaugkeitsstufe Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Genauigkeit der erfassten Höhe
A1	<i>Bemerkung:</i> Siehe Feld PK201
LI203	Ende_Lagegenauigkeitsstufe Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Genauigkeit der erfassten Koordinate
A1	<i>Bemerkung:</i> Siehe Feld PK201
LI204	Ende_Hoehengenaugkeitsstufe Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> Genauigkeit der erfassten Höhe
A1	<i>Bemerkung:</i> Siehe Feld PK201
LI301	Koordiantensystem Ref.: 903
[-]	<i>Hinweis:</i> Koordinatensystem nach Referenztabelle
I5	<i>Bemerkung:</i> Siehe Feld PK301

6.5.6.2 XML-Datei

Mit der zuvor definierten Datenbankstruktur ist es möglich, ein XML-Schema mit zugehöriger XML-Datei zu entwerfen. Sowohl die XML-Datei als auch die GML-Datei können beliebig erweitert oder gekürzt und auf die jeweiligen Problemstellungen angepasst werden. Die XML-Datei enthält die Fachdaten mit den zugehörigen Haltungsgrund-, Haltungsinspektions- und Haltungszustandsdaten. Die übrigen Informationen werden in eine GML-Datei geschrieben und beziehen sich auf die Geometriedaten. Um die Lesbarkeit der XML-Datei zu erleichtern, wurden als Tags die Feldbezeichnungen eingesetzt. Wahlweise könnten auch die Kennungen (z. B. HG001) verwendet werden, die jedoch für den Leser nicht immer verständlich sind. Dafür wurden die Feldbezeichnungen im Vergleich zum Merkblatt ATV-DVWK M 150 Teil 1 angepasst, indem beispielsweise die Leerzeichen

durch Unterstriche und andere Sonderzeichen entsprechend ersetzt wurden. Die mit einem Beispieldatensatz erzeugte XML-Datei stellt sich wie folgt dar:

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" standalone="no" ?>
<?xml-styleheet type="text/xsl" href="./GPR-Austauschformat.xsl"?>
<Haltungsprotokoll xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="./GPR-Austauschformat.xsd">
  <Haltungsgrunddaten>
    <Haltungsbezeichnung>R02195010.00R02195009.00</Haltungsbezeichnung>
    <Knotenbezeichnung_oben>R02195010.00</Knotenbezeichnung_oben>
    <Knotenbezeichnung_unten>R02195009.00</Knotenbezeichnung_unten>
    <Strassenschluessel>50235</Strassenschluessel>
    <Strassenname>Hauptstraße</Strassenname>
    <Rechtswert_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang>3405098,67
    </Rechtswert_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang>
    <Hochwert_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang>5760966,82
    </Hochwert_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang>
    <Lagegenauigkeitsstufe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang>D
    </Lagegenauigkeitsstufe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang>
    <Hoehe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang>57,94</Hoehe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang>
    <Hoehengenauigkeitsstufe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang>D
    </Hoehengenauigkeitsstufe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang>
    <Rechtswert_Rohrsohle_unten_Haltungsende>3405153,57
    </Rechtswert_Rohrsohle_unten_Haltungsende>
    <Hochwert_Rohrsohle_unten_Haltungsende>5760966,1
    </Hochwert_Rohrsohle_unten_Haltungsende>
    <Lagegenauigkeitsstufe_Rohrsohle_unten_Haltungsende>D
    </Lagegenauigkeitsstufe_Rohrsohle_unten_Haltungsende>
    <Hoehe_Rohrsohle_unten_Haltungsende>57,15</Hoehe_Rohrsohle_unten_Haltungsende>
    <Hoehengenauigkeitsstufe_Rohrsohle_unten_Haltungsende>D
    </Hoehengenauigkeitsstufe_Rohrsohle_unten_Haltungsende>
    <Kanalart>K</Kanalart>
    <Baujahr>1921</Baujahr>
    <Materialart>B</Materialart>
    <Profilart>DN</Profilart>
    <Profilbreite>700</Profilbreite>
    <Profilhoehe>700</Profilhoehe>
    <Haltungs-laenge>58,03</Haltungs-laenge>
    <Rohr-laenge>56,65</Rohr-laenge>
    <Lage_im_Verkehrsraum>F</Lage_im_Verkehrsraum>
    <Grundwasserstand>W</Grundwasserstand>
    <Ueberschwemmungsgebiet>N</Ueberschwemmungsgebiet>
    <Dokument></Dokument>
    <Bemerkung>keine</Bemerkung>
    <Haltungsinspektionsdaten>
      <Auftraggeber>F u. E Georadar</Auftraggeber>
      <Inspektionsnummer></Inspektionsnummer>
      <Inspektionsgrund>N</Inspektionsgrund>
      <Kuerzelsystem>Z</Kuerzelsystem>
      <Inspektionsrichtung>I</Inspektionsrichtung>
      <Bezugspunkt_Start>Z</Bezugspunkt_Start>
      <Inspektionsart>Z</Inspektionsart>
      <Inspektionsdatum>04.04.2006</Inspektionsdatum>
      <Inspektionszeit>12:15:00</Inspektionszeit>
      <Wetter>Trocken</Wetter>
      <Temperatur>20</Temperatur>
      <Firma>Geokanal GmbH</Firma>
```

```

<Inspekteur> Herr Mustermann</Inspekteur>
<Videospeichermedium>MOD</Videospeichermedium>
<Name_des_Speichermediums>Festplatte1</Name_des_Speichermediums>
<Dateiname_digitales_Video>Radargramm001.rad
</Dateiname_digitales_Video>
<Fotospeichermedium></Fotospeichermedium>
<Dokument></Dokument>
<Bemerkung>keine</Bemerkung>
  <Haltungszustandsdaten>
    <Station>1,51</Station>
    <Code>GHG</Code>
    <Position_von>0</Position_von>
    <Videozaehler>361,7</Videozaehler>
    <Bildname>FRIESEN001.DZT</Bildname>
    <Entfernung>1,06</Entfernung>
  </Haltungszustandsdaten>
</Haltungsinspektionsdaten>
</Haltungsgrunddaten>
</Haltungsprotokoll>

```

Ein XML-Schema ist in Anhang 12 eingefügt.

6.5.6.3 GML-Datei

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. Auf die Erstellung einer GML-Datei wurde an dieser Stelle verzichtet, da die Entwicklung eines GML-Schemas im Zusammenhang mit den vom OGC gesetzten Standards geschieht, und diese wesentlich komplexer aufgebaut sind als die XML-Datei für die Fachdaten. Grundsätzlich besteht jedoch die Möglichkeit, mit Konvertierungsprogrammen Geometriedaten in verschiedenen Formaten auszugeben. So können neben ArcView- und MapInfo-Dateien auch GML-Dateien erzeugt werden. Neben den frei verfügbaren Konvertierungsprogrammen bieten die Softwarehersteller oft eigene Schnittstellen zu anderen Programmen an. Mit einigen ist auch das Bearbeiten von GML-Dateien möglich. Durch die leicht lesbare Form der Dateien und die fest definierten Standards sollte in jedem Fall die GML-Datei als Austauschschnittstelle dienen. Die Anwender können im Anschluss eine Konvertierung in proprietäre Formate vornehmen, um letztendlich auch Probleme mit eventuellen Versionsunterschieden zu vermeiden. Ein Beispiel für den Aufbau einer GML-Datei wurde dem OGC (2006) entnommen und zu einem Georadarobjekt umgeformt:

```

<abc:Georadarobjekt gml:id = _Objekt1_>
<abc:Inspektionsnummer>123456</abc:Inspektionsnummer>
<abc:Objekttyp>Hohlraum</abc:Objekttyp>
<abc:Durchmesser>0.51</abc:Durchmesser>
<gml:location>
<gml:Point srsName = _#myRefSys_>
<gml:coordinates>12435.2, 6756.34</gml:coordinates>
</gml:Point>
</gml:location>
</abc:Georadarobjekt>

```

Die Angabe #myRefSys bezieht sich auf den European Petroleum Survey Group-Code und ist optional. Aufgrund der verschiedenen Koordinatensysteme, die in Deutschland verwendet werden, ist dieser Eintrag jedoch sinnvoll und kann neben dem Gauß-Krüger-Format auch für GPSKoordinaten Angaben im WGS84- oder ETRS89-System genutzt werden (s. Abschnitt 6.6.1).

6.6 Georeferenzierung

Die Georeferenzierung ordnet Karten in ein georäumliches Koordinatensystem ein. Aufgrund der Vielzahl von Koordinatensystemen, in denen Geoobjekte erfasst werden können, existiert in der Regel kein wohldefiniertes Bezugssystem. Das bedeutet, dass die erfassten Koordinaten meist gerätespezifische Eigenschaften besitzen und nicht in einem der Landesvermessung üblichen Koordinatensysteme vorliegen. Um trotzdem die vordefinierten Bezugssysteme nutzen zu können, müssen die Gerätekoordinaten transformiert werden. Eine spezielle Anwendung ist eine Koordinatenzuweisung bei digitalen Karten.

Diese Art von Georeferenzierung ordnet den Bildpunkten (Pixeln) in den gerasterten Bildern - z. B. eingescannten Karten - Koordinaten zu. Allgemein kann jedoch jede Einbindung von in Karten abgebildeten Punkten in ein georäumliches Koordinatensystem als Georeferenzierung bezeichnet werden (LANGE, 2006; SPEKTRUM, 2002).

Eine Referenzierung ist auch in Bezug auf die Auswertung der Georadardaten von Relevanz. Um eine Darstellung der erkannten Anomalien zu gewährleisten, werden den bei der Auswertung der Radargramme erkannten Objekten Koordinaten aus den GPS Aufzeichnungen zugewiesen. Diese besitzen im Vergleich zu den eingemessenen Schachtdeckelkoordinaten in den Katasterkarten Lageabweichungen, die aufgrund der Ungenauigkeiten des differentiellen GPS in Verbindung mit dem ascos Referenzdienst (s. Abschnitt 5.1.1.2), als auch aus den Übertragungsabweichungen der GPS-Daten in die Radargramme oder in das Video auftreten können. Damit aber für die Auffindung der Objekte trotzdem eine möglichst hohe Lagegenauigkeit erzielt werden kann, ist eine nachträgliche Umformung der Koordinaten sinnvoll. Dies geschieht, indem die erkannten Georadarobjekte anhand der Schachtdeckelkoordinaten im Anschluss an die Auswertung erneut referenziert werden.

Für eine erfolgreiche Transformation sind nicht nur die verschiedenen Koordinatensysteme, die sich beispielsweise aus den GPS-Koordinaten und den rechtwinkligen zweidimensionalen Gauß-Krüger-Koordinaten zusammensetzen, sondern auch die Möglichkeiten der verschiedenen Koordinatentransformationen zu betrachten.

6.6.1 Koordinatensysteme

Koordinaten dienen der genauen Bestimmung eines Punktes auf einer Fläche und bestehen aus einem Zahlenpaar, das sich entweder aus zwei Winkeln, zwei metrischen Größenangaben oder gemischt aus einem Winkel und einem Längenmaßstab zusammensetzt.

Hierbei beziehen sich die Koordinaten auf eine definierte Ersatzfläche der Erdoberfläche, die wahlweise aus einem Ellipsoid, einer Kugel oder einer Ebene bestehen kann (WITTE und SCHMIDT, 1995).

Die Koordinatensysteme, die für eine Lagebeschreibung der gefundenen Georadarobjekte verwendet werden, bestehen aus den ellipsoidischen GPS-Koordinaten und den ebenen rechtwinkligen Koordinaten, mit denen Liegenschaften wie abwassertechnische Anlagen oder Straßen vermessen werden.

Für eine exakte Bestimmung der Lage ist die Erde einem Ellipsoiden anzunähern. Hierbei sollten die Abflachungen an den Polen und die Ausbuchtungen am Äquator berücksichtigt werden. Da weiterhin zusätzliche Ausbuchtungen und Vertiefungen an der Erdoberfläche zu lokalen Beeinträchtigungen führen, wurden für eine bessere Anpassung an örtliche Gegebenheiten unterschiedliche Referenzellipsoide gebildet. Von zentraler Bedeutung ist dabei das Geodätische Referenzsystem 1980 (GRS80). Auf diesem Referenzellipsoid basiert ebenfalls das World Geodetic System 84 (WGS84), das von der satellitengestützten Positionsbestimmung durch das GPS genutzt wird. Da die Netzstruktur der Bezugspunkte auf der Erde wegen des plattenkinematischen Verhaltens instationär ist, beziehen sich die Bezugsellipsoide auf eine Jahresangabe z. B. WGS84 auf das Jahr 1984. In Europa wurde beschlossen, zusätzlich ein europäisches Referenzsystem zu definieren. Das European Terrestrial Reference System (ETRS89) berücksichtigt das tektonische Verhalten der Erdkrustenplatten und setzt voraus, dass die relative Lage der Satelliten zu den erdfesten Stationen auf der starren Kontinentalplatte konstant bleibt. Die Abweichung zwischen dem WGS84 und dem ETRS89 beträgt ein bis zwei Zentimeter. Ferner wurde von der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) 1991 und 1995 beschlossen, das ETRS89-Bezugssystem im Bereich der Landesvermessung und der Liegenschaftskataster einzuführen (LANGE, 2006).

Dies ist auf die wachsende Bedeutung sowie die grenzübergreifende Nutzung von digitalen Geobasisdaten zurückzuführen. Außerdem wird mit dem ETRS89 ein zeitgemäßes Referenzsystem eingeführt (IM-NRW, 2004).

Um eine praktikable Nutzung der GPS-Koordinaten zu gewährleisten, sind diese in ein rechtwinkliges zweidimensionales Koordinatensystem zu transformieren. Die GPS-Koordinaten, die sich auf das WGS84- bzw. ETRS89-Referenzsystem beziehen, werden in

geografischer Breite B und geografischer Länge L angegeben und sind als Winkel definiert (WITTE und SCHMIDT 1995). Die Überführung in ein rechtwinkliges (metrisches) Koordinatensystem ist durch eine transversale konforme (winkeltreue) Zylinderprojektion realisierbar.

Eine mögliche Abbildung entwickelten Gauß, Schreiber und Krüger Anfang des 20. Jahrhunderts. Die drei Wissenschaftler berücksichtigten die bei der Zylinderprojektion jeweils auftretenden Strecken- Winkel- und Flächenverzerrungen. Eine ausreichende Übereinstimmung lässt sich infolgedessen nur in kleinsten Bereichen erzielen. Um die mit größer werdenden Teilbereichen zunehmenden Verzerrungen der Längen und Flächen in annehmbaren Grenzen zu halten, wurde das abzubildende Gebiet von mehreren Meridianstreifen durchzogen. Die Meridianstreifen verlaufen am Längengrad von Pol zu Pol und sind in Deutschland auf einen Abstand von 3° Breite festgelegt. Ein um die Erde gelegter Zylinder veranschaulicht das Prinzip. Dieser wird horizontal um die Erdkugel gelegt und tangiert die Erde in einem Abstand von drei Längengraden (s. Bild 6.27) (WITTE und SCHMIDT, 1995).

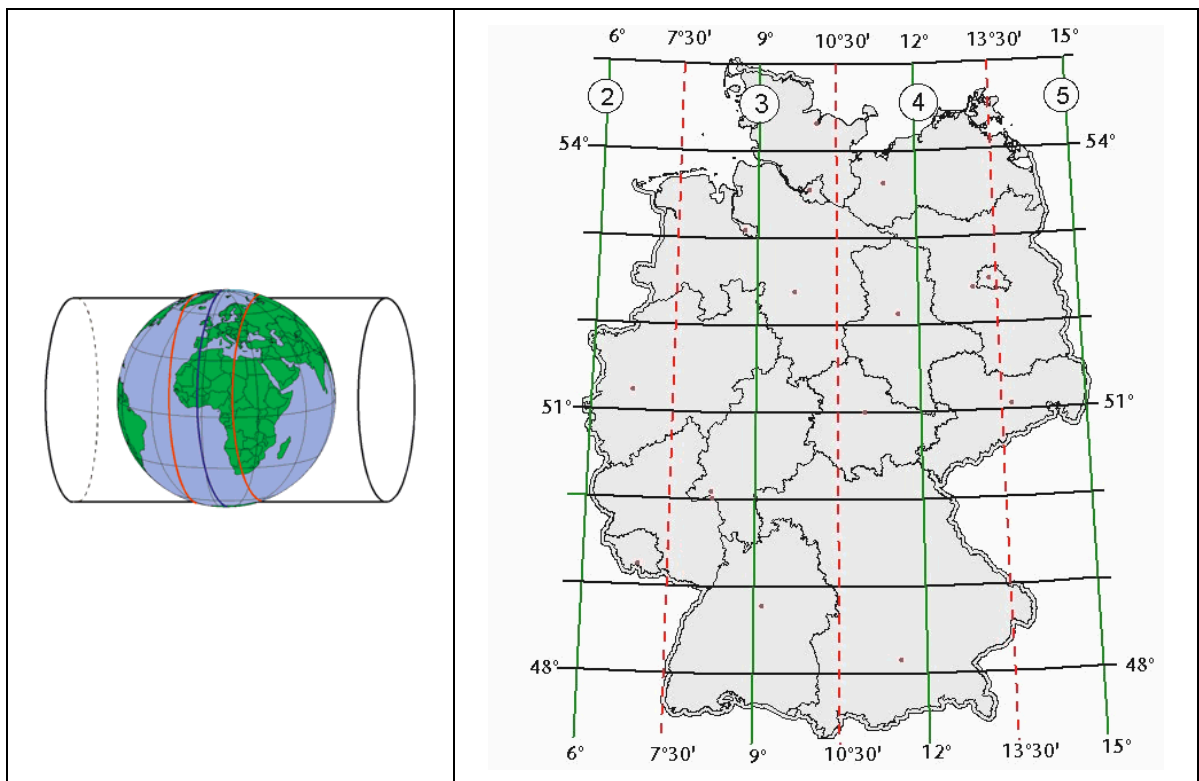


Bild 6.27: Gauß-Krüger-Meridianstreifen

(http://www.wasy.de/deutsch/produkte/wgeo/transformation_prn.html)

Um stets positive Rechtswerte zu erzeugen, ist jedem Hauptmeridian der Wert 500.000 zugewiesen. Weiterhin setzt sich der Rechtswert aus einer Kennziffer des Hauptmeridians zusammen.

In Deutschland werden die Längengrade 6° , 9° , 12° , 15° östlich von Greenwich als Haupt- bzw. Mittelmeridiane. Für Deutschland gilt daher eine Einteilung in vier Hauptmeridianstreifen, die beim 6. Breitengrad beginnen und beim 15. Breitengrad enden. So liegt zum Beispiel die Spitze des Aachener Doms in der Nähe des 2. Hauptmeridianstreifens. Der ellipsoidisch geografische Längengrad $L = 6^\circ 05' 03''$, 2318 erhält einen Rechtswert $y = 2\,505\,940,53$. Hierbei ist zu beachten, dass die Ordinate (Rechtswert) mit y und die Abszisse (Hochwert) mit x gekennzeichnet werden und dies somit von einer in der analytischen Geometrie üblichen Bezeichnung abweicht (WITTE und SCHMIDT, 1995).

Der Beirat für Vermessungswesen hat im Jahr 1923 das Gauß-Krüger-Koordinatensystem für Deutschland vorgeschlagen und eingeführt. In den alten Bundesländern bildet dieses System in Verbindung mit dem Bessel-Ellipsoid und dem Zentralpunkt (Datum) Rauenberg das amtliche Koordinatensystem der Landesvermessungen. Dabei gibt das Datum (auch geodätisches Datum genannt) an, wie ein Referenznetz gegenüber dem Referenzellipsoid festgelegt ist.

Das Gauß-Krüger-Koordinatensystem bildet hierbei die Grundlage aller amtlichen Kataster- und topografischen Karten mit Maßstäben größer oder gleich 1:200.000 (SPEKTRUM, 2002)

Eine weitere konforme zylindrische Abbildung stellt das UTM-Koordinatensystem dar. Ursprünglich wurde das UTM-Koordinatensystem (Universales Transversales Mercator-Koordinatensystem) 1947 von der US-Army eingeführt und später von der NATO übernommen. Es dient der Beschreibung ebener Koordinaten in der gesamten Welt (LANGE, 2006).

Die Bereiche der Bundesrepublik Deutschland liegen weitestgehend in den Zonen 32 und 33 (s. Bild 6.28).

Im UTM-Koordinatensystem beschreibt das Symbol N (Norden) die Abszisse und das Symbol E (Osten) die Ordinate. Bei den UTM-Koordinaten ist zu beachten, dass diese sich auf verschiedene Datumsangaben beziehen können. Somit kann sich ein und derselbe Punkt im UTM-Koordinatensystem auf das europäische Datum 1950 nach dem europäischen Ellipsoid nach Hayford oder auf den GRS80-Ellipsoid, auf den das ETRS89-System basiert, beziehen.

Das UTM-Koordinatensystem ist 1995 von der AdV als Abbildungssystem für Deutschland festgelegt worden. Das deutsche Festpunktnetz ist somit an internationale Netze angeschlossen und besitzt einen neuen Bezugsrahmen (LANGE, 2006). Durch die Beschlüsse der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) ist in Deutschland das UTM-System als neues Abbildungssystem sowie das ETRS89 als neues Lagebezugssystem für sämtliche Aufgabenbereiche des öf-

fentlichen Vermessungs- und Katasterwesens einzuführen. Bis zum Abschluss des Umstellungsprozesses sind drei weitere Bezugssysteme gültig.

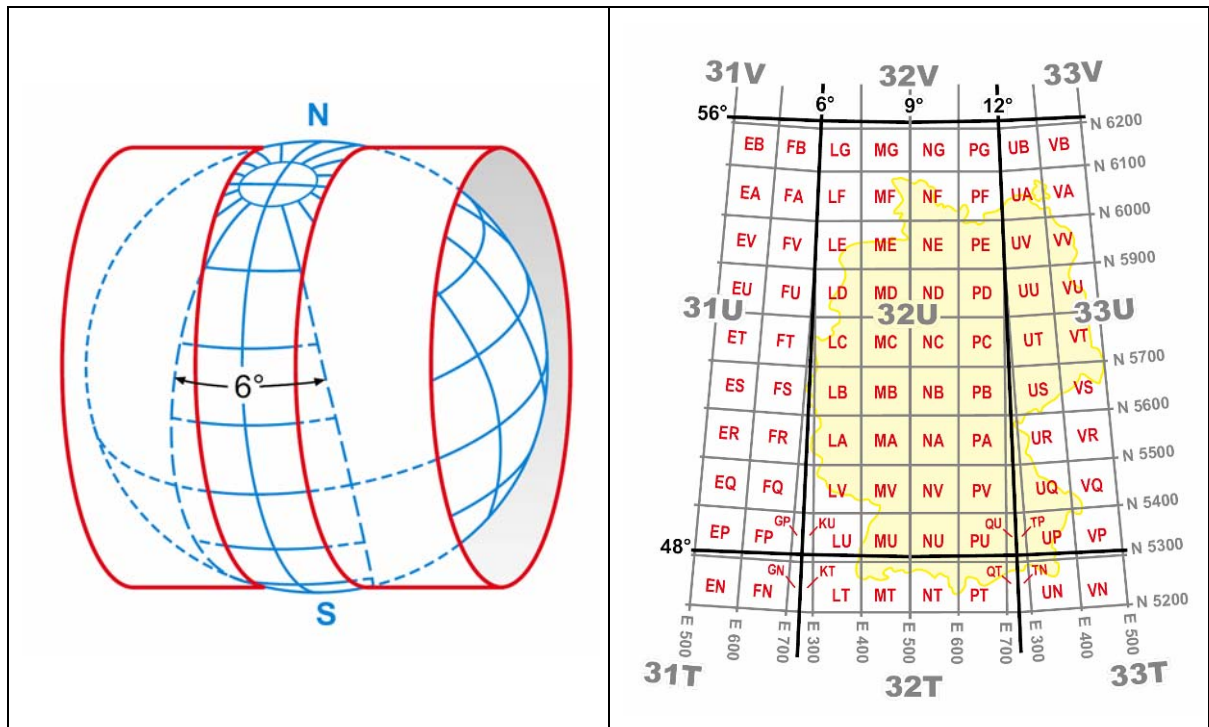


Bild 6.28: UTM-Koordinatensystem Deutschland (N.N., 2006)

- In den alten Bundesländern sowie im wiedervereinigten Deutschland gilt das Gauß-Krüger-System in drei Grad breiten Meridianstreifen (Potsdam Datum, Bessel Ellipsoid).
- Hinzu kommt für das Gebiet der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik das System 42/43, eine Gauß-Krüger Abbildung mit sechs Grad breiten Meridianstreifen (Pulkovo/St. Petersburg Datum, Krasskowski Ellipsoid) sowie
- im Bereich des Militärischen Geowesens das UTM-System (Europäisches Datum ED50, Internationaler Ellipsoid nach Hayford) (LANGE, 2006).

6.6.1.1 Der Schacht als Referenzpunkt

Für die Georeferenzierung dienen die Schachtdeckelkoordinaten als Referenzpunkt. Aufgrund der Tatsache, dass die Schächte sowohl mit dem Georadar leicht zu erkennen als auch durch die amtlichen Vermessungen als Koordinaten in den Katasterkarten sowie Kanaldatenbanken vorhanden sind, eignen sich diese Koordinaten gut für eine nachträgliche Georeferenzierung. Zu beachten sind jedoch die Lagegenauigkeitsangaben zu den Kartenobjekten. So existieren u.a. in den Baufachlichen Richtlinien Vermessung 99 (BFR Vermessung) nach BMVBS und BMVg (2006) genaue Vorschriften über die Messverfahren, das Erfassen der Objektgeometrie und Geländeoberfläche, Genauigkeit der Objekt-

vermessung sowie die Berechnungen zu Messergebnissen und deren Aufbereitung. Eine Lagegenauigkeitsklasse mit Bezug auf die BFR Vermessung befindet sich auch im ISYBAU-Austauschformat. Somit werden für Geometrien die Lagegenauigkeitsklassen mit Standardabweichungen der Lage (sL) von (BMVBW und BMVg, 2005) im ISYBAU-Austauschformat unterschieden:

OGL1: $0.050\text{m} < \text{sL} \leq 0.150\text{ m}$

OGL2: $0.015\text{m} < \text{sL} \leq 0.050\text{ m}$

OGL3: $\text{sL} \leq 0.015\text{ m}$.

Das ATV-Austauschformat hingegen differenziert zwischen digitalisierten, geschätzten und vermessen Koordinaten (ATV-DVWK, 2003a).

Bei einer Georeferenzierung ist auf die angegebene Klasse zu achten (WITTE und SCHMIDT, 1995). Sollten trotz der hohen Anforderungen an die Vermessung größere Lageabweichungen der Karteninformationen vorliegen, sind diese entsprechend zu beachten und zu dokumentieren.

Die Schachtdeckelkoordinaten bei der Aufzeichnung der Georadardaten können anhand unterschiedlicher Vorgehensweisen ermittelt werden. Zum einen können die aufgezeichneten Videos und ausgewerteten Radargramme zur Georeferenzierung verwendet werden, zum anderen ist der Einsatz von Transpondern, welche die Radiofrequenz-Identifikation (RFID) nutzen und sich im Schacht befinden, zu untersuchen. Die in der Kanaldatenbank hinterlegten Schachtkoordinaten sind eine weitere wichtige Angabe zum Abgleich der im Messfahrzeug gewonnenen Daten.

6.6.1.1.1 Video

Ein Video wird bei jeder Georadarmessung, die mit dem „Georail® Sprinter“ durchgeführt wird, aufgenommen (s. Abschnitt 3.1.3). Die GPS-Koordinaten werden mit der Aufnahme verschnitten und sind demzufolge auf dem Video zu erkennen. Mit der unter Abschnitt (5.1.2) erwähnten projektiven Transformation lassen sich solche gerasterten digitalen Bilder georeferenzieren. Für den praktischen Einsatz sollten jedoch die Aufzeichnung und die nachträgliche Verschneidung der Koordinaten mit den aus den Radargrammen erkannten Objekten weiterentwickelt werden. Der Schacht ist auf dem Video zwar gut erkennbar, dennoch sind die Koordinaten aus dem Video schlecht mit den Radargrammen zu verbinden.

Für eine erfolgreiche Transformation sollten die Koordinaten aus dem Video und den Radargrammen der gleichen Genauigkeit entsprechen. Da das Video aber entkoppelt von der Radargrammaufzeichnung betrieben wird, sind an dieser Stelle zusätzliche Abweichungen zu erwarten. Demzufolge wäre eine Kopplung des Videos an das Antennenarray

von Vorteil. Dies könnte durch ein optisches Merkmal wie z. B. eine horizontal angebrachte Messstange, welche im Video zu erkennen und mit den Antennen verbunden ist, erreicht werden. Damit würde auch sichergestellt, dass die frei bewegliche Antennenaufhängung trotz der durch das Fahrverhalten bedingten Schwingungsvorgänge einen Bezug zum Video hat. Ein weiterer Aspekt ist die Beweglichkeit der Kamera. Für die Georeferenzierung mit der Methode der zentralen Projektion darf sich das Zentrum – die Kamera – nicht verschieben. Sollte die Kamera aber durch Ab- und Aufbaumaßnahmen immer mit einem unterschiedlichen Winkel angebracht werden, kann eine solche Abweichung ohne Referenzpunkt im Video nicht kontrolliert werden. Zudem könnte sich die Perspektive während der Messung ebenfalls durch Erschütterungen oder ähnliche Probleme verändern, woraus sich zusätzliche Abweichungen innerhalb eines Messabschnittes ergeben könnten.

Durch einen zusätzlichen Referenzpunkt könnte dementsprechend das Antennenarray mit dem Video gekoppelt und Messtoleranzen könnten durch eine Überwachung der Kameraausrichtung vermieden werden.

6.6.1.1.2 *Transponder*

Transponder sind in der Lage, die von einer Sendestation ausgehenden Funksignale aufzunehmen und wieder abzustrahlen. Sie bieten eine weitere Möglichkeit zur Erfassung der Schachtdeckelkoordinaten. Hierbei wird die Radiofrequenz-Identifikation (RFID) eingesetzt, eine Technologie auf dem Gebiet der drahtlosen Kommunikation, mit deren Hilfe Objekte gekennzeichnet und identifiziert werden können. Durch einen Transponder werden Objekte eindeutig gekennzeichnet und mit einem Lesegerät wird der eindeutige Code ausgelesen. Dabei wird zwischen aktiven und passiven Transpondern unterschieden. Passive Transponder verfügen über keine eigene Energiequelle und werden über das Lesegerät mit Energie versorgt, welches über eine Antenne am Transponder als elektromagnetisches Feld eingespeist wird. Das elektromagnetische Signal wird im Transponder umgewandelt und wieder abgestrahlt. Nach der Umwandlung empfängt das Lesegerät das veränderte elektromagnetische Feld und analysiert die darin als Code enthaltene Objektkennzeichnung. Im Vergleich dazu verfügen aktive Transponder über eine eigene Energiequelle. Auch sie werden über ein vom Lesegerät ausgesendetes Signal aktiviert, senden aber danach ein elektromagnetisches Feld mit größerer Reichweite aus und sind, verglichen mit passiven Transpondern meist, teurer.

Durch die RFID Technologie kann bei den Georadaruntersuchungen die Schachtbezeichnung an den Georail® Sprinter übermittelt werden. Dann könnte sich Fahrer während der Messfahrt mit dem Georail® Sprinter an den Schachtdeckeln orientieren wobei eine zusätzliche Sendeeinheit das Transpondersignal ausliest. Mit dieser Vorgehensweise kann

sichergestellt werden, dass die vorgegebene Inspektionsroute eingehalten wird und zum anderen könnten die GPS-Koordinaten mit dem Eingang des Signals verschnitten werden und somit die Koordinaten für eine nachträgliche Georeferenzierung liefern. Bei diesem automatisierbaren Vorgang entfällt die Notwendigkeit einer nachträglichen Auswertung. Für den Fall, dass auf dem Inspektionsfahrzeug ein GIS mit den verwendeten Haltungskoordinaten verwendet wird, kann in einer online Auswertung der GPS-Koordinaten und der empfangenen Schachtinformationen zudem die abgefahrte Kanaltrasse kontrolliert werden. Die GPS-Spur wird für diesen Fall im GIS visualisiert und anhand der eingehenden Schachtdeckelinformationen über die Transponder gleichzeitig überprüft und korrigiert. Würde die GPS-Spur ohne zusätzliche Kontrolle für eine Überprüfung der abgefahrenen Route ausgewählt, könnten wegen der Abweichungen und Ausfälle beim GPS-Einsatz zusätzliche Fehler auftreten, die durch Einsatz der Transponder vermieden werden können.

Zum Einsatz können aktive Transponder mit einer Reichweite von bis zu 100 m kommen. Alternativ besteht die Einsatzmöglichkeit passiver Sender mit erhöhter Reichweite, die je nach Bauart bis zu 6 m senden können (RFID, 2006). Eine hohe Reichweite der Sender kann dazu führen, dass das Fahrzeug den Schacht zu früh erkennt und die somit ungenaue Position nicht mehr als Georeferenzierung verwendet werden kann. Aufgrund der Vielzahl von Bauformen, Frequenzbereichen, Sendereichweiten und der Kostendifferenzen zwischen aktiven und passiven Sendern ist für den Fall eines effizienten Einsatzes mit dem Georadarfahrzeug eine genauere Untersuchung notwendig.

6.6.1.1.3 Radargramm

Das Radargramm ist im direkten Vergleich der drei möglichen Verfahren die einfachste Methode. Da die Georadarobjektkoordinaten ebenfalls aus dem Radargramm entnommen werden, ist gewährleistet, dass die Abweichung aus den Objekt- und Schachtkoordinaten als konstant angenommen werden können. Der Schachtdeckel ist zudem durch seinen Metallgehalt im Radargramm leicht erkennbar und hinterlässt daher ein signifikantes Muster an der Oberfläche. Weiterhin können die Koordinaten mit der vorhandenen Auswertungssoftware ausgelesen werden und es bedarf keiner zusätzlichen Projektion, wie sie bei einer videobasierten Referenzierung notwendig ist. Durch die entkoppelte Lage zum GPS-Empfänger werden auch mit diesem Verfahren keine Lageveränderungen während des Messvorganges aufgezeichnet. Folglich ist zumindest durch den freihängenden Antennenarray mit kleinen Unstimmigkeiten in der Auswertung zu rechnen.

6.6.1.2 Transformationen

Koordinaten können anhand diverser Methoden transformiert werden, wobei die Transformationsmethode von der jeweiligen Problemstellung abhängt. In der folgenden Aufzählung wird eine Übersicht gebräuchlicher Verfahren zur Transformation gegeben deren Wirkungsweise in Bild 6.29 grafisch wiedergegeben ist:

- Passpunktbestimmung und Ausgleichsrechnung,
- affine Koordinatentransformation,
- Ähnlichkeitstransformation,
- Projektive Transformationen und
- Polynomische Transformation.

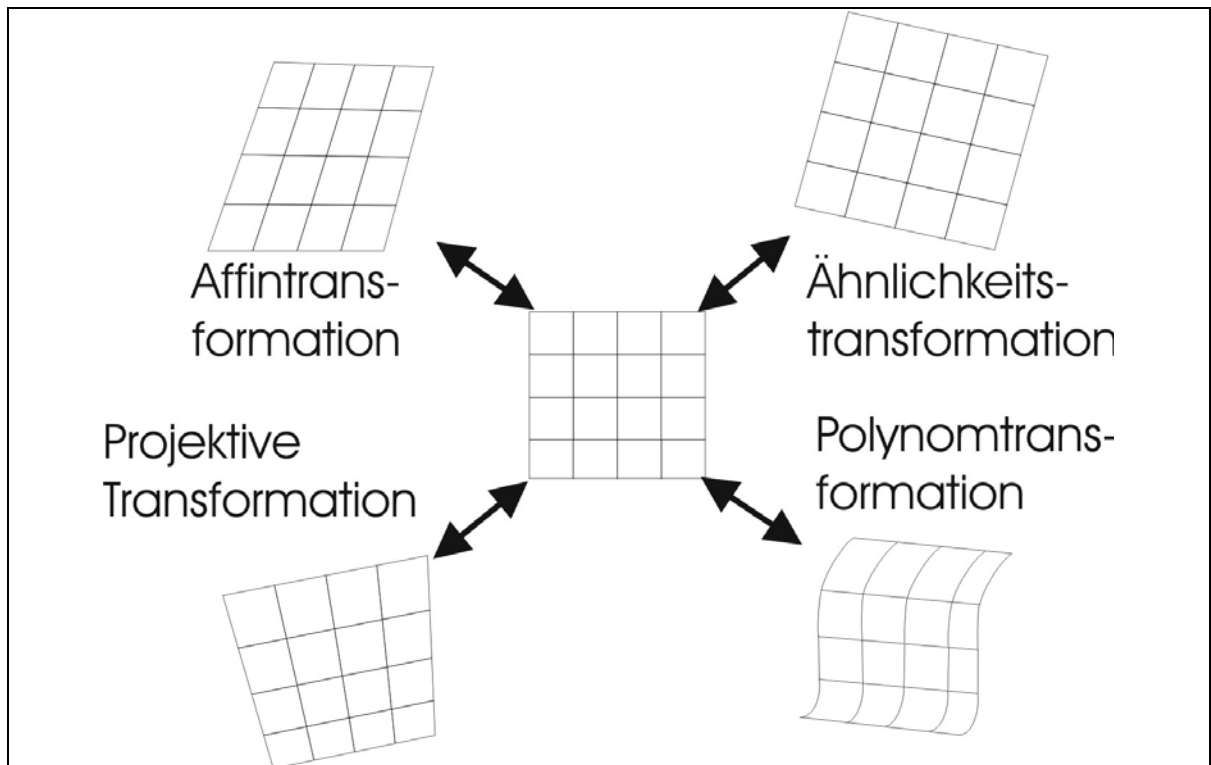


Bild 6.29: Koordiantentransformationen (LANGE, 2006)

In der Regel wird eine Georeferenzierung mit einer Passpunktbestimmung sowie anschließender Ausgleichsrechnung durchgeführt. Für diese Berechnungen werden in beiden Systemen Referenzpunkte bestimmt, die als Passpunkte dienen. Referenzpunkte sind im vorliegenden Fall die Schachtdeckelkoordinaten, da die Passpunkte für diesen Vorgang sowohl im Ausgangskordinatensystem als auch im Zielkordinatensystem bekannt sein müssen. Die Schächte sind durch die vektorisierten Katasterkarten sowie die Kanaldatenbank im Zielsystem bestimmt und lassen sich mit Hilfe der unter Abschnitt

6.6.1.1 beschriebenen Methoden auch im Ausgangskordinatensystem - den GPS-Koordinaten der Georadaruntersuchungen - ermitteln.

Bei der Passpunktbestimmung ist zwischen zwei verschiedenen Verfahren zu differenzieren. Ist die Anzahl der Referenzpunkte in beiden Systemen gleich, kann die Transformationsgleichung eindeutig durch die Bestimmung der Unbekannten gelöst werden und ist demzufolge die mathematisch einfachere Methode. Da in der Regel mehr Beobachtungspunkte vorliegen als erforderlich sind, ist das Gleichungssystem nicht mehr eindeutig bestimmt. Dies wäre der Fall, wenn z. B. für einen Schachtdeckel Passpunkte aus verschiedenen Quellen (Radargramm, Video und Transponder) vorliegen würden.

Bei dieser Problemstellung ist die Transformationsgleichung dahingehend zu lösen, dass die Abweichung δ für alle Passpunkte minimal wird. Lösungen bieten z. B. Ausgleichsrechnungen wie die Methode der kleinsten Fehlerquadrate. Die Fehlerabweichung kann minimiert werden, indem einzelne Passpunkte mit großen Ungenauigkeiten herausgenommen werden. Es ist jedoch auf eine möglichst optimale Verteilung der Passpunkte durch beispielsweise große räumliche Streuung zu achten. Aus dieser Gegensätzlichkeit ergibt sich, dass mit einer kleinen Fehlerabweichung nicht immer eine hohe Genauigkeit einhergeht (LANGE, 2006; SPEKTRUM, 2002).

Mit Passpunktbestimmung und Ausgleichsrechnung können alle ermittelten Objektkoordinaten in einem Messgebiet transformiert bzw. georeferenziert werden. Da der GPS Empfang im Untersuchungsgebiet aber lokale Abweichungen enthalten kann und nicht alle empfangenen Daten die gleiche Genauigkeit besitzen, kann es zu örtlichen Spannungen im Netz kommen. Um diese lokalen Spannungen zu minimieren, wird eine haltungsweise Betrachtung - von Schacht zu Schacht - für die Koordinatentransformation als sinnvolle Eingrenzung des Referenzgebietes erachtet.

In diesem Teilbereich, der sich lediglich auf die jeweilige Haltung bezieht, wird eine Überbestimmung der Punkte aus mehreren Quellen (Radargramm, Video oder Transponder) nicht berücksichtigt und nur die Daten aus den Radargrammen verwendet. Somit existieren im Ziel- und im Ausgangssystem je ein Koordinatenpaar für jeden Schachtdeckel.

Die möglichen Umformungen, die für die Referenzierung notwendig sind, setzen sich aus folgenden geometrischen Transformationen zusammen (BARTELME, 2005):

- einer Drehung (Rotation)
- einer Verschiebung (Translation) sowie
- einer Skalierung (Vergrößerung, Verkleinerung) in der Ebene und im Raum.

Diese Art der Umformung, mit der eine haltungsbezogene Betrachtung möglich ist, wird auch als Ähnlichkeitstransformation bezeichnet und gehört damit als Sonderfall zu den

affinen Transformationen. Bei der Ähnlichkeitstransformation wird im Unterschied zur affinen Transformation jedoch nur ein Maßstabsfaktor für den zweidimensionalen Fall verwendet. Dadurch bleibt die Grundfigur ähnlich. Aus einem Quadrat entsteht ein verkleinertes (vergrößertes) und verdrehtes Quadrat - eine ähnliche Figur. Entsprechend wird bei einer affinen Umformung aus einem Quadrat ein Parallelogramm und aus einem Kreis eine Ellipse (BARTELME, 2005).

Mathematisch kann eine affine Umformung mit nachstehender Matrizengleichung beschrieben werden (LANGE, 2006):

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} S_x & 0 \\ 0 & S_y \end{pmatrix}}_{\text{Maßstabsfaktoren}} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}}_{\text{Drehmatrix}} \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} + \underbrace{\begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix}}_{\text{Translation}} \quad (29)$$

Hierbei werden aus den Ausgangskordinaten (x', y') die Zielkoordinaten (x, y) berechnet. Um anstelle der affinen Transformation eine Ähnlichkeitstransformation durchzuführen, sind einzig die Maßstabsfaktoren äquivalent zu setzen und es gilt $(S_x = S_y)$.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der projektiven Transformation, die bei der Umwandlung von Koordinaten im Bereich der Photogrammetrie relevant ist. Die Projektionsstrahlen entspringen hierbei in der Regel einem festen Zentrum - z. B. der Kamera. Dieses Verfahren könnte im Bereich der Georeferenzierungen eingesetzt werden um die Koordinaten aus den Videoaufzeichnungen der Fahrzeugkamera (siehe Abschnitte 5.1.1.3 und 6.6.1.1.1) zu ermitteln.

Ergänzt werden diese Umformungen durch die polynomischen Transformation, welche eine nicht lineare Transformationen ermöglichen und sind unter anderem bei der oben erwähnten Passpunktbestimmung von Bedeutung.

6.6.2 Haltungszuordnung durch Polarkoordinaten

Für eine Visualisierung der mit dem Georadar erkannten Anomalien in einem Haltungsprotokoll ist es notwendig, die Gauß-Krüger-Koordinaten 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 und beinhaltet die folgenden Schritte:

- Überprüfung der Objektzugehörigkeit,
- Berechnung der Station, Entfernung und Richtung eines Objektes sowie
- Zuordnung der Objektinformation in der Haltungszustandstabelle.

In einem ersten Schritt wird die Zuordnung der Anomalie zur jeweiligen Haltung überprüft, da es während der Auswertung der einzelnen Radargramme nicht immer möglich ist, das Objekt den Haltungen zuzuordnen, die in der Reichweite des Schadenspotenzials eines Objektes liegen. Probleme stellen sich häufig in der Nähe von Schächten, aber auch bei Kanalisationen mit Trennsystem ein. Fehler, die durch die Koordinateneingabe an dieser Stelle auftreten, werden durch die Überprüfung der Objektzugehörigkeit nachträglich korrigiert. Zudem soll jedes Georadarobjekt aus Gründen der Konsistenz nur einmal erfasst werden.

Für eine erste Näherung werden alle Objekte, die sich in einem Abstand bis zu 5 m von einer Haltung befinden, dieser Haltung zugeordnet. Der Radius von 5 m 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. Dementsprechend kann der Radius bei weiteren Untersuchungen gezielt angepasst werden, um beispielsweise verschiedene Objektarten (Hohlräume, Inhomogenitäten oder Schachtdeckel), die erkannt werden, unterschiedliche Einflussbereiche zuzuordnen. Somit werden die Objekte auf die Haltungen beschränkt, die im potenziellen Einflussbereich z. B. eines Hohlraumes liegen und die haltungsbezogene Sanierungsplanung nicht von zusätzlichen irrelevanten Informationen beeinträchtigt, die von überflüssigen Objekten ausgehen. Ferner wird bei vorhandenen Trennsystemen ein Objekt jeweils den 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.

Die Zuordnung der Objekte erfolgt mit Hilfe der PostGIS Funktionen. Diese bestimmen die Entfernung der Georadarobjekte zu den vorhandenen Haltungen und ordnet das Objekt der Haltung in einem Umkreis von 5 m zu.

Im zweiten Schritt werden die Polarkoordinaten berechnet, womit die Station und die Entfernung zur Haltung ermittelt werden (s. Bild 6.30).

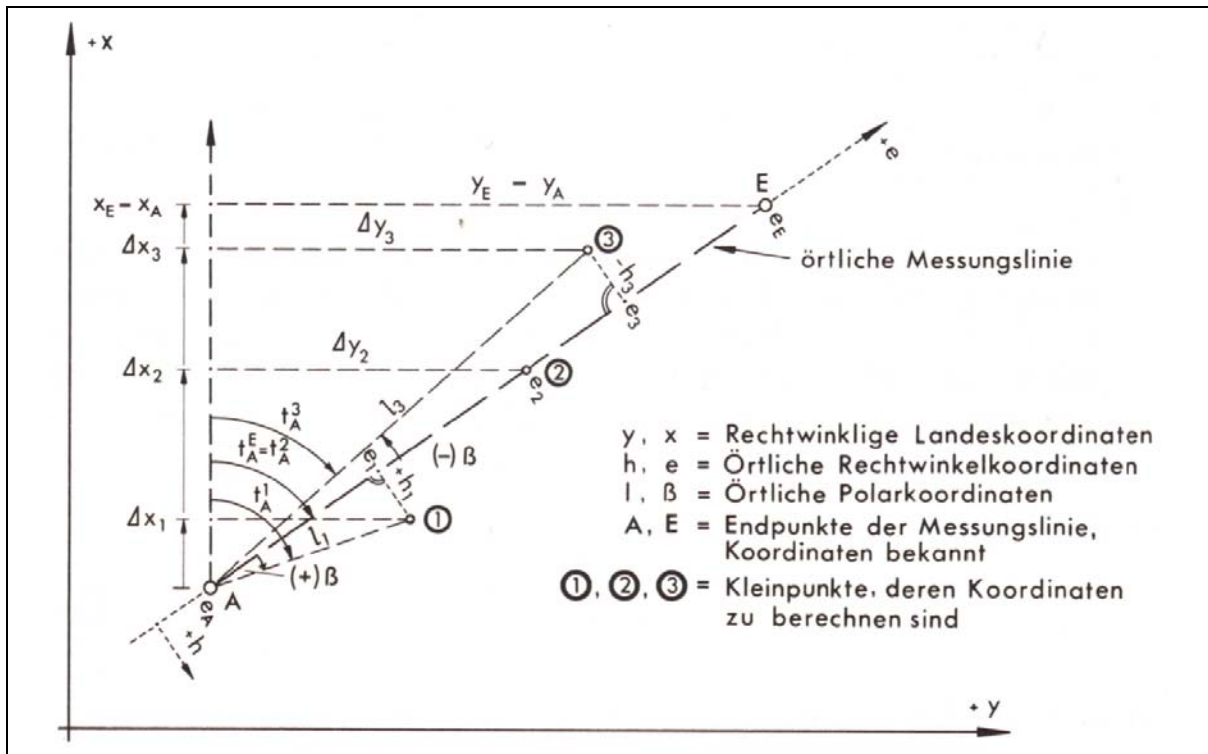


Bild 6.30: Polarkoordinatenberechnung (WITTE und SCHMIDT, 1995)

Zunächst muss der Richtungswinkel der Haltungsachse $\overline{AE}$ bestimmt werden. Der Punkt A beschreibt den Startpunkt der Haltung und ist „in“ Fließrichtung orientiert und der Punkt E ist der zugehörige Endpunkt.

$$t_A^E = \arctan \frac{y_E - y_A}{x_E - x_A} \quad (30)$$

Danach werden die Richtungswinkel der einzelnen Georadarobjekte ermittelt. Als Bezugspunkt dient der Ausgangspunkt A. Die Berechnung kann bei einer Betrachtung „gegen“ die Fließrichtung analog zu Punkt E durchgeführt werden, allerdings ändert sich die Stationierung der Punkte im Haltungsprotokoll. Die Bezugspunkte werden geschickt gewählt womit die Stationen aus den TV-Inspektionen nicht angepasst werden und zusätzliche Fehler vermieden werden. Sind keine Vorgaben durch die TV-Inspektion vorhanden, sollte nach ATV-DVWK (1989) in Fließrichtung dokumentiert werden. Die Inspektionsrichtung kann nachträglich geändert werden, dann müssen jedoch alle vermerkten Positionen und Angaben über die Lage der jeweiligen Schäden angepasst werden.

$$t_A^i = \arctan \frac{y_i - y_A}{x_i - x_A} \quad (31)$$

Nach Ermittlung der Richtungswinkel können in einem weiteren Schritt die Entfernungen $\overline{AP_i}$ der einzelnen Objekte angegeben werden.

$$\overline{AP} = \sqrt{(y_{P_i} - y_A)^2 + (x_{P_i} - x_A)^2} \quad (32)$$

Aus den Richtungswinkeln wird schließlich der Winkel t_A^i vom Ausgangspunkt A zum Objektpunkt P_i bestimmt.

$$\alpha_A^i = t_A^E - t_A^i \quad (33)$$

Damit sind alle erforderlichen Größen für die endgültigen Stationen und Entfernungen der einzelnen Objekte zu den Haltungen bekannt. Diese sind beispielhaft für eine Haltung in Bild 6.31 dargestellt.

$$\text{Station} = \left| \cos(\alpha_A^i) \cdot \overline{AP_i} \right| \quad (34)$$

$$\text{Entfernung} = \left| \sin(\alpha_A^i) \cdot \overline{AP_i} \right| \quad (35)$$

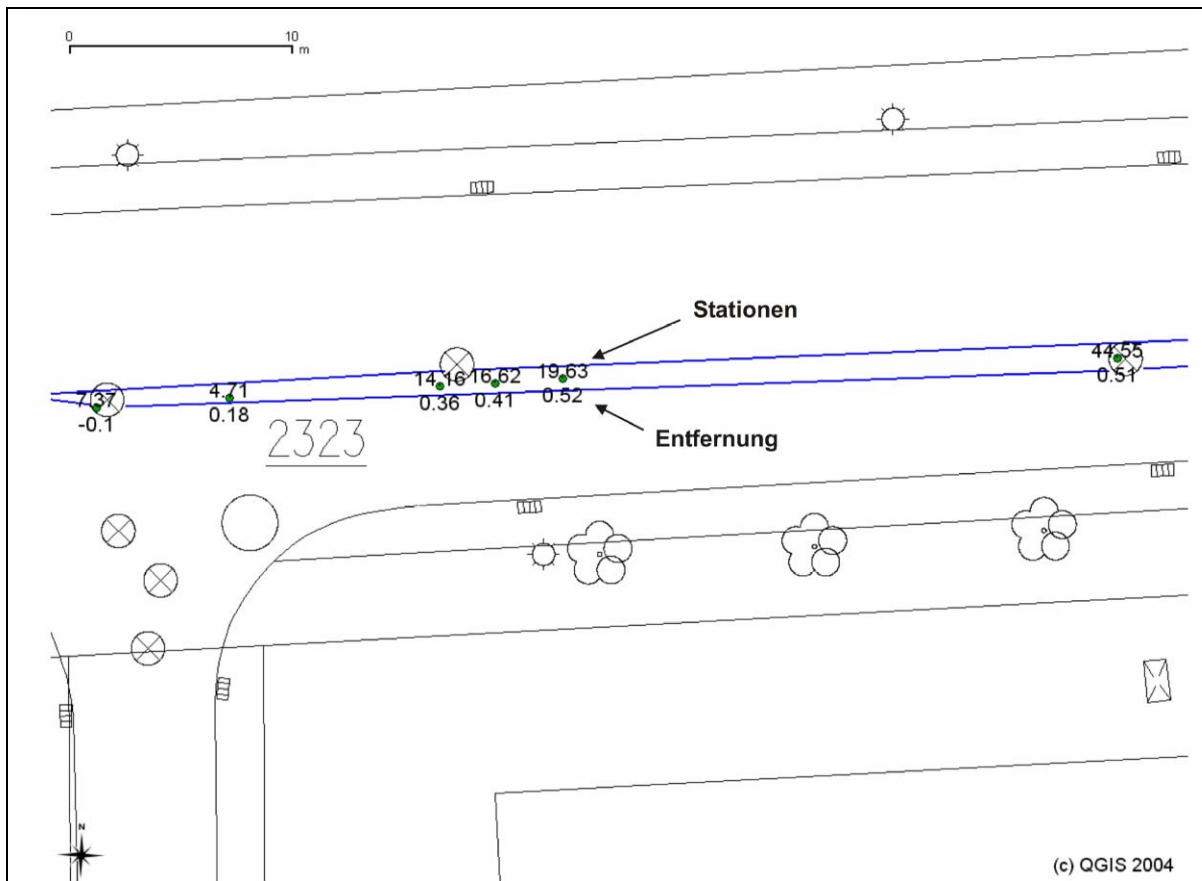


Bild 6.31: Stations- und Polarkoordinatenberechnung

Für eine vollständige Lagebeschreibung ist die Position des Objektes als Zifferblattreferenz in Bezug auf den Umfang der Haltung anzugeben. Die Bestimmung der Zifferblattangabe berechnet sich durch den Winkel, der vom Querschnittsmittelpunkt ausgeht und ist in der Regel der Schnittpunkt der sich aus den Geraden auf halber Höhe und halber Breite der Haltung ergibt. Da bei den Georadaruntersuchungen im Unterschied zur TV-

Inspektion die aus dem Rohr heraus erfolgt, die Lage nicht eindeutig ermittelt werden kann, wird als Querschnittsbreite die Achse der jeweiligen Haltung genommen und als Querschnittshöhe die Sohlenhöhe über NN zuzüglich der halben Profilhöhe der Haltung. Der so berechnete Mittelpunkt bildet das Zentrum für die im Anschluss nach Tabelle (12) angegebene Zifferblattreferenz.

Diese Ergebnisse werden zu jeder Haltung mit den entsprechenden Inspektionsdaten in die Haltungsinspektionstabelle HI und die Haltungszustandstabelle HZ zu übertragen.

Tabelle 6.11: Zifferblattreferenzen (ATV-DVWK, 2003b)

Winkel (Grad)	Zifferblattreferenz
0 ± 15	12
30 ± 15	01
60 ± 15	02
90 ± 15	03
120 ± 15	04
150 ± 15	05
180 ± 15	06
210 ± 15	07
240 ± 15	08
270 ± 15	09
300 ± 15	10
330 ± 15	11
360 ± 15	12

6.7 Visualisierung

Die Aufgabe einer wissenschaftlich-technischen Visualisierung ist die Ermöglichung einer effektiven Auswertung durch eine geeignete Präsentation gegebener Datenmengen. Mit Hilfe der Visualisierung sollen Dinge realitätsgetreu wiedergegeben werden. Die Visualisierung vermittelt dem Anwender die Fähigkeit, Zusammenhänge zu erfassen, zu begreifen und zu bewerten. So sollen im Ingenieur- und Wissenschaftsbereich die Analyse, das Verständnis und die Kommunikation von Modellen, Konzepten und Daten vereinfacht werden. Dabei hängt die Qualität einer Visualisierung von verschiedenen Einflussfaktoren ab, die durch (SCHUMANN, 2000) als

- „die Art und Struktur der Daten,
zum Beispiel Typ der Daten sowie Dimensionen und Struktur des Beobachtungsbereiches,
- das Bearbeitungsziel der Visualisierung,
beispielsweise Überblick, Detailanalyse oder Ergebnispräsentation für Dritte,
- das Vorwissen des Anwenders/ Betrachters,
er ist zum Beispiel ein Laie, ein Entscheider oder ein Planer,
- die visuellen Fähigkeiten und Vorlieben des Betrachters,
ist er etwa farbenblind oder hat er spezielle Farbpräferenzen,
- übliche Metaphern des Anwendungsgebietes/ Konventionen,
wie zum Beispiel übliche Symbole oder übliche Darstellungsformen, sowie
- die Charakteristika des Darstellungsmediums,
wie Auflösung, Anzahl der darstellbaren Farben und Rechenleistung“

beschrieben werden.

Neben den qualitativen Einflussgrößen ist es darüber hinaus sinnvoll, allgemeine Aspekte wie die Expressivität, die Effektivität sowie die Angemessenheit einer visualisierten Datenmenge zu betrachten.

Unter Expressivität oder auch Ausdrucksfähigkeit wird dabei eine möglichst unverfälschte Darstellung einer Datenmenge, die nur tatsächlich enthaltene Informationen wiedergibt, verstanden. Expressivität ist demzufolge eine Grundvoraussetzung jeder Visualisierung.

Die Effektivität beschreibt die Fähigkeit einer Darstellung, die optimale Ausnutzung der Zielsetzung und des Anwendungskontextes in Bezug auf die Voraussetzungen des Betrachters und der Beschaffenheit des Ausgabegerätes zu berücksichtigen.

Die Angemessenheit hingegen beachtet den Nutzen sowie den Aufwand einer Visualisierung und den damit verbundenen Kosten. Da die Entwicklung einer effektiven Darstellung auch in Kosten ausgedrückt werden kann, sind in der Praxis Effektivität und Angemessenheit miteinander verknüpft. Unangemessene Darstellungen, die mit hohem Aufwand erstellt wurden, sind demzufolge nicht effektiv (SCHUMANN, 2000).

6.7.1 Darstellungsmöglichkeiten

Unter Beachtung der oben erläuterten Einflussgrößen werden in den folgenden Abschnitten verschiedene Darstellungsmöglichkeiten der Georadarauswertungen vorgestellt und diskutiert.

6.7.1.1 3-dimensionale Darstellungsform

Die einzelnen Scans des Antennenarray stellen die Grundlage der Georadaruntersuchungen dar, die mit Hilfe entsprechender Software 3-dimensional aufbereitet werden können. Dadurch ist es möglich, die erkannten Objekte aus den Radargrammen über geeignete Filtermethoden zu extrahieren. In Bild 6.32 und Bild 6.33 werden zwei verschiedene Darstellungsmöglichkeiten am Beispiel von Radargrammen des Versuchsfeldes gezeigt. Bild 6.32 veranschaulicht einen Schnitt durch ein Radargramm, Bild 6.33 hingegen visualisiert herausgefilterte künstliche Störkörper.

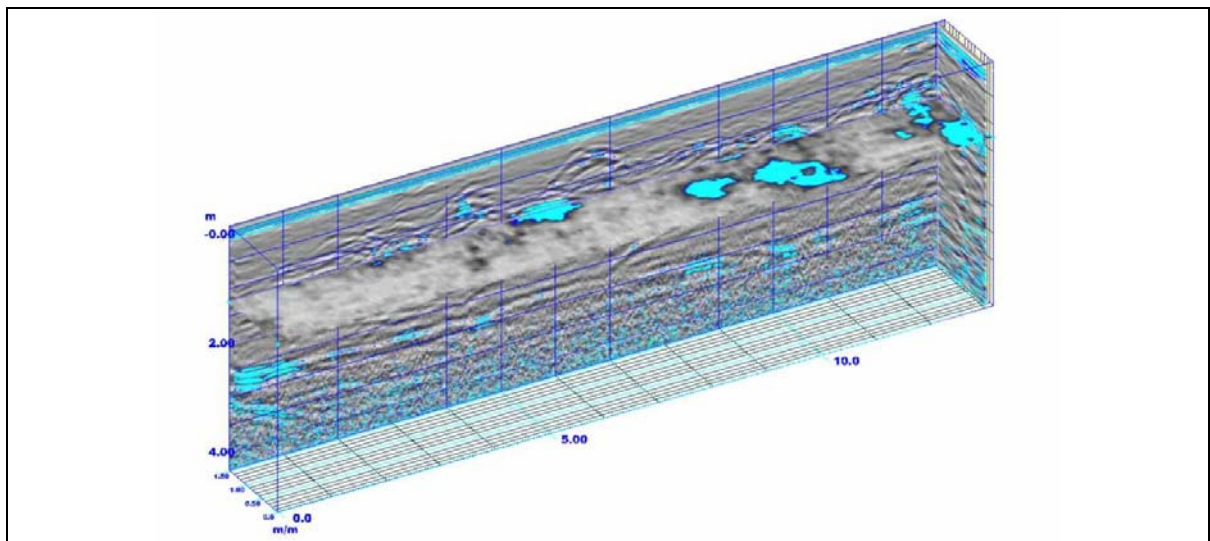


Bild 6.32: 3-D Radargramm: Schnitt durch das Radargramm

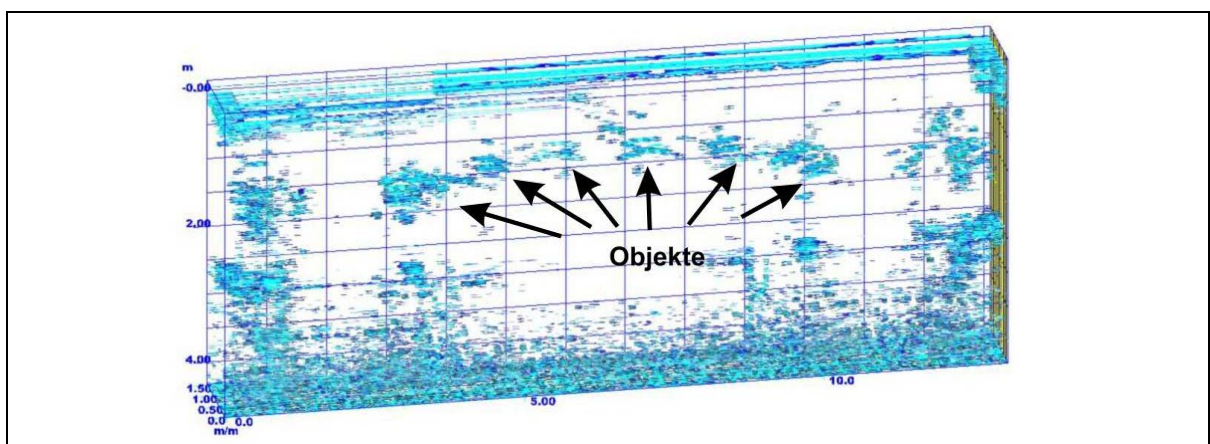


Bild 6.33: 3-D Radargramm: Herausgefilterte Objekte

Trotz der hohen Auflösung und der für Radargramme aufwendigen 3-dimensionalen Visualisierung bieten diese Darstellungsmöglichkeiten einige Nachteile. Zwar sind hinsichtlich der Expressivität die Kriterien erfüllt, da nur die von den Radargrammdaten gewonnene Information wiedergegeben wird, jedoch ist die Effektivität bezgl. einer Auswertung der Signaturen in den Radargrammen ungenügend. Ohne das entsprechende Fachwissen ist

es für den Betrachter unmöglich die Darstellung zu interpretieren (s. Abschnitt 3.3), da durch zusätzliche Störungen in den Radargrammen, die teilweise unter Abschnitt (2.3.3) vorgestellt wurden, Reflexionsmuster auftreten, die ohne qualifizierte Kenntnis nicht gedeutet werden können. Infolgedessen ist auf Basis dieser Visualisierungsform die Planung einer Sanierungsmaßnahme nur schwer durchführbar. Daneben sind die Abbildungen unvorteilhaft in Bezug auf einen ersten Überblick der detektierten Objekte. In diesem Fall wären auch eine 1- oder 2-dimensionale Darstellungen solcher Radargramme (s. Bild 3.9) nicht vorteilhafter, um die oben aufgeführten Mängel und Probleme zu beheben.

Hier ist eine Darstellung vorzuziehen, die die Objekte idealisiert in Form von geometrischen Figuren wie Ellipsoiden oder Quadraten darstellt (s. Bild 6.34). Um eine Darstellung von Haltungen zu ermöglichen, könnten zylinderförmige Objekte eingefügt werden. Eine solche Visualisierung wird aber ebenfalls im Vergleich zur reinen Radargrammform als wenig angemessen und effektiv beurteilt.

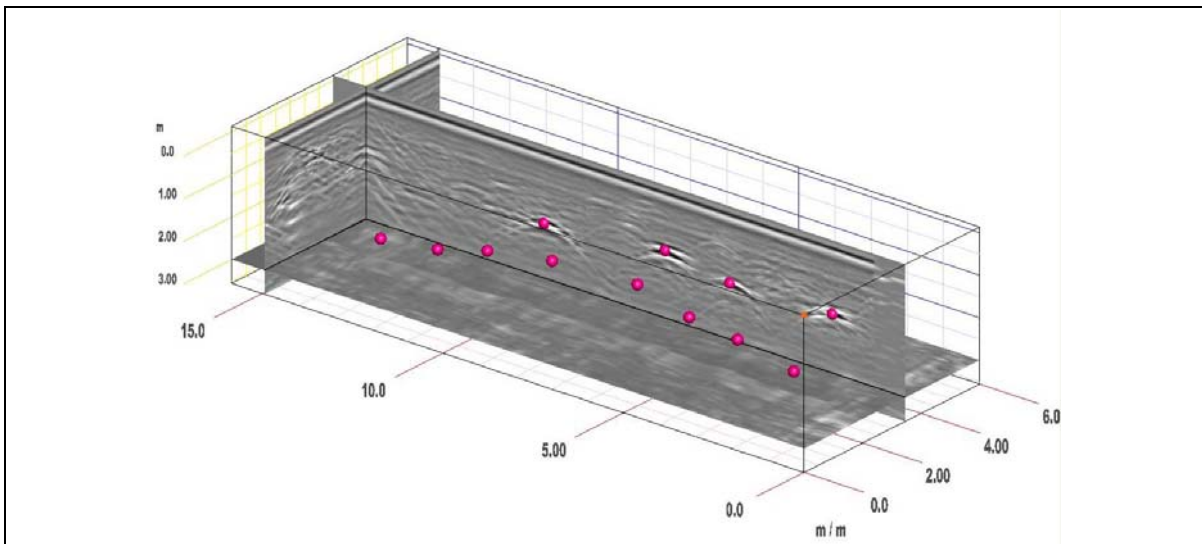


Bild 6.34: Radargramm des Versuchsfeldes mit eingezeichneten Anomalien

6.7.1.2 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 sind die Radargramminformation in eine 2-dimensionale Darstellung zu übertragen und die kreisförmigen Objekte in bestehende Pläne zu übertragen. Der in Bild 6.35 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. So bietet diese Form im Vergleich zur Radargrammdarstellung ein größeres Maß an Ausdrucksfähigkeit, Effektivität und Angemessenheit.

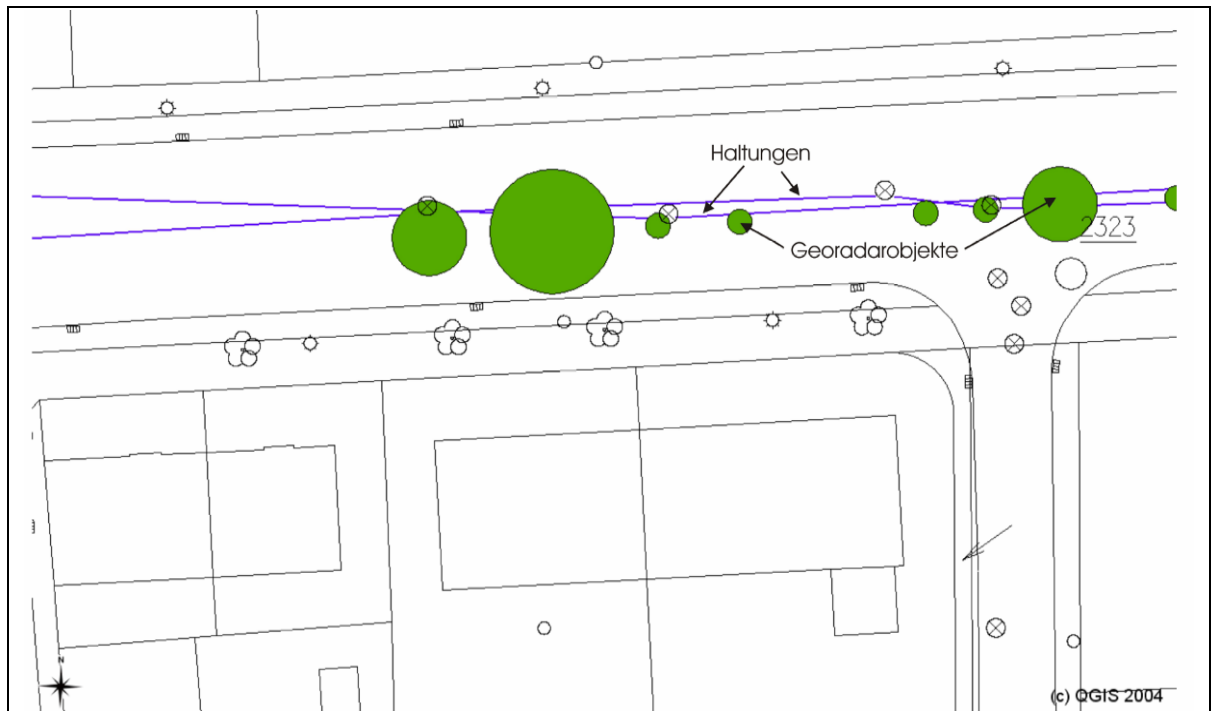


Bild 6.35: Idealisierte 2-D Darstellung

6.7.1.3 1-dimensionale Darstellungsform

Eine dritte Form der Darstellung (s. Bild 6.36) ist die haltungsbezogene 1-dimensionale Form. 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. Sie ermöglicht eine haltungsbezogene Detailanalyse im Kontext der üblichen Schadensbeschreibung bei Abwasserkanälen. In Verbindung mit der unter Abschnitt 6.1.2 vorgestellten 2-dimensionalen Darstellungsart bietet die expressive, effektive und angemessene eindimensionale Visualisierung die Option, sowohl einen schnellen und informativen Überblick zu gewinnen als auch eine detaillierte Analyse, die das Verständnis und die Kommunikation der Georadarauswertungen erleichtern.

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 6.36: Haltungsinspektionsprotokoll

6.7.2 Visualisierungssoftware

Als Visualisierungssoftware kann eine Reihe von Produkten verwendet werden. Durch die Vielzahl der Kanalinformationssysteme, die auf dem Markt vorhanden sind und die damit verbundenen Geoinformationssysteme (MapInfo, ArcView, etc.) sowie verschiedene Computer Aided Design (CAD) Programme (AutoCAD, etc.) ist auf eine möglichst flexible Gestaltung der Daten zu achten. Eine Übertragung der Daten in die bekannten Softwareanwendungen ist durch einfache Geometrieformen, wie in Bild 6.37 dargestellt, möglich.

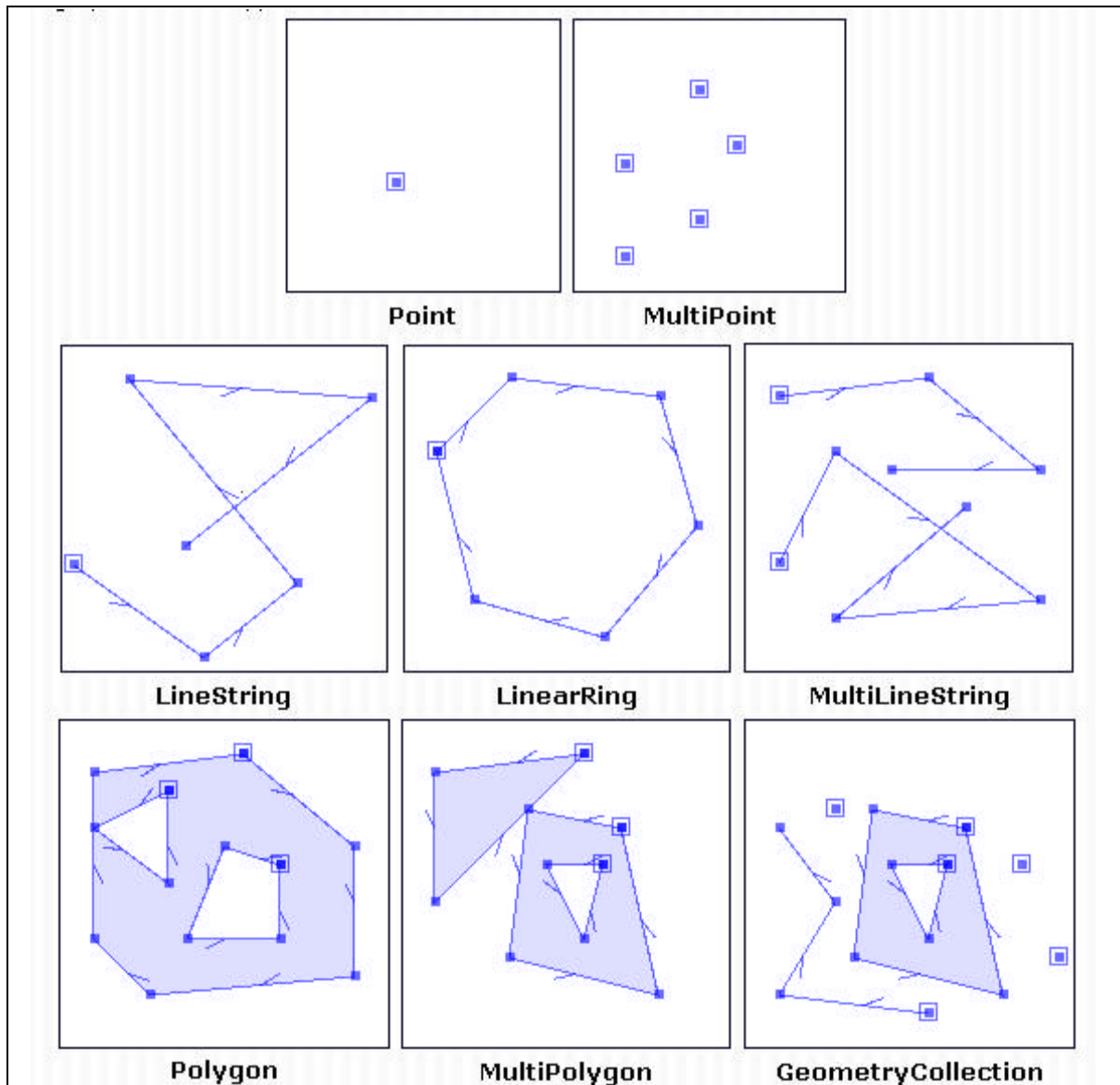


Bild 6.37: Geometrietypen

Eine zusätzliche Visualisierungssoftware, wie sie beispielsweise für die Darstellung der Radargramme notwendig wäre, entfällt. Bei dieser Variante besteht durch die interoperable Nutzungsmöglichkeit des unter Abschnitt 4 vorgestellten GML-Formats die Option, die Visualisierung in einem Dateiformat zu speichern, das aufgrund der genormten Standards in andere Formate konvertiert werden kann. (VIVID, 2006)

7 Wirtschaftliche Aspekte des Georadars

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 7.1). Die Rammsondierungen dienen zur Verifizierung der Georadarmessung und werden nicht flächendeckend, sondern nach Bedarf vorgenommen.

Tabelle 7.1: Kosten der Georadaruntersuchung

	Messung (incl. Auf- und Abbau, ca. 10 km/d)	Auswertung und Darstellung	Rammsondierung (ca. 5 m tief)
Kosten	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.

Als Vergleichswert können die Kosten für die Inspektion, Kanalreinigung, TV-Inspektion und Zustandsbewertung mit ca. 5,0 €/m angesetzt werden (JUNG, 2005). Somit liegen die Kosten der Georadaruntersuchung bereits jetzt etwa in der gleichen Größenordnung wie die TV-Kanalinspektion.

8 Konsequenzen für den Einsatz des Georadars

Konsequenzen der Georadaruntersuchungen gehen aus verschiedenen Handlungsfeldern hervor. Zum einen sind die rechtlichen Folgen der Ergebnisse der Georadaruntersuchungen zu berücksichtigen, zum anderen können sich die Ergebnisse teilweise auf die Einstufung der Sanierungsdringlichkeit sowie auf mögliche Sanierungsverfahren auswirken.

Im Folgenden werden diese Auswirkungen näher beschrieben.

8.1 Rechtliche Konsequenzen

Die rechtlichen Konsequenzen der Georadaruntersuchungen lassen sich für den Kanalnetzbetreiber in folgende drei Bereiche unterteilen, die Auswirkungen auf

- die Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen bei der offenen Erneuerung von Kanalisationen,
- die Abnahme und Mängelhaftung bei neu verlegten Abwasserleitungen sowie
- vereinzelte Risikobetrachtungen für Leitungen mit erhöhtem Handlungsbedarf aus Sicht der statischen Lagerungsfähigkeit

haben.

Bei öffentlich ausgeschriebenen Kanalbaumaßnahmen nach der Vergabe und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) sind in der Leistungsbeschreibung (s. VOB Teil C) nach den Erfordernissen des Einzelfalls u. a. Angaben zur Baustelle aufzuführen. Für den Detektionsbereich des Georadars sind daher folgende Abschnitte näher zu betrachten und Informationen anzugeben über:

- Bodenverhältnisse, Baugrund und seine Tragfähigkeit. Ergebnisse von Bodenuntersuchungen (VOB Teil C Abschnitt 0.1.7).
- Hydrologische Werte von Grundwasser und Gewässern. Art, Lage, Abfluss, Abflussvermögen und Hochwasserverhältnisse von Vorflutern. Ergebnisse von Wasseranalysen (VOB Teil C Abschnitt 0.1.8).
- Im Baugelände vorhandene Anlagen, insbesondere Abwasser- und Versorgungsleitungen (VOB Teil C Abschnitt 0.1.13).
- Bekannte oder vermutete Hindernisse im Bereich der Baustelle, z. B. Leitungen, Kabel, Dräne, Kanäle, Bauwerksreste und, soweit bekannt, deren Eigentümer (VOB Teil C Abschnitt 0.1.14).
- Vermutete Kampfmittel im Bereich der Baustelle, Ergebnisse von Erkundungs- oder Beräumungsmaßnahmen (VOB Teil C Abschnitt 0.1.15).

Von diesen genannten Punkten sind für das Einsatzgebiet des Georadars insbesondere die Bodenverhältnisse (VOB Teil C Abschnitt 0.1.7) von Interesse.

Durch die Georadaruntersuchung ist es möglich, Bereiche mit unzureichender Tragfähigkeit oder sogar Hohlräumen zu erkennen. Diese Baugrundverhältnisse sind bei Kanalbaumaßnahmen von besonderer Bedeutung, da beispielsweise durch Radbagger hohe Punktlasten als Folge von Transportvorgängen auftreten können, die bei Lagerungsdefekten und Hohlräumen ein Einsacken oder sogar Umstürzen des Baggers zur Folge haben können. Entsprechende einfache Maßnahmen z. B. Stahlplatten zur Lastverteilung könnten solche Unfälle und die Gefahr von potenziellen Personenschäden verhindern. Die eventuellen Schadensersatzansprüche, die aus derartigen Unfällen entstehen, hat in der Regel der Auftraggeber aufgrund des Baugrundrisikos zu tragen.

Ebenso können Georadaruntersuchungen den Kanalnetzbetreiber bei der Abnahme von Bauleistungen unterstützen. Nach Nr. 1 VOB Teil B „hat der Auftragnehmer dem Auftraggeber seine Leistung zum Zeitpunkt der Abnahme frei von Sachmängeln zu verschaffen“. Da bisher eine Untersuchung des gesamten Bauwerks sowie der Leitungszone bei einer Abnahme nur schwer möglich war, bietet das Georadar eine bessere Kontrolle der Mängelfreiheit. Diese zusätzlich durchführbaren Untersuchungen können eine TV-Inspektion ergänzen und sind wie die TV-Inspektion aus dem Kanal heraus vorzunehmen.

Eine Untersuchung sollte primär den Nahbereich einer Haltung analysieren und auf eventuelle Lagerungsdefekte im Bereich der Bettung hinweisen sowie das Rohr-Boden System inspizieren. Dies ist mit einer geophysikalischen Messung von der Oberfläche aus schwer möglich und liefert weniger präzise Ergebnisse.

Für eine Risikobetrachtung kann das Georadar im Bereich gefährdeter Haltungsabschnitte eingesetzt werden, welche vorzugsweise im Bereich undichter Stellen in Grundwasser oder Grundwasserwechselzonen zu finden sind. In Kombination mit beispielsweise nicht fachgerecht ausgeführten Stützen oder undichten Muffen ist von einer erhöhten Gefährdung auszugehen (HARTMANN, 2006). Von DOHMANN und HENNERKES (2004) wurde ein Konzept entwickelt, das eine Einstufung der als kritisch betrachteten Haltungen untersucht und in einer Rangliste bewertet (s. Bild 8.1).

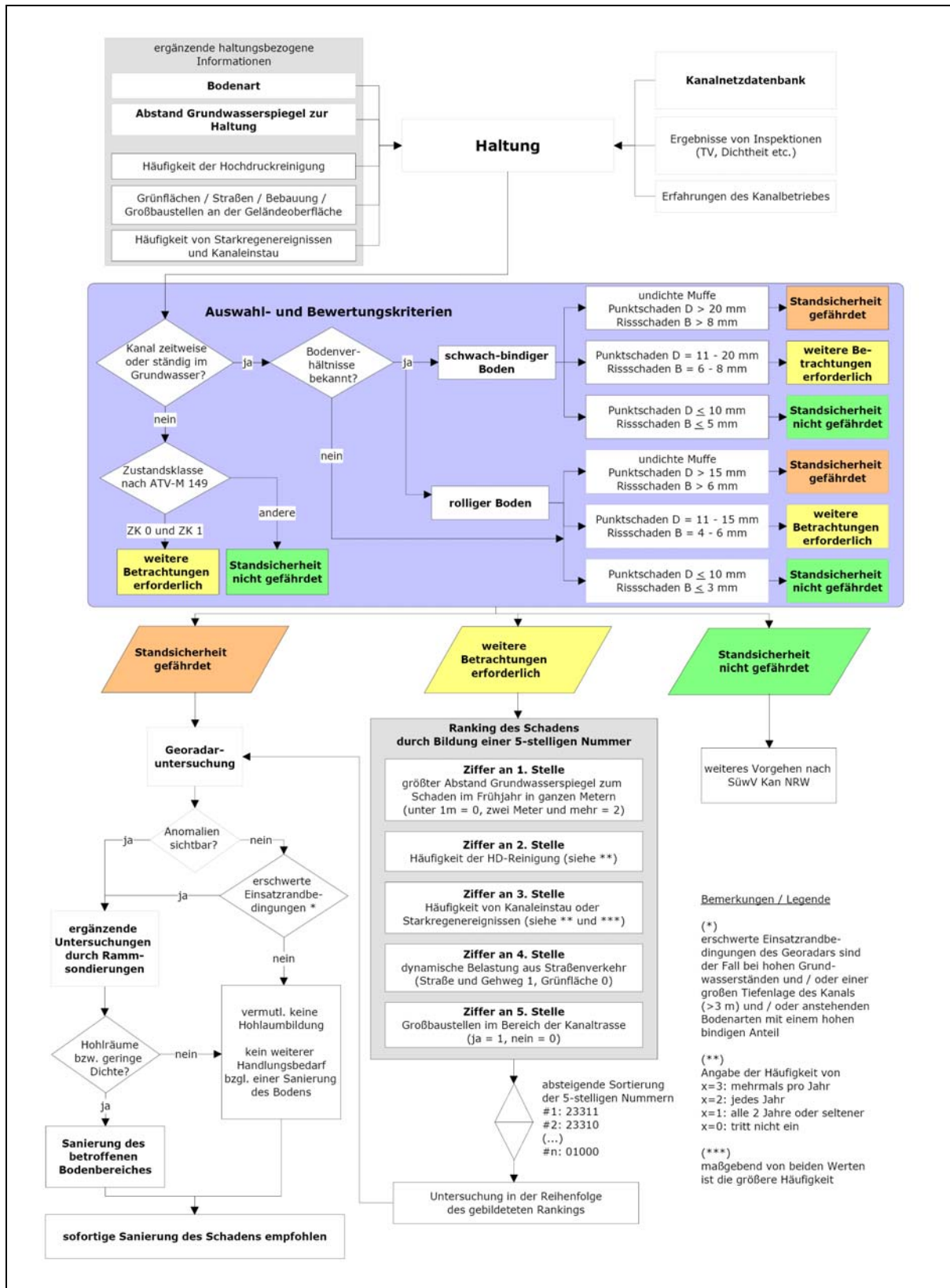


Bild 8.1: Vorgehensweise zur Beurteilung der Standsicherheit auf der Basis beobachteter Schäden an Abwasserkanälen (DOHMANN und HENNERKES, 2004)

Bei diesem Verfahren sollte jedoch beachtet werden, dass eine theoretische Betrachtung die Situation vor Ort nicht immer korrekt wiedergibt und es auch an anderen Stellen zur Hohlraumbildung kommen kann. Außerdem werden die Boden- und Grundwasserverhältnisse für eine Anwendung des Konzeptes als bekannt vorausgesetzt welches ohne diese Information nur bedingt angewendet werden kann. Bei Bedarf können die örtlichen Verhältnisse aus Baugrundgutachten oder bei den Bezirksregierungen bzw. dem Geologischen Dienst NRW angefragt werden. Ferner werden einzelne Schadenstypen zusammengefasst. Kreisförmige Schäden wie Scherben sind unter dem Begriff Punktschäden aufgeführt, undichte Hausanschlussanbindungen können in die Gruppe der Muffen integriert werden.

Bei Risikobetrachtungen wirken sich Voruntersuchungen mit dem Georadar teilweise auf die Sanierungsmaßnahmen aus. Sollen beispielsweise im Zuge einer Neuverlegung alte Haltungsstränge still gelegt werden und mit Dämmerbeton verpresst werden, ist zu überprüfen, ob durch zusätzliche Injektionen Lagerungsdefekte und Hohlräume stabilisiert werden können, um eine Gefährdung der neuen Kanaltrasse sowie des umgebenden Bodenkörpers auszuschließen.

Weiterhin können bei Georadaruntersuchungen Probleme bei der Kostenübernahme auftreten. Hohlräume die nicht in nächster Nähe zum Kanal detektiert werden, können auch auf eine unsachgemäße Bauausführung im Straßenbau hinweisen. 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.

Aufgrund der aufgeführten zusätzlichen Kenntnisse durch Georadaruntersuchungen und der sich daraus ergebenden Konsequenzen, wird eine Vernachlässigung dieser Informationen kritisch betrachtet.

8.2 Konsequenzen für die Sanierung

Nach DIN EN 752 Teil 5 (DIN EN 752, 1997) werden unter einer Sanierung alle Maßnahmen verstanden, die ein Entwässerungssystem wiederherstellen oder verbessern und sich dabei auf hydraulische und bauliche Mängel sowie auf umweltrelevante Wirkungen beziehen.

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

8.2.1 Sanierungsdringlichkeit

Die Sanierungsdringlichkeit richtet sich nach der Priorität, nach der eine Sanierungsmaßnahme durchgeführt werden soll und berücksichtigt dabei bauliche, hydraulische sowie betriebliche Aspekte. Die Reihenfolge der Maßnahmen basiert auf Zustandsklassifizierungen oder Zustandsbewertungsmodellen (STEIN, 1999). Je nach Zustand des Entwässerungssystems müssen Sofortmaßnahmen eingeleitet werden. Dazu zählen insbesondere Situationen bei denen die ordnungsgemäße Lagerungsfähigkeit und damit die statische Funktion des Rohrkörpers durch

- Grundwassereinbruch mit Bodeneintrag,
- Hohlraumfeststellung im Kanalbereich oder
- Straßeneinbruch im Kanalbereich

gefährdet ist und die in den Detektionsbereich des Georadars fallen.

Da bzgl. der Georadaruntersuchungen jedoch noch keine Bewertung nach

- Schadensart,
- Schadensstelle,
- Schadenausmaß sowie
- Schadensanzahl

stattgefunden hat, ist die Einordnung in bestehende Zustandsklassifizierungs- und Zustandsbewertungssysteme schwierig. Ebenfalls müssen die festgestellten Schäden noch mit bestehenden TV-Inspektionen 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).

8.2.2 Bewertung der Sanierungsverfahren

Nach DIN 752-5 (DIN EN 752, 1997) wird zwischen drei Sanierungsverfahren unterschieden:

- Reparatur – „Maßnahmen zu Behebung örtlich begrenzter Schäden“
- Renovierung – „Maßnahmen zur Verbesserung der der aktuellen Funktionsfähigkeit von Abwasserleitungen und Kanälen unter vollständiger oder teilweiser Einbeziehung ihrer ursprünglichen Substanz“
- der Erneuerung – „Herstellung neuer Abwasserleitungen und -kanäle in der bisherigen oder einer anderen Linienführung, wobei die Neuen die Funktion der ursprünglichen Abwasserleitungen und -kanäle übernehmen“.

Es gilt, diese Sanierungsverfahren hinsichtlich der Georadaruntersuchungen zu bewerten und einzustufen. In Tabelle 8.1 werden die einzelnen Sanierungsverfahren hinsichtlich ihrer Einsatzmöglichkeiten bei Hohlräumen bewertet.

Es ist zu erkennen, dass lediglich drei Verfahren als besonders empfehlenswert oder anwendbar eingestuft wurden. Als besonders empfehlenswert bei Hohlräumen wurde eine Reparatur mit Lanzen sowie eine Reparatur mittels Flutung bewertet. Parallel hierzu kann eine offene Neuverlegung durchgeführt werden. Alle restlichen Verfahren sind nur bedingt anwendbar oder nicht zu empfehlen.

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, da vor der endgültigen Entscheidung für eine Sanierung in geschlossener Bauweise weitere Daten über den Zustand des die Leitung umgebenden Bodens gewonnen werden.

Tabelle 8.1: Übersicht möglicher Sanierungsverfahren bei Hohlräumen (BMVBW und BMVg, 2005)

Verfahren		von - bis DN	Bewertung
Erneuerung			
offene Bauweise	Neuverlegung	beliebig	x
geschlossene Bauweise	Überfahren	250-1.200	o
	Berstlining	100-600	o
Renovierung			
Beschichtungsverfahren	Verdrängung	75-600	o
	Anschleudern	80-3.000	-
Reliningverfahren	Rohrstrang	80-2.000	o
	Wickelrohre	200-1.200	o
	Noppenbahnen	200-3.500	o
	Schlauch	100->2.400	-
	Auspressen	100-300	
	Kurzrohre	ab 300	o
	Langrohre	ab 300	o
	Vorverformte Rohre	-	
	Spiral-Rohre	125-300	o
Reparatur			
Reparatur von aussen	Rohraustausch	beliebig	/
	Schrumpfschlauch	bis 350	-
	Manschette	bis 1.150	-
Robotor	Robotor	150-800	o
Partielle Inliner	Part-Liner	100-1.000	-
	Hutprofil	200-600	/
Injektion	Muffen/Schadstellen	100-800	o
	Anschlussstutzen	/	/
	Lanzen	bis 800	xx
	Flutung	100-1.000	xx

xx	besonders empfehlenswert	-	nicht empfehlenswert
x	anwendbar	/	Parameter hier nicht vorhanden
o	bedingt anwendbar		

9 Fazit und Ausblick

Die in diesem Vorhaben durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass das Georadar für den Einsatz 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 hochqualifizierte 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 Auswertung 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 Bodenanomalien 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.

10 Literatur

- ALBRECHT, R., 2004: Access 2003 programmieren. professionelle Anwendungsentwicklung mit Access und VBA. 5. Aufl. München [u.a.]: Addison-Wesley, 2004
- ALTEKÖSTER, C. A., 2004: Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit von Bodenradarmessungen, Bonn, Univ., Dissertation, 2004
- AMMELBURGER, D., 2004: XML. Grundlagen der Sprache und Anwendungen in der Praxis. München [u.a.]: Hanser, 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, 2000: ATV-DVWK-M 145. Aufbau und Anwendung von Kanalinformationssystemen. Hennef (Sieg): ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2000
- ATV-DVWK, 2003a: 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
- ATV-DVWK, 2003b: ATV-M 143 Teil 2. Umsteigekatalog von ATV M 143-2; Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen, Teil 2: Optische Inspektion (Ausgabe April 1999) zu DIN EN 13508-2, Erfassung des Zustandes von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. 1. Aufl., Stand: Oktober 2003. Hennef (Sieg): ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2003
- BARTELME, N., 2005: Geoinformatik. Modelle, Strukturen, Funktionen. 4., vollst. überarbeitete Aufl. Berlin [u.a.]: Springer, 2005
- BERGER C., LOHAUS, J., WITTNER, A., SCHÄFER, R., 2002: Zustand der Kanalisation in Deutschland. Ergebnisse der ATV-DVWK-Umfrage 2001. In: KA Abwasser, Abfall (2002), Nr. 03, S. 45
- BGW, 2005: Branchenbild der deutschen Wasserwirtschaft 2005. Bonn: wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, 2005
- BMVBS und BMVg, 2006: BAUFACHLICHE RICHTLINIEN VERMESSUNG 99. Bestandsdokumentation von Liegenschaften des Bundes. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung /Bundesministerium der Verteidigung, 2006

- 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 (IEE radar, sonar, navigation and avionics series. 15)
- DAVIS, J. L., ANNAN, A. P., 1989: ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. In: Geophysical prospecting (1989), Nr. 37, S. 531-551
- DIN 1324, 1988: Elektromagnetisches Feld, Teil 1 Zustandsgrößen. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1988
- DIN EN 1610, 1997: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1997
- DIN EN 752, 1997: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 5 Sanierung. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 1997
- DOHMANN, M., HENNERKES, J., 2004: Untersuchung des Einflusses undichter Abwasserkanäle auf die Standsicherheit des umgebenden Bodenkörpers. Schlussbericht für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Aachen 2004
- EISWIRTH, M., HÖTZL, H. (1993): Leckstellen im Abwasserkanal: Neuartige Detektionsmethoden; Wasser, Boden, Luft, Umweltschutz, Nr. 3, S. 24-30
- E.ON-Ruhrgas-AG, 2006: ascos - satellite positioning service. 19.06.2006.
URL: <http://ascos.ruhrgas.de/deutsch/default.asp?content=/deutsch/produkt/1088.htm>
- ERBS, H.-E., 2003: Datenbanken. Datenmodelle, Objekte, WWW, XML. Berlin [u.a.]: VDE-Verl., 2003
- FÖRSTER, M.-O., 2001: Gültigkeit der mit dem Ground Penetration Radar (GPR) ermittelten Schichtdicken von Straßenbefestigungen. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, 2001 (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. 826)
- FRICKE, S., 1999: Praktische Bohrlochgeophysik. 31 Tabellen. Stuttgart: Enke im Thieme-Verl., 1999
- HAROLD, E. R., 2001: XML in a nutshell. Dt. Ausg., 1. Aufl. Beijing [u.a.]: O'Reilly, 2001

- HARTMANN, A., SCHULZ, O., 2002: Detektion von Lagerungsdichten und Hohlräumen in der Umgebung erdverlegter Abwasserkanäle; Erläuterungsbericht (unveröffentlicht)
- HARTMANN, A., 2006: Informationsgespräch bei der Stadtentwässerung Braunschweig GmbH, 06.07.2006.
- HEESKENS, H., 2006: Protokoll NMEA-0183. 07.06.2006. URL http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Hanno_Heeskens/GPS/script_html/node15.html
- HENNERKES, J. A., 2006: Reduzierung von Fremdwasser bei der Abwasserentsorgung, Dissertation am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, Aachener Schriften zur Stadtentwässerung, Band 10, Aachen 2006 (s.a. <http://darwin.bth.rwth-aachen.de/opus3/volltexte/2006/1705/>):
- HOLLENDER, F., TILLARD, S., 1998: Modelling ground-penetrating radar wave propagation and reflection with the Jonscher parameterization. In: Geophysics (1998), Nr. 63, S. 1933-1942
- IM-NRW, 2004: Einführungserlass ETRS89/UTM im Liegenschaftskataster. Innenministerium des Landes Nordrhein-Westfalen, 2004
- 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., ELSEN, R., RÜBEL, H.J., 2003: Quantitative Inspektion von Abwasserkanälen und –leitungen mittels geophysikalischer Verfahren, Endbericht für das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 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
- LAKE, R., 2004: Geography mark-up language (GML). Chichester [u.a.]: Wiley, 2004
- LANGE, N., 2006: Geoinformatik in Theorie und Praxis. 2., aktualisierte und erw. Aufl. Berlin [u.a.] : Springer, 2006
- 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)
- LEHNER, G., 2006: Elektromagnetische Feldtheorie für Ingenieure und Physiker. 5. Aufl.. Berlin [u.a.]: Springer, 2006

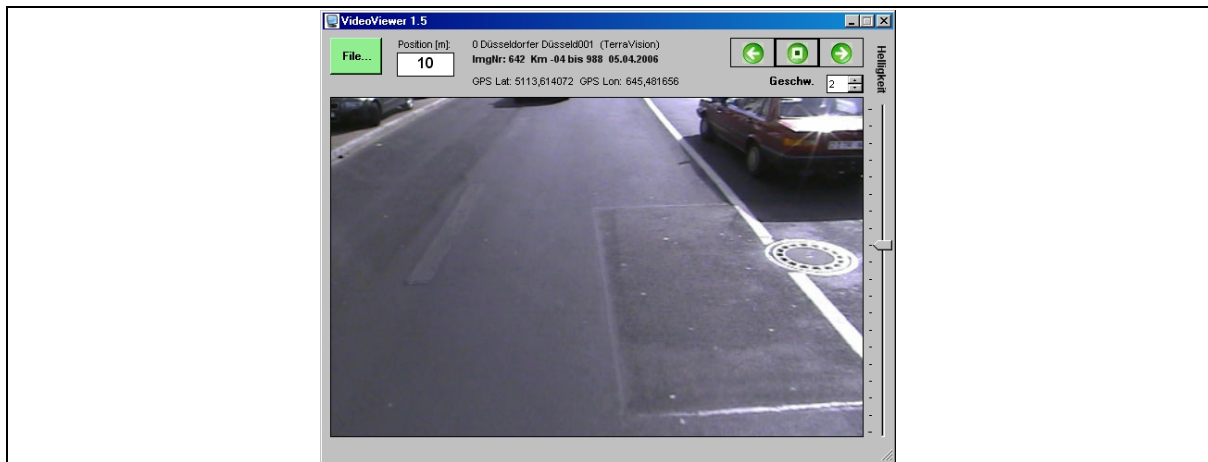
- LOWRIE, W., 2003: Fundamentals of geophysics. Reprint. Cambridge [u.a.]: Cambridge Univ. Press, 2003
- MESCHEDE, D., VOGEL, H., GERTHSEN, C., 2004: Physik. die ganze Physik zum 21. Jahrhundert. 22., völlig neu bearb. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer, 2004 (Springer-Lehrbuch)
- MILITZER, H., 1986: Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau ; 53 Tabellen. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Enke, 1986
- N.N., 2006: UTM - Abbildung und Koordinaten. 24.07.2006. URL: http://www.geodaten.bayern.de/bvv_web/downloads/UTM-AbbildungenundKoordinaten.pdf
- NIESSEN, J., 2006: mündliche Auskunft am 22.06.2006
- NUSSER, W. (1995): Georadar - Entwicklung und Erprobung eines Radarsystems zur Auffindung und Beurteilung von Schäden in/an Kanalsystemen: Projektverbund. Abschlussbericht über das Forschungsvorhaben. Ulm : Daimler-Benz Aerospace, 1995
- 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#>
- PARASNIS, D. S. (1997): Principles of applied geophysics. London [u.a.]: Chapman & Hall, 1997
- PINNEKAMP, J. (2004): Einsatzmöglichkeiten des Georadars als Verfahren zur Detektion und Bewertung von Lagerungsdefekten und Hohlräumen im Bereich erdverlegter Abwasserkanäle, Antrag zum Vorhaben an das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Aachen 2004
- RFID, 2006: RFID Informationsforum: RFID. LEITFADEN FÜR DEN MITTELSTAND. 17.07.2006. URL: http://www.info-r_d.de/downloads/r_d_leitfaden010306.pdf
- SCHÖN, J., 1983: Petrophysik. Physikalische Eigenschaften v. Gesteinen u. Mineralen. Stuttgart: Enke, 1983
- SCHUMANN, H., 2000: Visualisierung. Grundlagen und allgemeine Methoden. Berlin [u.a.]: Springer, 2000
- SHEPHERD, D., 2002: XML. Daten plattformübergreifend austauschen und modellieren ; praktische XML-Entwicklung und Implementierung ; DTD, XPath, Xlink, SAX, DOM, XSLT u.v.m. München: Markt+Technik-Verl., 2002 (.. in 21 Tagen)

- SPEKTRUM, 2002: Lexikon der Geowissenschaften, Gesamtwerk, Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, 2002
- SRIPADA, L. N.; LU, C.-T., WU, W., 2004: Evaluating GML support for spatial databases. In: [KONGRESSFOLGE] COMPSAC (2004)
- STEIN, D., 1999: Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Aufl. Berlin: Ernst, 1999
- VIVID, 2006: JUMP United Mapping Platform. Technical Report. 20.07.2006.
URL: http://www.jump-project.org/inc/JUMP/assets/JUMP_Technical_Report.pdf
- W3C, 2006a: World Wide Web Consortium. Deutsch – Österreichisches Büro. 04.07.2006. URL: <http://www.w3c.de/>
- W3C, 2006b: World Wide Web Consortium. XML in 10 Points. 04.07.2006. URL: <http://www.w3.org/XML/1999/XML-in-10-points.html.en>
- WITTE, B., SCHMIDT, H., 1995: Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen. 3., neubearb. Aufl. Stuttgart : Wittwer, 1995 (Vermessungswesen bei Konrad Wittwer)

Anhang

Anhang.....	140
Anhang 1: Videoaufzeichnung	141
Anhang 2: GPS Beispieldatensatz	142
Anhang 3: Bodenkennwerte des Versuchsfeldes.....	143
Anhang 4: Darstellung der Messergebnisse vom 05.01.2006.....	145
Anhang 5: Darstellung der Messergebnisse vom 19.07.2006.....	149
Anhang 6: Darstellung der Auswertung der Messungen in Aachen	156
Anhang 7: Darstellung der Auswertung der Messungen Braunschweig	182
Anhang 8: Darstellung der Auswertung der Messungen Düsseldorf.....	208
Anhang 9: Darstellung der Auswertung der Messungen Essen.....	236
Anhang 10: Darstellung der Auswertung der Messungen Münster	262
Anhang 11: Vollständige Tabellenübersicht	281
Anhang 12: XML Schema	299

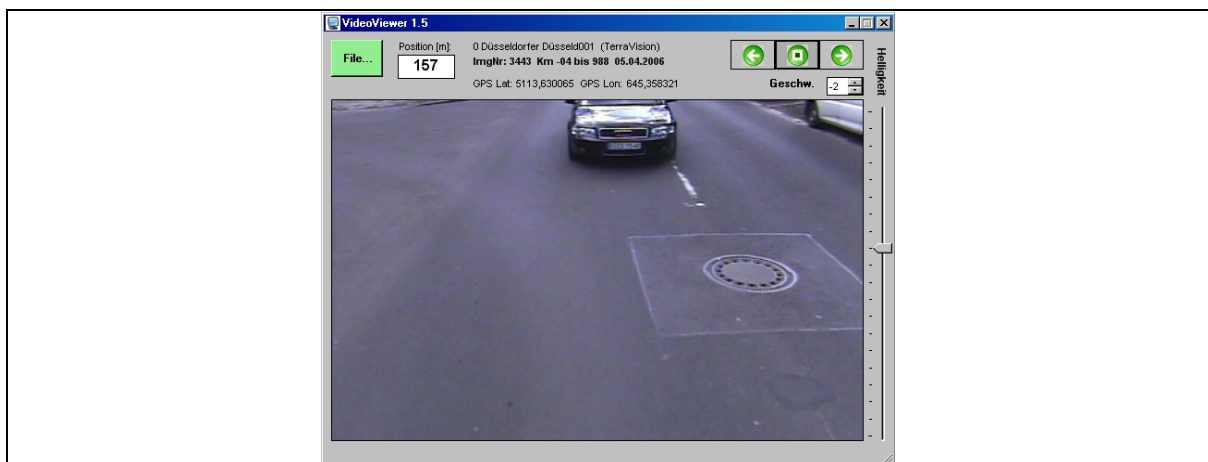
Anhang 1: Videoaufzeichnung



Haltungsverlauf in der Nähe von Parkstreifen



Haltungsverlauf in der Nähe von Parkbuchten



Haltungsverlauf in Fahrbahnmitte

Anhang 2: GPS Beispieldatensatz

Tabelle: Schematischer Aufbau eines GGA-Paketes (HEESKENS, 2006)

\$GPGGA	hhmmss.ss	lll.ll	a	yyyy.yy	a	x	xx	x.x	x.x	M	x.x	M	x.x	
xxxx	hh													

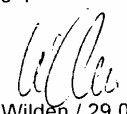
Beispieldatensatz (HEESKENS, 2006):

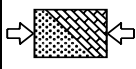
\$GPGGA, 142501, 5046.4175, N, 00604.4814, E, 0, 01, 0.0, 239.2, M, 239.2, M, 0.0, 0000*54

Tabelle: Felderläuterungen eines GGA-Paketes nach HEESKENS (2006)

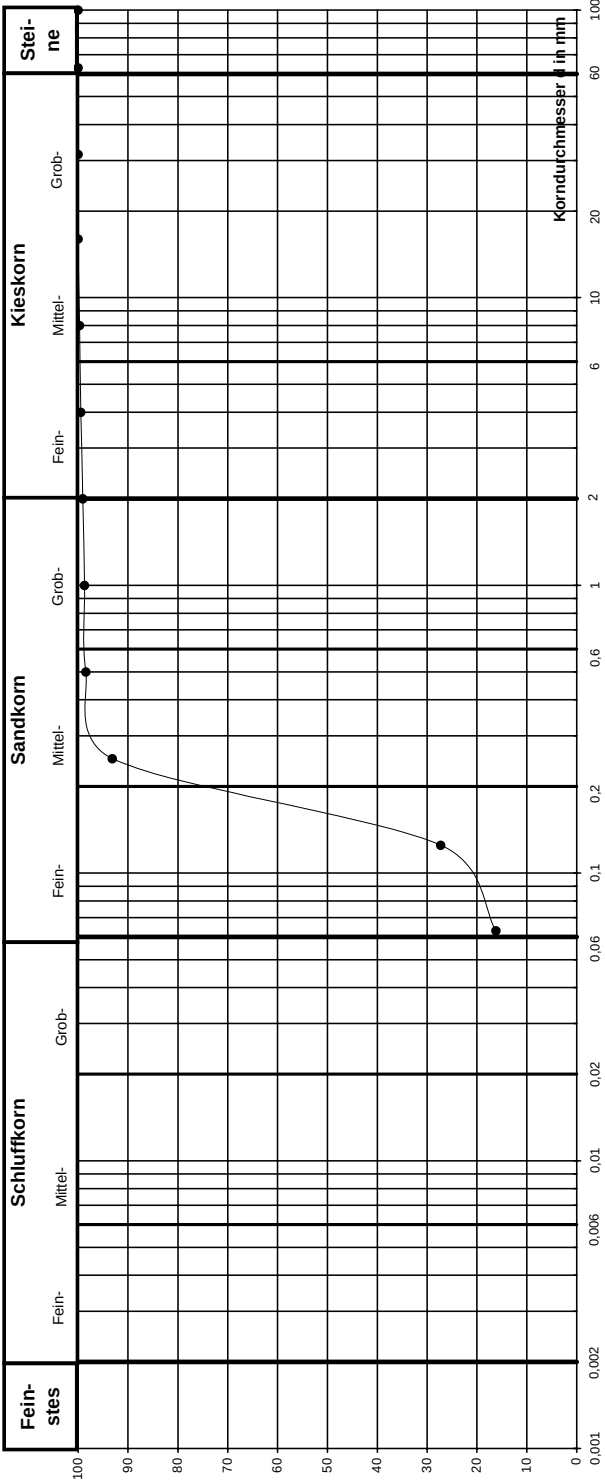
Feld	Erläuterung	Beispiel
GGA	Global Positioning System Fix Data	\$GPGGA
1	UTC	142501
2	Latitude	5046.4175
3	N / S	N
4	Longitude	00604.4814
5	E / W	E
6	Signalqualität (0=ungültig; 1=GPS fix; 2=Diff. GPS fix)	0
7	Anzahl der genutzter Satelliten	01
8	Genauigkeitsangabe	0.0
9	Höhe über Meeresspiegel (geoid) in m	239.2
10	Höhe des Geoids (= Meereshöhe) über dem Ellipsoid (WGS84) in m	M
11	Geoidal separation (Diff. between WGS-84 earth ellipsoid and mean sea level)	239.2
12	Meters (Units of geoidal separation)	M
13	Age in seconds since last update from diff. reference station	0.0
14	Diff. reference station ID	0000*54
15	Checksumme	

Anhang 3: Bodenkennwerte des Versuchsfeldes

	Institut für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Verkehrswasserbau Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler		RHEINISCH- WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN	Anlage - Nr.:
Bestimmung der Dichte mittels Gipsersatz Versuch nach DIN 18 125 - F - G				
Projekt Nr.:	0619 ISA	ausgeführt von:	TB	
Probe Nr.:	7832	ausgeführt am:	22.05.2006	
Entnahmestelle:		Entnahmedatum:		
Entnahmetiefe:		Eingangsdatum:		
Art d. Entnahme:		Bodenart:	Sand	
Bestimmung der Feuchtdichte:				
Feuchtmasse:				
Feuchtmasse + Behälter	$m_f + m_B$	g	7462,0	
Behälter	m_B	g	287,5	
Feuchtmasse	m_f	g	7174,5	
Volumen:				
	m_1	g	0,00	
	m_2	g	4500,000	
	$V = m_2 - m_1$	cm ³	4500,000	
Feuchtdichte	$\rho = m_f / V$	g/cm ³	1,594	
Bestimmung des Wassergehaltes:				
Feuchtmasse + Behälter	$m + m_B$	g	776,5	
Trockenmasse + Behälter	$m_d + m_B$	g	745,7	
Behälter Nr.	m_B	g	159,0	
$m_w =$	$(m + m_B) - (m_d + m_B)$	g	30,8	
$m_d =$	$(m_d + m_B) - m_B$	g	586,7	
$w =$	m_w / m_d	(1)	0,053	
Bestimmung der Trockendichte:				
$\rho_d =$	$\rho / (1 + w)$	g/cm ³	1,515	
Kennwerte:				
Proctordichte	ρ_{Pr}	g/cm ³		
geforderter Verdichtungsgrad	D_{Pr}	%		
erreichter Verdichtungsgrad	$\rho_d \cdot 100 / \rho_{Pr}$	%		
Bemerkungen:			geprüft:  Wilden / 29.05.06	

	RWTH AACHEN UNIVERSITÄT	Anlage - Nr.:
Körnungslinie Versuch nach DIN 18123 - 5.4.2		
Projekt Nr.: Probe Nr.: Entnahmestelle:	0619 7832 -	Entnahmetiefe: Art der Entnahme: Entnahmedatum:
		ausgeführt von: ausgeführt am: Bodenart:
		TB 29.5.2006 Sand

Massenanteile a der Körner $< d$ in % der Gesamtmenge



Körnungsbereich	Grain Size (mm)	Massenanteil a (%)
Feinstes	0.002	100
	0.006	100
	0.02	100
Schluffkorn	0.075	100
	0.15	100
	0.3	100
Sandkorn	0.6	100
	1.25	100
	2.5	100
Kieskorn	5	100
	10	100
	20	100
Steine	40	100
	63	100
	100	100

Korndurchmesser d in mm

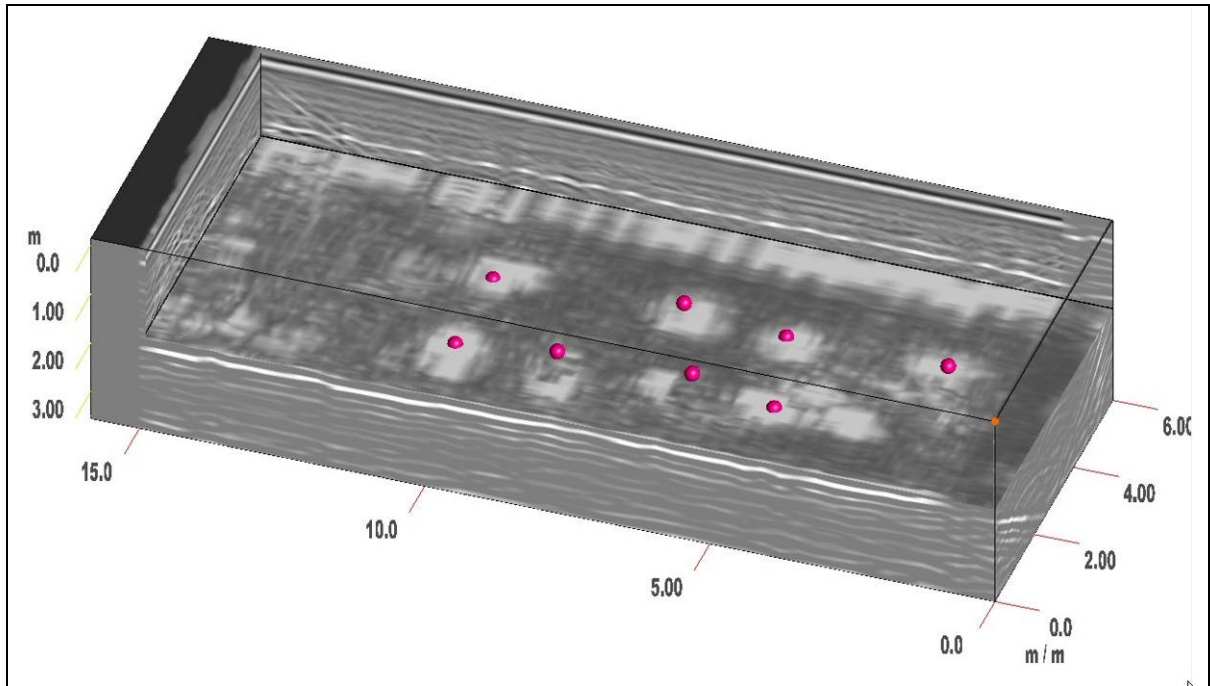
Arbeitsweise: Nasssiebung

Geprüft: Wilden / 29.05.06

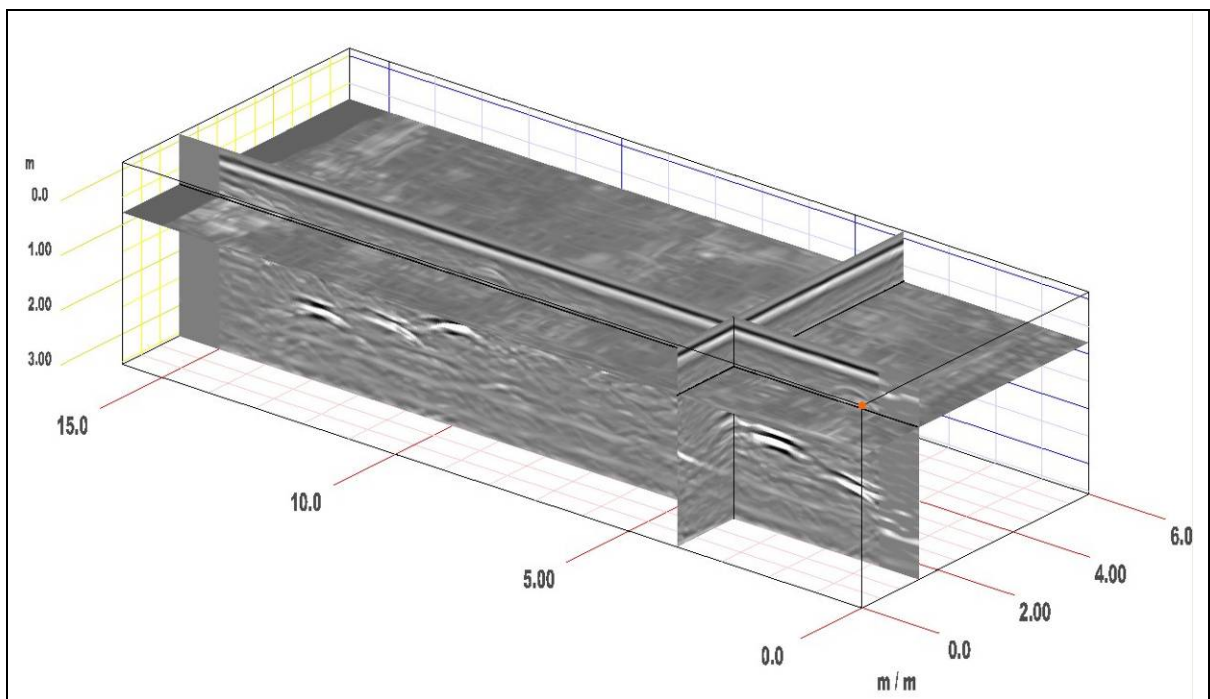
Anhang 4: Darstellung der Messergebnisse vom 05.01.2006

3-dimensionale Darstellung der Radargramme der Messungen des Versuchsfeldes mit einer 400 MHz Hornantenne am 05./06. Januar 2006.

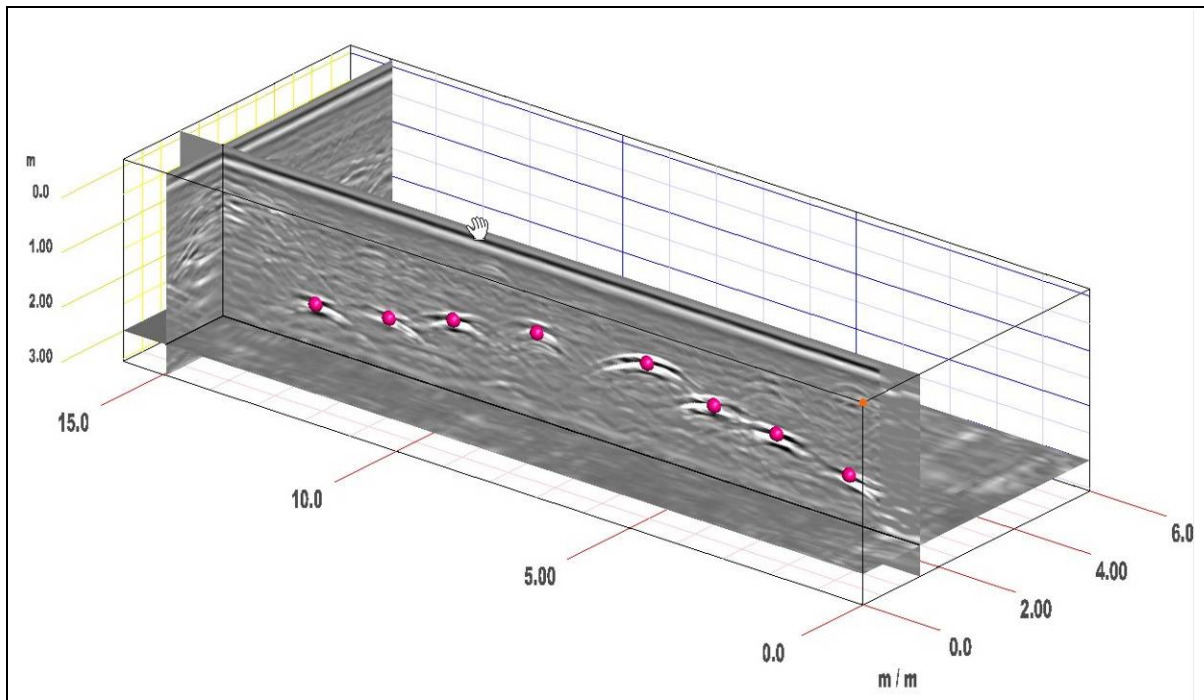
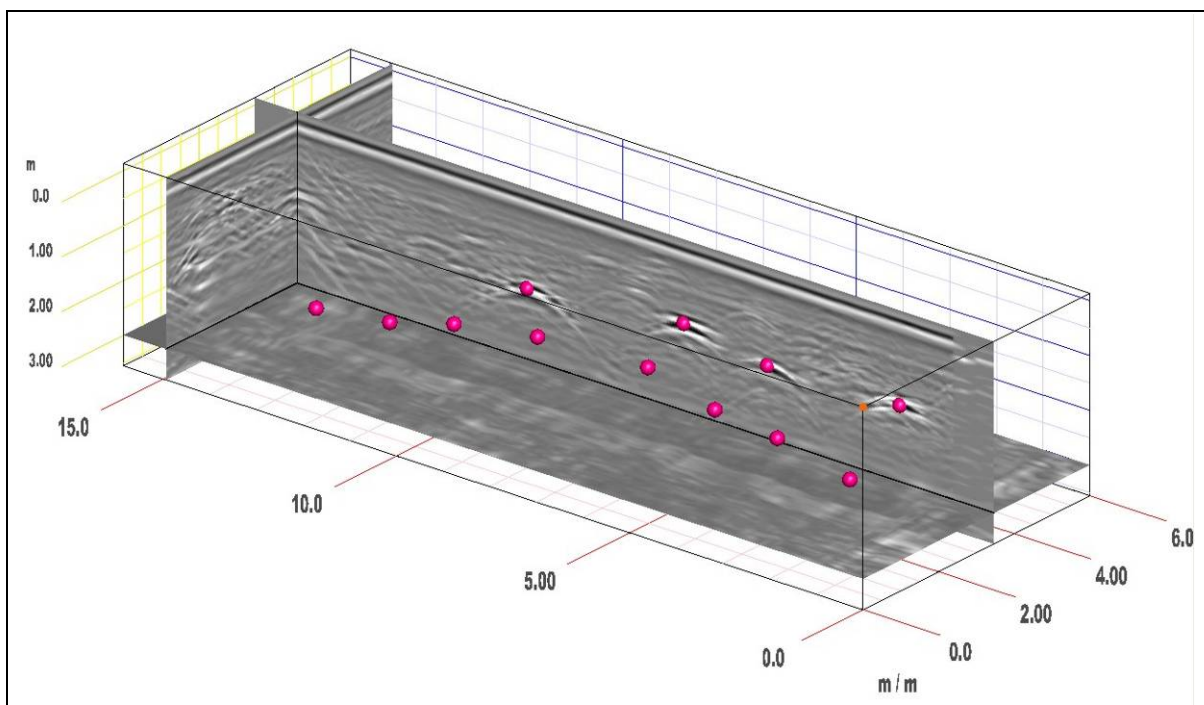
Die in das Versuchsfeld eingebrachten Störkörper und Metallplatten wurden hervorgehoben.

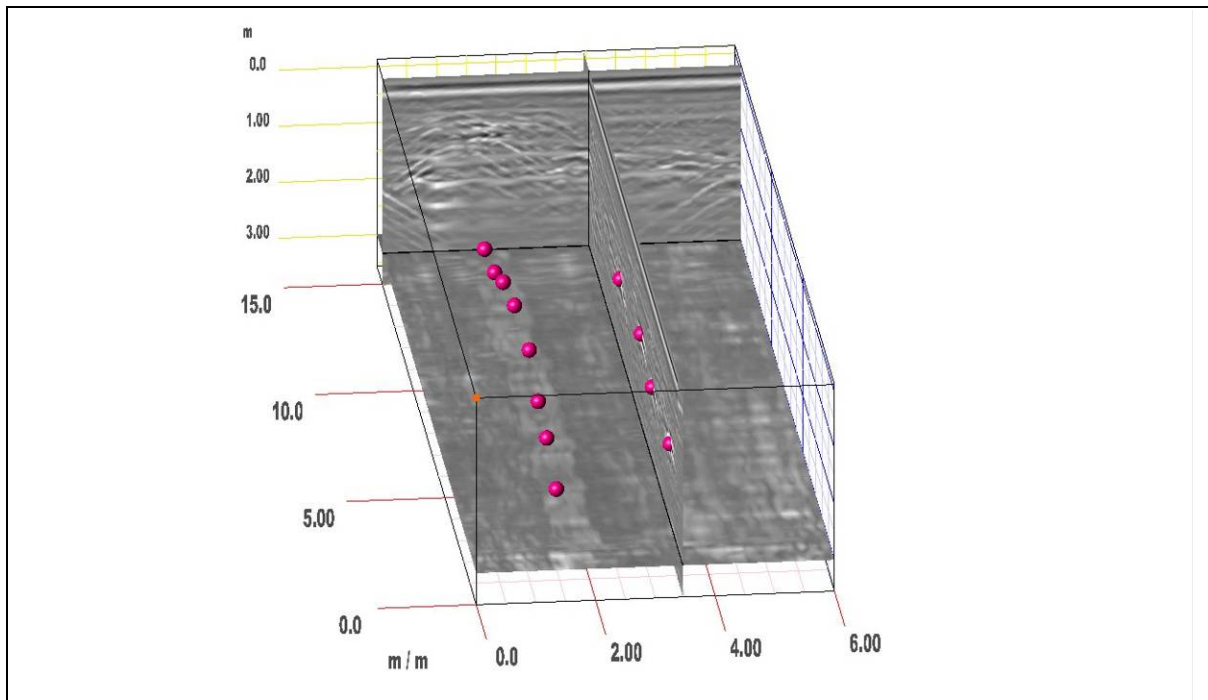


Testbett Aachen

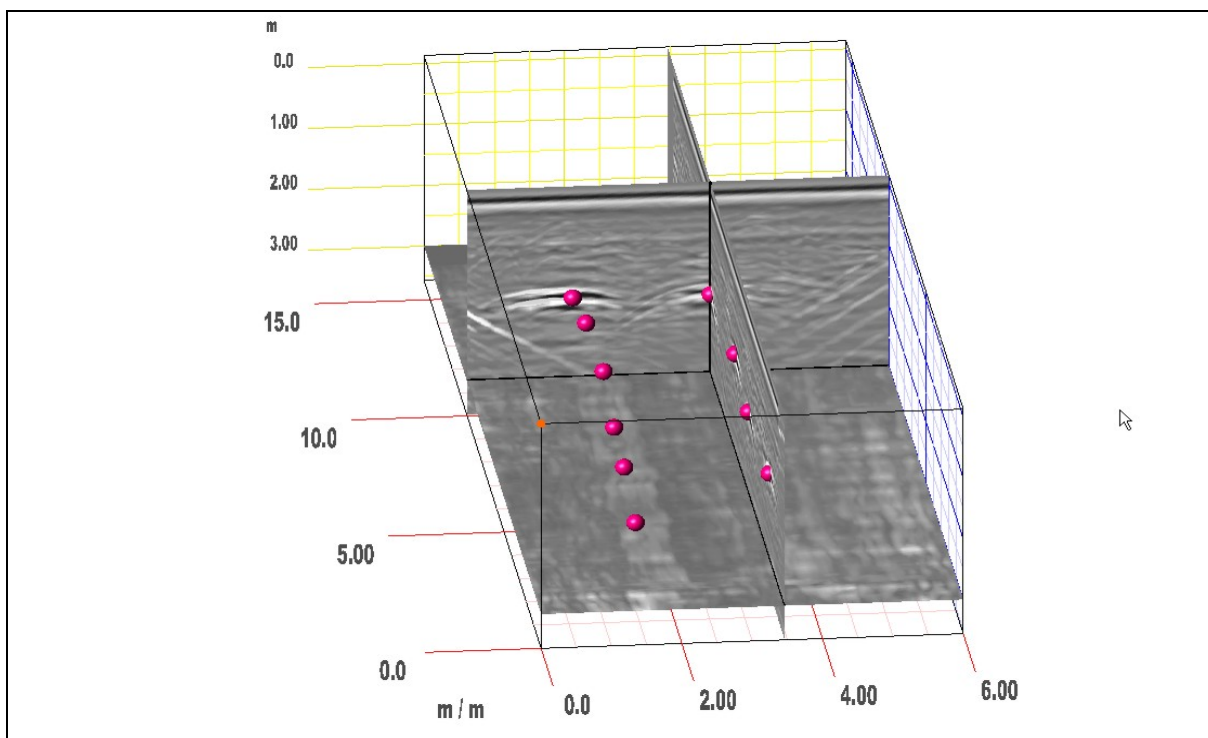


Testbett Aachen

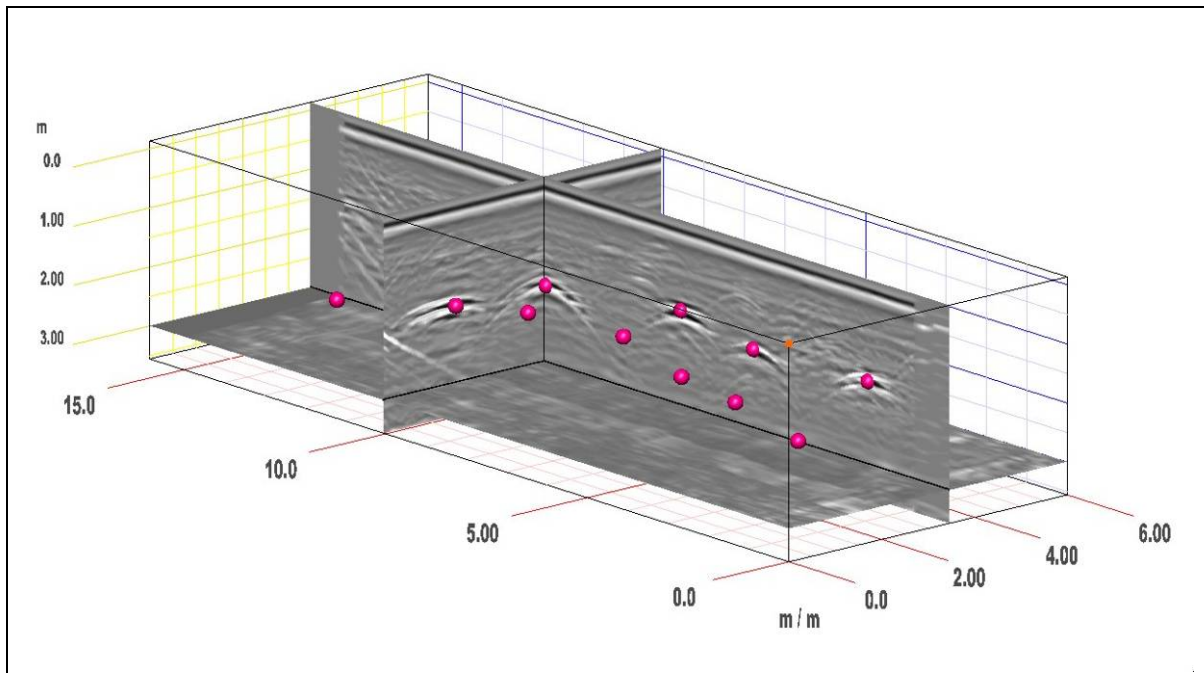
**Testbett Aachen****Testbett Aachen**



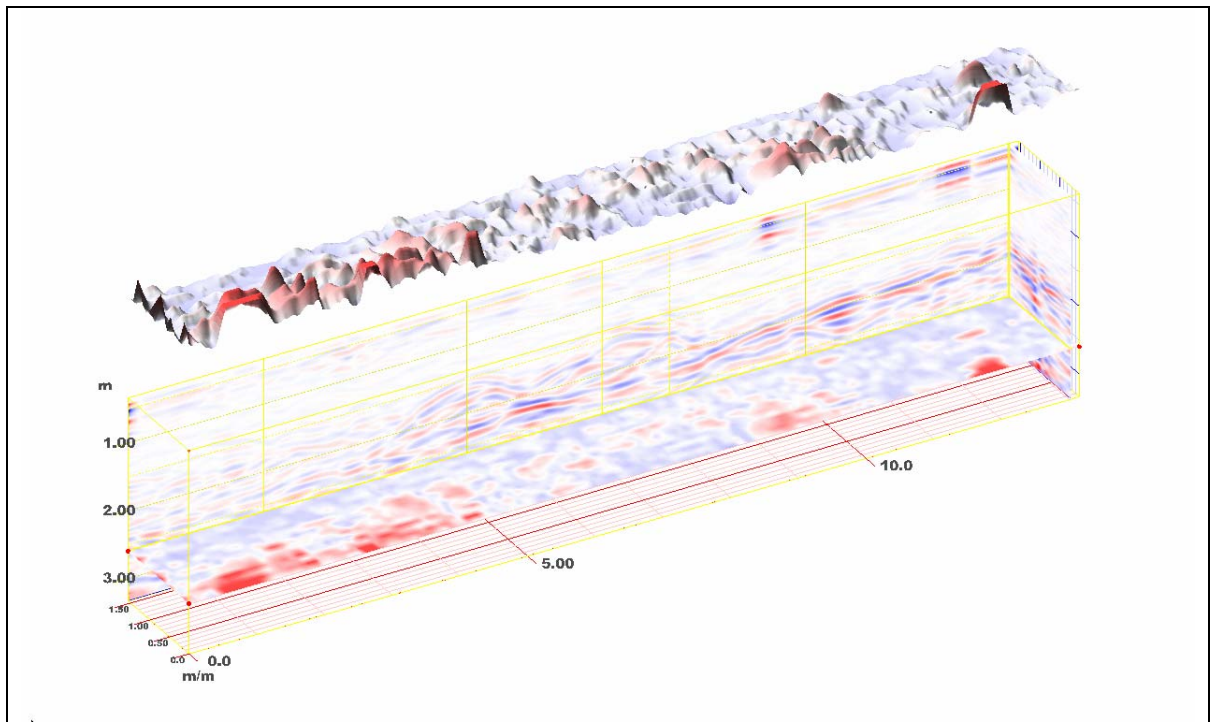
Testbett Aachen



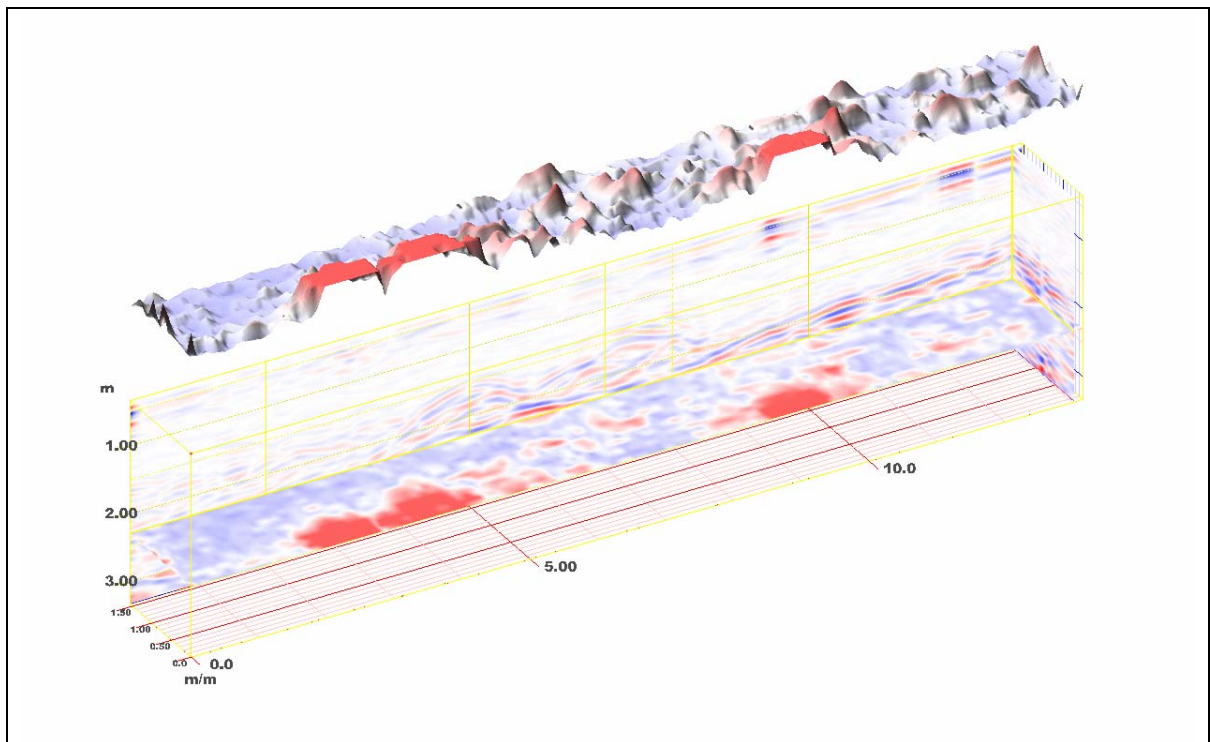
Testbett Aachen

**Testbett Aachen**

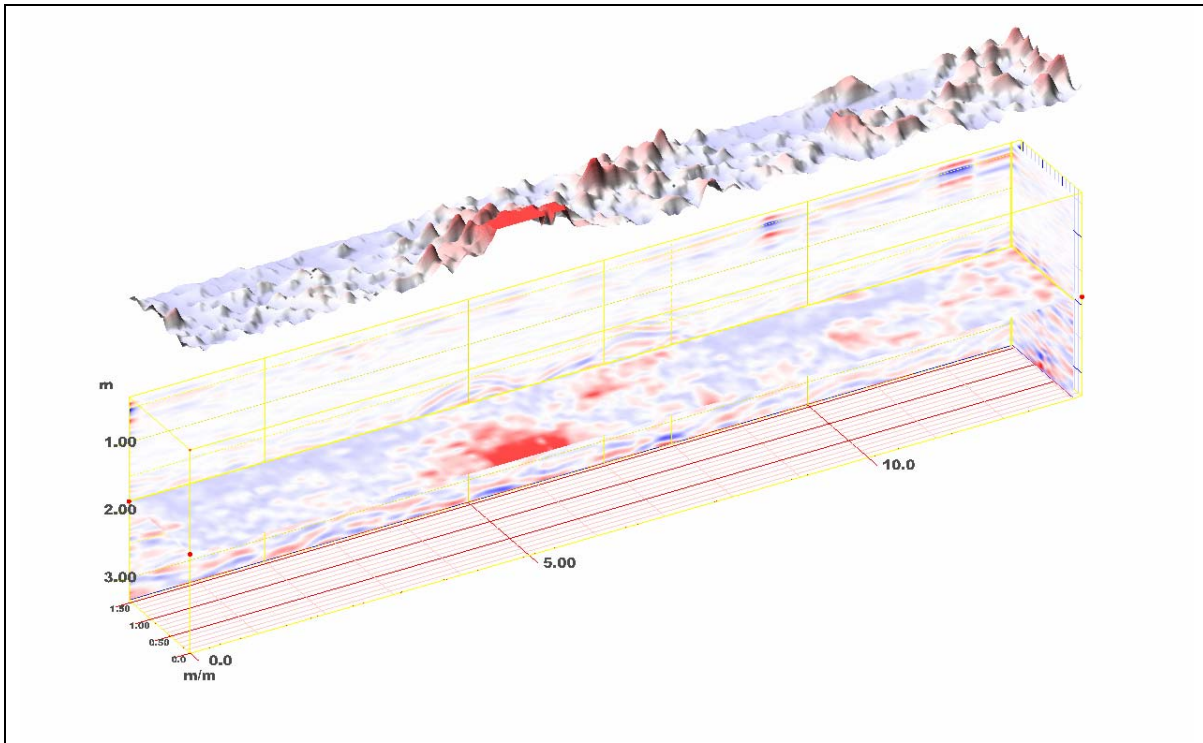
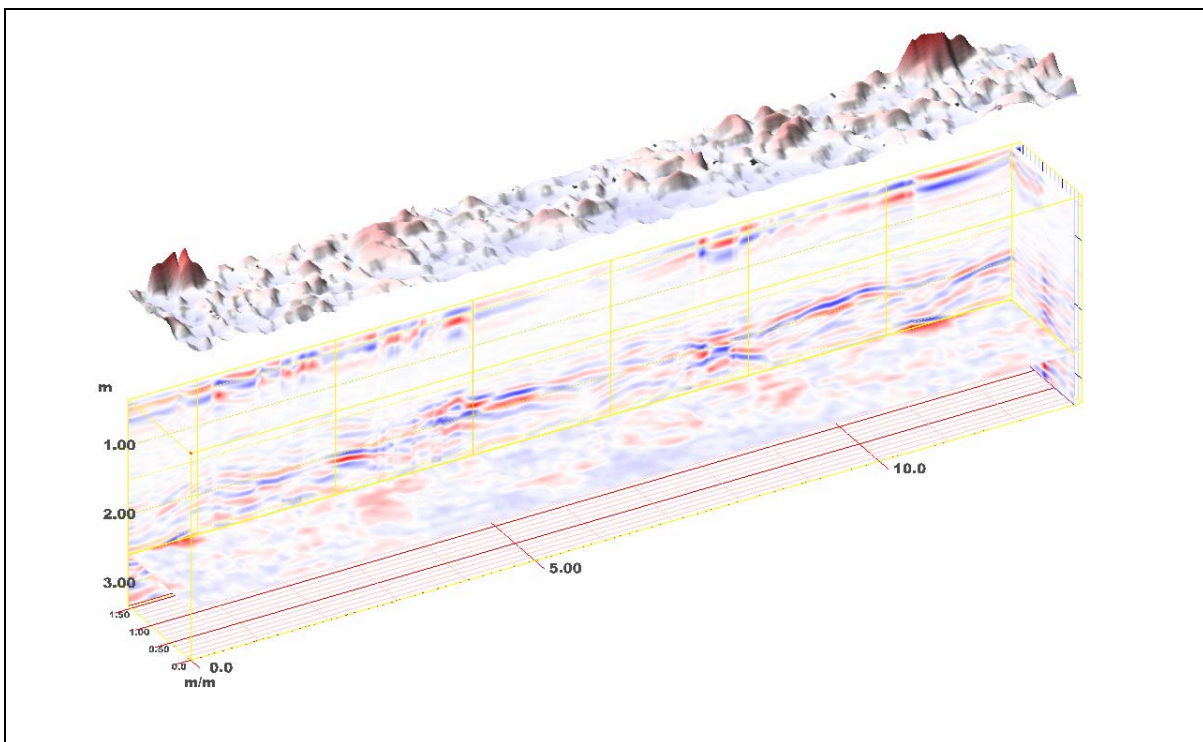
Anhang 5: Darstellung der Messergebnisse vom 19.07.2006

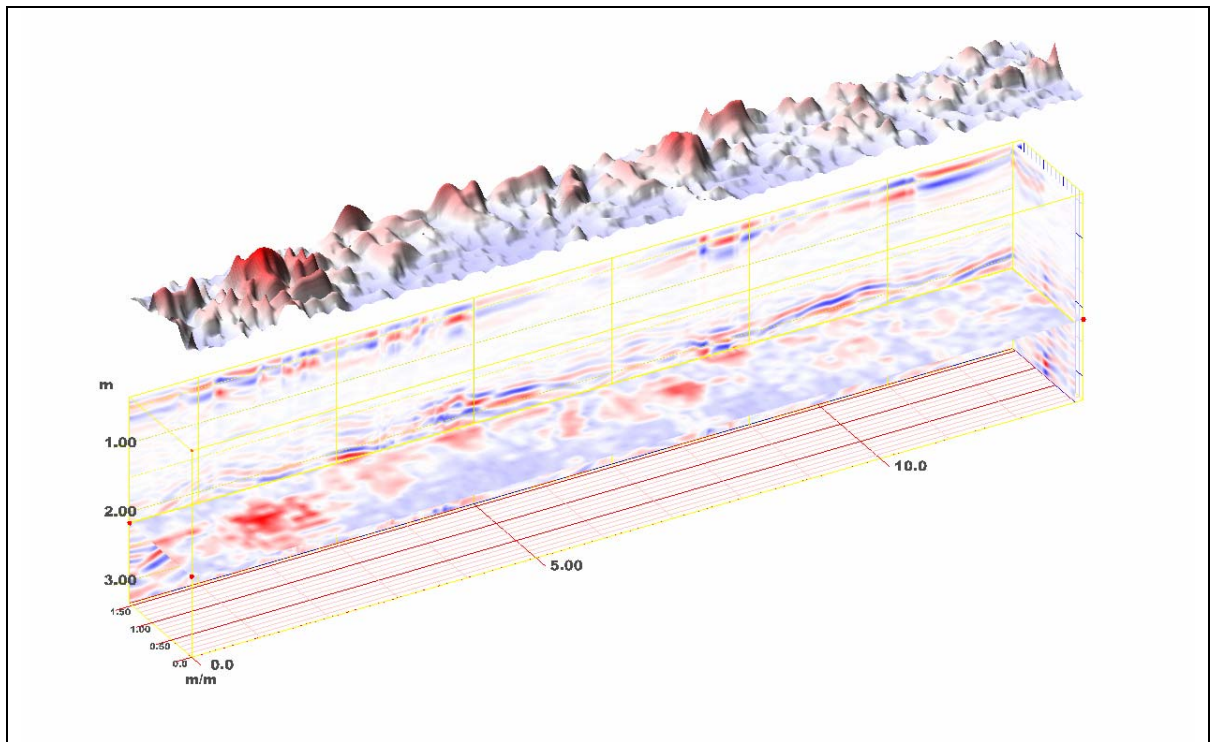


Testbett Aachen, Profil 001, Terravision

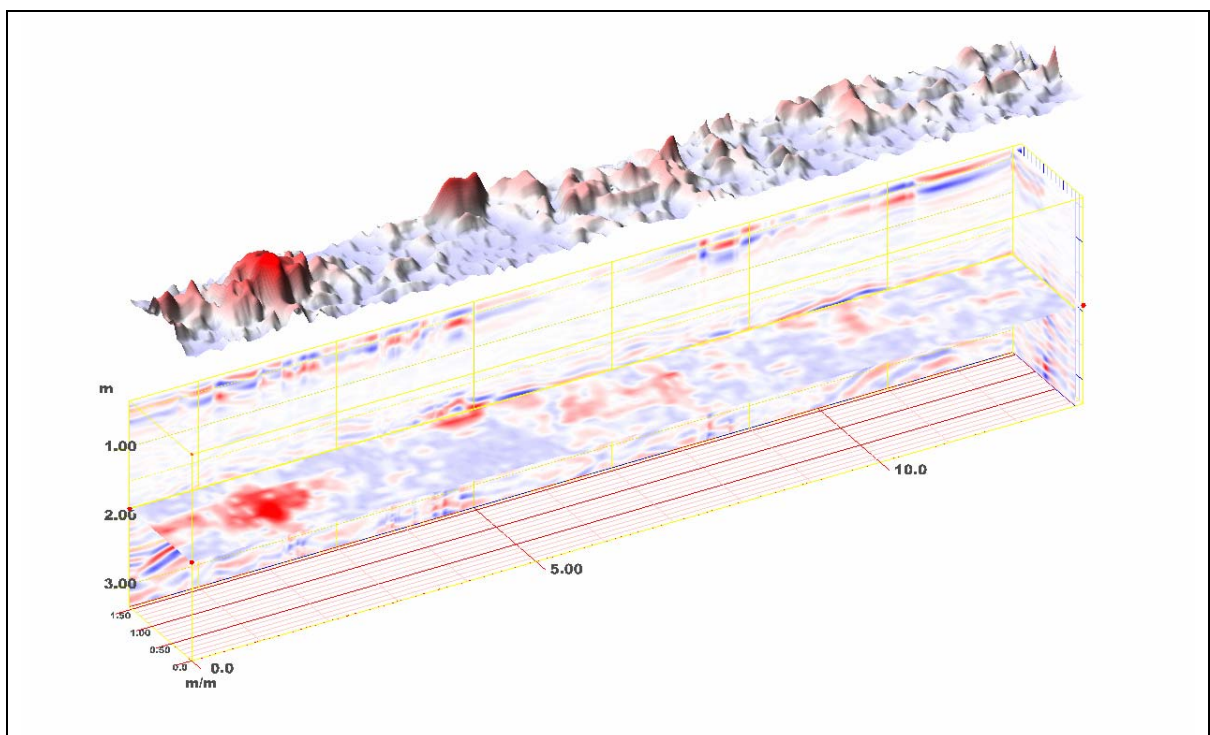


Testbett Aachen, Profil 001, Terravision

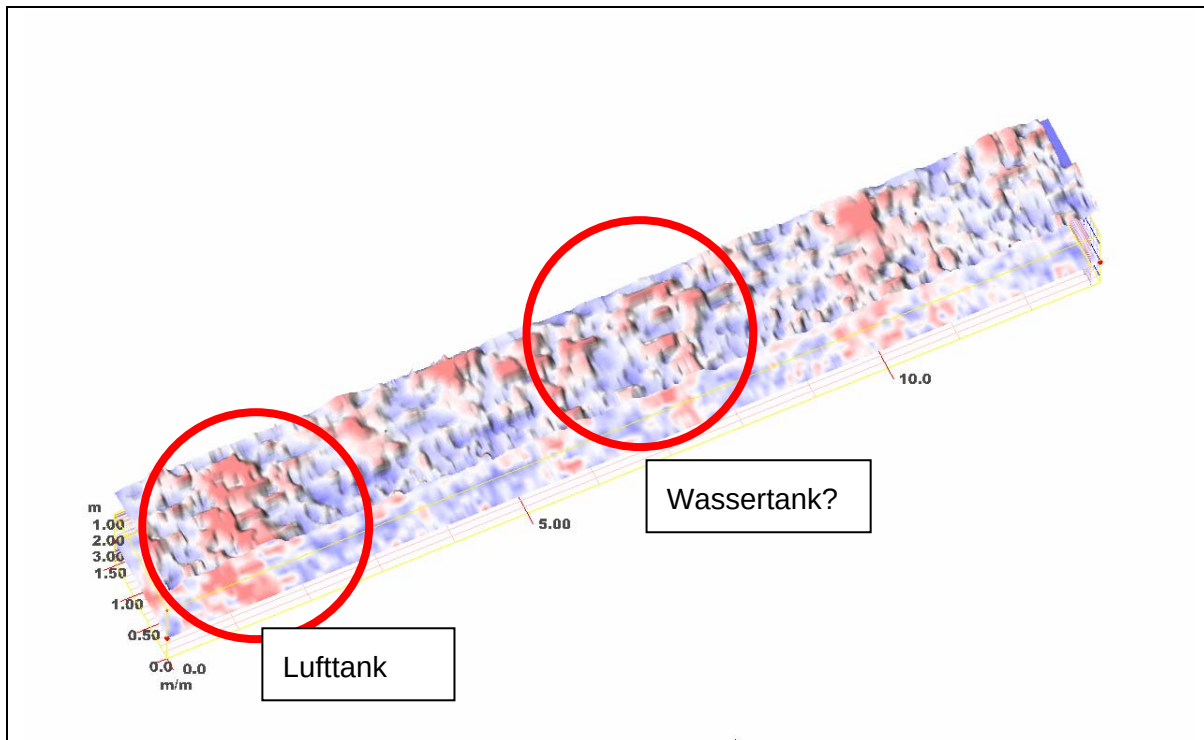
**Testbett Aachen, Profil 001, Terravision****Testbett Aachen, Profil 002, Terravision**



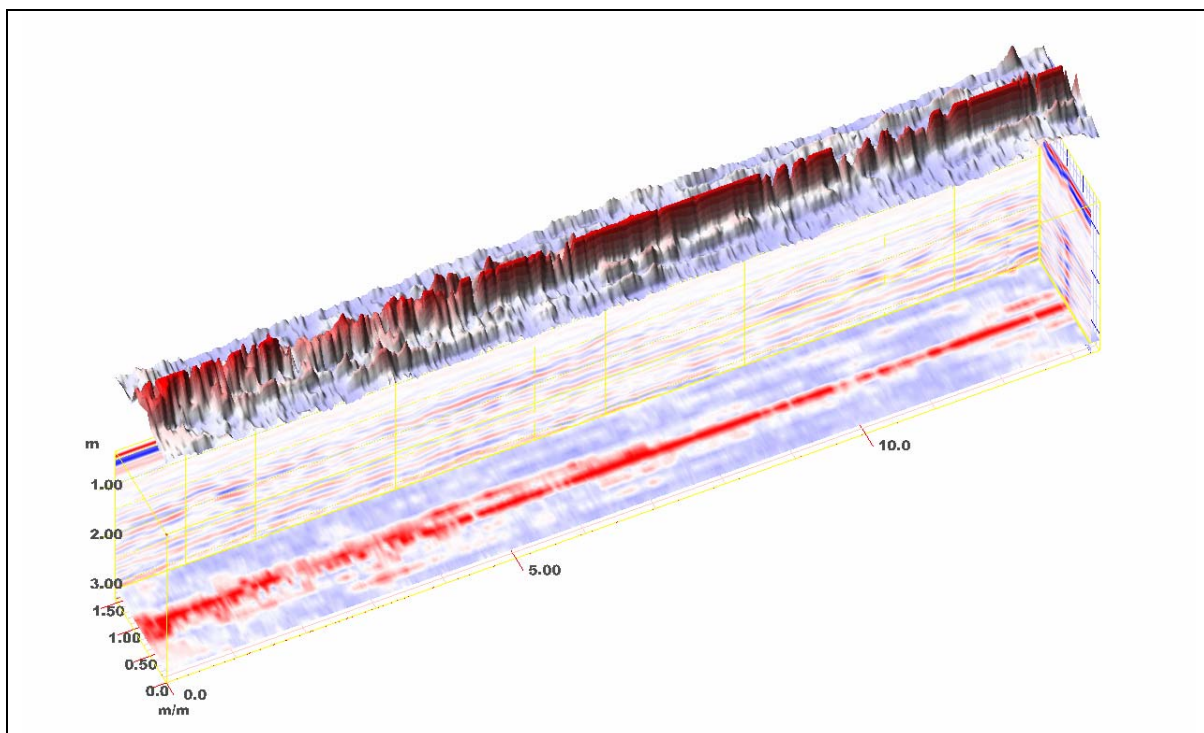
Testbett Aachen, Profil 002, Terravision



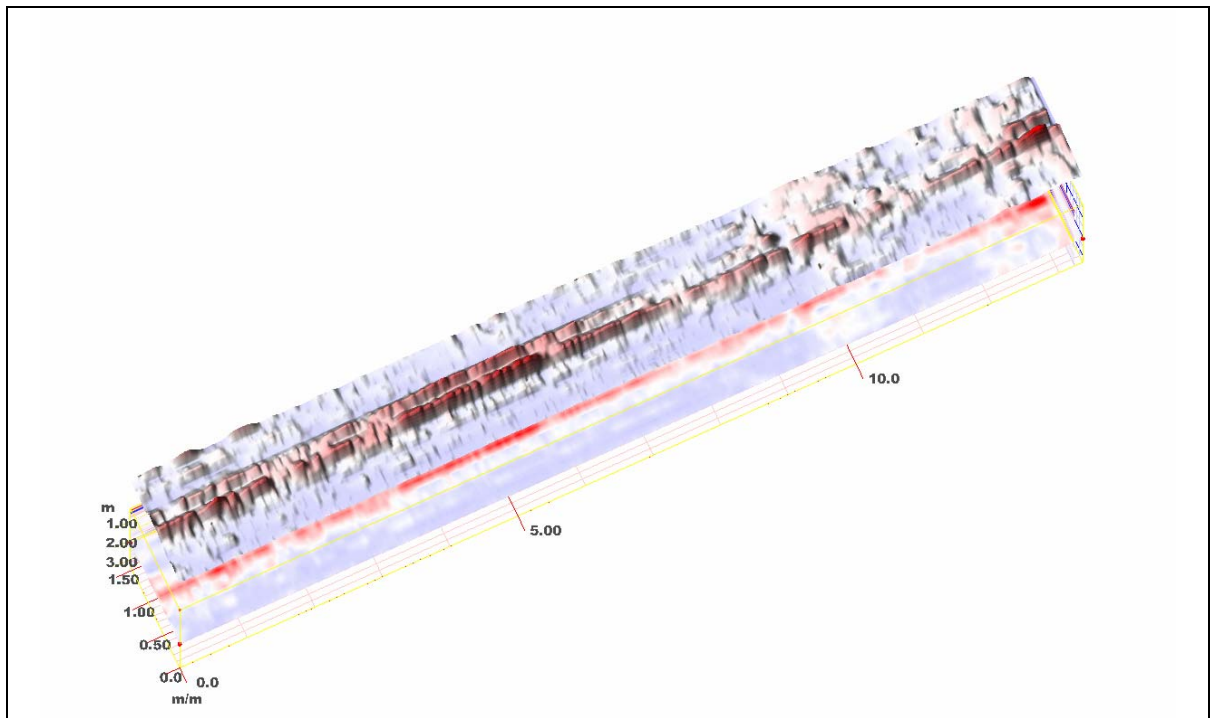
Testbett Aachen, Profil 002, Terravision



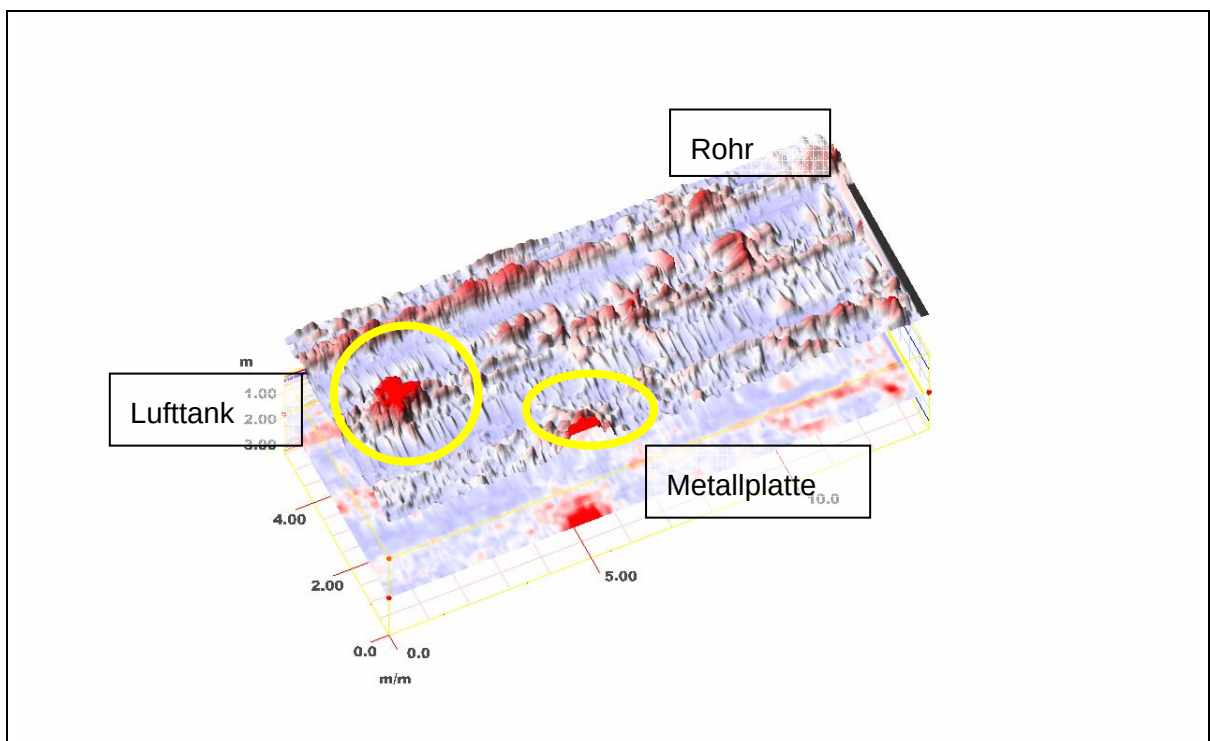
Testbett Aachen, Profil 002, Terravision



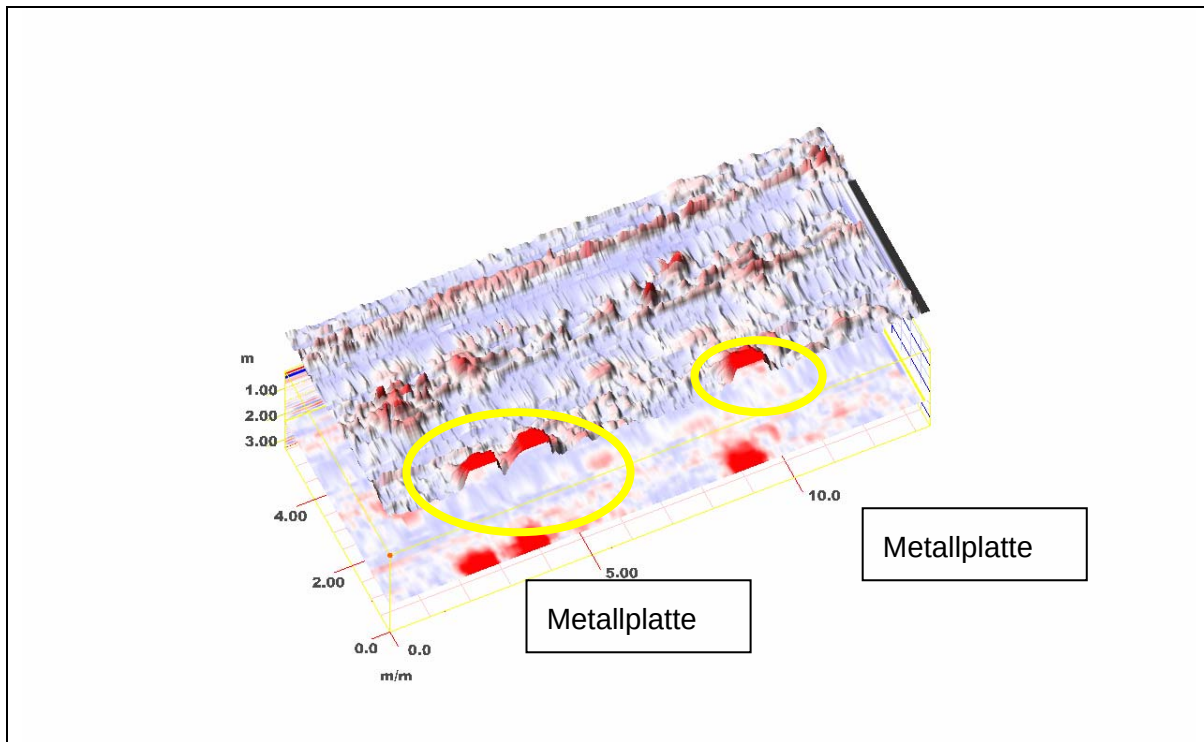
Testbett Aachen, Profil 003, Terravision



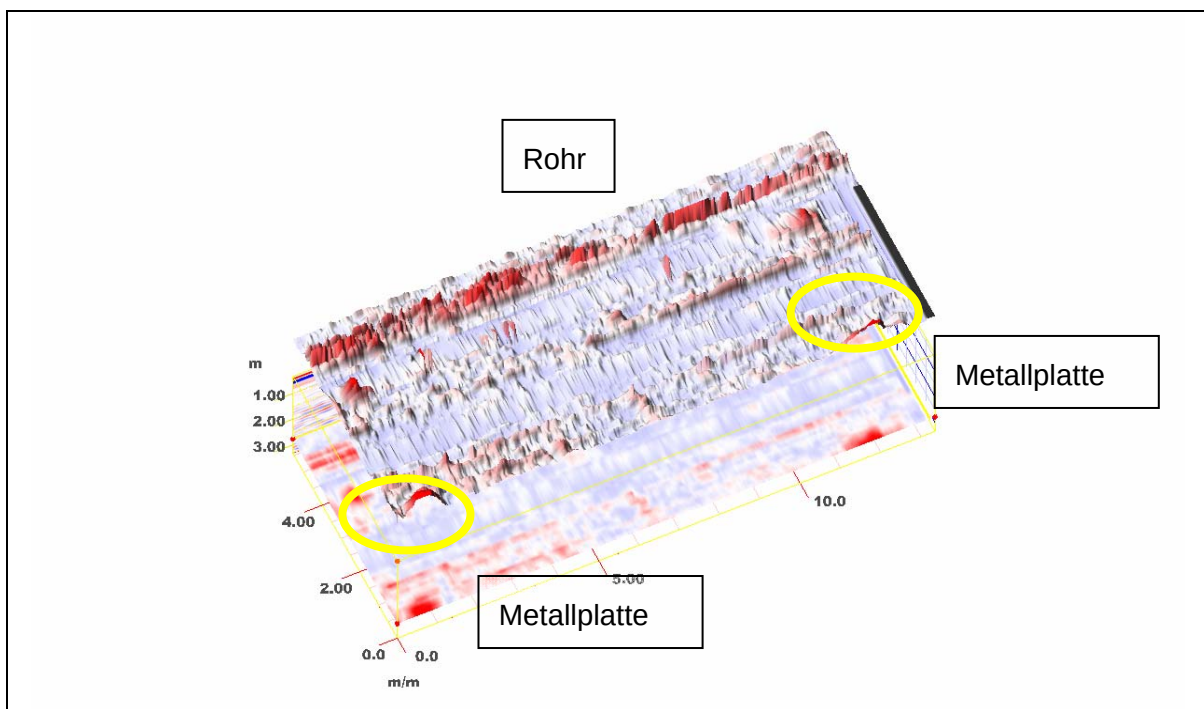
Testbett Aachen, Profil 003, Terravision



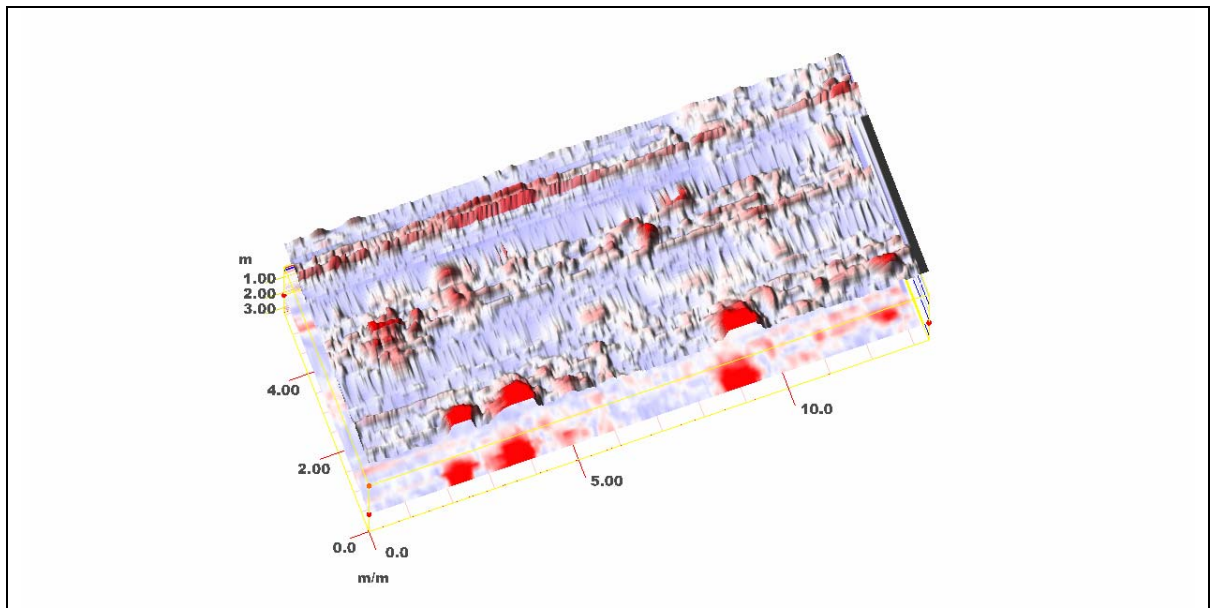
Testbett Aachen, Terravision



Testbett Aachen, Terravision



Testbett Aachen, Terravision



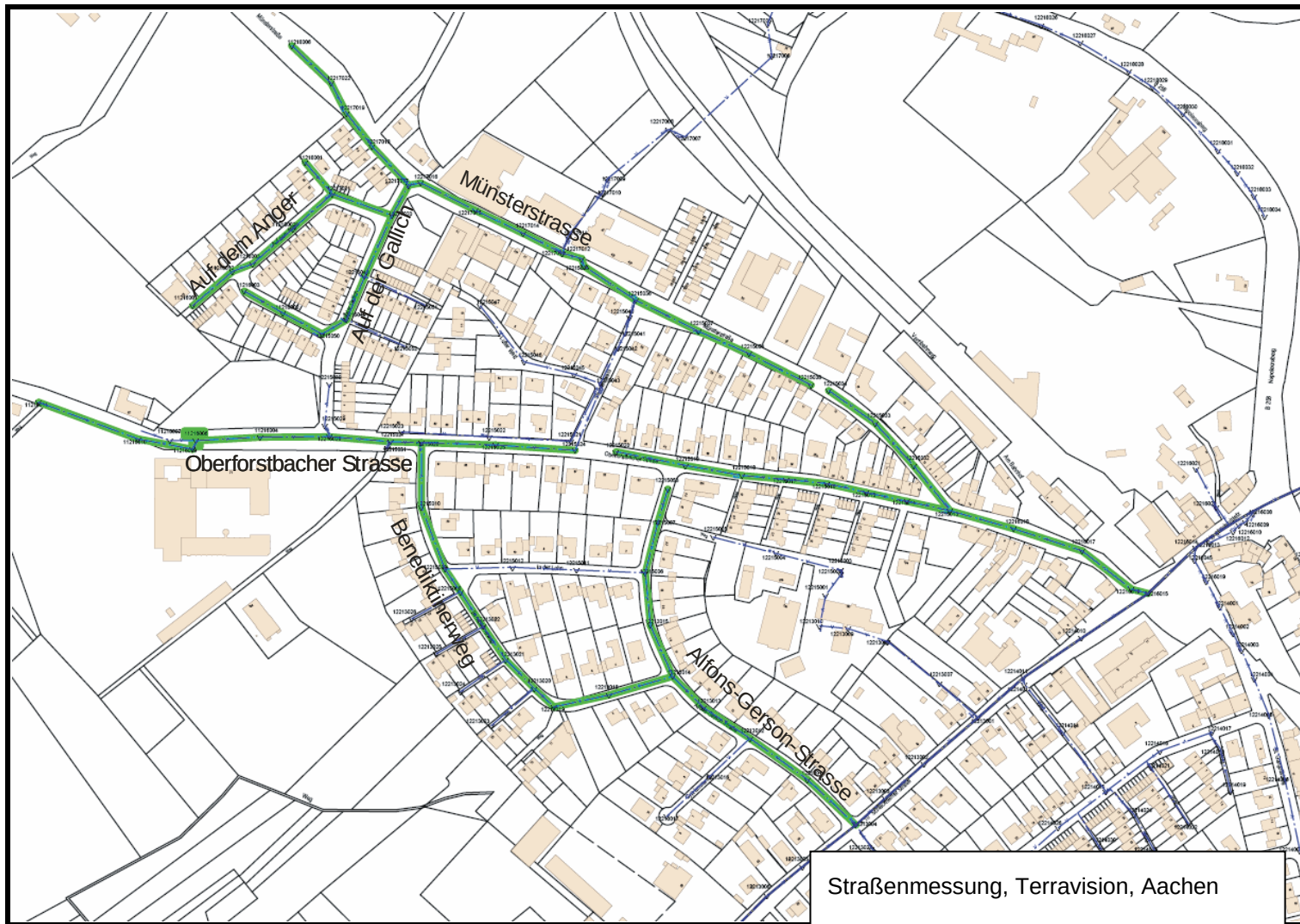
Testbett Aachen, Terravision

Anhang 6: Darstellung der Auswertung der Messungen in Aachen

Messbericht zur Auswertung der Georadarmessung auf der Oberforstbacher
Strasse, Alfons-Gerson-Strasse und dem
Benediktinerweg, Aachen, im Rahmen von:

Auftraggeber: Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
Auftragnehmer: GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH
Bearbeitung: Dipl.- Geophys. Daniela Hofmann
Bearbeitungszeitraum: März bis Oktober 2006

Übersichtsplan über alle untersuchten Straßenabschnitte, Aachen:



Übersicht über alle durchgeführten Radar-Messungen:

Stadt Aachen			
Strasse	Länge [m]	Messprotokoll	Bearbeitet
Alfons-Gerson Strasse	Profil 001: 333	ja	ja
Auf dem Anger	Profil 001: 103 / Profil 002: 190	ja	ja
Auf der Gallich	Profil 001: 198	ja	nein
Benediktinerweg	Profil 001: 103 / Profil 002: 190	ja	nein
Münsterstrasse	Profil 001: 618	ja	nein
Oberforsbacherstrasse	Profil 001: 950	ja	ja

Insgesamt gemessene Strecke: 3035 m

Anlagen: Messprotokolle, Auswertung der einzelnen Profile

Auswertung der Radarscannermessung auf der Oberforstbacher Strasse, Aachen

Ausgewertete Messmeter: 600 bis 800 m

Identifizierte Schachtnummern: 11216004 bei Messmeter 675 m, 11216006 bei Messmeter 723 m, 11216009 bei Messmeter 743 m

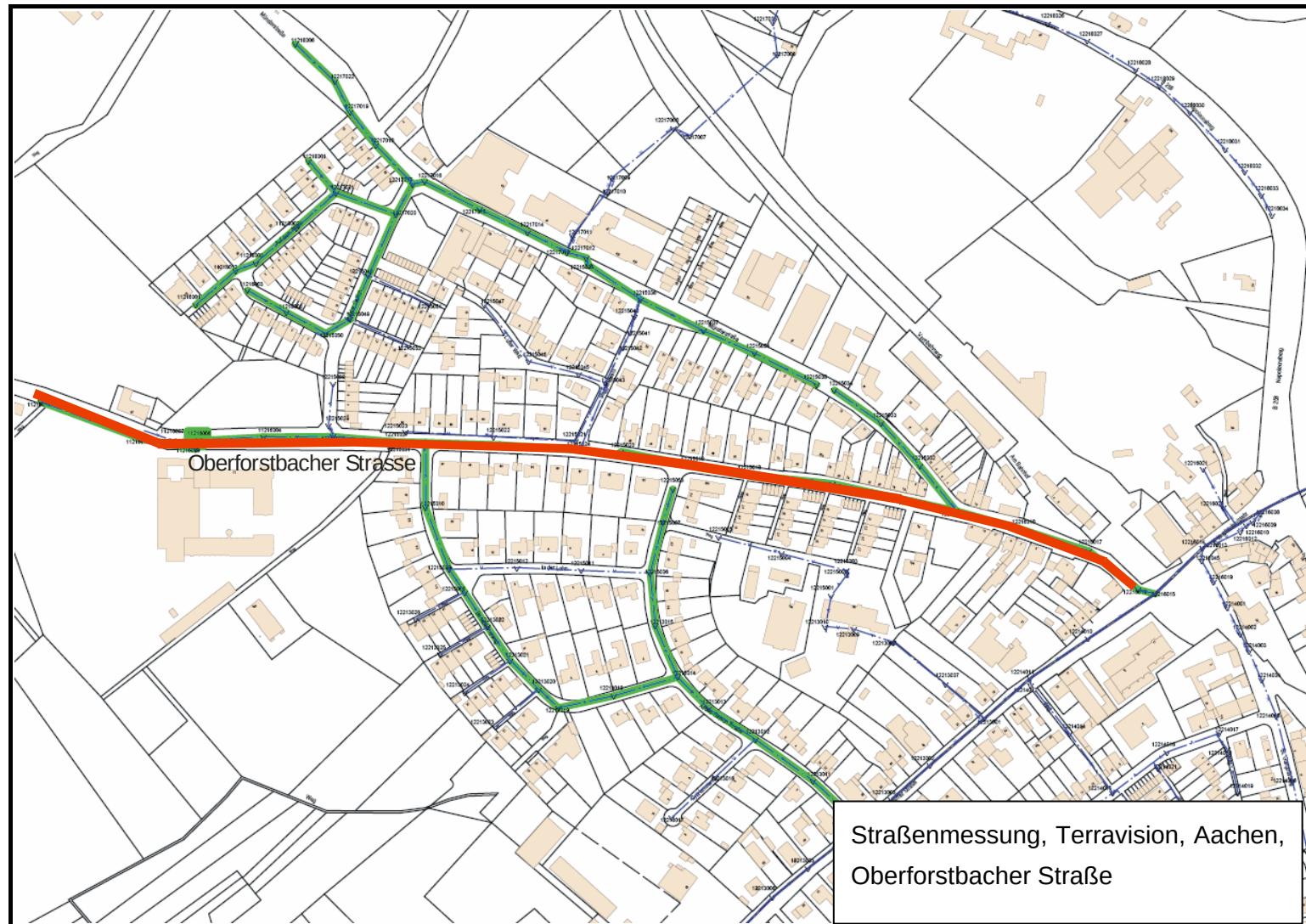
In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie die Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigem Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert zu verstehen!

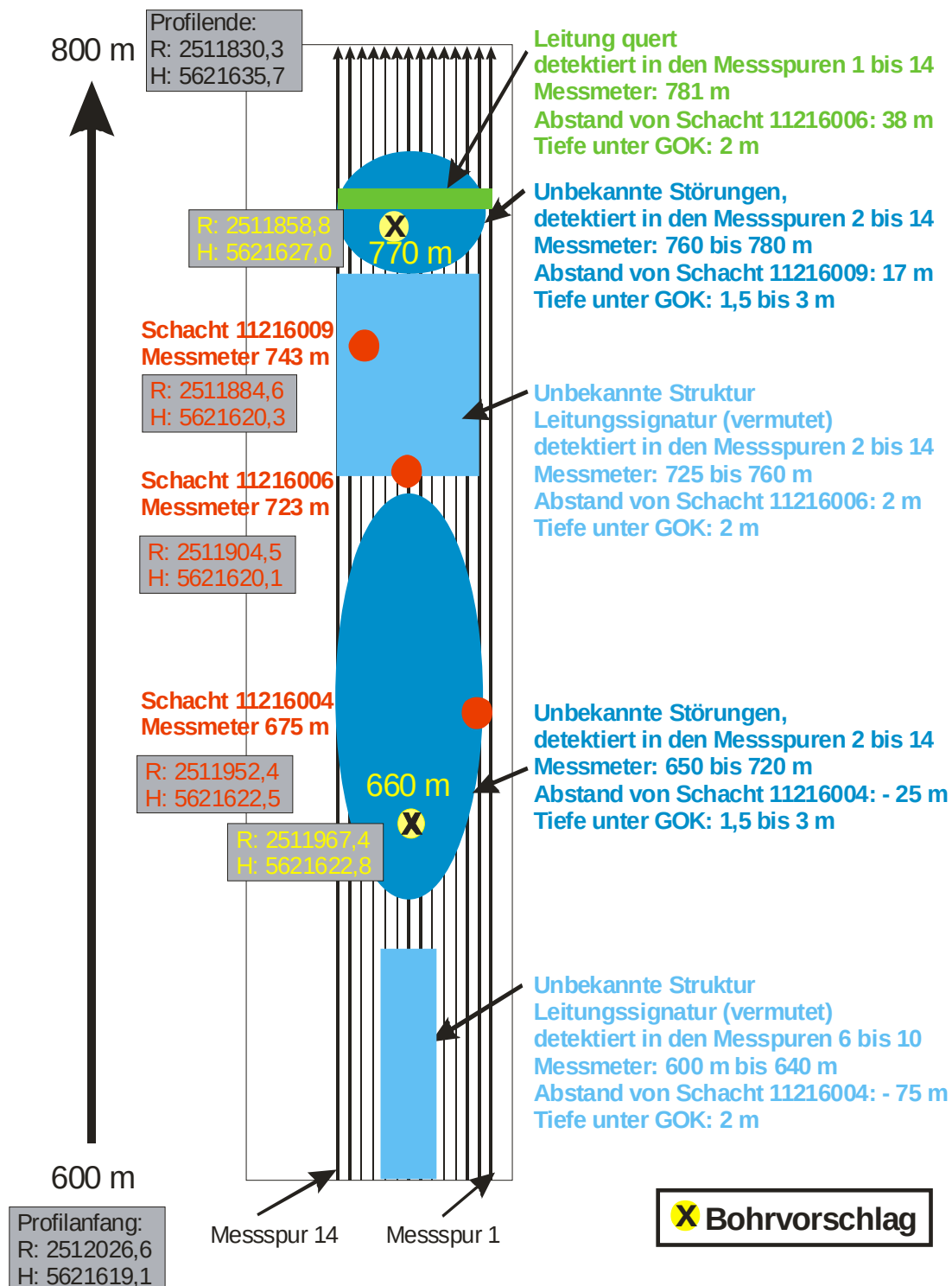
Die Angaben in Gauß-Krüger Koordinaten haben eine Ungenauigkeit von 1 – 2 m, die Entfernungsangaben bezogen auf die jeweiligen Schächte haben eine deutlich höhere Genauigkeit (< 50 cm)!!

Auswertung der Georadar Messung, Aachen, Oberforstbacher Strasse, Messmeter 600 bis 800 m, ab Kreuzung Auf der Gallich Richtung Wilburgpfad, Schacht 11216004, Profil 001						
identifizierte Schachtnummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
11216004	675					
		Leitungssignatur (vermutet)	600 bis 640	- 75 bis - 35	2	
		unbekannte Struktur	650 bis 680	- 25 bis + 5	1,5 bis 3	660 m
		unbekannte Struktur	680 bis 720	- 5 bis + 45	1,5 bis 3	
11216006	723					
		Leitungssignatur (vermutet)	725 bis 760	+ 2 bis + 35	1,5 bis 3	
11216009	743					
		unbekannte Struktur	760 bis 780	+ 17 bis + 37	1,5 bis 3	770 m
		Leitung quert	781	38	2	

Übersichtsplan der Messung auf der Oberforstbacher Strasse, Aachen:



**Radarscannermessung, Aachen, Oberforstbacherstrasse ab Kreuzung
Auf der Gallich in Richtung Wilburgpfad,
Messmeter 600 m bis 800 m, Länge 200 m,
Messspur 1 ist ca 0,2 m und Messspur 14
ca. 1,8 m vom rechten Strassenrand entfernt, einspurige Strasse,
Koordinaten Angaben sind in Gauß-Krüger Format, R = Rechts, H = Hoch**



Auswertung der Radarscannermessung auf der Oberforstbacher Strasse, Aachen, Messabschnitt 600 bis 800 m.

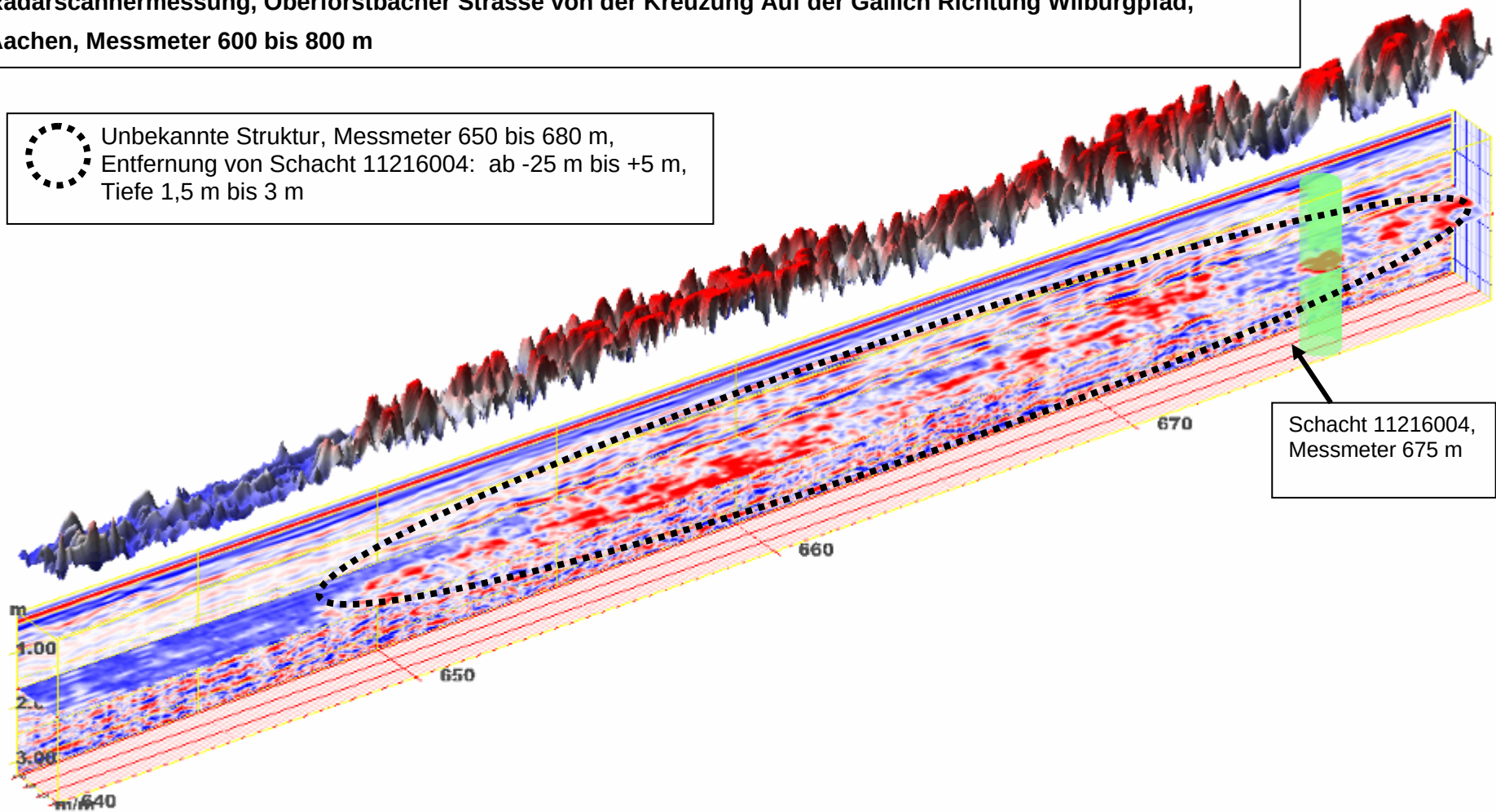
Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 2,5

**Radarscannermessung, Oberforstbacher Strasse von der Kreuzung Auf der Gallich Richtung Wilburgpfad,
Aachen, Messmeter 600 bis 800 m**



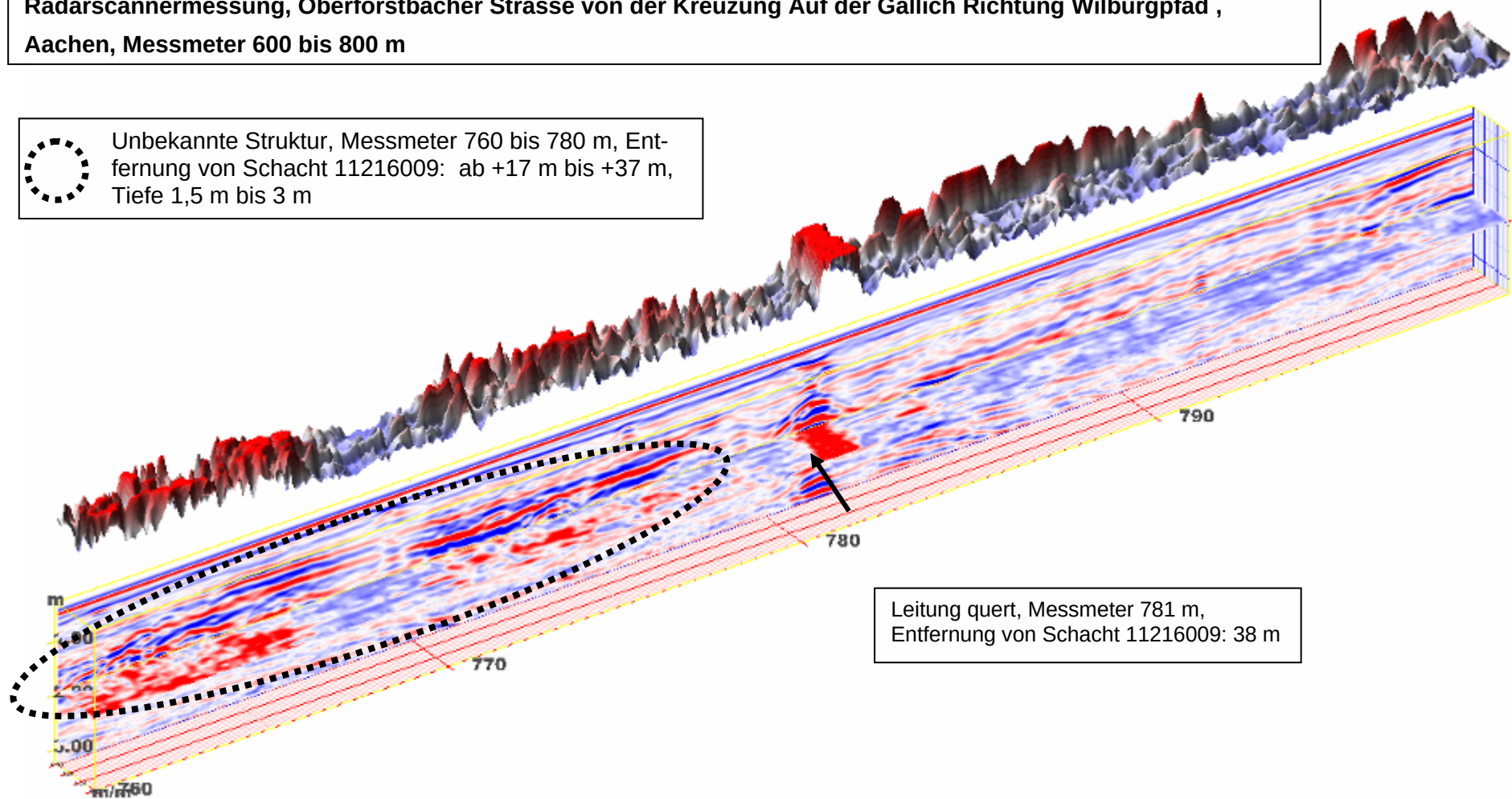
Unbekannte Struktur, Messmeter 650 bis 680 m,
Entfernung von Schacht 11216004: ab -25 m bis +5 m,
Tiefe 1,5 m bis 3 m



Radarscannermessung, Oberforstbacher Strasse von der Kreuzung Auf der Gallich Richtung Wilburgpfad ,
Aachen, Messmeter 600 bis 800 m



Unbekannte Struktur, Messmeter 760 bis 780 m, Entfernung von Schacht 11216009: ab +17 m bis +37 m, Tiefe 1,5 m bis 3 m



Leitung quert, Messmeter 781 m,
Entfernung von Schacht 11216009: 38 m

Auswertung der TerraVision Messung auf der Alfons Gerson Strasse, Aachen

Ausgewertete Messmeter: 0 bis 200 m

Identifizierte Schachtnummern: 12215053 bei Messmeter 10 m, 12215007 bei Messmeter 36 m, 12215006 bei Messmeter 75 m, 12213015 bei Messmeter 114 m, 12213014 bei Messmeter 156 m, 12213013 bei Messmeter 189 m

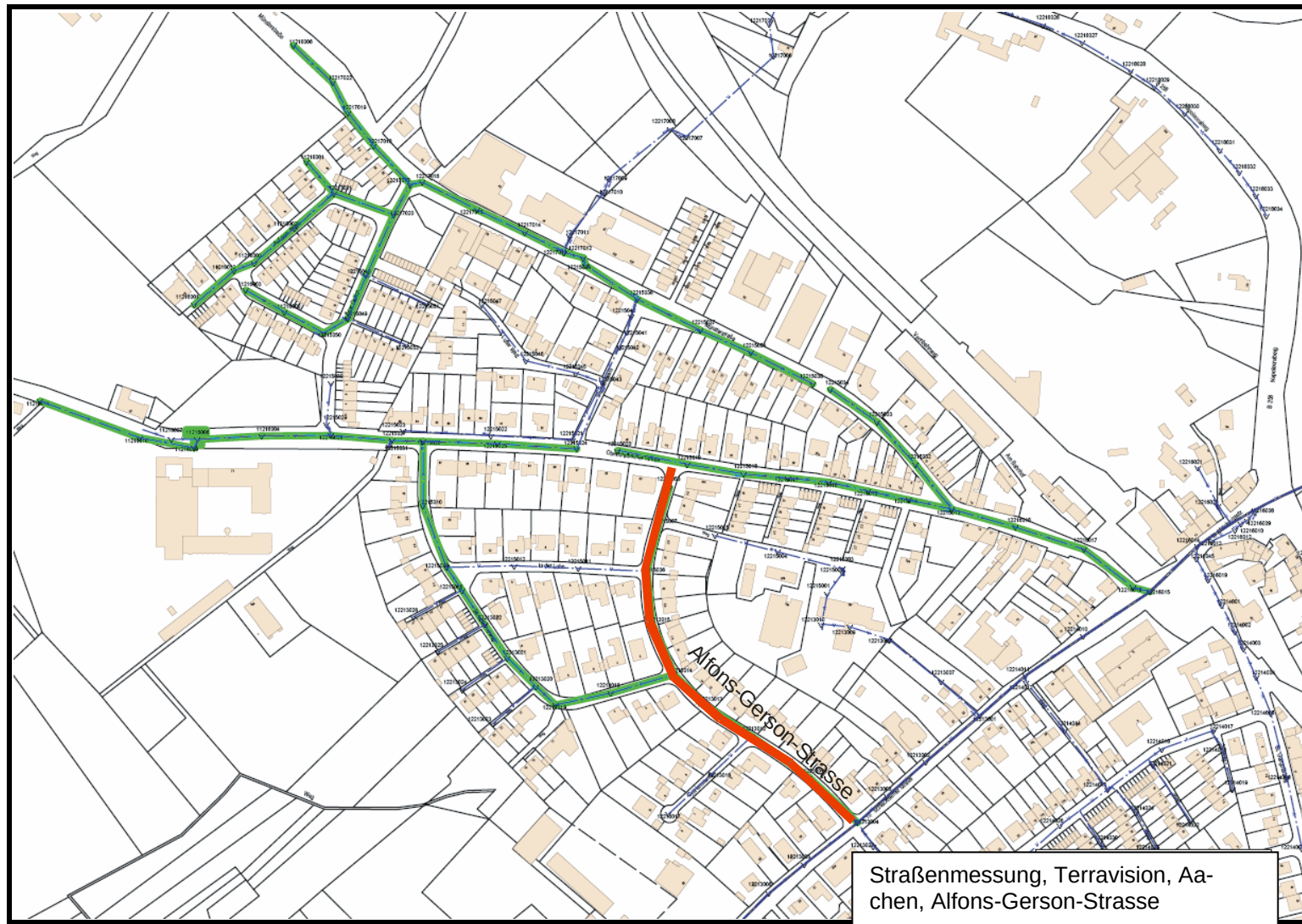
In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie die Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigem Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert zu verstehen!

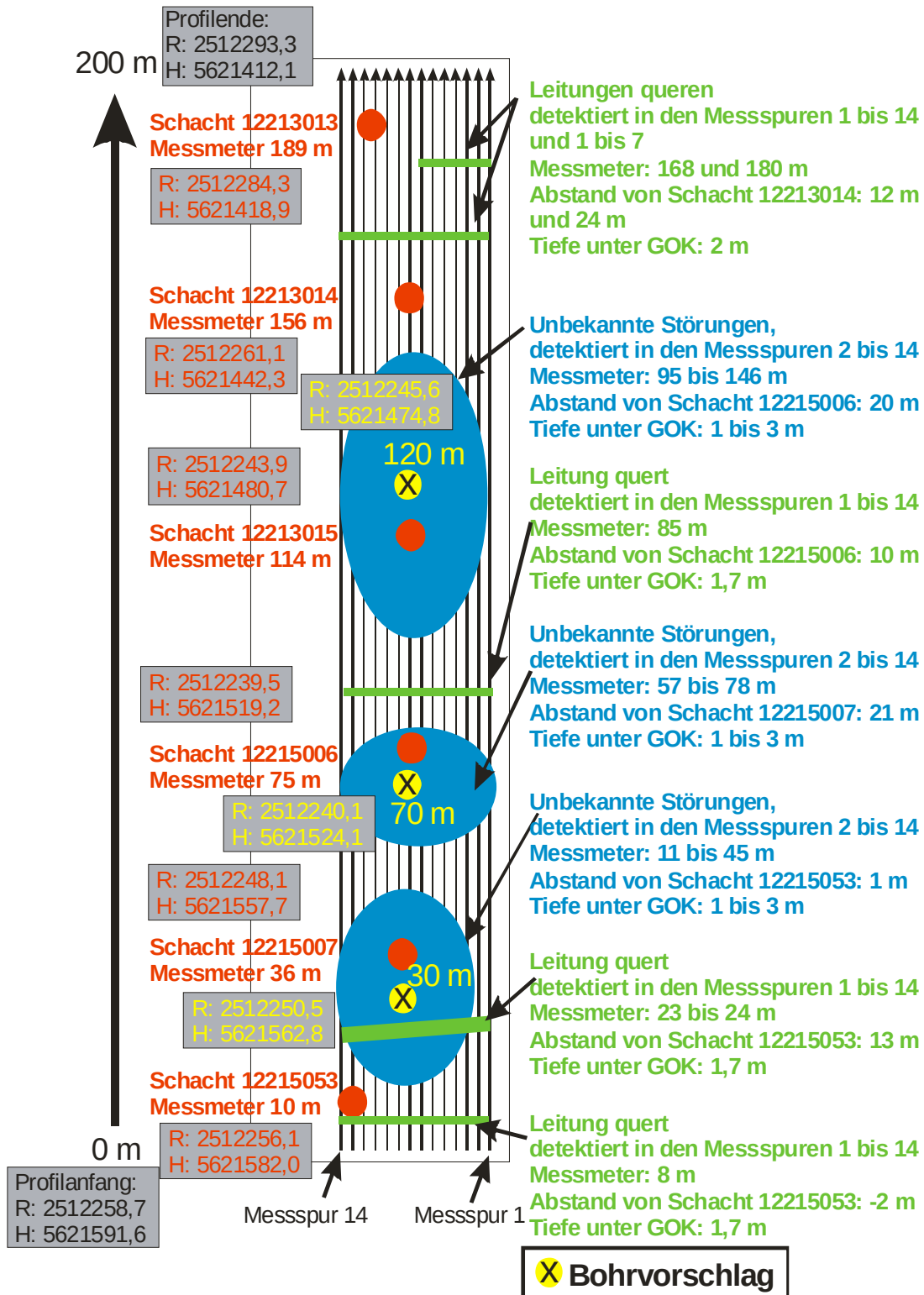
Die Angaben in Gauß-Krüger Koordinaten haben eine Ungenauigkeit von 1 – 2 m, die Entfernungsangaben bezogen auf die jeweiligen Schächte haben eine deutlich höhere Genauigkeit (< 50 cm)!!

Auswertung der Georadar Messung, Aachen, Alfons-Gerson-Strasse, Messmeter 0 bis 200 m, ab Kreuzung Oberforstbacher Strasse Richtung Schleckheimer Strasse, Schacht 12215053, Profil 001						
identifizierte Schachtnummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
12215053	10 m					
		Leitung quert	8	- 2	1,7	
		Leitung quert	23 bis 25	- 13	1,7	
		unbekannte Störung	10 bis 45	+ 0 bis + 35	1 bis 3	30 m
12215007	36 m					
12215006	75 m					
		unbekannte Störung	57 bis 78	- 18 bis + 3	1 bis 3	70 m
12213015	114 m					
		Leitung quert	85	- 29		
		unbekannte Störung	95 bis 120	- 19 bis + 6	1 bis 3	120 m
12213014	156 m					
		unbekannte Störung	120 bis 146	- 36 bis - 10	1 bis 3	
12213013	189 m					
		Leitung quert	168	- 21	2	
		Leitung quert	180	- 9	2	

Übersichtsplan der Messung auf der Alfons-Gerson-Strasse, Aachen



Radarscannermessung, Aachen, Alfons-Gerson-Strasse ab Kreuzung Oberforstbacherstrasse in Richtung Schleckheimerstrasse, Messmeter 0 m bis 200 m, Länge 200 m, Messspur 1 ist ca. 0,2 m und Messspur 14 ca. 1,8 m vom rechten Strassenrand entfernt, einspurige Strasse, Koordinaten Angaben sind im Gauß-Krüger Format, R = Rechts, H = Hoch



Auswertung der Radarscannermessung auf der Alfons-Gerson-Strasse, Aachen, Messabschnitt 0 bis 200 m.

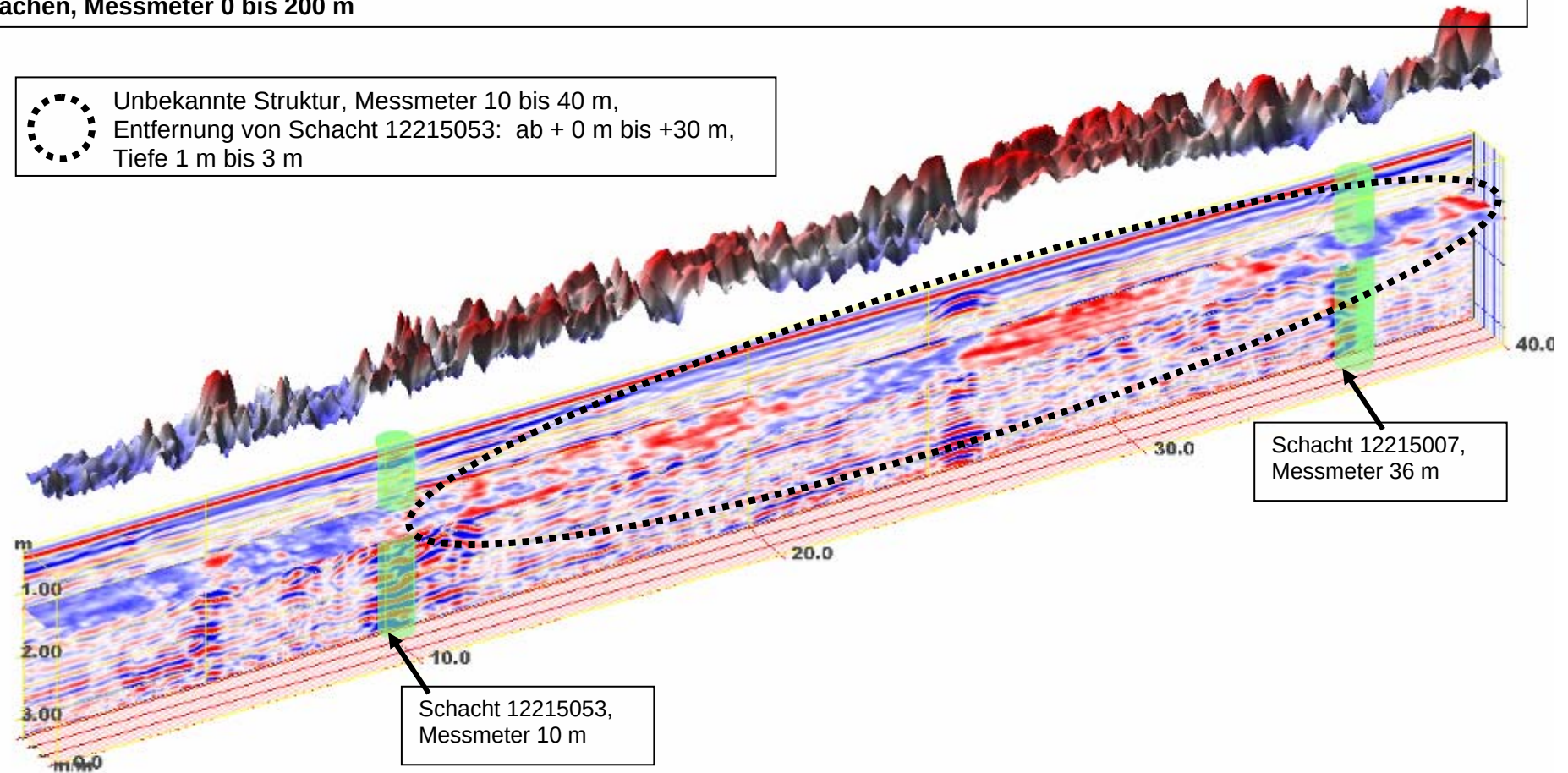
Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 2,5

**Radarscannermessung, Alfons-Gerson-Strasse von der Kreuzung Oberforstbacher- Richtung Schleckheimer Strasse,
Aachen, Messmeter 0 bis 200 m**



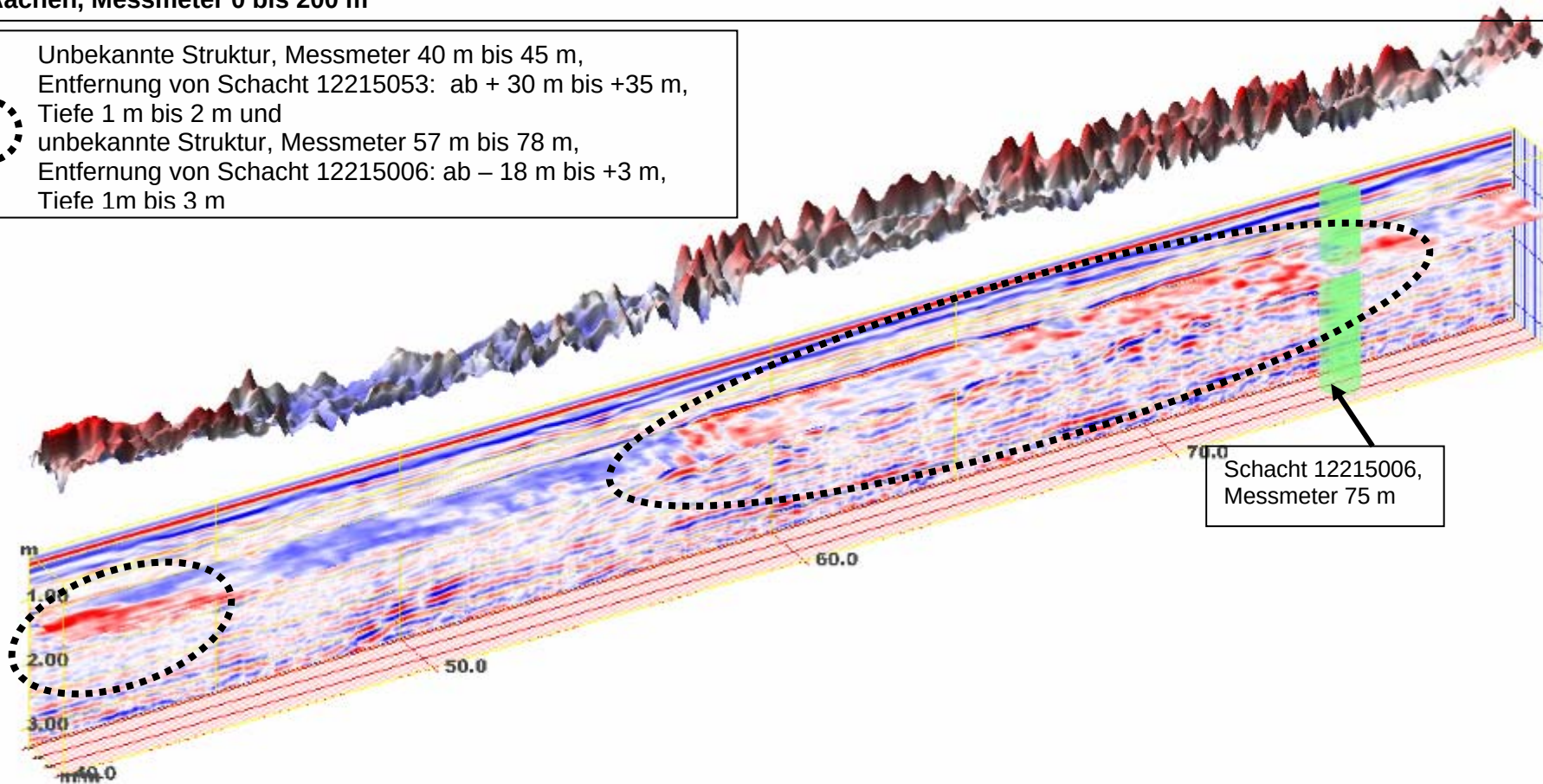
Unbekannte Struktur, Messmeter 10 bis 40 m,
Entfernung von Schacht 12215053: ab + 0 m bis +30 m,
Tiefe 1 m bis 3 m



**Radarscannermessung, Alfons-Gerson-Strasse von der Kreuzung Oberforstbacher Richtung Schleckheimer Strasse,
Aachen, Messmeter 0 bis 200 m**

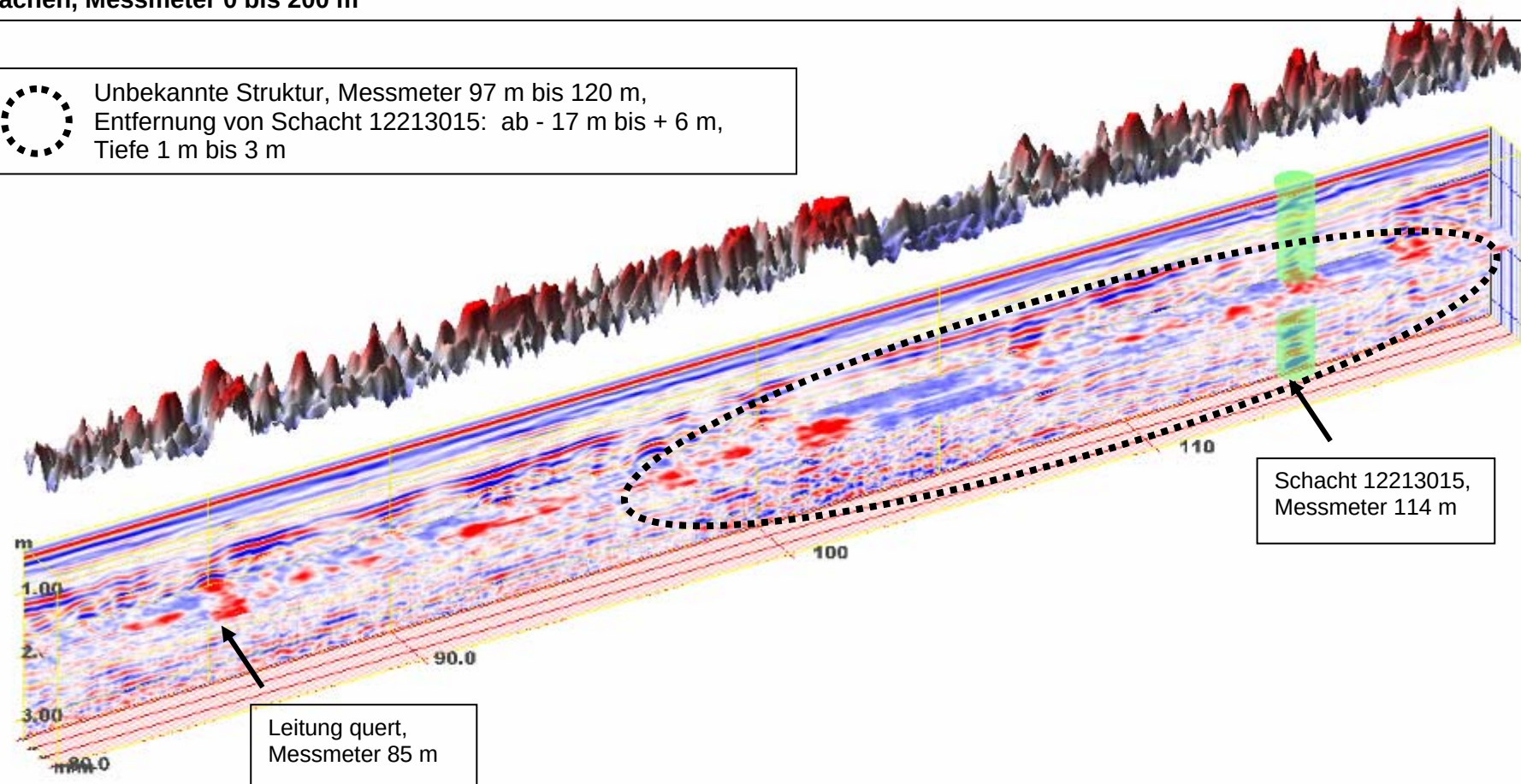


Unbekannte Struktur, Messmeter 40 m bis 45 m,
Entfernung von Schacht 12215053: ab + 30 m bis +35 m,
Tiefe 1 m bis 2 m und
unbekannte Struktur, Messmeter 57 m bis 78 m,
Entfernung von Schacht 12215006: ab – 18 m bis +3 m,
Tiefe 1m bis 3 m



**Radarscannermessung, Alfons-Gerson-Strasse von der Kreuzung Oberforstbacher Richtung Schleckheimer Strasse,
Aachen, Messmeter 0 bis 200 m**

 Unbekannte Struktur, Messmeter 97 m bis 120 m,
Entfernung von Schacht 12213015: ab - 17 m bis + 6 m,
Tiefe 1 m bis 3 m



Auswertung der Radarscannermessung auf dem Benediktinerweg, Aachen

Ausgewertete Messmeter: 0 bis 200 m

Identifizierte Schachtnummern: 12215026 bei Messmeter 1 m, 12215009 bei Messmeter 96 m, 12215008 bei Messmeter 116 m, 12213022 bei Messmeter 147 m, 12213021 bei Messmeter 178 m

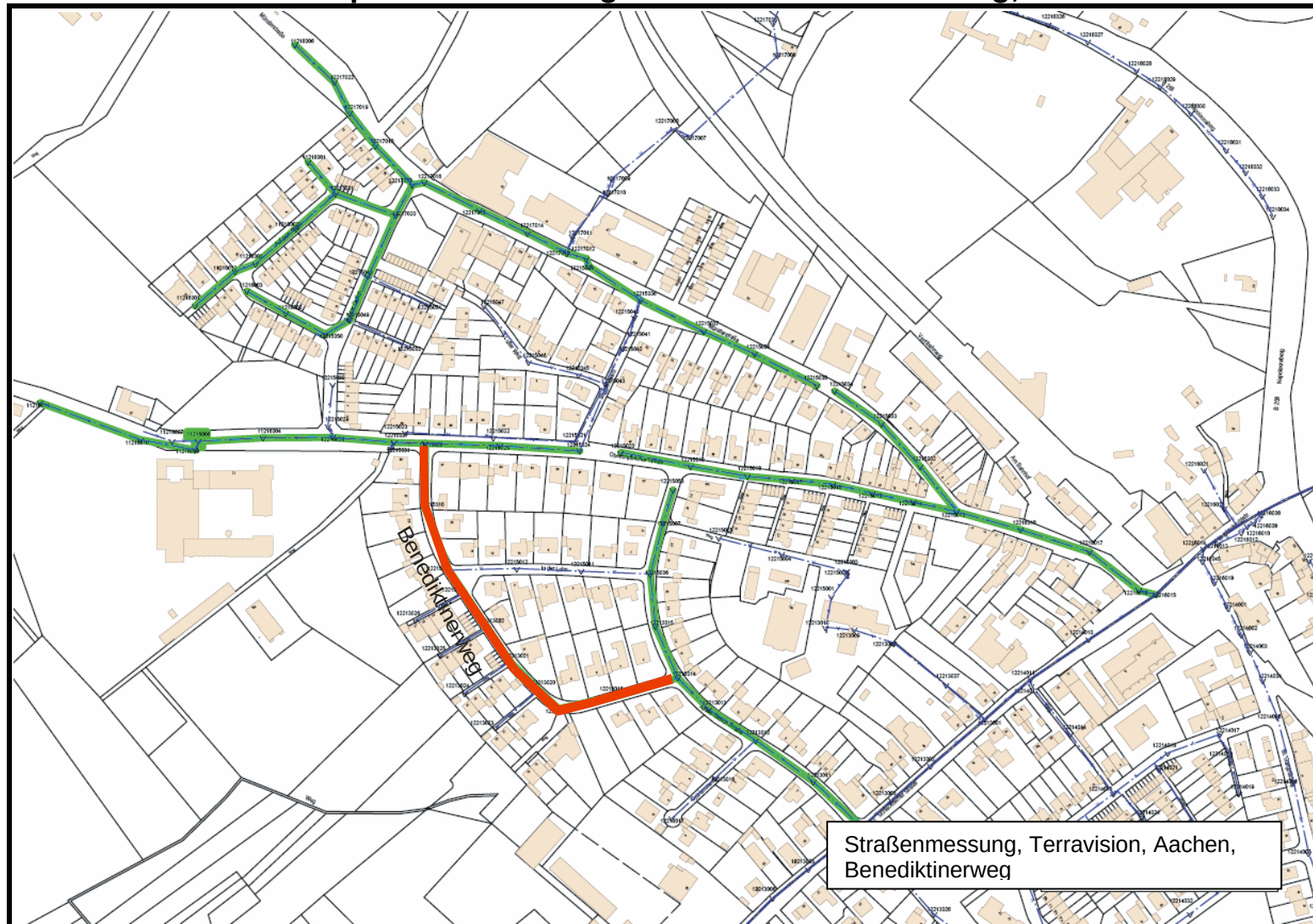
In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie die Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigem Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert zu verstehen!

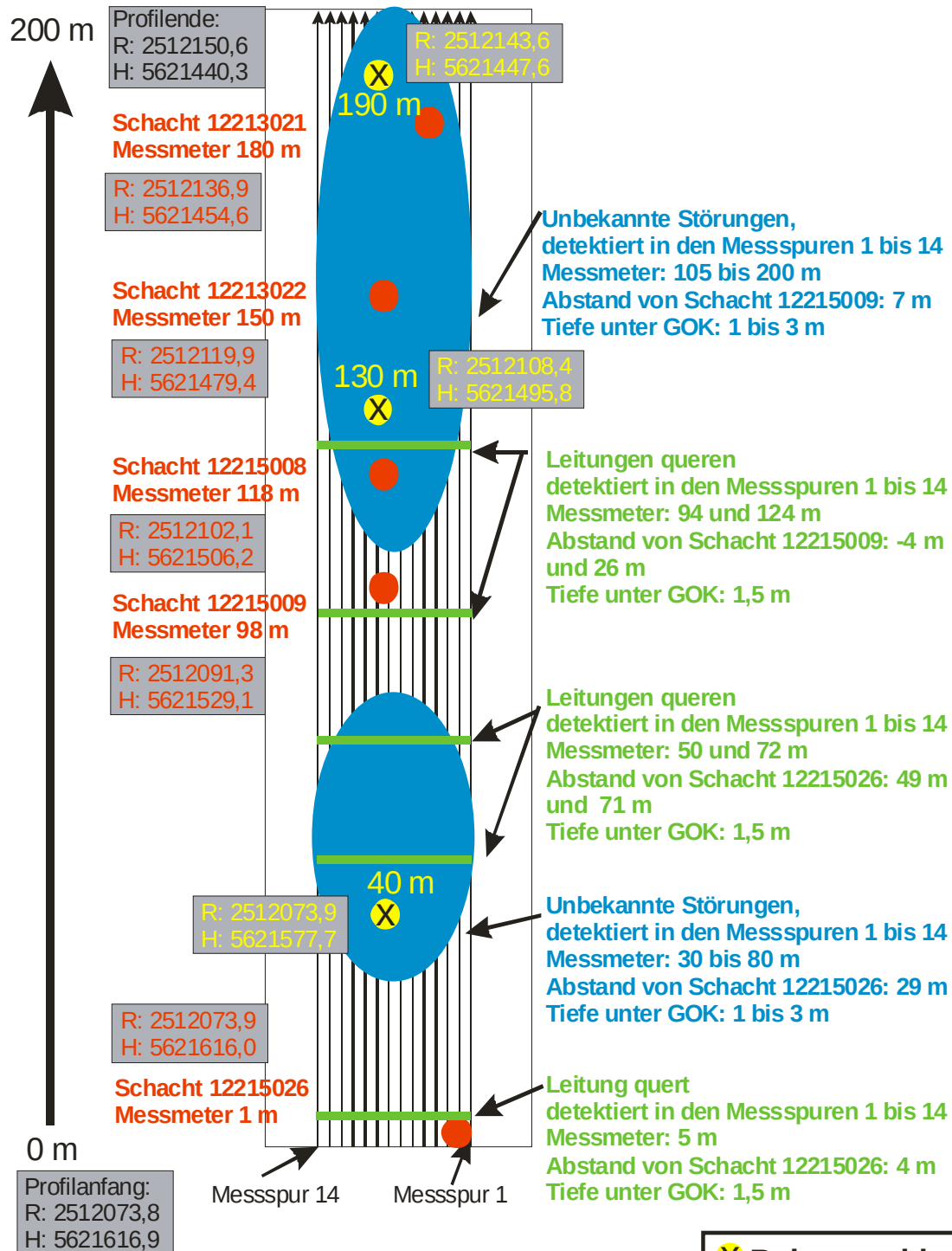
Die Angaben in Gauß-Krüger Koordinaten haben eine Ungenauigkeit von 1 – 2 m, die Entfernungsangaben bezogen auf die jeweiligen Schächte haben eine deutlich höhere Genauigkeit (< 50 cm)!!

Auswertung der Georadar Messung, Aachen, Benediktinerweg, Messmeter 0 bis 200 m, ab Kreuzung Oberforstbacher Strasse Richtung Alfons-Gerson-Strasse, Schacht 12215026, Profil 001						
identifizierte Schacht Nummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
12215026	1					
		Leitung	5	+ 4	1,5	
		unbekannte Störung	30 bis 40	+ 29 bis + 39	1 bis 3	40 m
		unbekannte Störung	40 bis 80	+ 40 bis + 80	1 bis 3	
		Leitung	50	+ 49	1,5	
		Leitung	72	+ 71	1,5	
12215009	98					
		Leitung	94	- 4	1,5	
12215008	118					
		unbekannte Störung	105 bis 120	- 13 bis + 2	1 bis 3	130 m
12213022	150					
		Leitung	124	- 26	1,5	
		unbekannte Störung	120 bis 160	- 30 bis + 10	1 bis 3	
12213021	180					
		unbekannte Störung	160 bis 200	- 20 bis + 20	1 bis 3	190 m

Übersichtsplan der Messung auf dem Benediktinerweg, Aachen



**Radarscannermessung, Aachen, Benediktinerweg ab Kreuzung
Oberforstbacherstrasse in Richtung Alfons-Gerson-Strasse,
Messmeter 0 m bis 200 m, Länge 200 m,
Messspur 1 ist ca. 1 m und Messspur 14
ca. 2,8 m vom rechten Strassenrand entfernt, einspurige Strasse,
Koordinaten-Angaben sind im Gauß-Krüger Format, R = Rechts, H = Hoch**

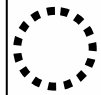


Auswertung der Radarscannermessung auf dem Benediktinerweg, Aachen, Messabschnitt 0 bis 200 m.

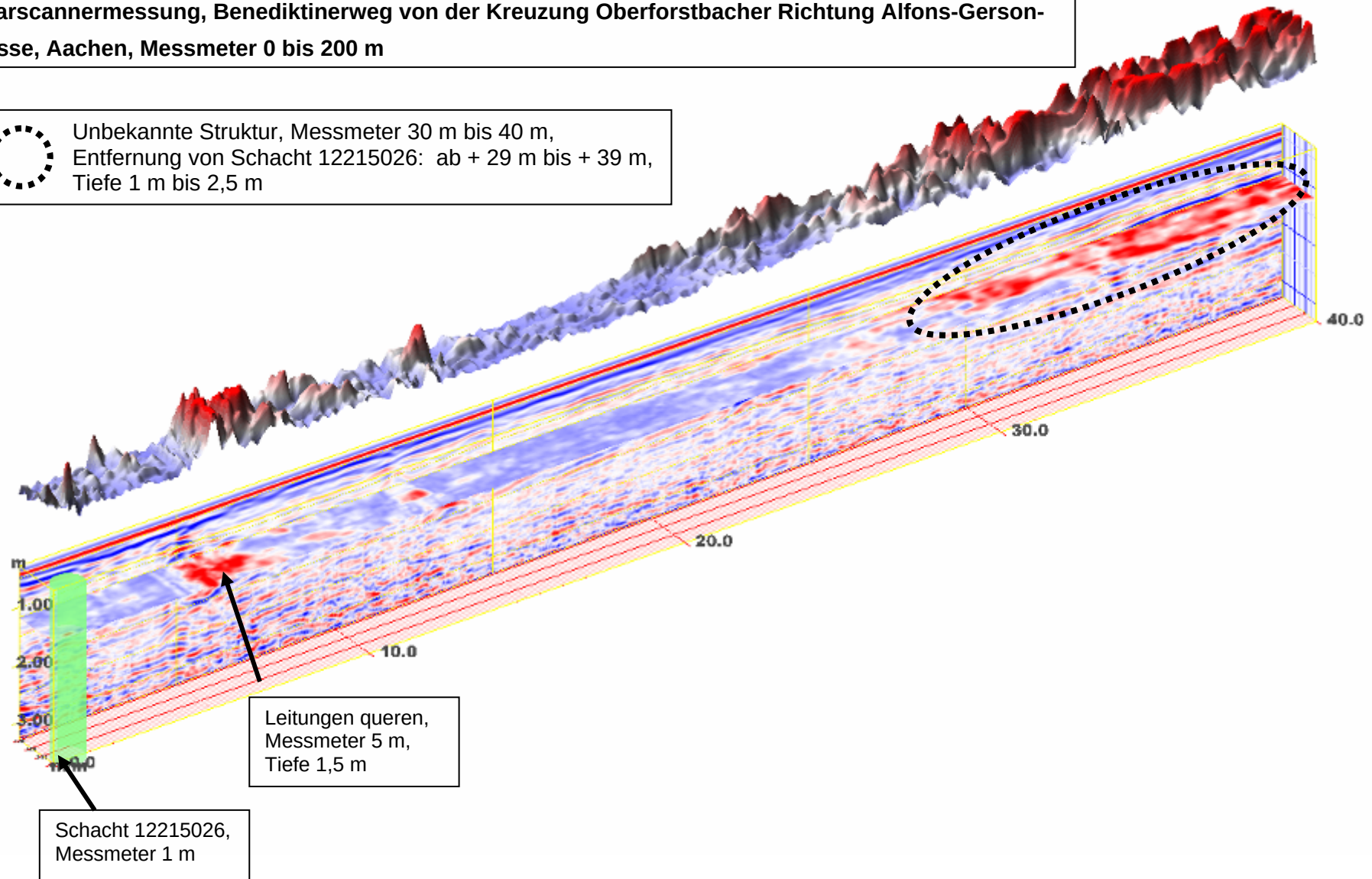
Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 2,5

Radarscannermessung, Benediktinerweg von der Kreuzung Oberforstbacher Richtung Alfons-Gerson-Strasse, Aachen, Messmeter 0 bis 200 m



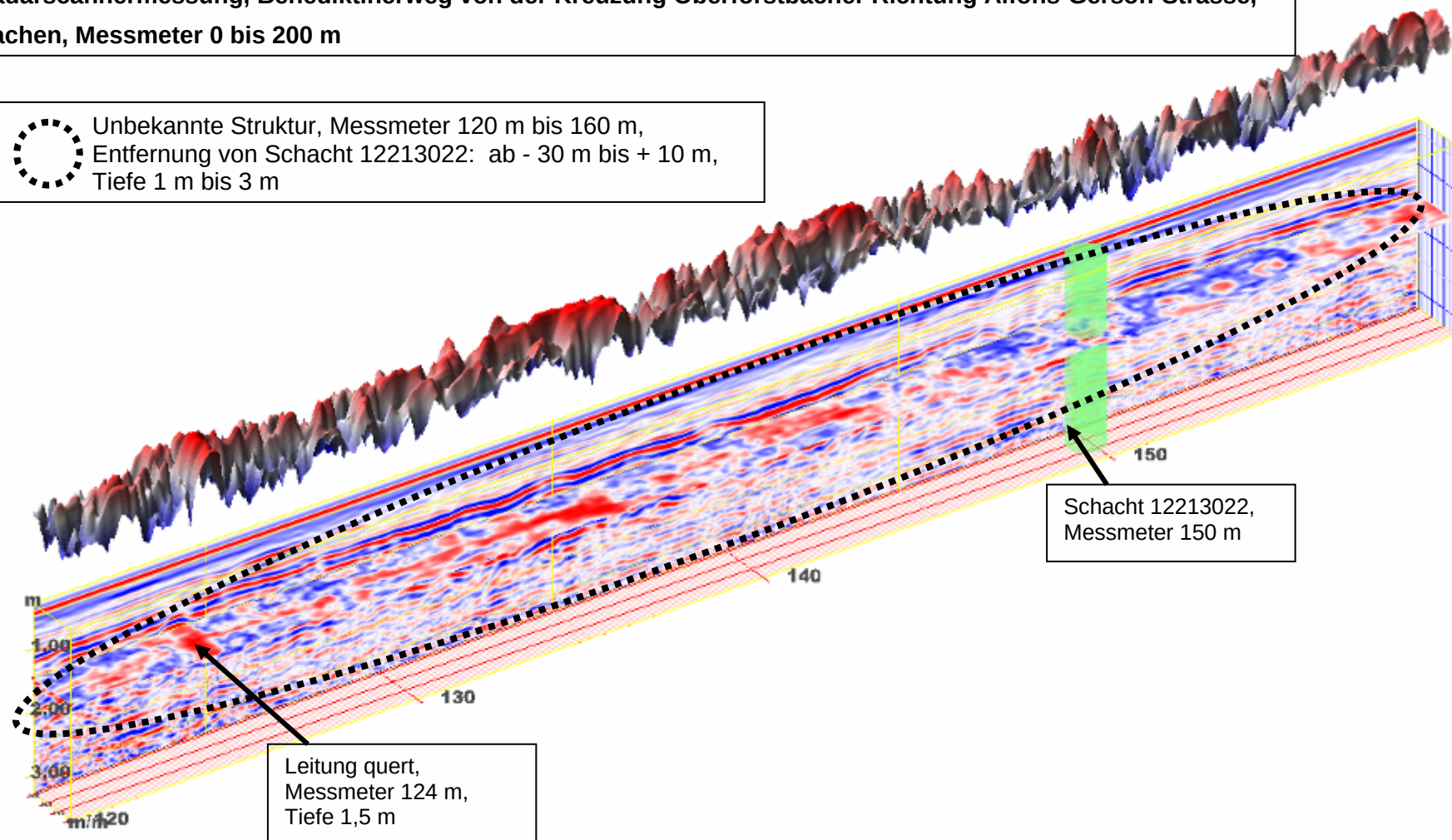
Unbekannte Struktur, Messmeter 30 m bis 40 m,
Entfernung von Schacht 12215026: ab + 29 m bis + 39 m,
Tiefe 1 m bis 2,5 m



**Radarscannermessung, Benediktinerweg von der Kreuzung Oberforstbacher Richtung Alfons-Gerson-Strasse,
Aachen, Messmeter 0 bis 200 m**



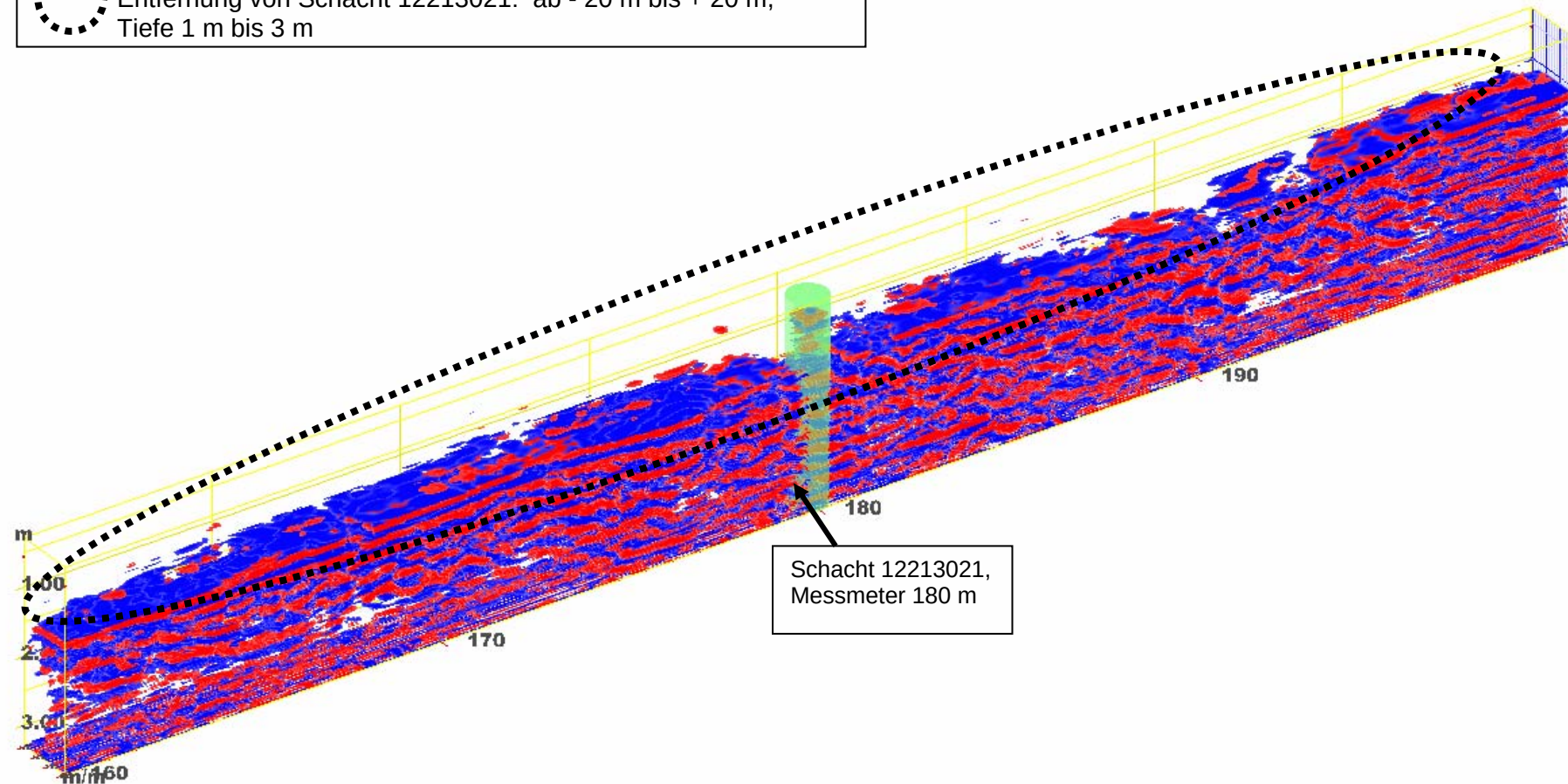
Unbekannte Struktur, Messmeter 120 m bis 160 m,
Entfernung von Schacht 12213022: ab - 30 m bis + 10 m,
Tiefe 1 m bis 3 m



**Radarscannermessung, Benediktinerweg von der Kreuzung Oberforstbacher Richtung Alfons-Gerson-Strasse, Aachen,
Messmeter 0 bis 200 m**



Unbekannte Struktur, Messmeter 160 m bis 200 m,
Entfernung von Schacht 12213021: ab - 20 m bis + 20 m,
Tiefe 1 m bis 3 m



Anhang 7: Darstellung der Auswertung der Messungen Braunschweig

Messbericht zur Auswertung der Georadarmessung auf der Hamburger-Strasse,
Salzdahlumer-Strasse und Wilhelmshavener Strasse, Braunschweig, im Rahmen
von:

Auftraggeber: Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
Auftragnehmer: GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH
Bearbeitung: Dipl.- Geophys. Daniela Hofmann
Bearbeitungszeitraum: März bis Oktober 2006

Übersichtspläne der Strassenmessungen in Braunschweig



Übersichtspläne der Strassenmessungen in Braunschweig



Übersichtspläne der Strassenmessungen in Braunschweig



Übersicht über alle durchgeführten Radar-Messungen:

Stadt Braunschweig, TerraVision			
Strasse	Länge [m]	Messprotokoll	Bearbeitet
Hamburger Strasse	Profil 001: 980 m	ja	ja
Salzdahlumer Strasse	Profil 001: 133 m / Profil 002: 240 m	ja	Ja/Profil002
Wilhelmshavener Strasse	Profil 001: 255 m	ja	ja

Insgesamt gemessene Strecke: 1610 m

Anlagen: Messprotokolle, Auswertung der einzelnen Profile

Auswertung der Radarscannermessung auf der Hamburger Strasse, Braunschweig

Ausgewertete Messmeter: 0 bis 200 m

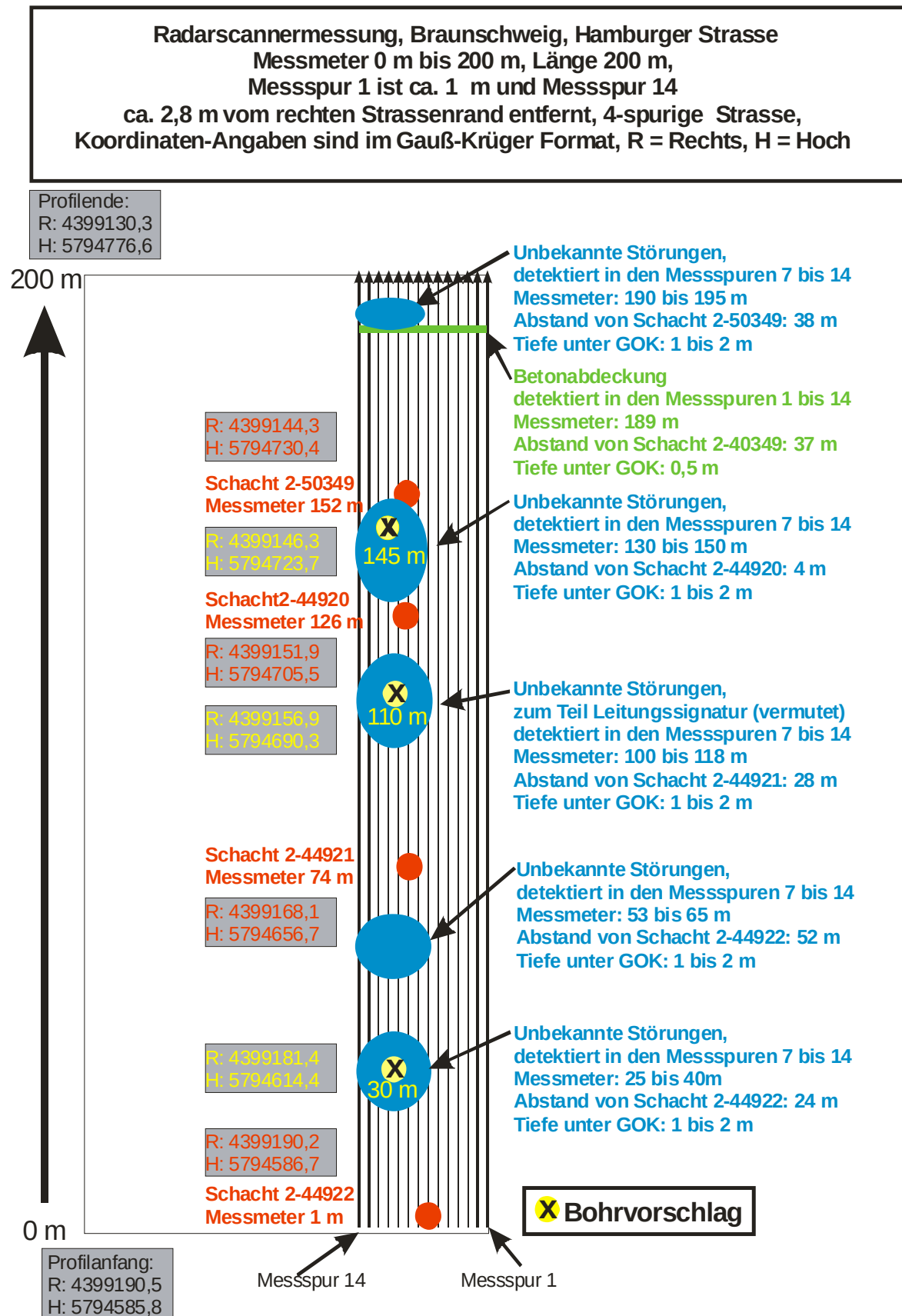
Identifizierte Schachtnummern: 2 – 44922 bei Messmeter 1 m, 2 – 44921 bei Messmeter 74 m, 2 – 44920 bei Messmeter 126 m, 2 – 50349 bei Messmeter 152 m

In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie die Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigem Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert zu verstehen!

Die Angaben in Gauß-Krüger Koordinaten haben eine Ungenauigkeit von 1 – 2 m, die Entfernungsangaben bezogen auf die jeweiligen Schächte haben eine deutlich höhere Genauigkeit (< 50 cm)!!

Auswertung der Georadar Messung, Braunschweig, Hamburger Strasse, Messmeter 0 bis 200 m, ab Kreuzung Wendenring/Rebenring in Richtung Ludwigstrasse						
identifizierte Schacht Nummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
2-44922	1					
		unbekannte Struktur	25 bis 40	+ 24	1 bis 2	30 m
		unbekannte Struktur	53 bis 65	+ 52	1 bis 2	
2-44921	74					
		unbekannte Struktur	100 bis 118	+ 20	1 bis 2	110 m
2-44920	126					
		unbekannte Struktur	130 bis 150	+ 4	1 bis 2	145 m
2-50349	152					
		unbekannte Struktur	190 bis 195	+ 38	1 bis 2	
		Betonabdeckung	189	+ 37	1 bis 2	



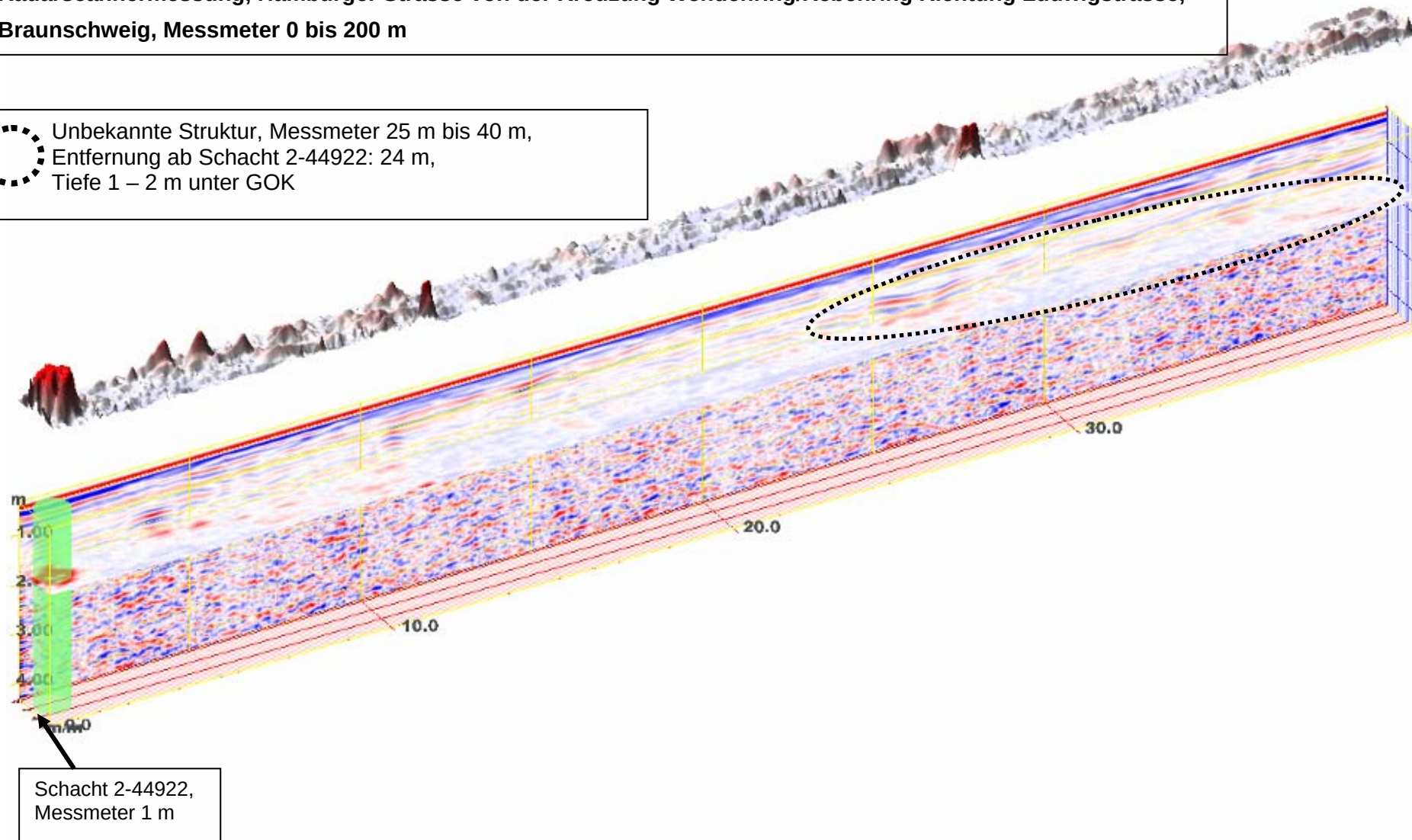
Auswertung der Georadar Messung (TerraVision) auf der Hamburger Strasse, Braunschweig, Messabschnitt 0 bis 200 m.

Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

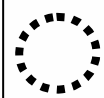
Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 2

**Radarscannermessung, Hamburger Strasse von der Kreuzung Wendenring/Rebenring Richtung Ludwigstrasse,
Braunschweig, Messmeter 0 bis 200 m**

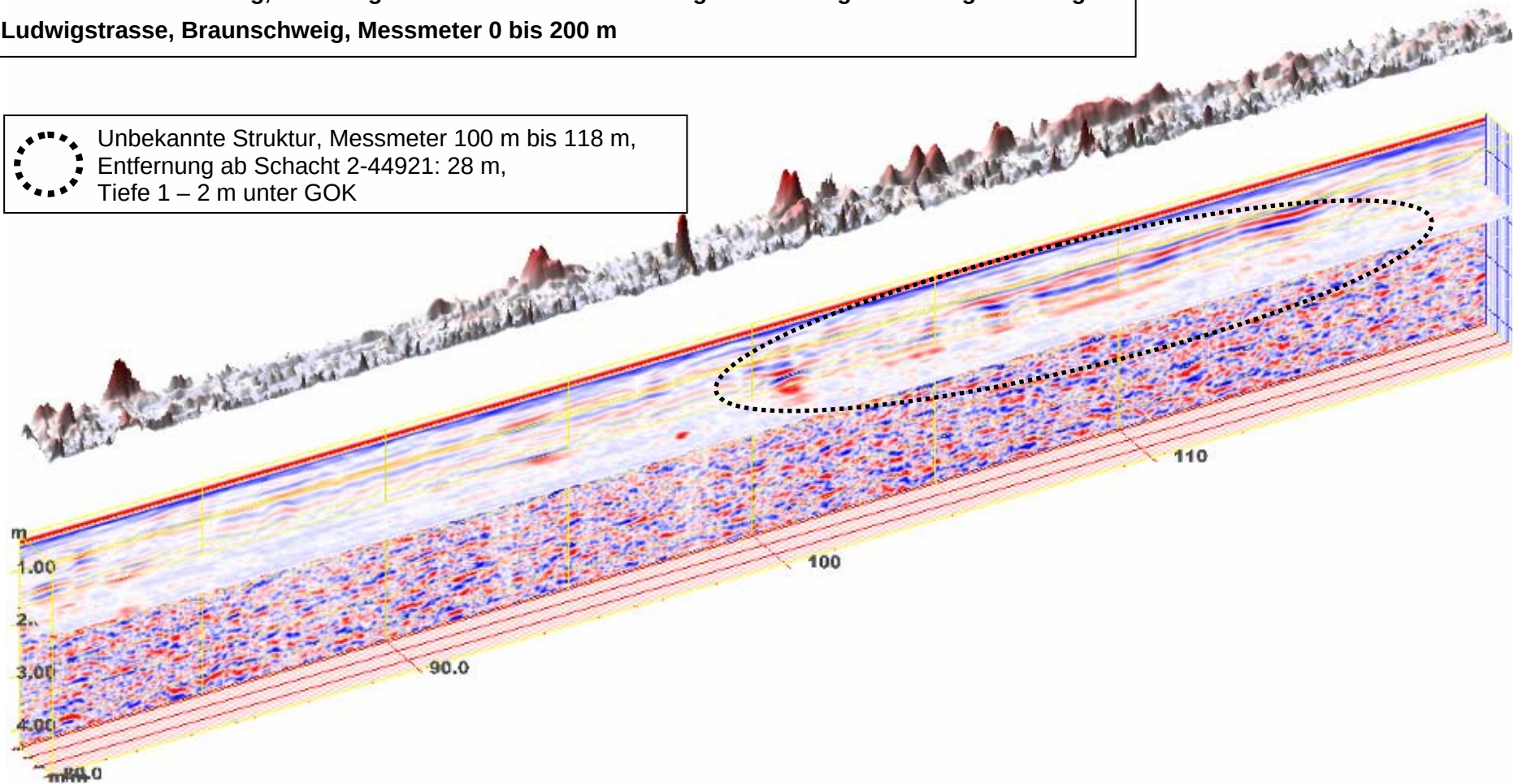
○ Unbekannte Struktur, Messmeter 25 m bis 40 m,
Entfernung ab Schacht 2-44922: 24 m,
Tiefe 1 – 2 m unter GOK



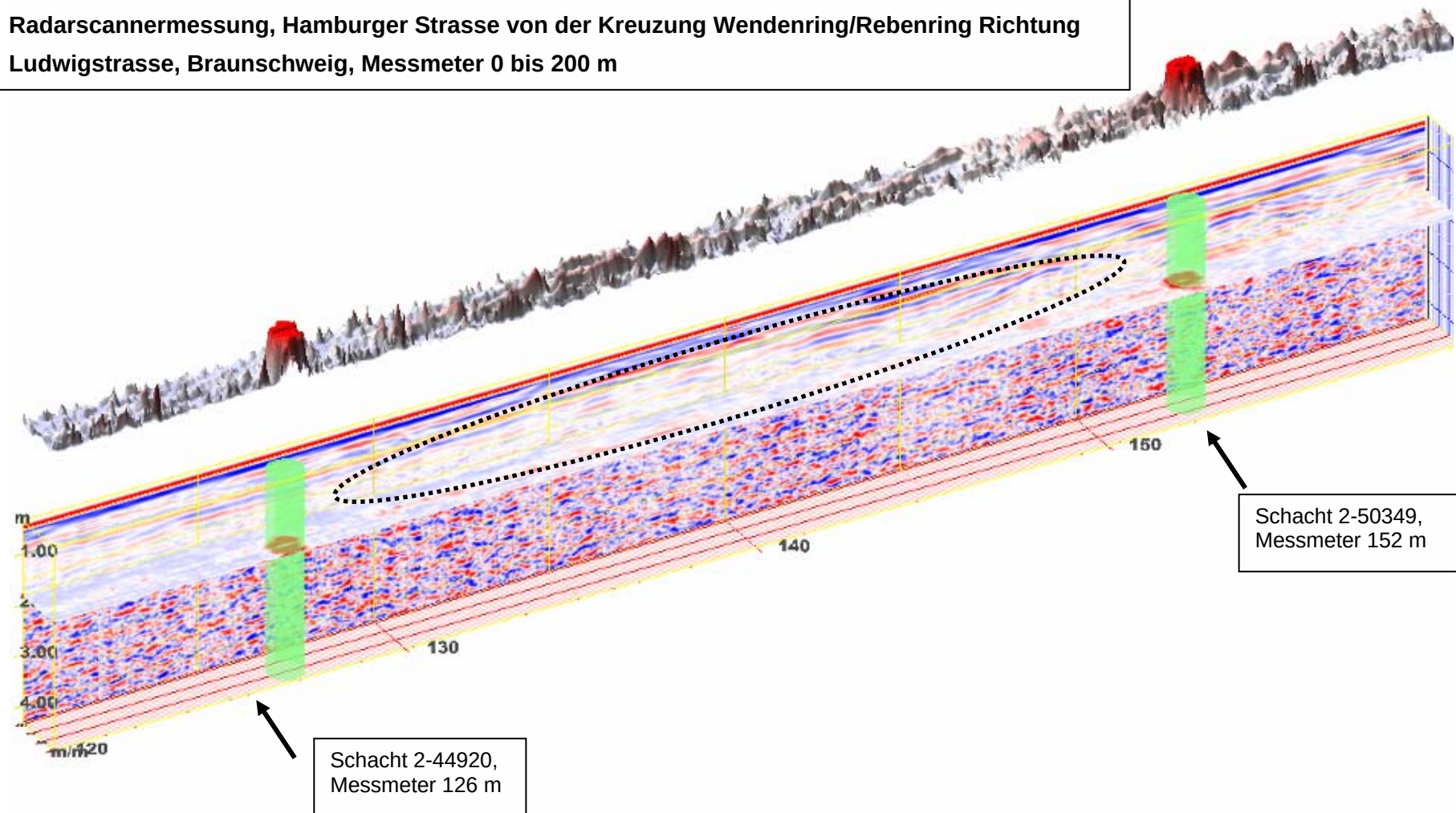
Radarscannermessung, Hamburger Strasse von der Kreuzung Wendenring/Rebenring Richtung Ludwigstrasse, Braunschweig, Messmeter 0 bis 200 m



Unbekannte Struktur, Messmeter 100 m bis 118 m,
Entfernung ab Schacht 2-44921: 28 m,
Tiefe 1 – 2 m unter GOK



Radarscannermessung, Hamburger Strasse von der Kreuzung Wendenring/Rebenring Richtung
Ludwigstrasse, Braunschweig, Messmeter 0 bis 200 m



Auswertung der Radarscannermessung auf der Salzdahlumer Strasse, Braunschweig

Ausgewertete Messmeter: 0 bis 200 m

Identifizierte Schachtnummern: 2 – 13930 bei Messmeter 10 m, 1 – 34396 bei Messmeter 14 m, 2 – 14112 bei Messmeter 17 m, 1 – 34406 bei Messmeter 41 m, 1 – 34414 bei Messmeter 107 m und 1 – 34427 bei Messmeter 183 m

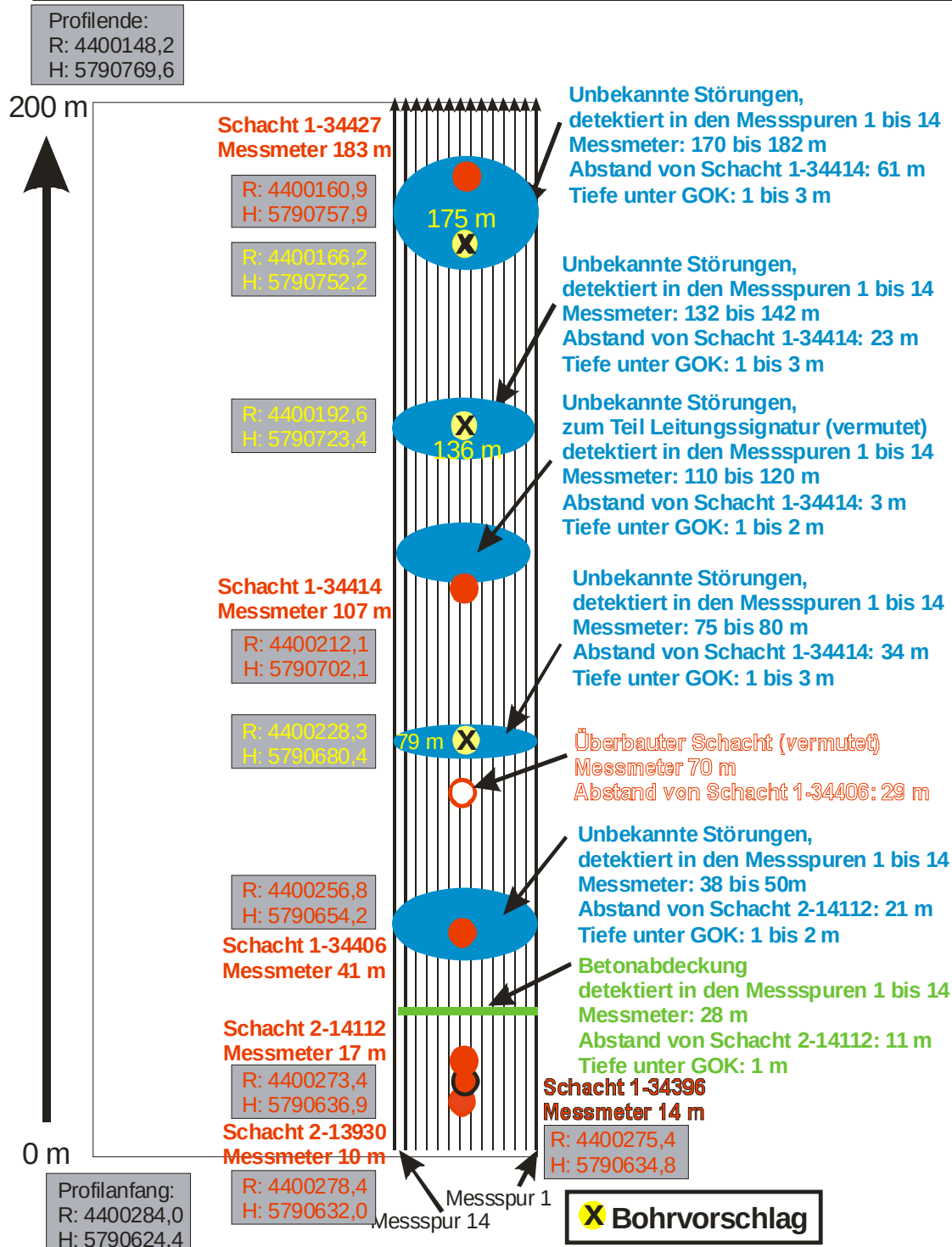
In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie die Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigem Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert zu verstehen!

Die Angaben in Gauß-Krüger Koordinaten haben eine Ungenauigkeit von 1 – 2 m, die Entfernungsangaben bezogen auf die jeweiligen Schächte haben eine deutlich höhere Genauigkeit (< 50 cm)!!

Auswertung der Georadar Messung, Braunschweig,Salzdahlumer Strasse, Messmeter 0 bis 200 m, ab Kreuzung Schefflerstrasse in Richtung Holzmindenerstrasse						
identifizierte Schacht Num- mer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
2-13930	10					
1-34396	14					
2-14112	17					
		Betonabdeckung	28	+ 18	1	
		unbekannte Struktur	38 bis 50	+ 21	1 bis 2,5	
1-34406	41					
		überbauter Schacht (vermutet)	70	+ 29	1 bis 4	
		unbekannte Struktur	75 bis 80	+ 34	1 bis 3	79 m
1-34414	107					
		unbekannte Struktur	110 bis 120	+ 3	1 bis 2	
		unbekannte Struktur	132 bis 142	+ 23	1 bis 3	136 m
		unbekannte Struktur	170 bis 182	+ 61	1 bis 3	175 m
1-34427	183					

Radarscannermessung, Braunschweig, Salzdahlumer Strasse
Messmeter 0 m bis 200 m, Länge 200 m,
Messspur 1 ist ca. 1 m und Messspur 14
ca. 2,8 m vom rechten Strassenrand entfernt, 4-spurige Strasse,
Koordinaten-Angaben sind im Gauß-Krüger Format, R = Rechts, H = Hoch

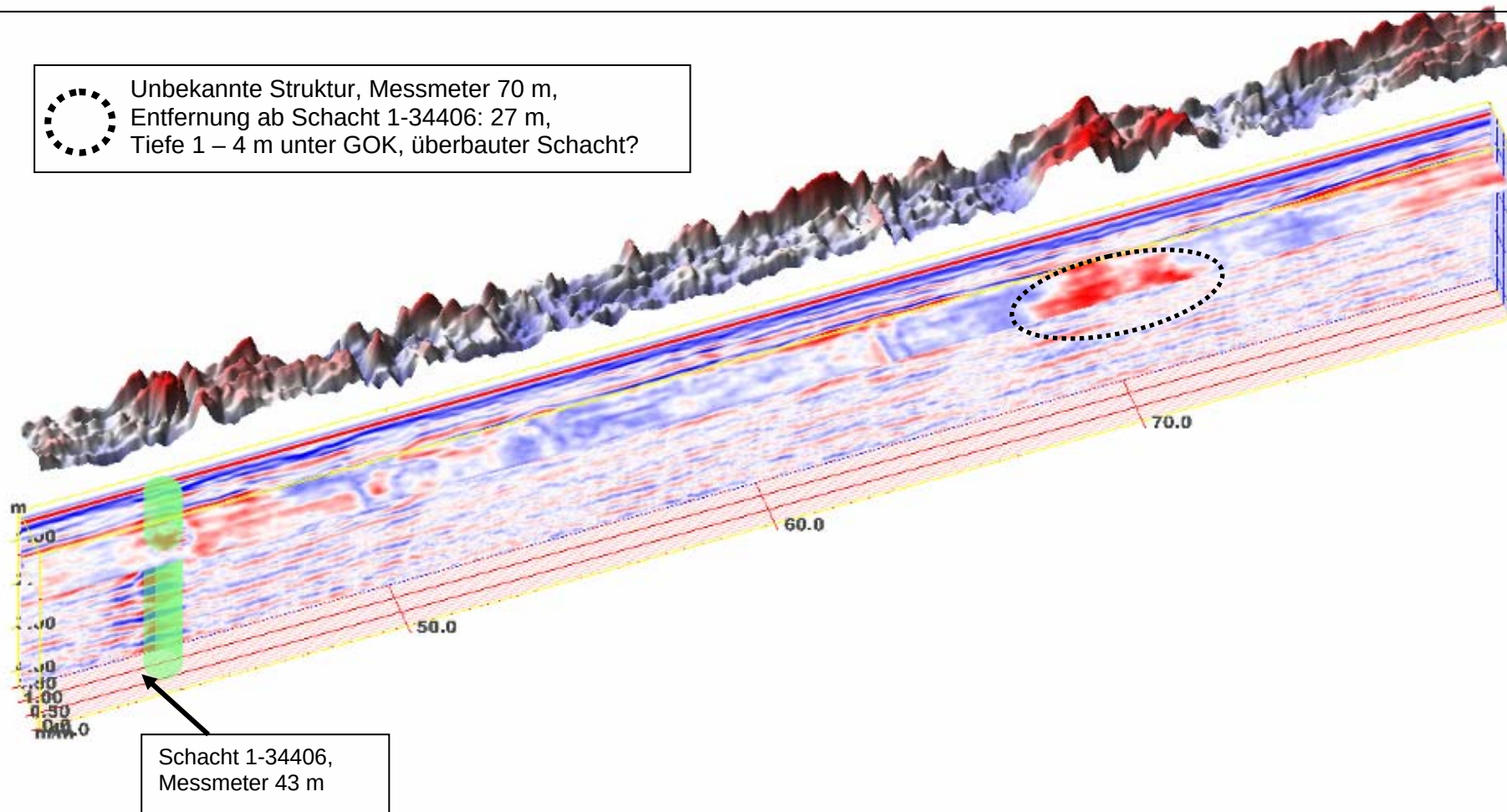


Auswertung der Georadar Messung (TerraVision) auf der Salzdahlumer Strasse, Braunschweig, Messabschnitt 0 bis 200 m.

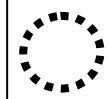
Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 2

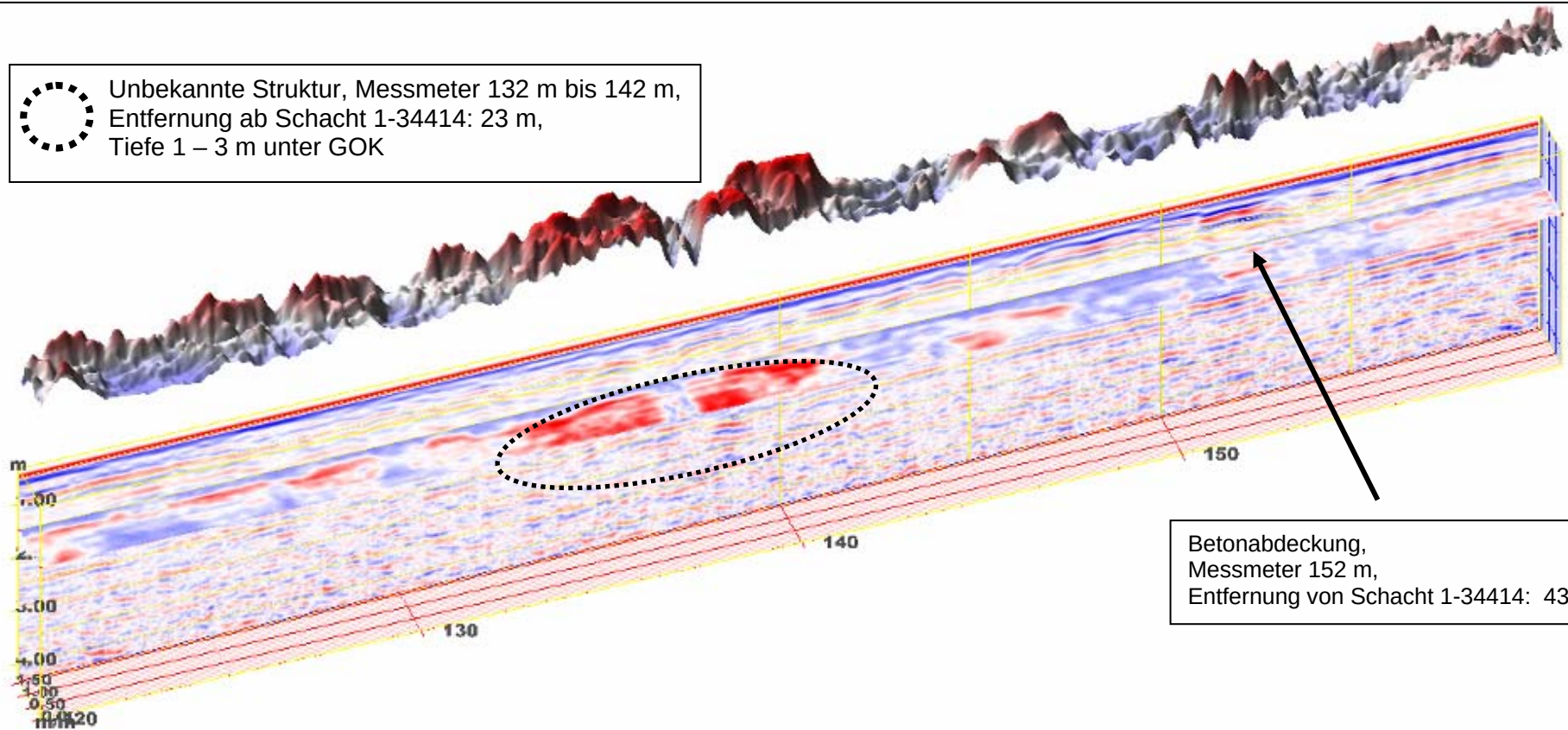
Radarscannermessung, Salzdahlumer Strasse von der Kreuzung Schefflerstrasse Richtung Holzmindener Strasse, Braunschweig, Messmeter 0 bis 200 m



Radarscannermessung, Salzdahlumer Strasse von der Kreuzung Schefflerstrasse Richtung Holzmindener Strasse, Braunschweig, Messmeter 0 bis 200 m



Unbekannte Struktur, Messmeter 132 m bis 142 m,
Entfernung ab Schacht 1-34414: 23 m,
Tiefe 1 – 3 m unter GOK

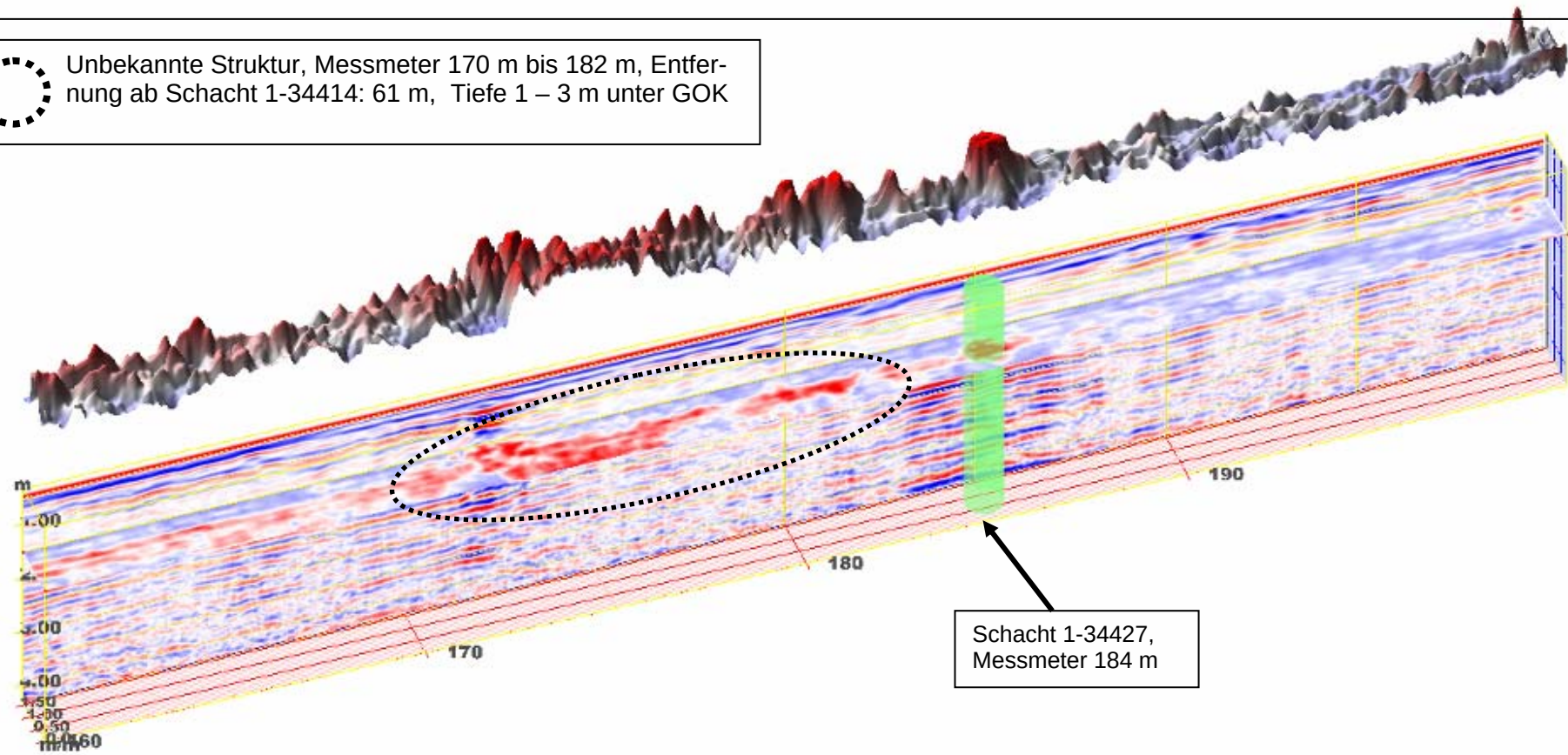


Betonabdeckung,
Messmeter 152 m,
Entfernung von Schacht 1-34414: 43 m

Radarscannermessung, Salzdahlumer Strasse von der Kreuzung Schefflerstrasse Richtung Holzmindener Strasse, Braunschweig, Messmeter 0 bis 200 m



Unbekannte Struktur, Messmeter 170 m bis 182 m, Entfernung ab Schacht 1-34414: 61 m, Tiefe 1 – 3 m unter GOK



Schacht 1-34427,
Messmeter 184 m

Auswertung der Radarscannermessung auf der Salzdahlumer Strasse, Braunschweig

Ausgewertete Messmeter: 0 bis 200 m

Identifizierte Schachtnummern: 2 – 13930 bei Messmeter 10 m, 1 – 34396 bei Messmeter 14 m, 2 – 14112 bei Messmeter 17 m, 1 – 34406 bei Messmeter 41 m, 1 – 34414 bei Messmeter 107 m und 1 – 34427 bei Messmeter 183 m

In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie die Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigem Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

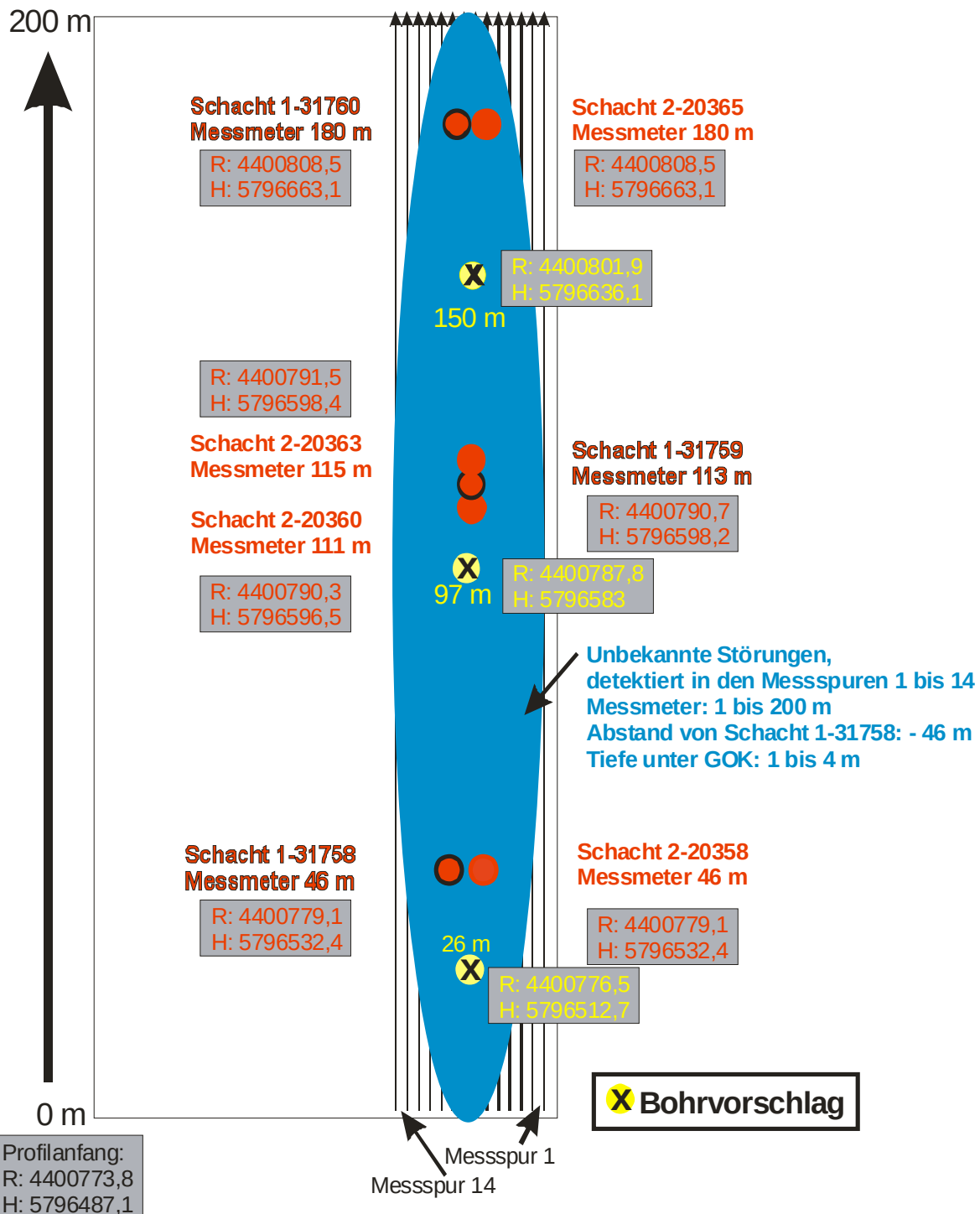
Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert zu verstehen!

Die Angaben in Gauß-Krüger Koordinaten haben eine Ungenauigkeit von 1 – 2 m, die Entfernungsangaben bezogen auf die jeweiligen Schächte haben eine deutlich höhere Genauigkeit (< 50 cm)!!

Auswertung der Georadar Messung, Braunschweig, Wilhelmshavener Strasse, Messmeter 0 bis 200 m, ab Kreuzung Lübeckstrasse in Richtung Riekestrasse						
identifizierte Schacht Nummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
1-31758	46					
2-20358	46					26 m
2-20360	111					
1-31759	113					97 m
2-20363	115					
1-31760	180					150 m
2-20365	180					
		unbekannte Strukturen auf dem ganzen Profil	0 bis 200	- 46	1 bis 4	

Radarscannermessung, Braunschweig, Wilhelmshavener Strasse
Messmeter 0 m bis 200 m, Länge 200 m,
Messspur 1 ist ca. 0,2 m und Messspur 14
ca. 1,8 m vom rechten Strassenrand entfernt, 1-spurige Strasse,
Koordinaten-Angaben sind im Gauß-Krüger Format, R = Rechts, H = Hoch

Profilde:
R: 4400815,0
H: 5796682,0



Auswertung der Georadar Messung (TerraVision) auf der Salz- dahlumer Strasse, Braunschweig, Messabschnitt 0 bis 200 m.

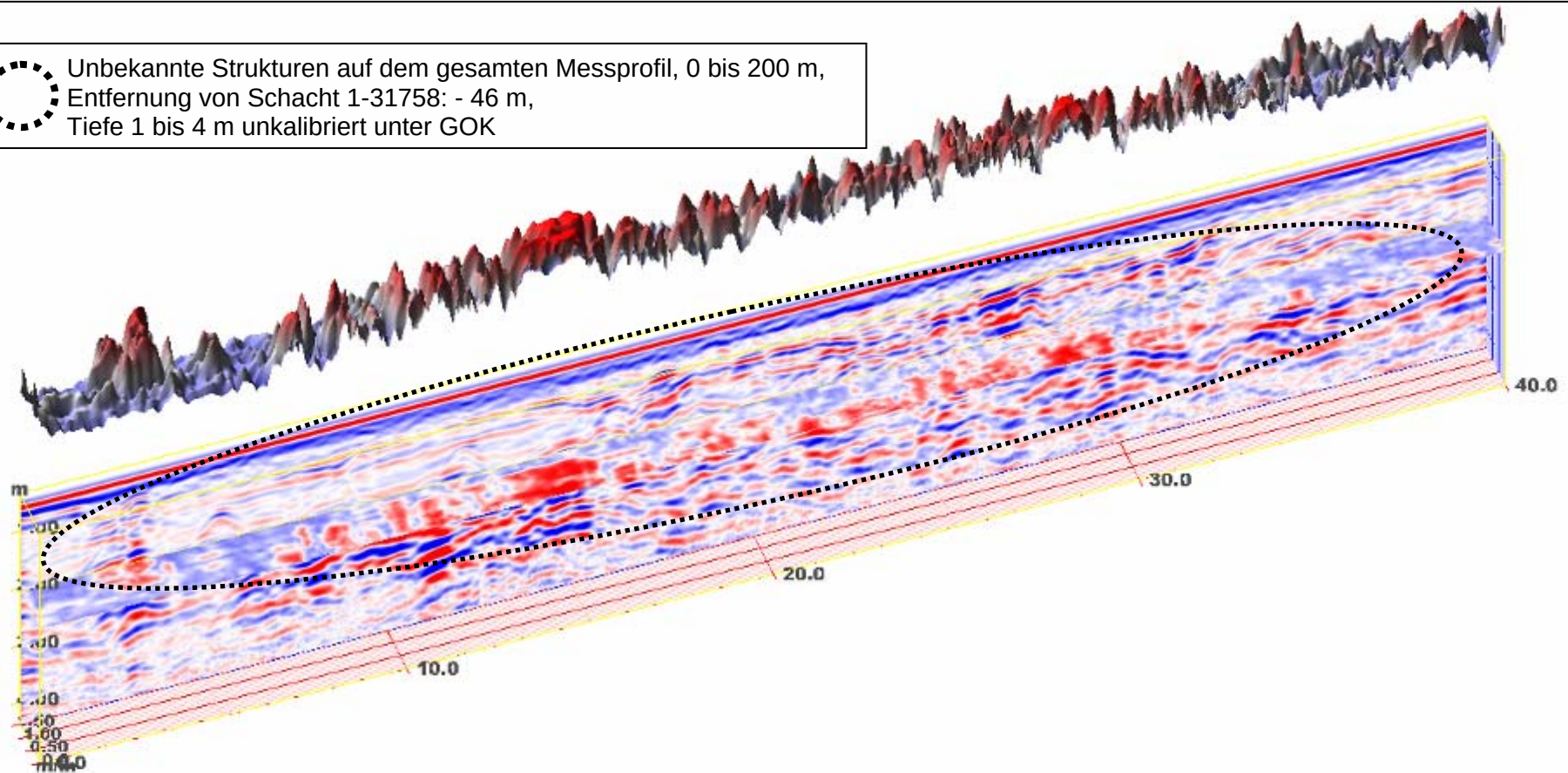
Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 2

**Radarscannermessung, Wilhelmshavener Strasse von der Kreuzung Lübeckstrasse Richtung Rieke Strasse, Braunschweig,
Messmeter 0 bis 200 m**

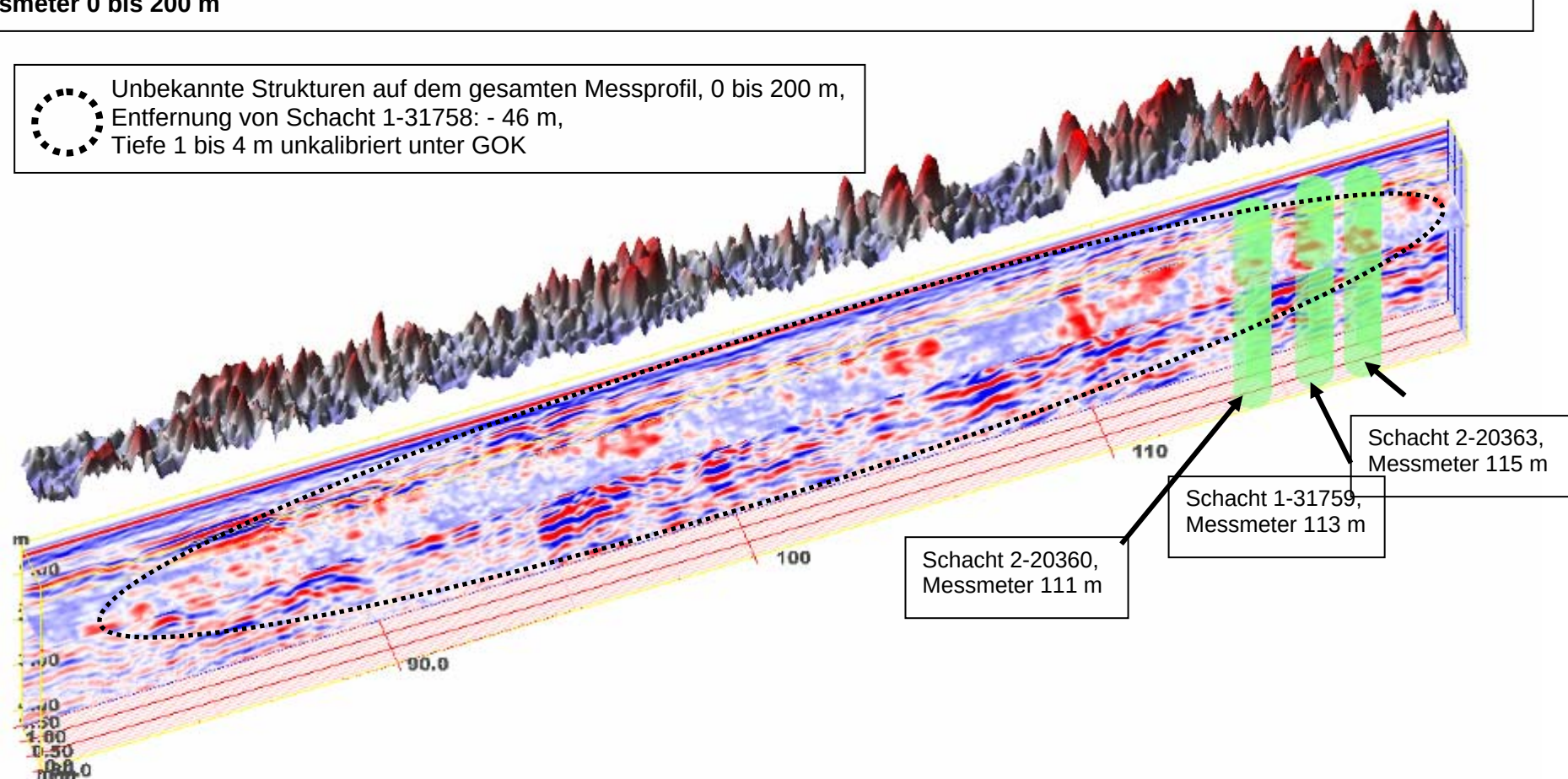


Unbekannte Strukturen auf dem gesamten Messprofil, 0 bis 200 m,
Entfernung von Schacht 1-31758: - 46 m,
Tiefe 1 bis 4 m unkalibriert unter GOK



**Radarscannermessung, Wilhelmshavener Strasse von der Kreuzung Lübeckstrasse Richtung Rieke Strasse, Braunschweig,
Messmeter 0 bis 200 m**

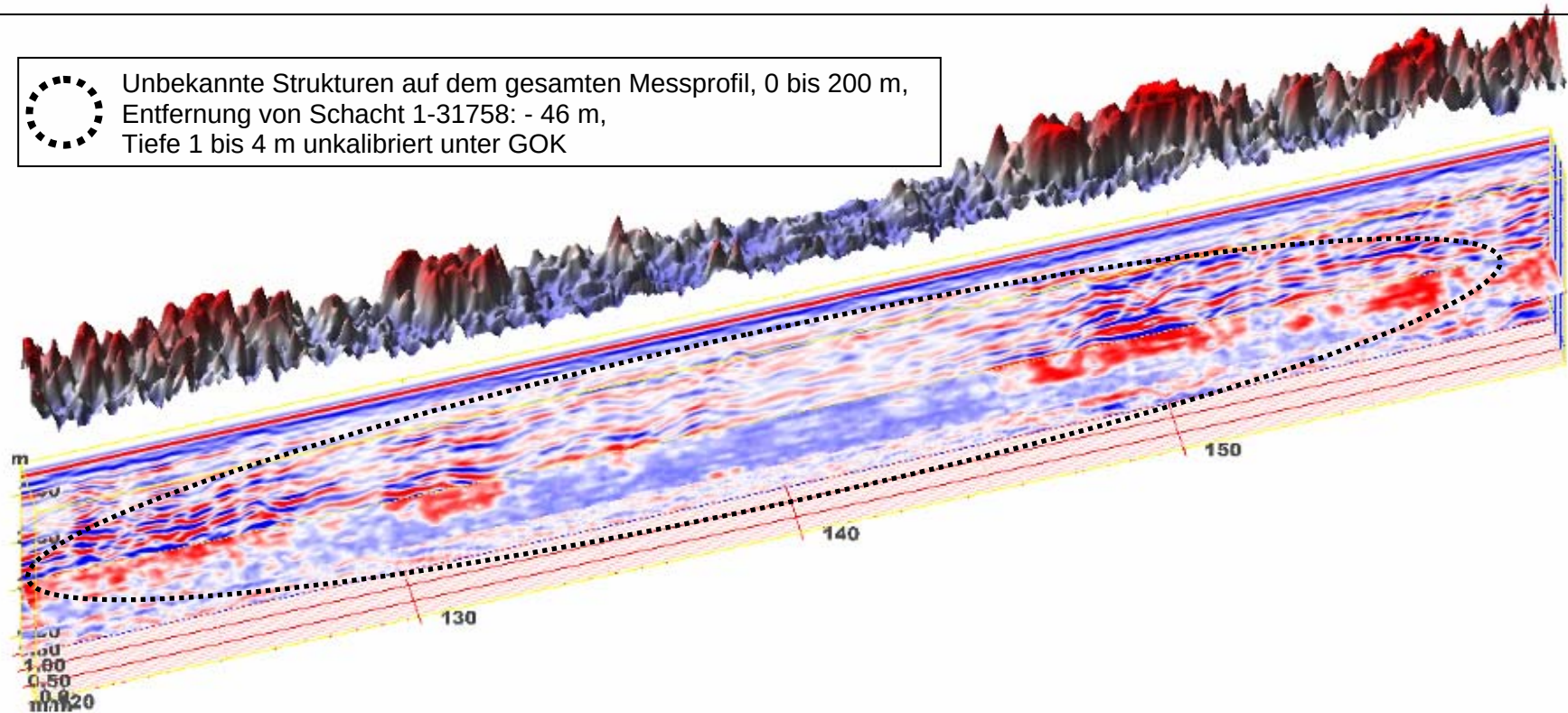

 Unbekannte Strukturen auf dem gesamten Messprofil, 0 bis 200 m,
 Entfernung von Schacht 1-31758: - 46 m,
 Tiefe 1 bis 4 m unkalibriert unter GOK



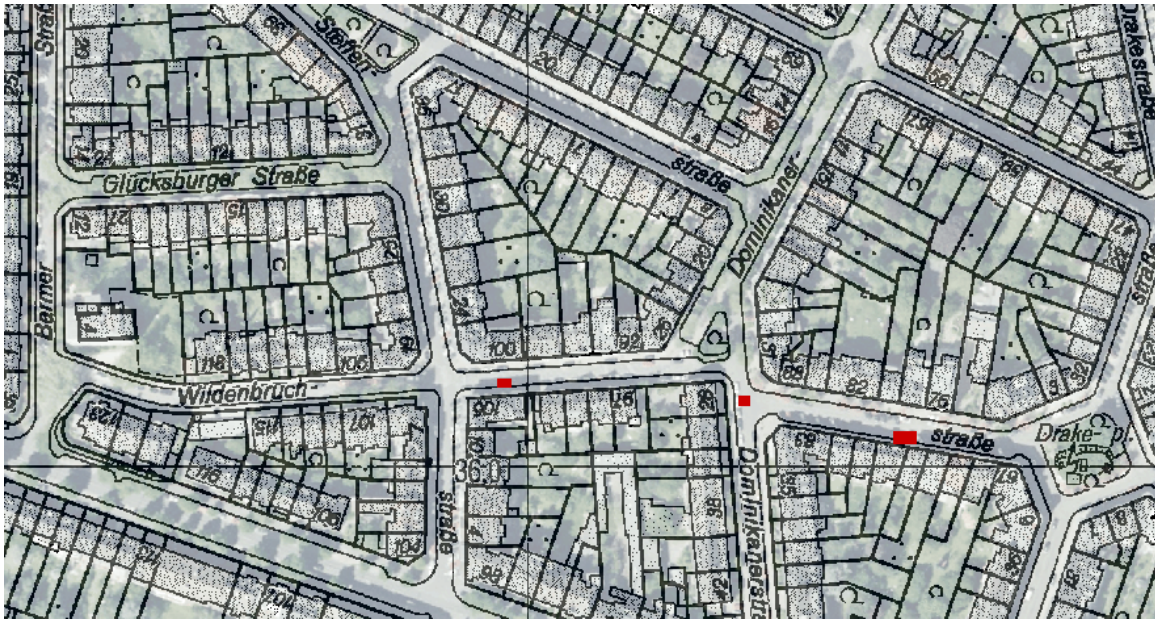
**Radarscannermessung, Wilhelmshavener Strasse von der Kreuzung Lübeckstrasse Richtung Rieke Strasse, Braunschweig,
Messmeter 0 bis 200 m**

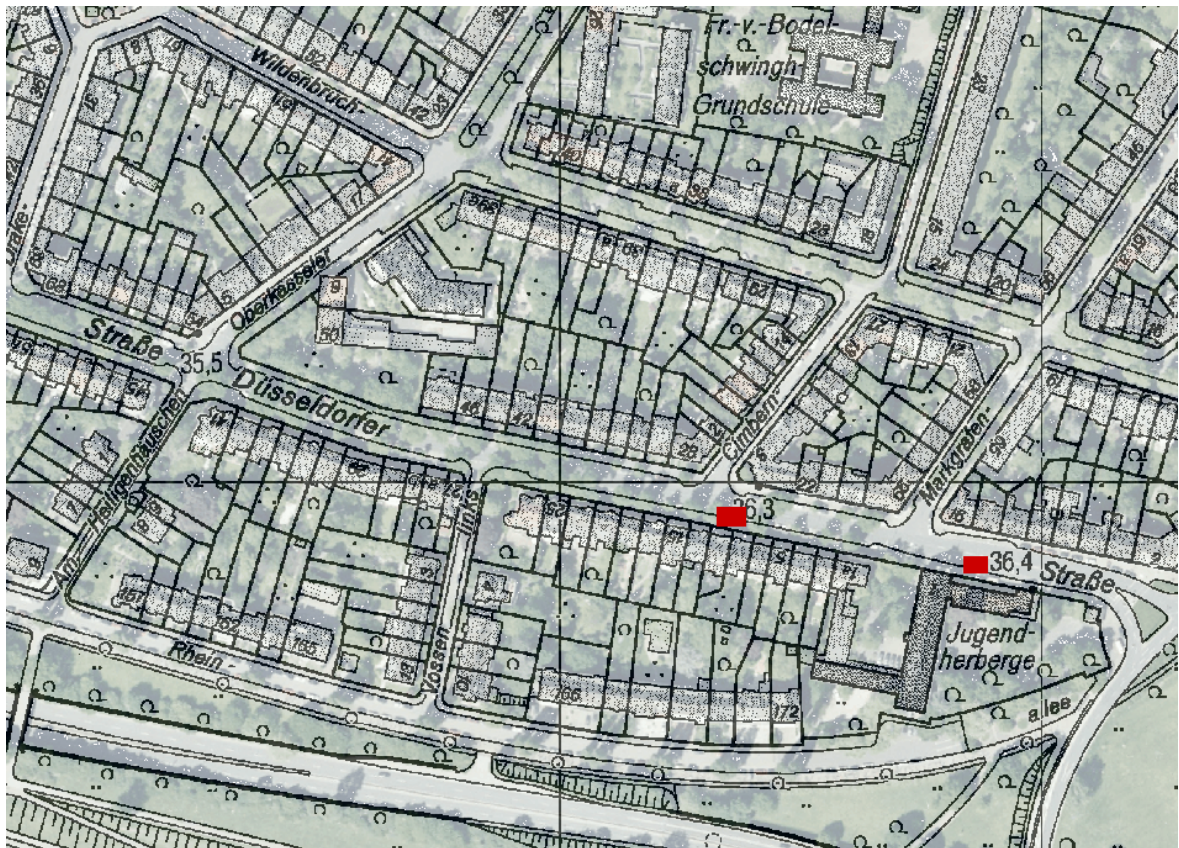


Unbekannte Strukturen auf dem gesamten Messprofil, 0 bis 200 m,
Entfernung von Schacht 1-31758: - 46 m,
Tiefe 1 bis 4 m unkalibriert unter GOK



Anhang 8: Darstellung der Auswertung der Messungen Düsseldorf

Wildenbruchstrasse, Sondierungsvorschläge (<http://www.geoserver.nrw.de/>)Oberkasseler Strasse, Sondierungsvorschläge (<http://www.geoserver.nrw.de/>)

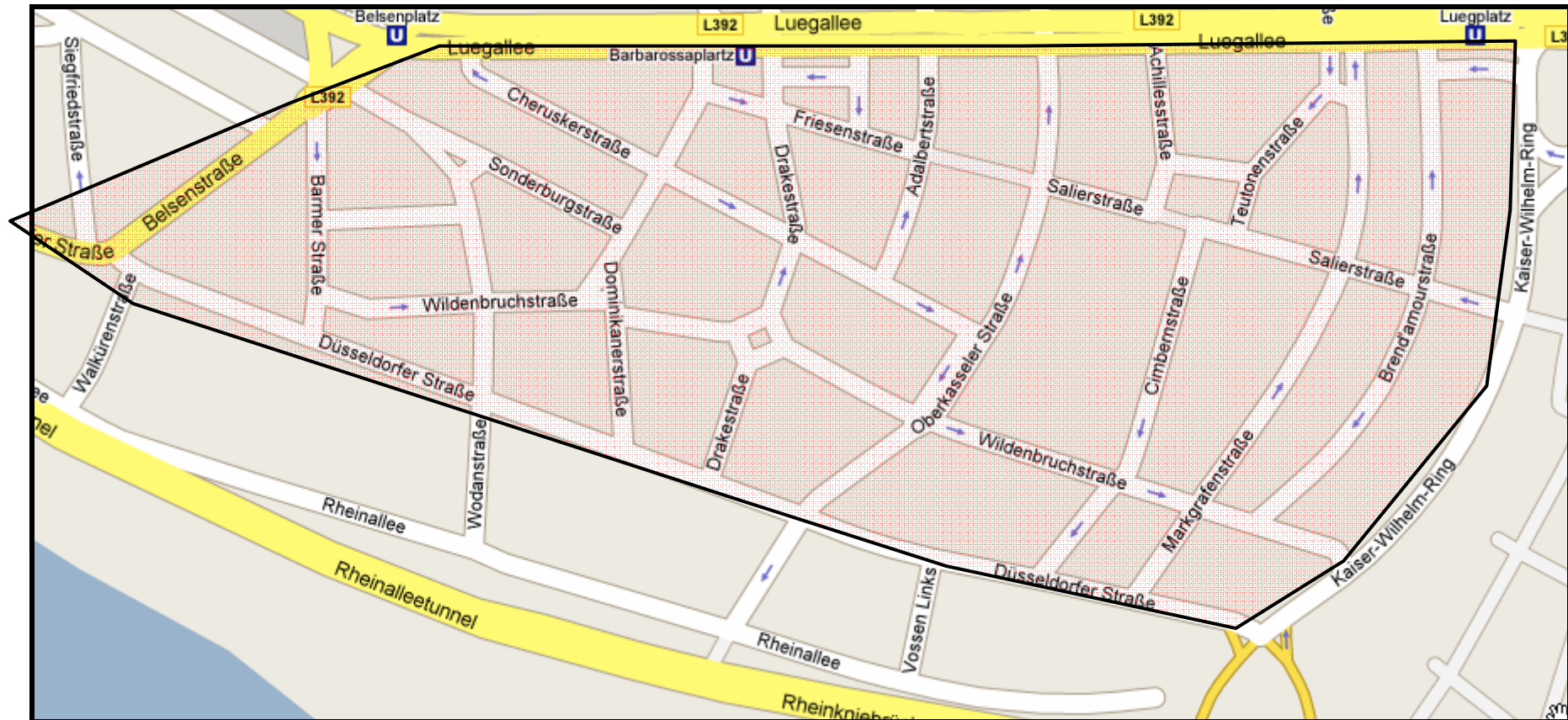


Düsseldorfer Strasse, Sondierungsvorschläge (<http://www.geoserver.nrw.de/>)

Messbericht zur Auswertung der Georadarmessung auf der Düsseldorfer Strasse,
Oberkasseler Strasse und Wildenbruchstrasse, Düsseldorf,
im Rahmen von:

Auftraggeber: Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
Auftragnehmer: GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH
Bearbeitung: Dipl.- Geophys. Daniela Hofmann
Bearbeitungszeitraum: März bis Oktober 2006

Übersichtsplan über alle untersuchten Strassenabschnitte, Düsseldorf (markierter Bereich)



Übersicht über alle durchgeführten Radar-Messungen:

Stadt Düsseldorf			
Strasse	Länge [m]	Messprotokoll	Bearbeitet
Achillesstrasse	Profil 001: 148	ja	nein
Adalbertstrasse	Profil 001: 89 / Profil 2: 120	ja	nein
Barmer Strasse	Profil 001: 188	ja	nein
Brendamourstrasse	Profil 001: 475	ja	nein
Cheruskerstrasse	Profil 001: 330	ja	nein
Cimbernstrasse	Profil 001: 156	ja	nein
Dominikanerstrasse	Profil 001: 373	ja	nein
Drakestrasse	Profil 001: 413	ja	nein
Düsseldorfer Strasse	Profil 001: 992 / Profil 2: 946	ja	Profil 001
Friesenstrasse	Profil 001: 126	ja	nein
Glücksburger Strasse	Profil 001: 129	ja	nein
Kaiser-Wilhelm-Ring	Profil 001: 612	ja	nein
Markgrafenstrasse	Profil 001: 545	ja	nein
Oberkasselerstrasse	Profil 001: 500	ja	Profil 001
Salierstrasse	Profil 001: 284 / Profil 002: 93	ja	nein
Sonderburgstrasse	Profil 001: 271	ja	nein
Steffenstrasse	Profil 001: 198	ja	nein
Teutonenstrasse	Profil 001: 199	ja	nein
Wildenbruchstrasse	Profil 001: 207 / Profil 002: 818	ja	Profil 002

Insgesamt gemessene Strecke: 8.212 m

Auswertung der Radarscannermessung auf der Düsseldorfer Strasse, Düsseldorf

Ausgewertete Messmeter: 0 bis 200 m, Profil 001

Identifizierte Schachtnummern: 52772104 bei Messmeter 110 m, 52772105 bei Messmeter 155 m

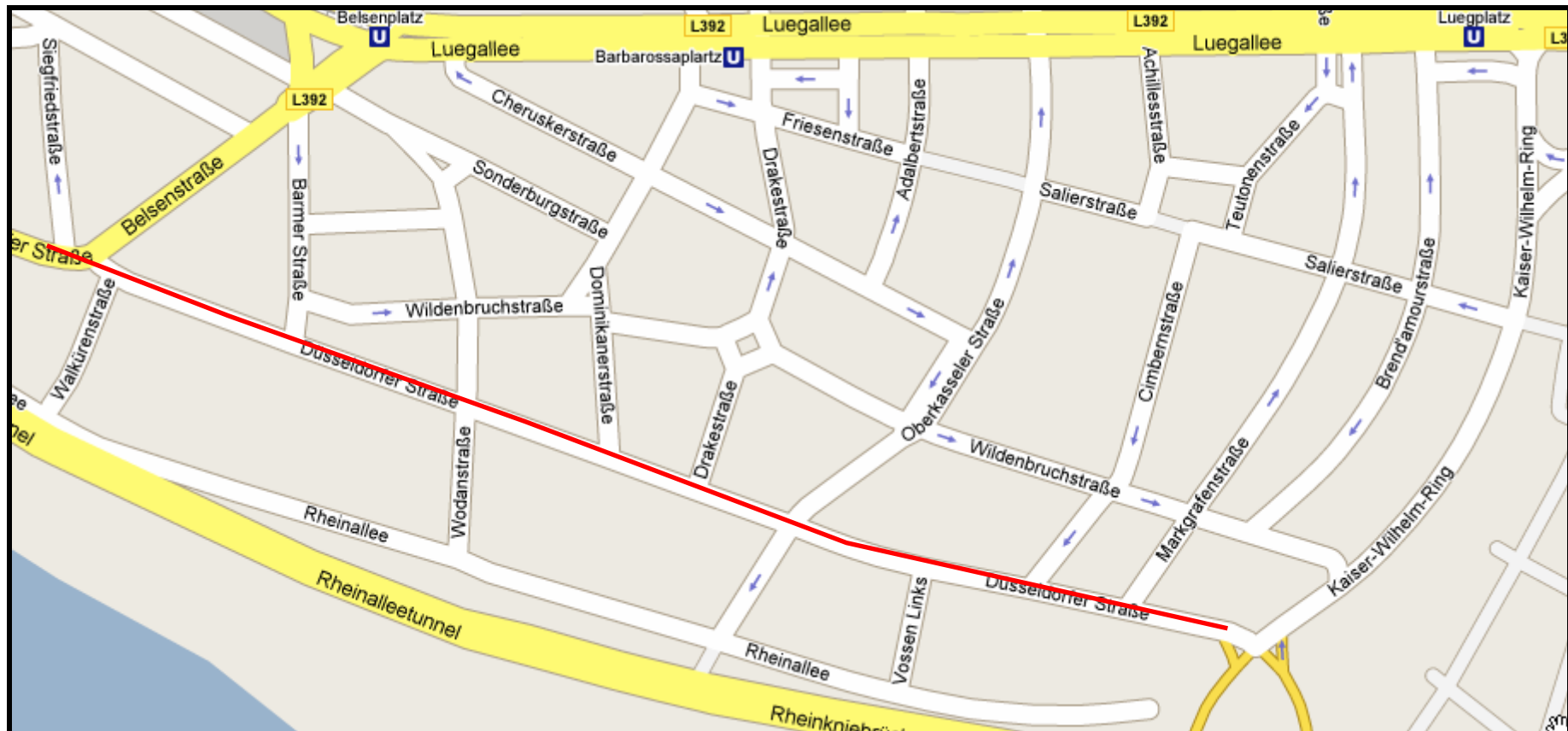
In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie die Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigem Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert gedacht!

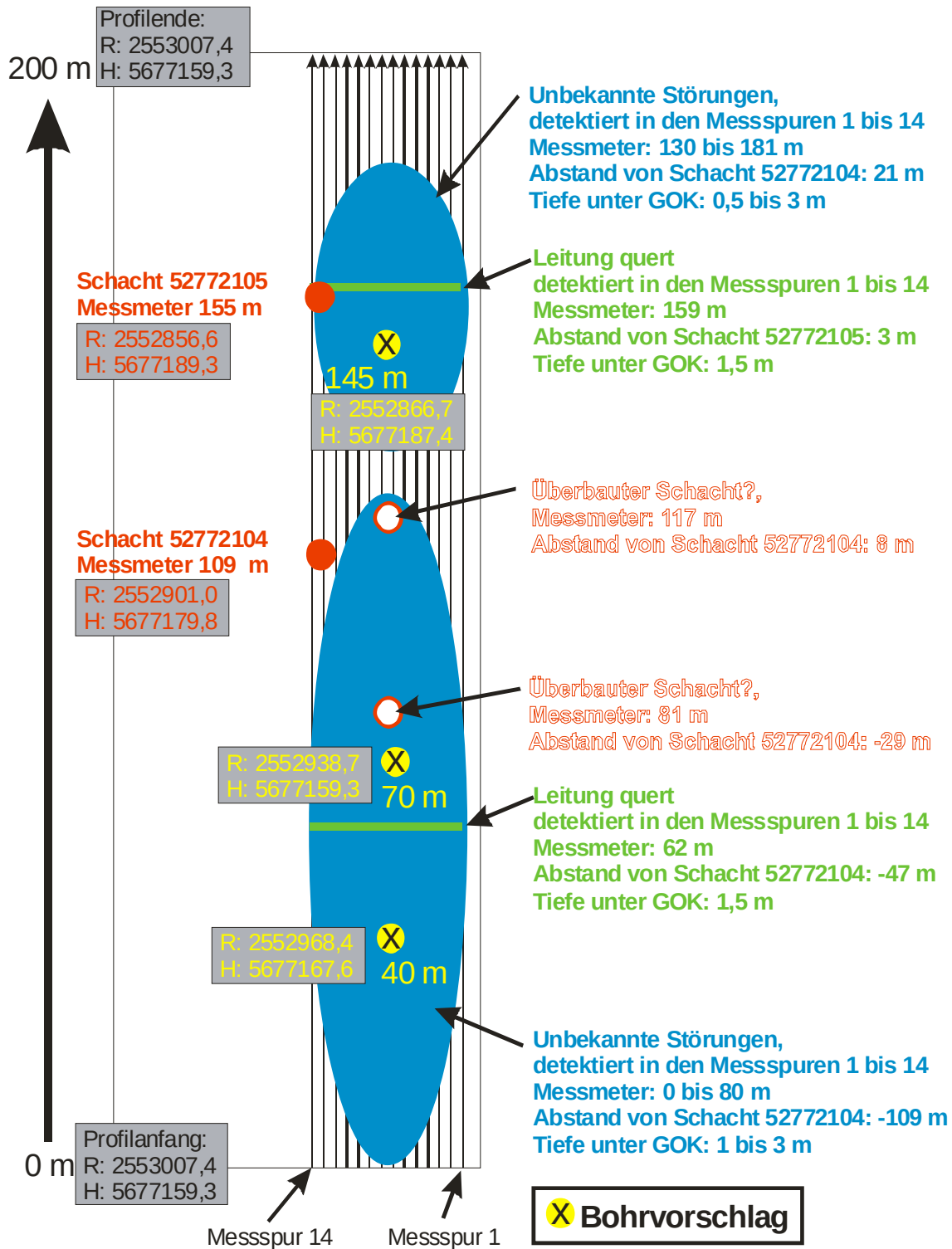
Auswertung der Georadar Messung, Düsseldorf, Düsseldorfer Strasse, Messmeter 0 bis 200 m, ab Kreuzung Kaiser-Wilhelm-Ring Richtung Markgrafenstrasse, ab Schacht 52772102, Profil 001

identifizierte Schacht Nummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
52772104	109					
		unbekannte Störung	0 bis 80	- 109 bis - 29	1 bis 2,5	40 m und 70 m
		Leitung quert	62	- 47	1,5	
		überbauter Schacht (?)	81	- 29		
		unbekannte Störung	84 bis 120	- 25 bis+ 11	2 bis 2,5	
		überbauter Schacht (?)	117	+ 8		
		unbekannte Störung	130 bis 181	+ 21 bis + 72	1 bis 2,5	145 m
52772105	155					
		Leitung quert	159	+ 3	1,5	

Übersichtsplan der Messung auf der Düsseldorfer Strasse, Düsseldorf



**Radarscannermessung, Düsseldorf, Düsseldorferstrasse ab Kreuzung
Kaiser-Wilhelm-Ring in Richtung Markgrafenstrasse,
Messmeter 0 m bis 200 m, Länge 200 m,
Messspur 1 ist ca. 0,2 m und Messspur 14
ca. 1,8 m vom rechten Strassenrand entfernt, zweispurige Strasse,
Koordinaten-Angaben sind im Gauß-Krüger Format, R = Rechts, H = Hoch**



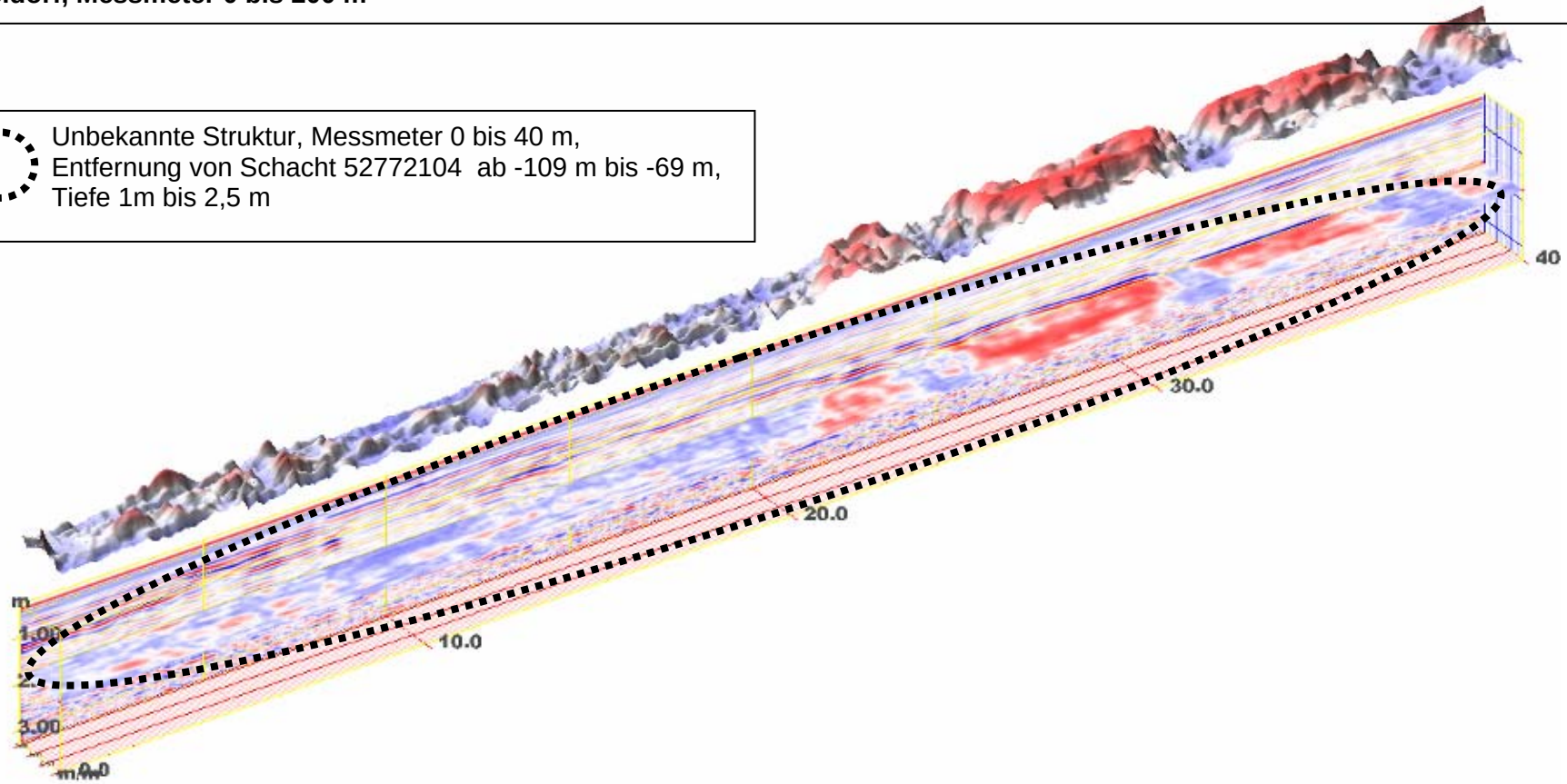
Auswertung der Radarscannermessung auf der Düsseldorfer Strasse, Düsseldorf, Messabschnitt 0 bis 200 m, Profil 001.

Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 1,5

**Radarscannermessung, Düsseldorfer Strasse von der Kreuzung Kaiser-Wilhelm-Ring Richtung Markgrafenstrasse,
Düsseldorf, Messmeter 0 bis 200 m**

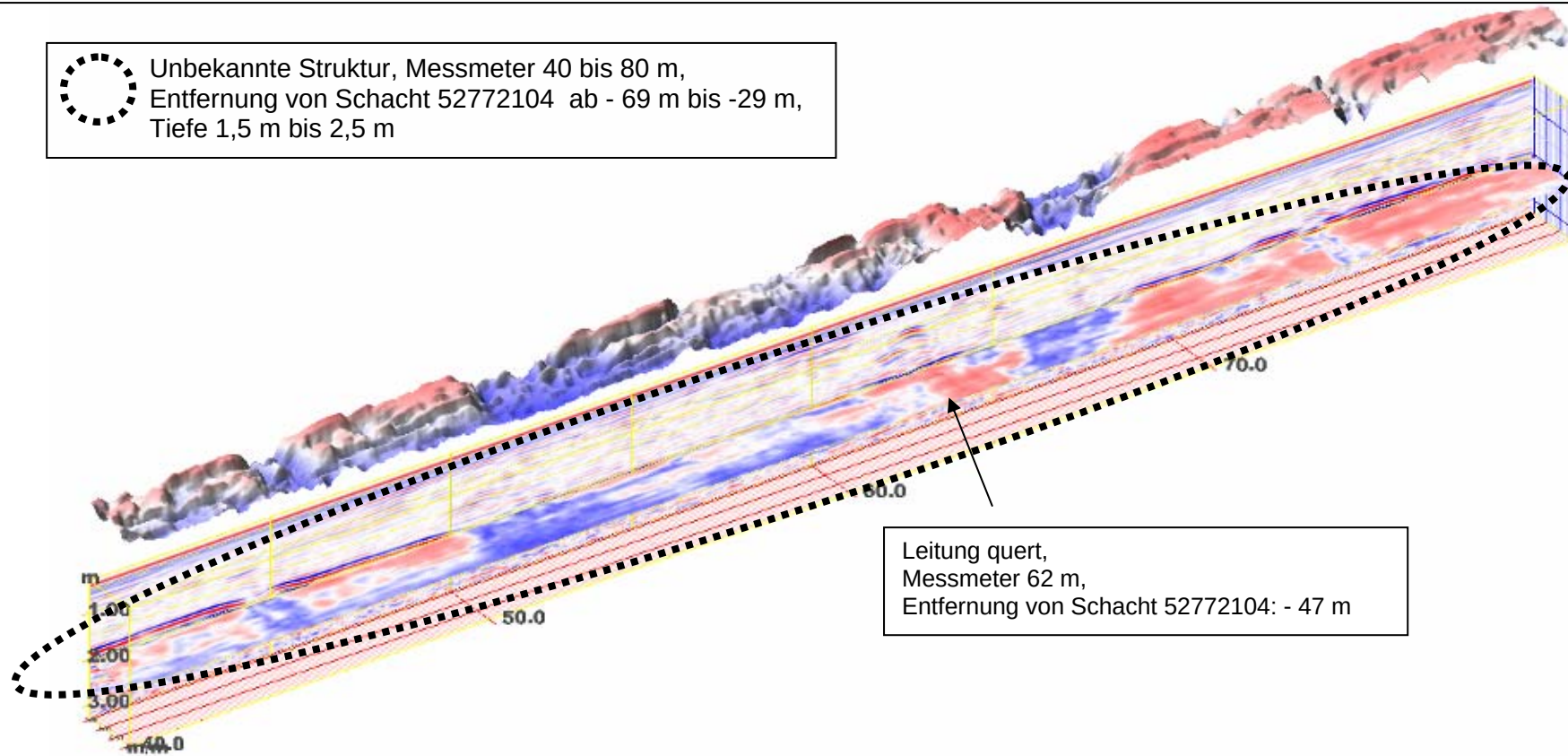
○ Unbekannte Struktur, Messmeter 0 bis 40 m,
Entfernung von Schacht 52772104 ab -109 m bis -69 m,
Tiefe 1m bis 2,5 m



**Radarscannermessung, Düsseldorfer Strasse von der Kreuzung Kaiser-Wilhelm-Ring Richtung Markgrafenstrasse,
Düsseldorf, Messmeter 0 bis 200 m**



Unbekannte Struktur, Messmeter 40 bis 80 m,
Entfernung von Schacht 52772104 ab - 69 m bis -29 m,
Tiefe 1,5 m bis 2,5 m

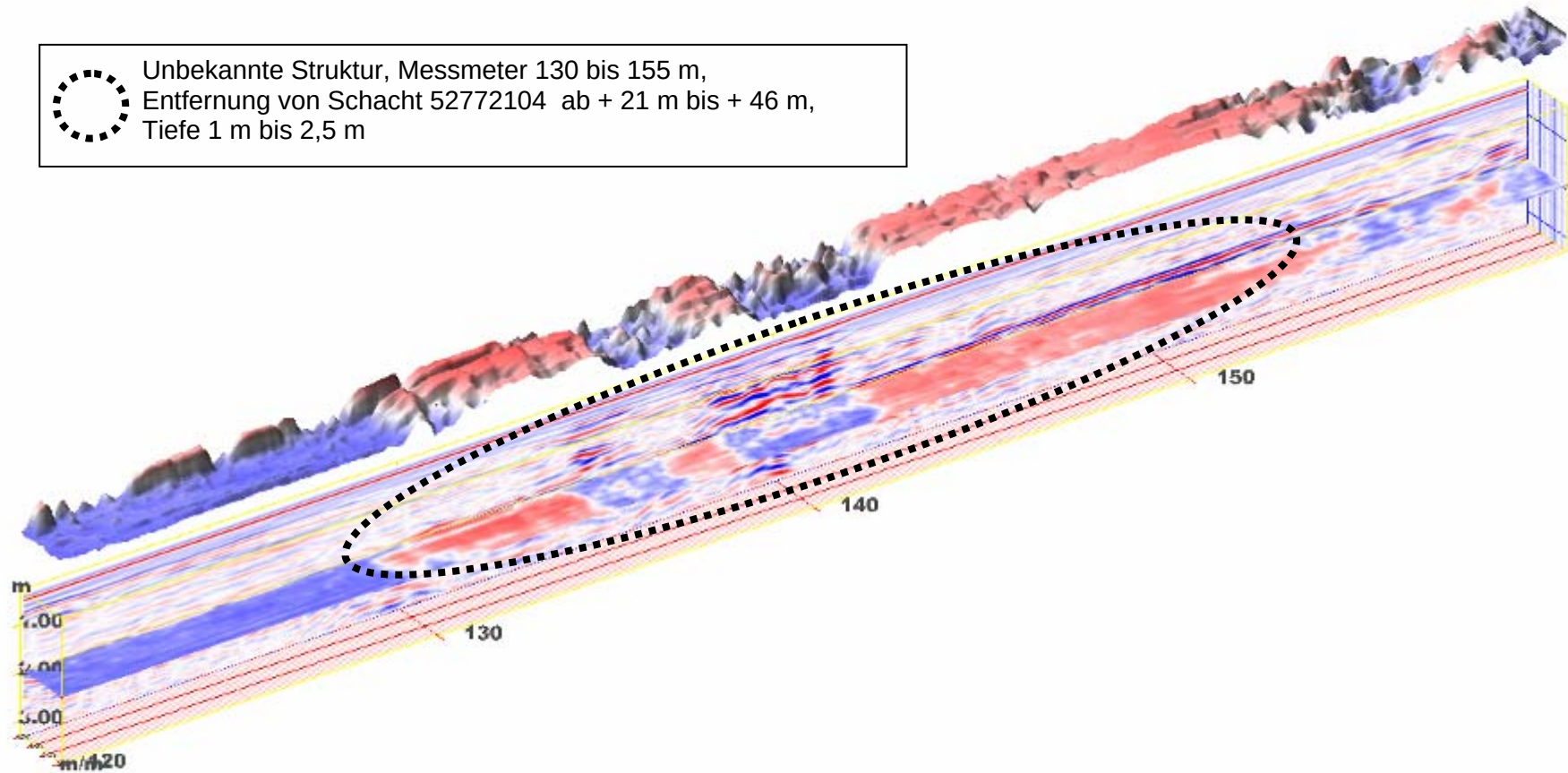


Leitung quer,
Messmeter 62 m,
Entfernung von Schacht 52772104: - 47 m

**Radarscannermessung, Düsseldorfer Strasse von der Kreuzung Kaiser-Wilhelm-Ring Richtung Markgrafenstrasse,
Düsseldorf, Messmeter 0 bis 200 m**



Unbekannte Struktur, Messmeter 130 bis 155 m,
Entfernung von Schacht 52772104 ab + 21 m bis + 46 m,
Tiefe 1 m bis 2,5 m



Auswertung der Radarscannermessung auf der Wildenbruchstrasse, Düsseldorf

Ausgewertete Messmeter: 500 bis 700 m

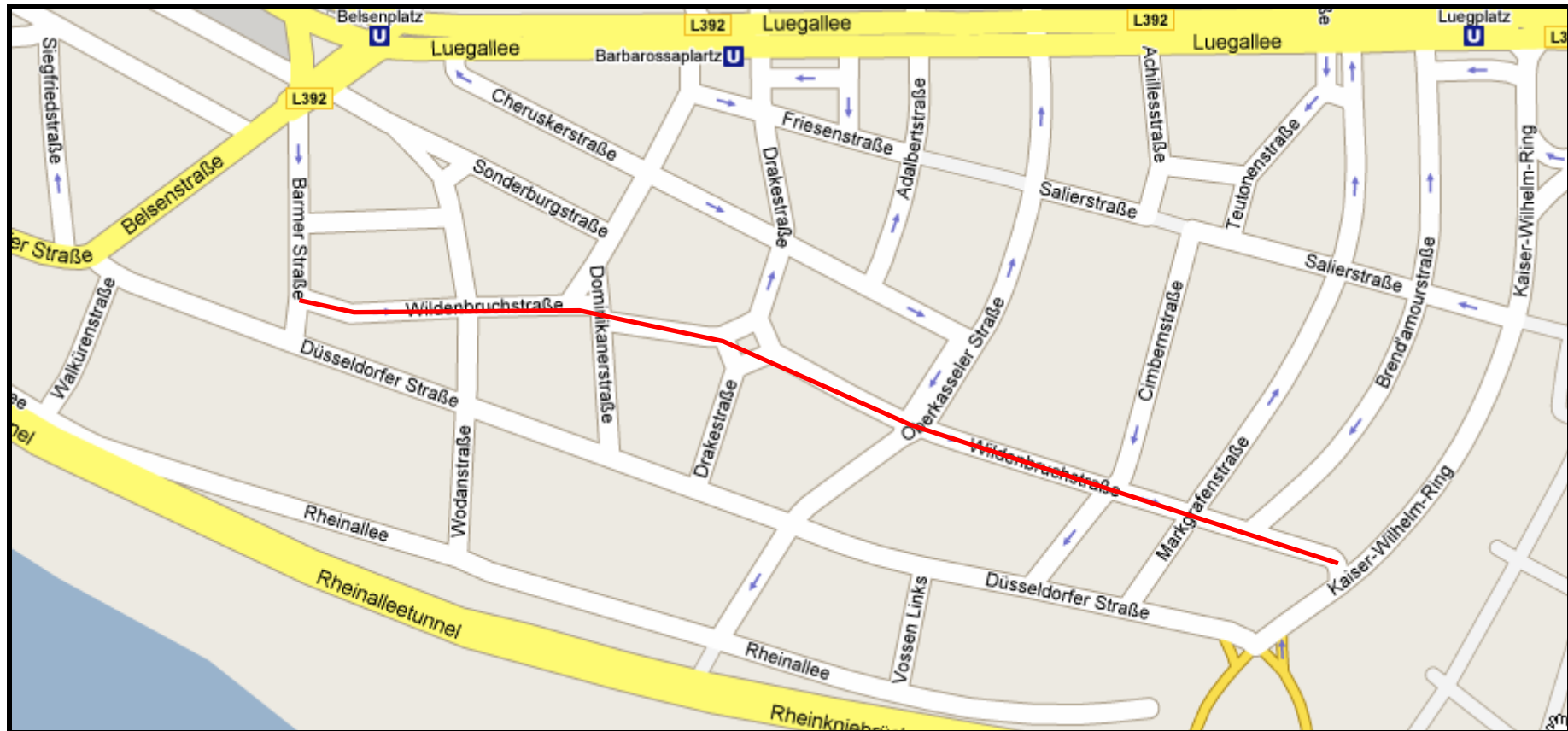
Identifizierte Schachtnummern: 52774146 bei Messmeter 514 m, 52774114 bei Messmeter 557 m, 52773118 bei Messmeter 627 m, 52773141 bei Messmeter 680 m, 52773112 bei Messmeter 687 m.

In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie die Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigem Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

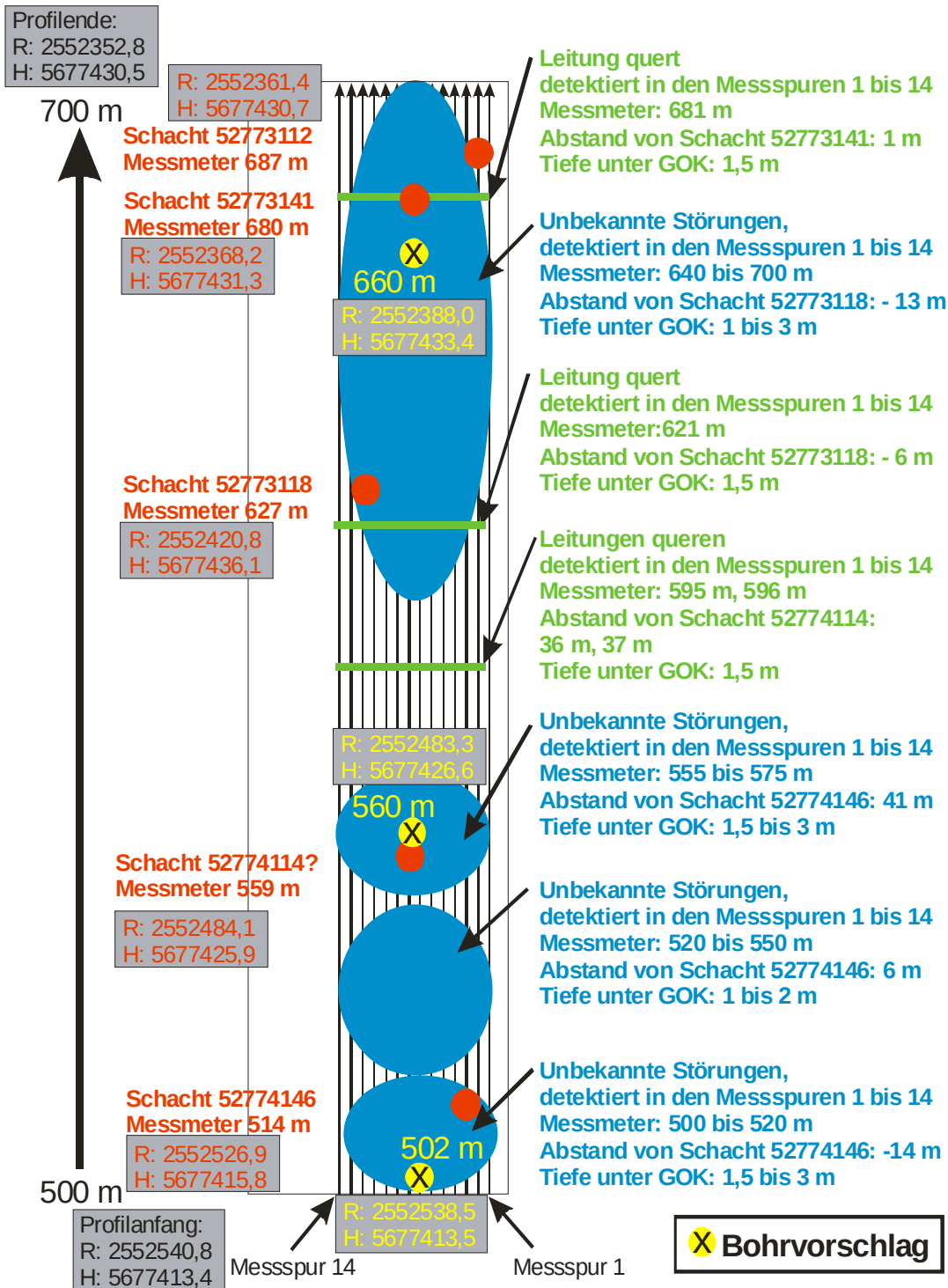
Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert gedacht!

Auswertung der Georadar Messung, Düsseldorf, Wildenbruchstrasse, Messmeter 500 bis 700 m, ab Drakeplatz Richtung Steffenstrasse, ab Schacht 52774146, Profil 002						
identifizierte Schacht Nummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
52774146	514					
		unbekannte Störung	500 bis 520	- 14 bis + 6	1,5 bis 3	502 m
		unbekannte Störung	520 bis 550	+ 6 bis + 36	1 bis 1,5	
52774114	559					
		unbekannte Störung	555 bis 575	- 6 bis + 9	1 bis 3	560 m
		unbekannte Störung	608 bis 640	+ 49 bis + 81	1 bis 2,5	
		Leitung quert	595	+ 36		
		Leitung quert, überbauter Schacht?	596	+ 37		
52773118	627					
		unbekannte Störung	640 bis 660	+ 13 bis + 33	1 bis 2,5	
		Leitung quert	621	- 6		
52773141	680					
		Leitung quert	681	- 1		
52773112	687					
		unbekannte Störung	660 bis 671	- 21 bis - 10	1 bis 2,5	660 m
		unbekannte Störung	685 bis 700	+ 4 bis + 19	1 bis 2,5	

Übersichtsplan der Messung auf der Wildenbruchstrasse, Düsseldorf



**Radarscannermessung, Düsseldorf, Wildenbruchstrasse ab Drakeplatz in Richtung Steffenstrasse,
Messmeter 500 m bis 700 m, Länge 200 m,
Messspur 1 ist ca. 0,2 m und Messspur 14
ca. 1,8 m vom rechten Strassenrand entfernt, einspurige Strasse,
Koordinaten-Angaben sind in Gauß-Krüger Format, R = Rechts, H = Hoch**



Auswertung der Radarscannermessung auf der Wildenbruchstrasse, Düsseldorf, Messabschnitt 500 bis 700 m.

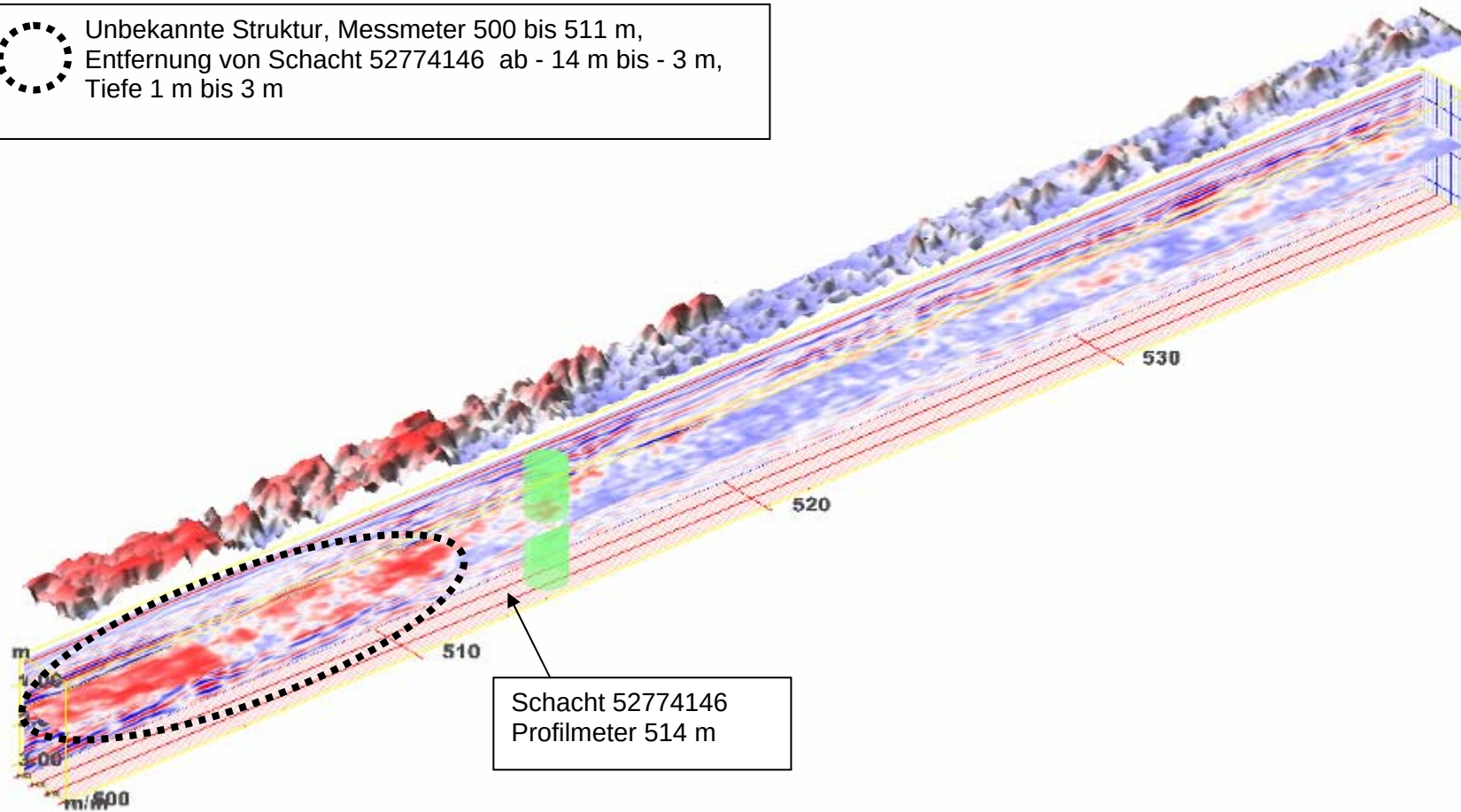
Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

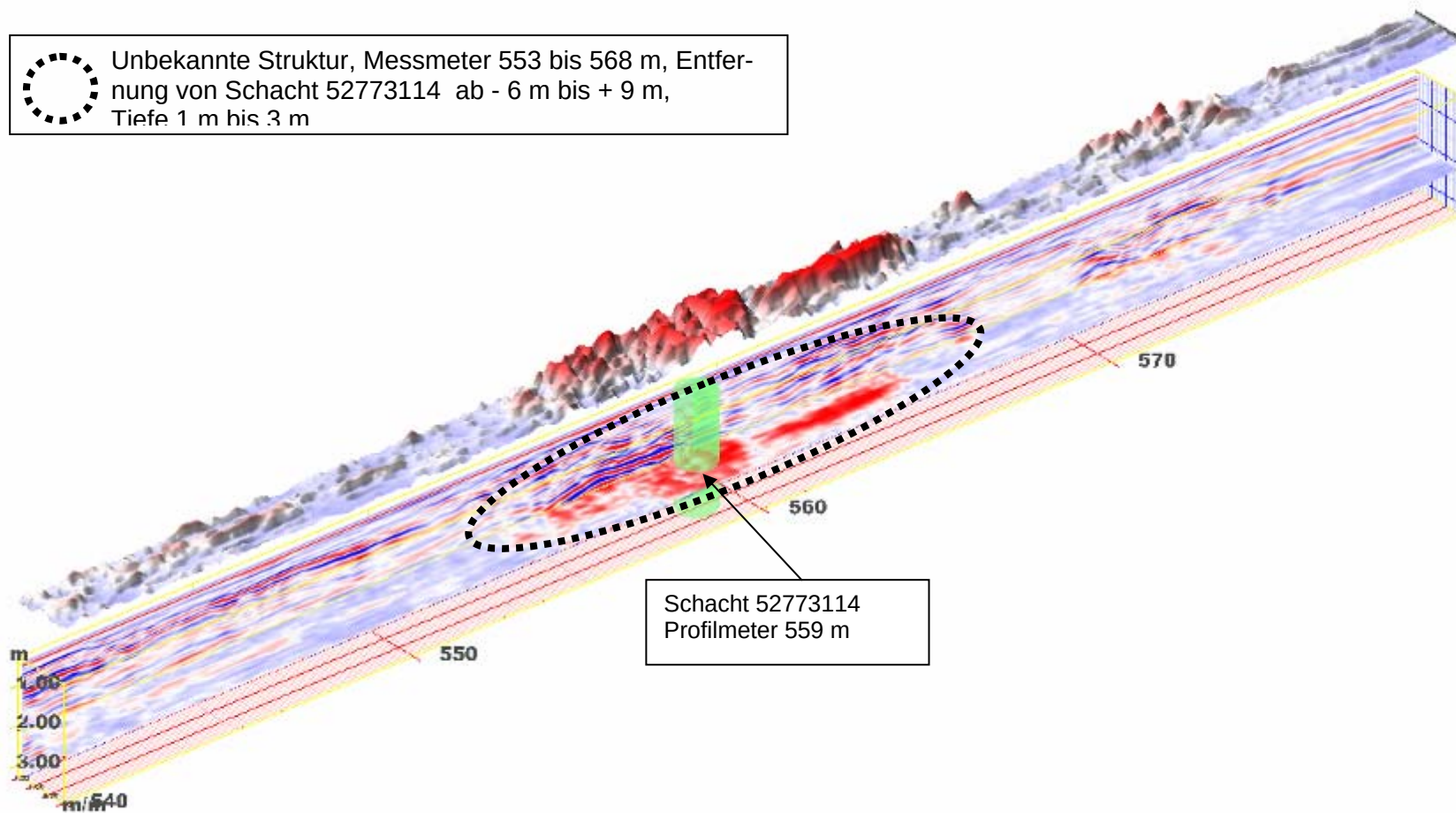
Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 1,5

Radarscannermessung, Wildenbruchstrasse ab Drakeplatz Richtung Steffenstrasse, Düsseldorf, Messmeter 500 bis 700 m



Unbekannte Struktur, Messmeter 500 bis 511 m,
Entfernung von Schacht 52774146 ab - 14 m bis - 3 m,
Tiefe 1 m bis 3 m

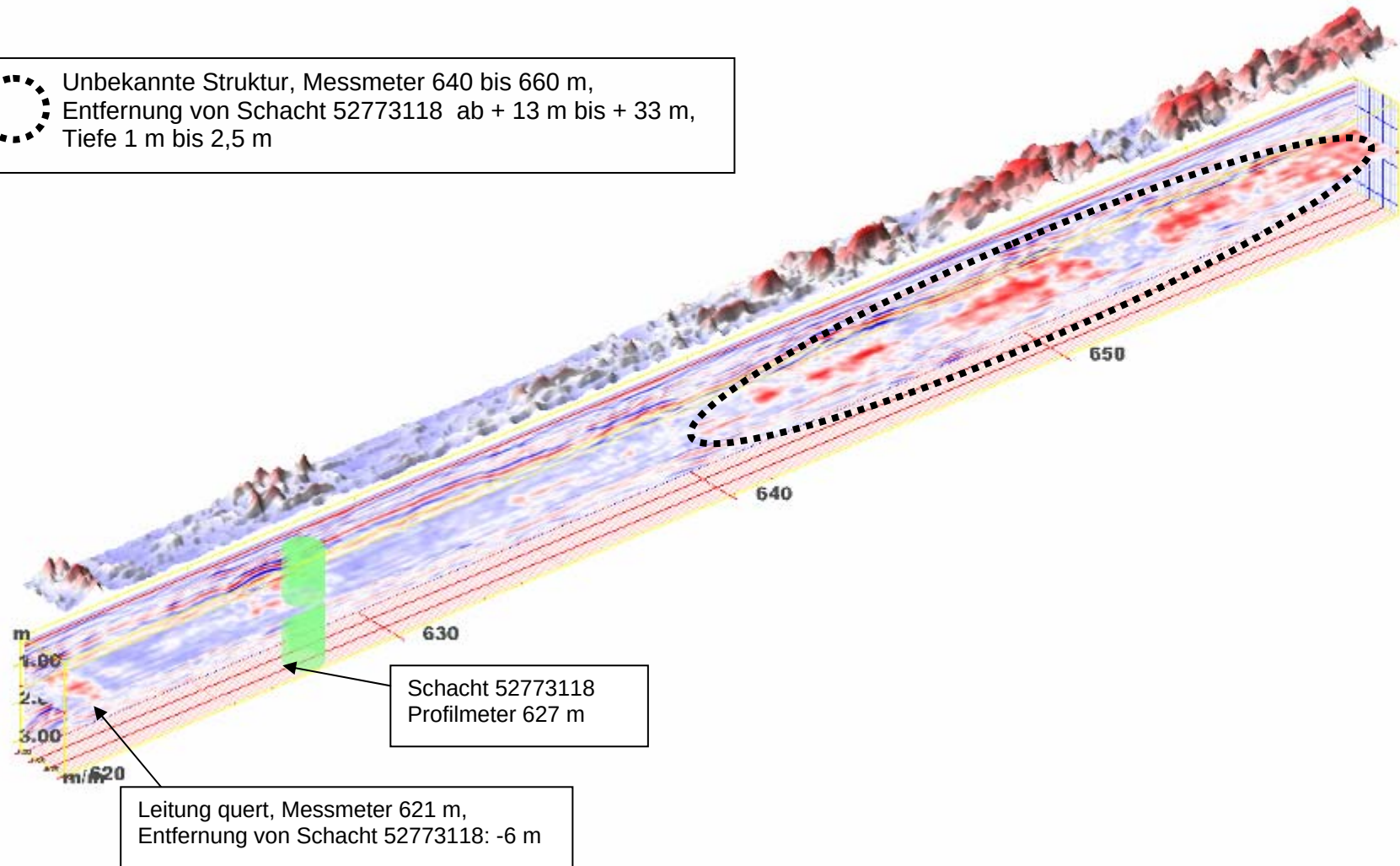


Radarscannermessung, Wildenbruchstrasse ab Drakeplatz Richtung Steffenstrasse, Düsseldorf, Messmeter 500 bis 700 m

Radarscannermessung, Wildenbruchstrasse ab Drakeplatz Richtung Steffenstrasse, Düsseldorf, Messmeter 500 bis 700 m



Unbekannte Struktur, Messmeter 640 bis 660 m,
Entfernung von Schacht 52773118 ab + 13 m bis + 33 m,
Tiefe 1 m bis 2,5 m



Auswertung der TerraVision Messung auf der Oberkasselerstrasse, Düsseldorf

Ausgewertete Messmeter: 200 bis 400 m

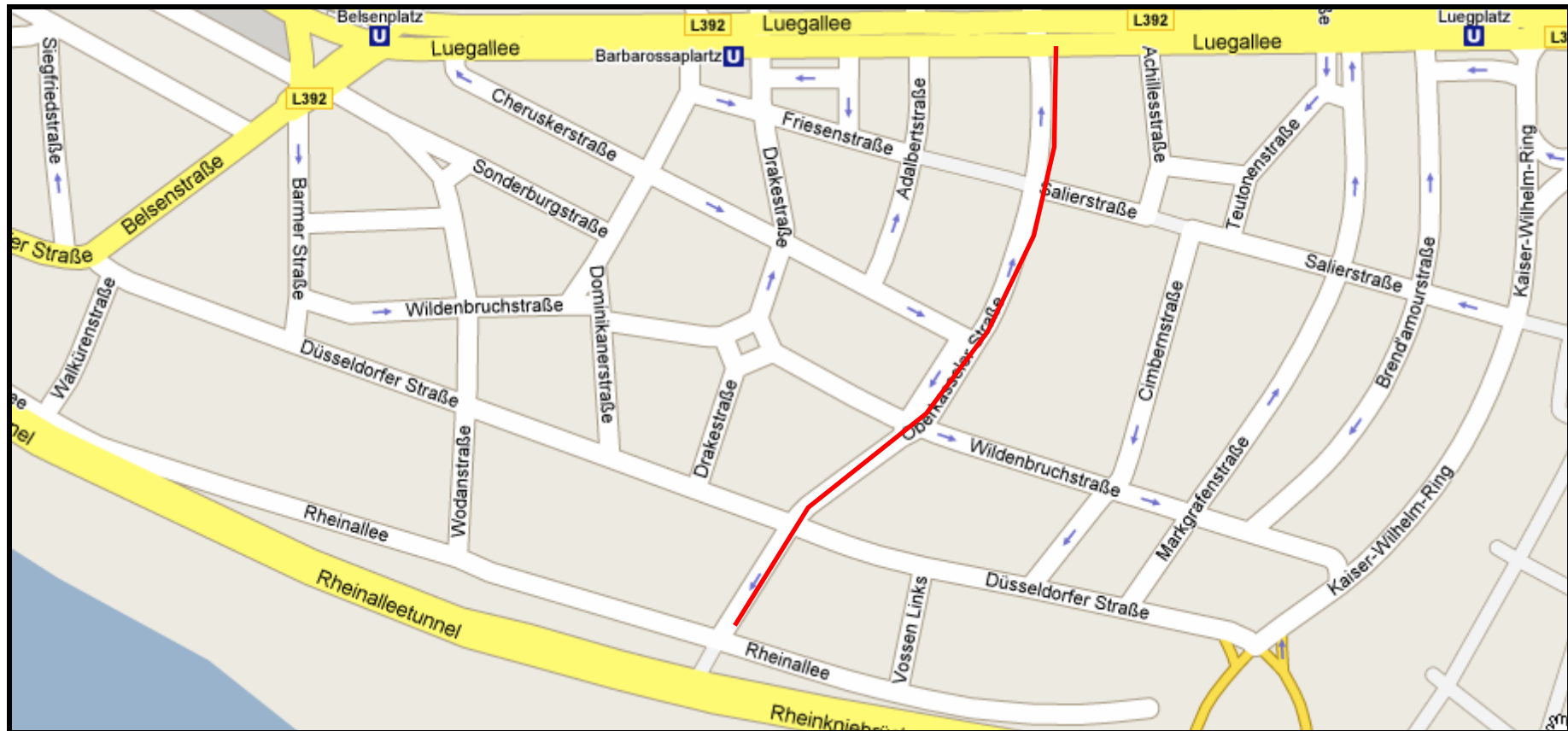
Identifizierte Schachtnummern: 52774001 bei Messmeter 211 m, 52774000 bei Messmeter 270 m, 52776007 bei Messmeter 322 m

In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie die Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigem Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

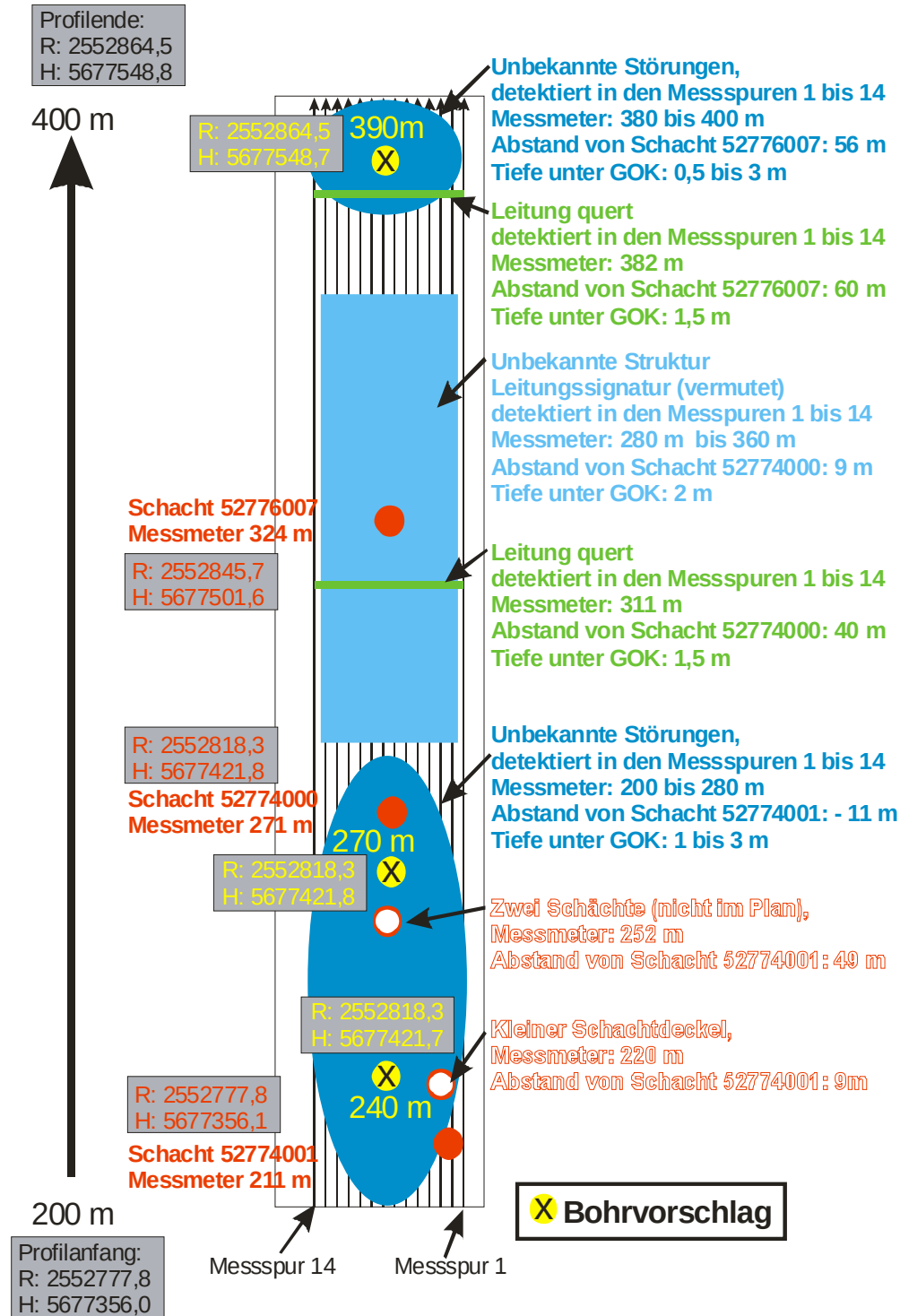
Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert gedacht!

Auswertung der Georadar Messung, Düsseldorf, Oberkasselerstrasse, Messmeter 200 bis 400 m, aus Richtung Wildenbruchstrasse Richtung Salierstrasse, ab Schacht 52774001, Profil 001						
identifizierte Schacht Nummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
52774001	211					
		unbekannte Störung	200 bis 240	- 11 bis + 29	1 bis 2,5	240 m
		Leitung quert	215	+ 4	1,5	
		Schacht, nicht im Plan eingezeichnet	220	+ 9		
52774000	271					
		unbekannte Störung	240 bis 280	- 32 bis + 9	1 bis 2,5	270 m
		Schacht, nicht im Plan eingezeichnet	252	- 19		
		Leitungssignatur (vermutet)	280 bis 320	+ 9 bis + 49	1 bis 2	
		Leitung quert	311	+ 40		
52776007	324					
		Leitungssignatur (vermutet)	320 bis 360	- 2 bis + 38	1 bis 2	
		unbekannte Störung	380 bis 400	+ 58 bis + 78	1 bis 3	390 m
		Leitung quert	382	+ 60		

Übersichtsplan der Messung auf der Oberkasseler Strasse, Düsseldorf



**Radarscannermessung, Düsseldorf, Oberkasselerstrasse aus Richtung Wildenbruchstrasse in Richtung Salierstrasse,
Messmeter 200 m bis 400 m, Länge 200 m,
Messspur 1 ist ca. 0,2 m und Messspur 14
ca. 1,8 m vom rechten Strassenrand entfernt, einspurige Strasse ,
Koordinaten-Angaben sind im Gauß-Krüger Format, R = Rechts, H = Hoch**



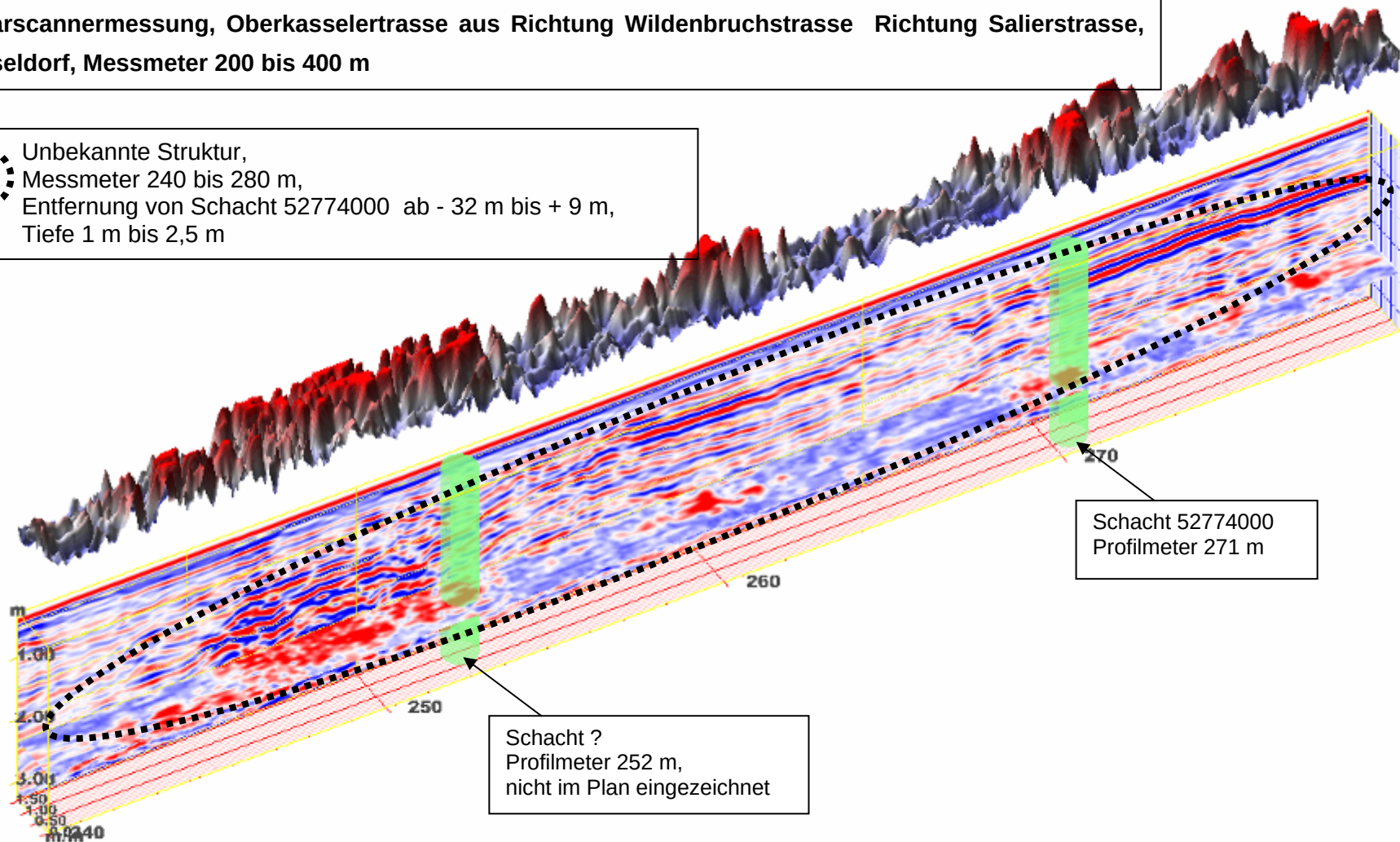
Auswertung der Radarscannermessung auf der Oberkasselerstrasse, Düsseldorf, Messabschnitt 200 bis 400 m.

Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 1,5

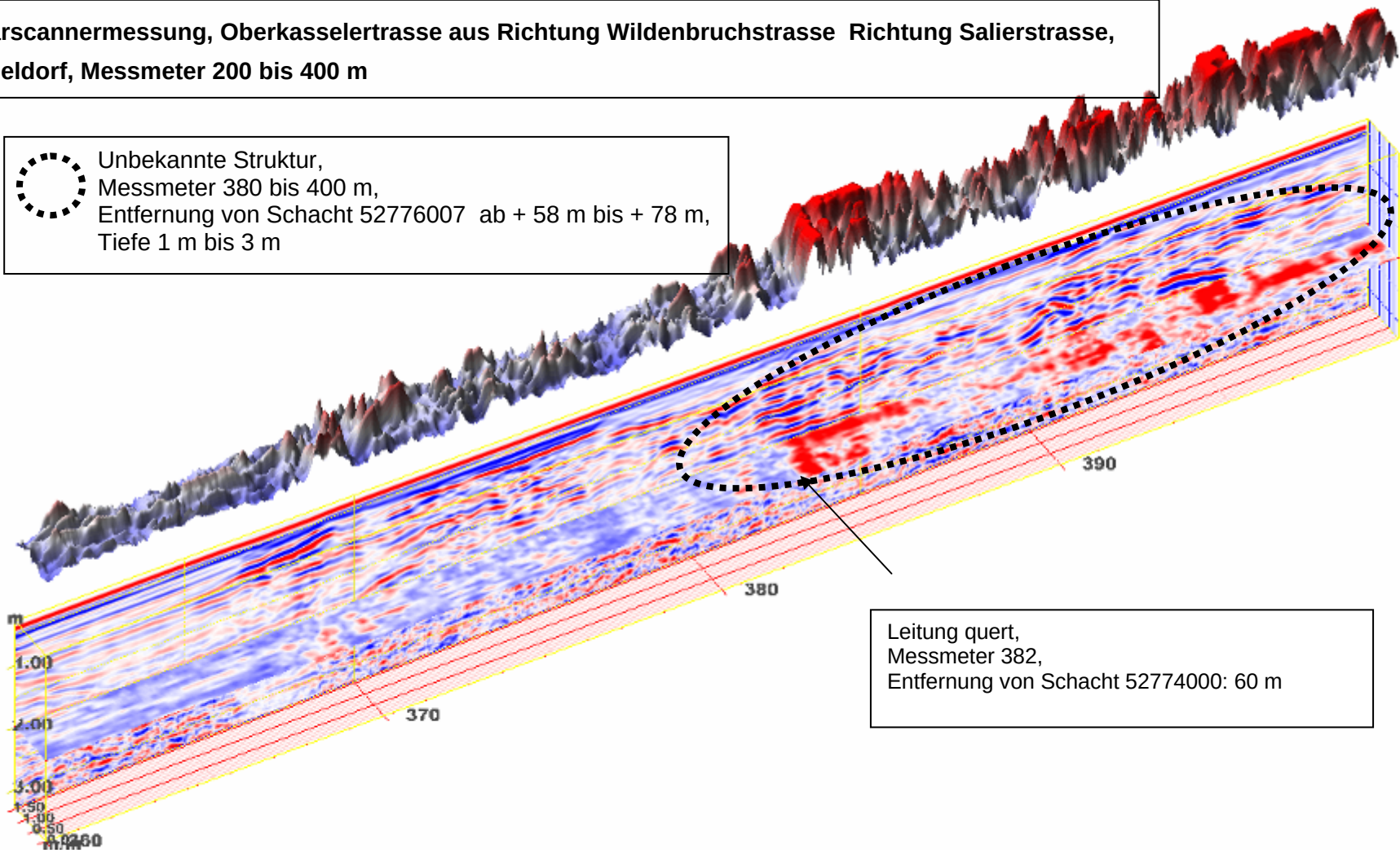
**Radarscannermessung, Oberkasselertrasse aus Richtung Wildenbruchstrasse Richtung Salierstrasse,
Düsseldorf, Messmeter 200 bis 400 m**

○ Unbekannte Struktur,
Messmeter 240 bis 280 m,
Entfernung von Schacht 52774000 ab - 32 m bis + 9 m,
Tiefe 1 m bis 2,5 m



**Radarscannermessung, Oberkasselertrasse aus Richtung Wildenbruchstrasse Richtung Salierstrasse,
Düsseldorf, Messmeter 200 bis 400 m**


 Unbekannte Struktur,
 Messmeter 380 bis 400 m,
 Entfernung von Schacht 52776007 ab + 58 m bis + 78 m,
 Tiefe 1 m bis 3 m



Anhang 9: Darstellung der Auswertung der Messungen Essen

Messbericht zur Auswertung der Georadarmessung auf der Beising Strasse, Bo-
cholder Strasse und Kaldenhofs Kamp, Essen, im Rahmen von:

Auftraggeber: Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
Auftragnehmer: GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH
Bearbeitung: Dipl.- Geophys. Daniela Hofmann
Bearbeitungszeitraum: März bis Oktober 2006

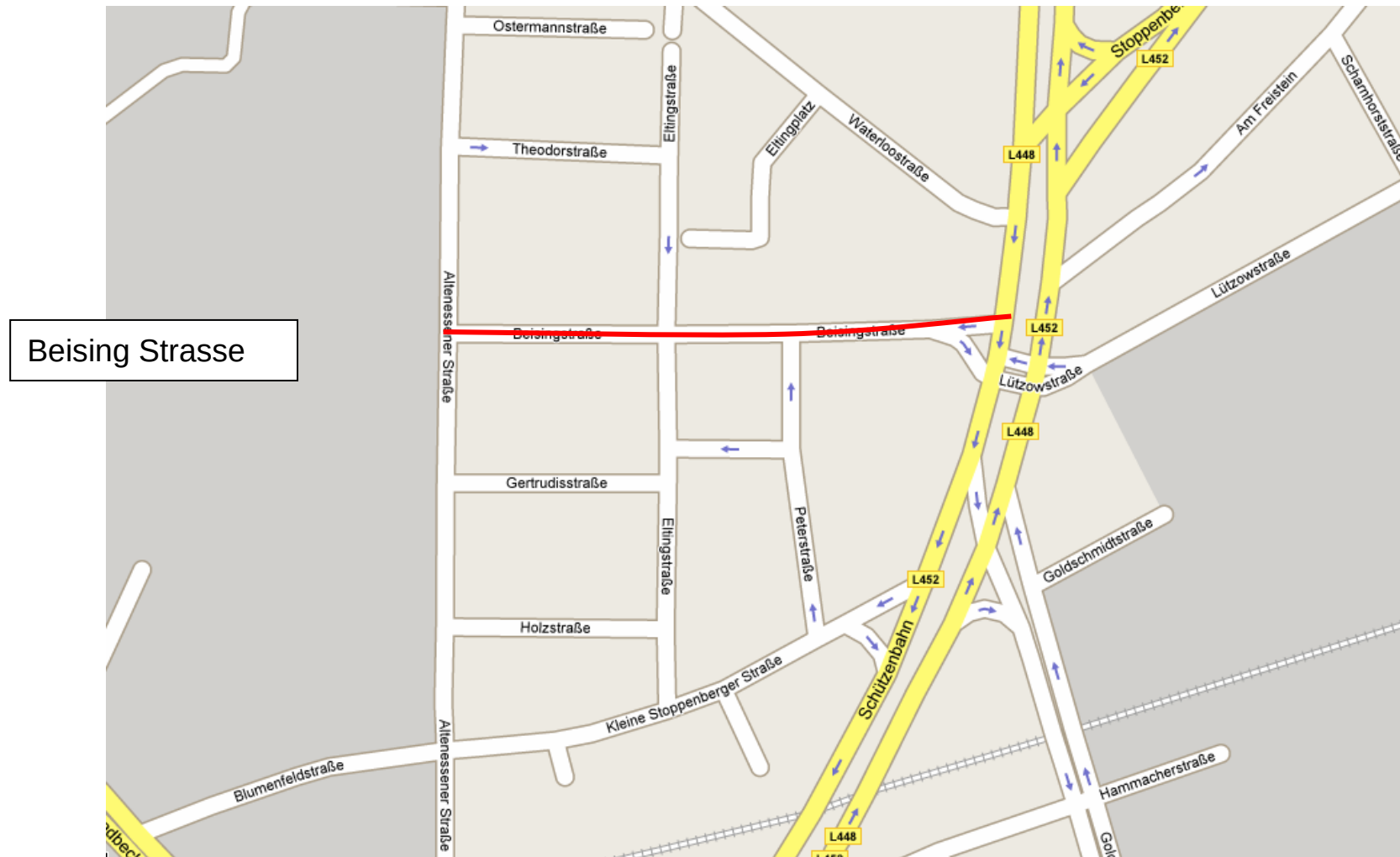
Für die Messungen in Essen standen leider keine Pläne zur Verfügung. Somit ist eine Zuordnung von Schächten und Schadstellen nicht möglich.

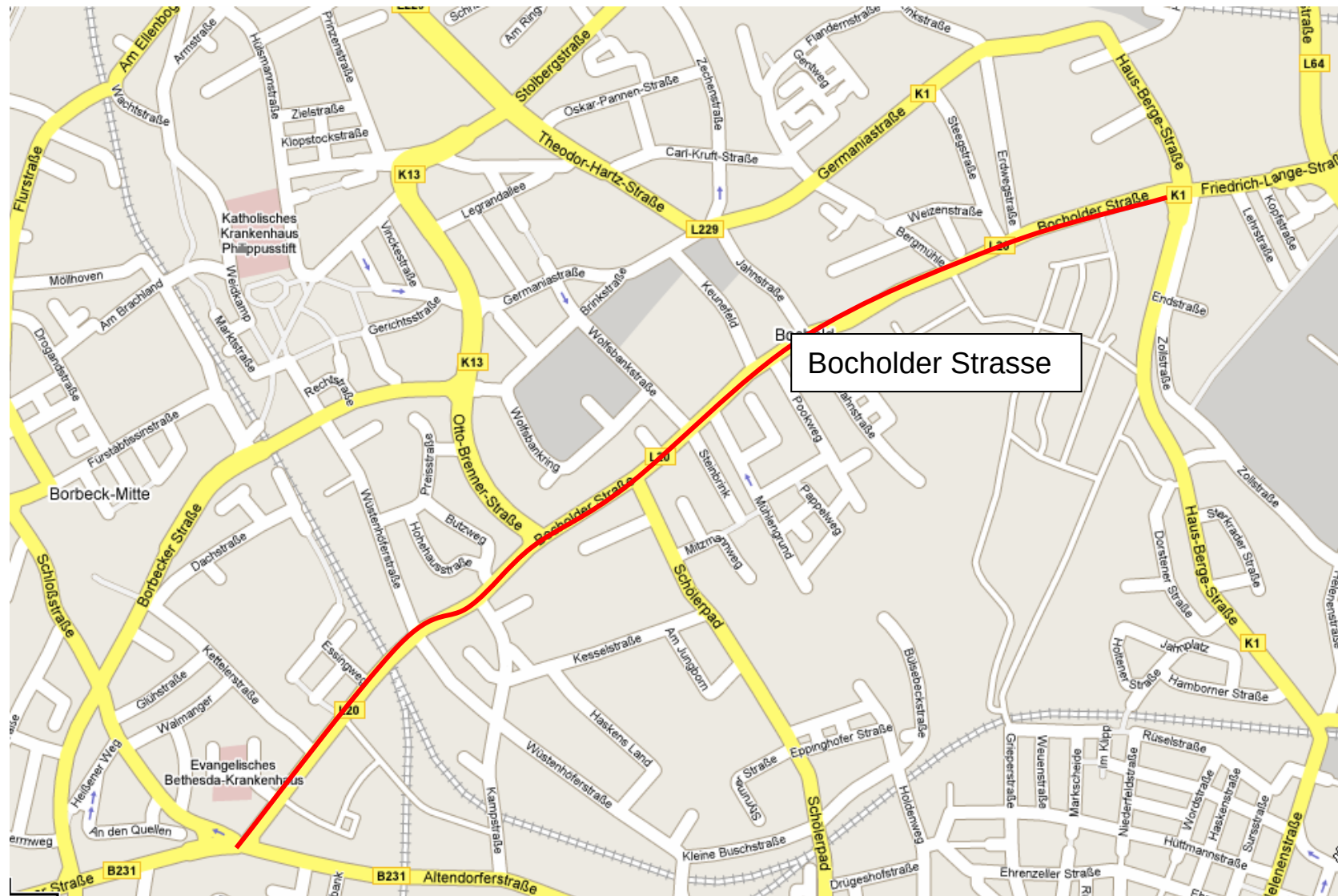
Übersicht über die TerraVision-Messungen:

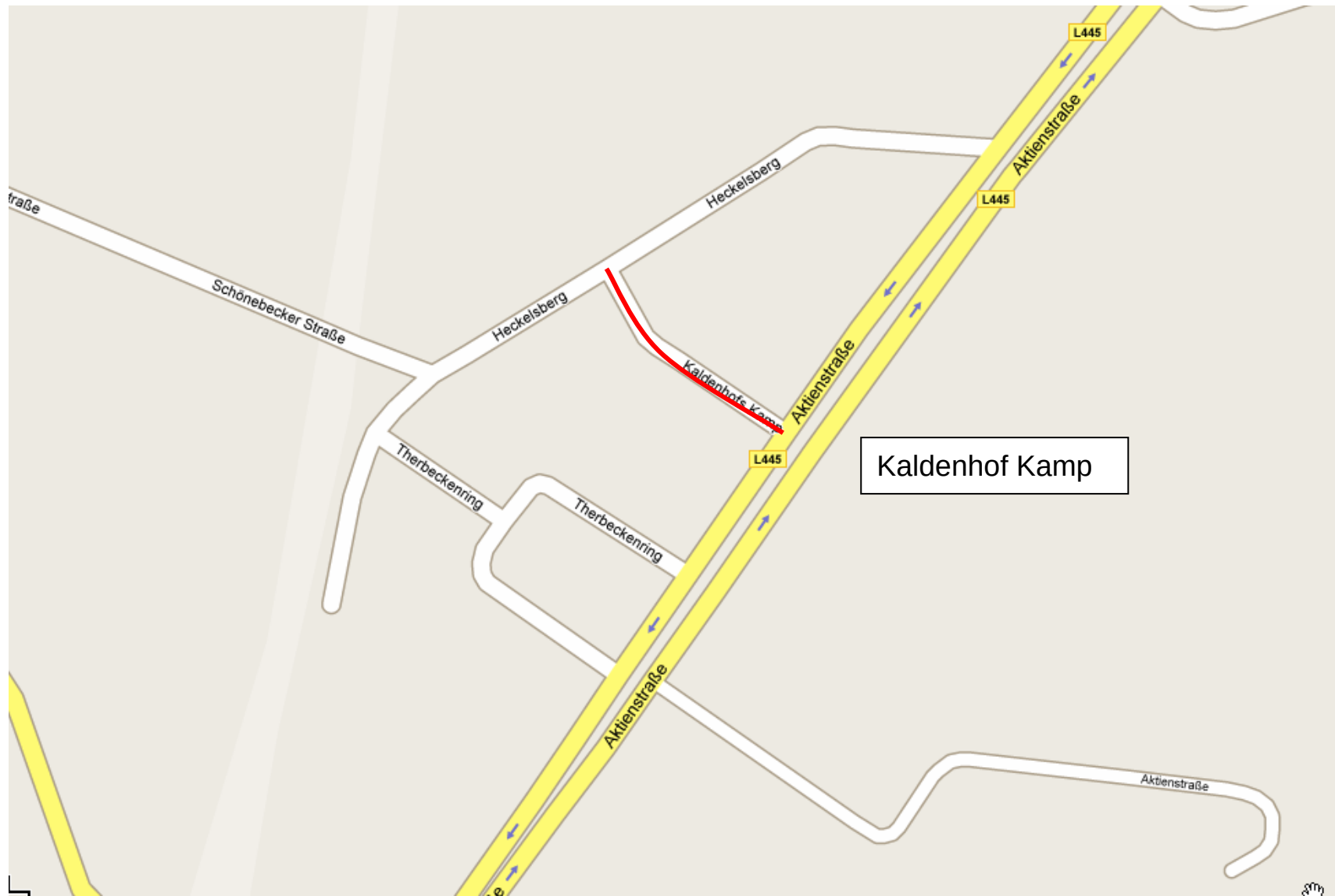
Stadt Essen, TerraVision			
Strasse	Länge [m]	Messprotokoll	Bearbeitet
Beising Strasse	Profil 001: 275 m	nein	ja
Bocholder Strasse	Profil 002: 310 m	nein	ja
Kaldenhof Strasse	Profil 001: 130 m	nein	ja

Insgesamt gemessene Strecke: 715 m

Übersichtspläne der untersuchten Strassenabschnitte, Essen:







Auswertung der Radarscannermessung auf der Beising Strasse, Essen

Ausgewertete Messmeter: 0 bis 200 m

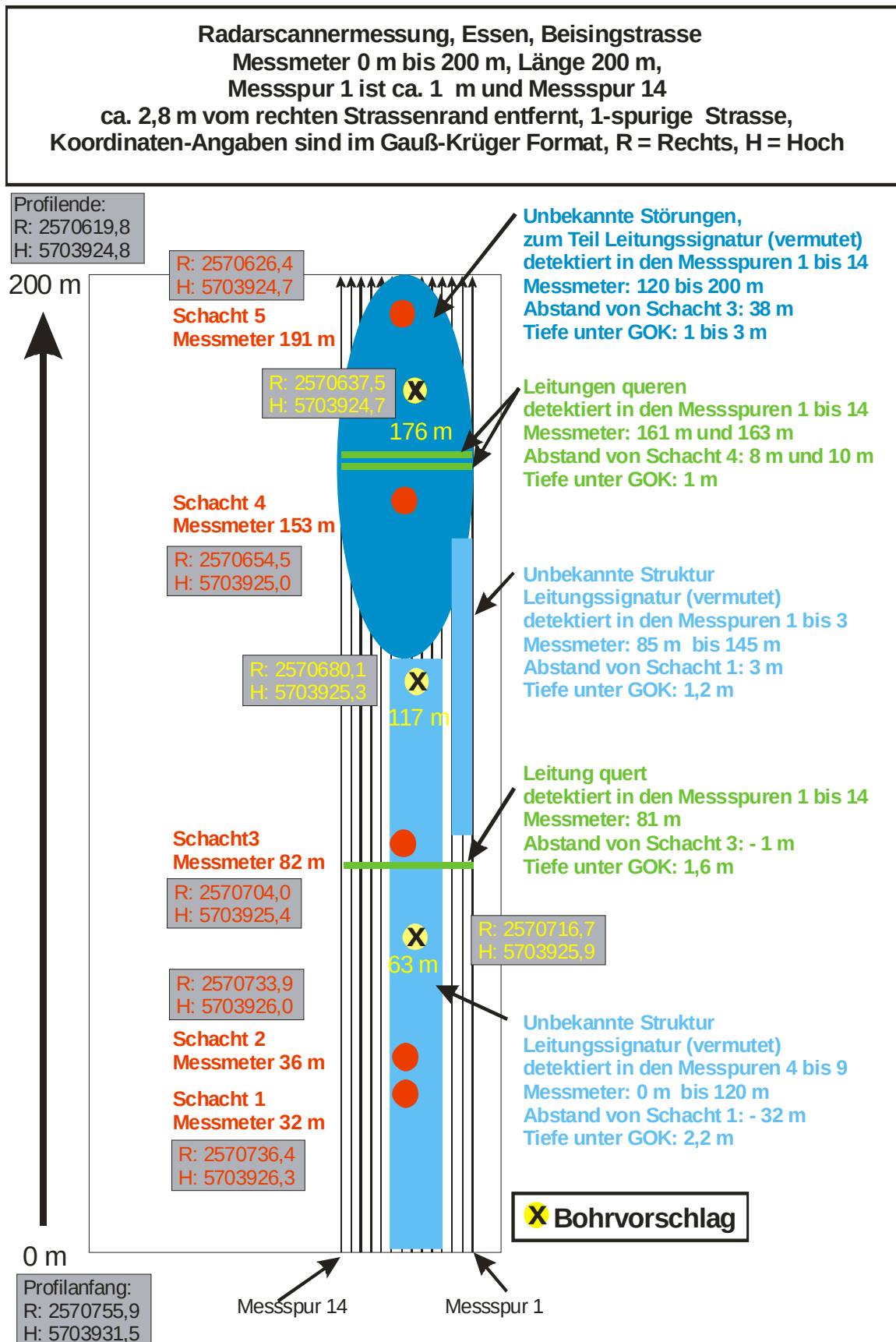
Identifizierte Schachtnummern: Es liegen keine Pläne vor, keine Zuordnung möglich, Schächte wurden einfach durch nummeriert

In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigen Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angegeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert zu verstehen!

Die Angaben in Gauß-Krüger Koordinaten haben eine Ungenauigkeit von 1 – 2 m, die Entfernungsangaben bezogen auf die jeweiligen Schächte haben eine deutlich höhere Genauigkeit (< 50 cm)!!

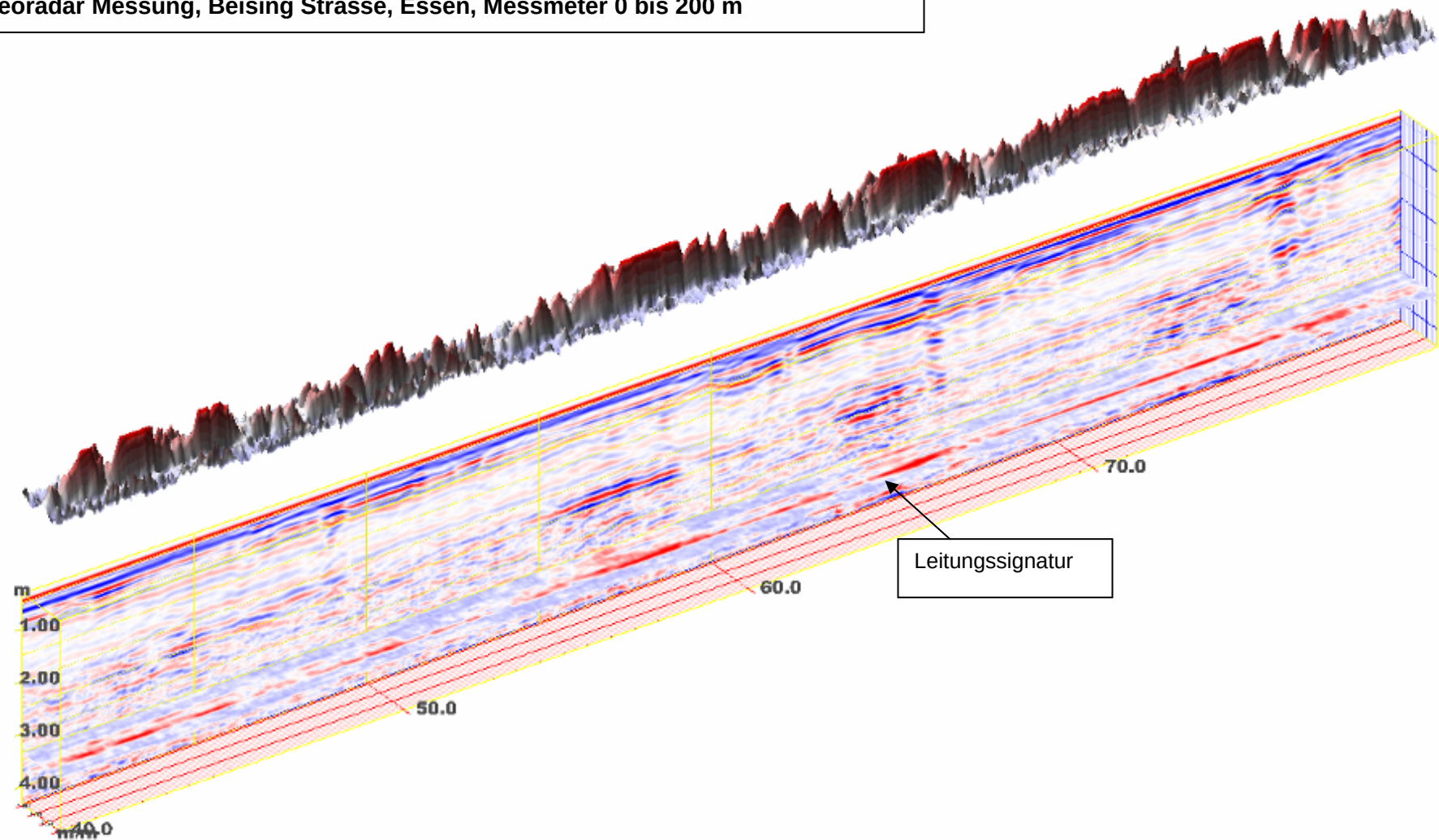
Auswertung der Georadar Messung, Essen, Beising Strasse, Messmeter 0 bis 200 m						
identifizierte Schacht Nummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
1	32					
		Leitungssignatur (vermutet)	0 bis 80	- 32 bis + 48	2,2	63 m
2	38					
3	82					
		Leitung quert	81	- 1	1,6	
		Leitungssignatur (vermutet)	80 bis 145	-2 bis + 63	1,2	117 m
		Leitungssignatur (vermutet)	120 bis 160	+ 38 bis + 78	3	
		unbekannte Strukturen	120 bis 200	+ 38 bis + 118	1 bis 2,5	176 m
4	153					
		Leitung quert	161	+ 8	1	
		Leitung quert	163	+ 10	1	
5	191					

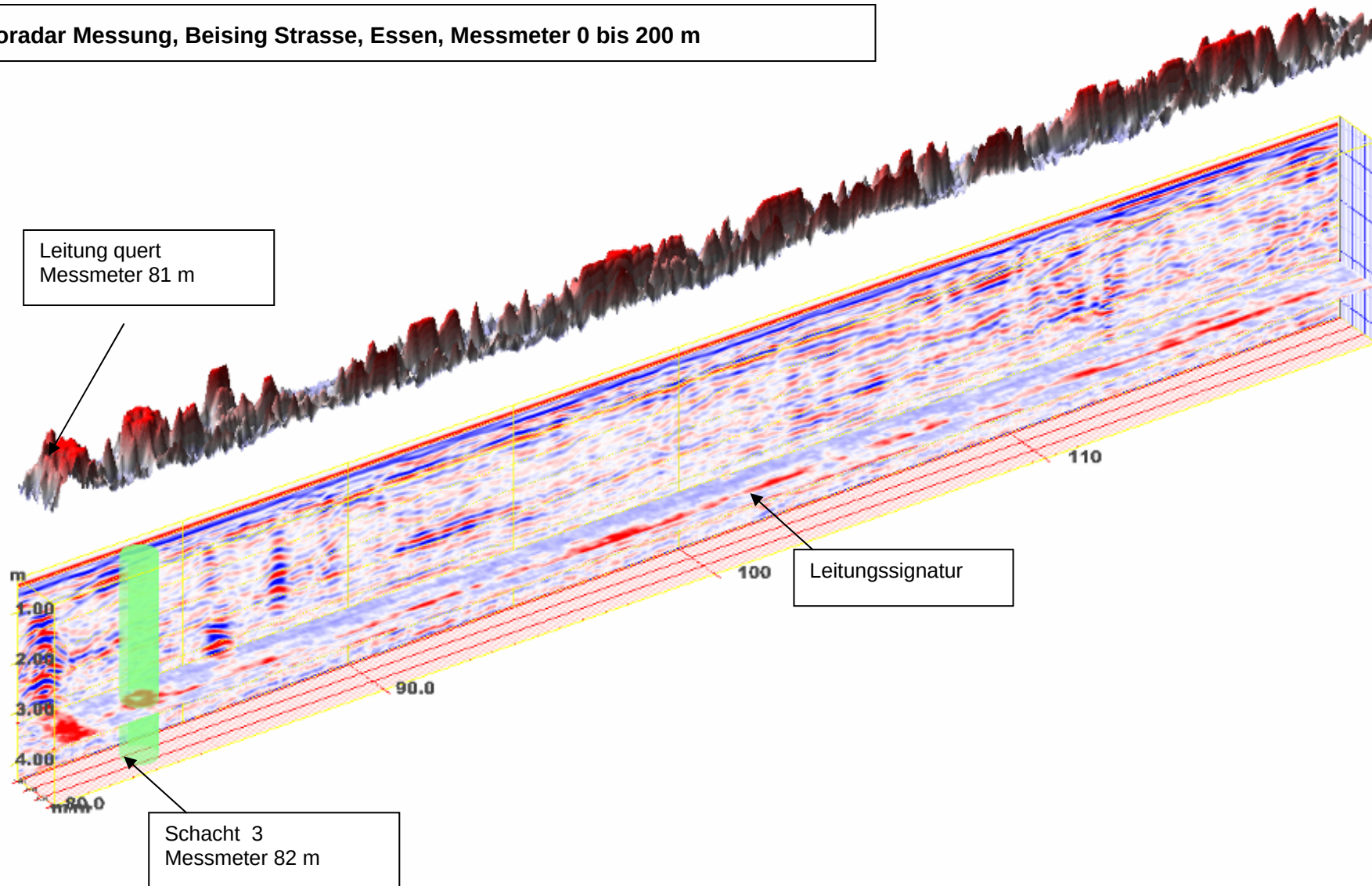


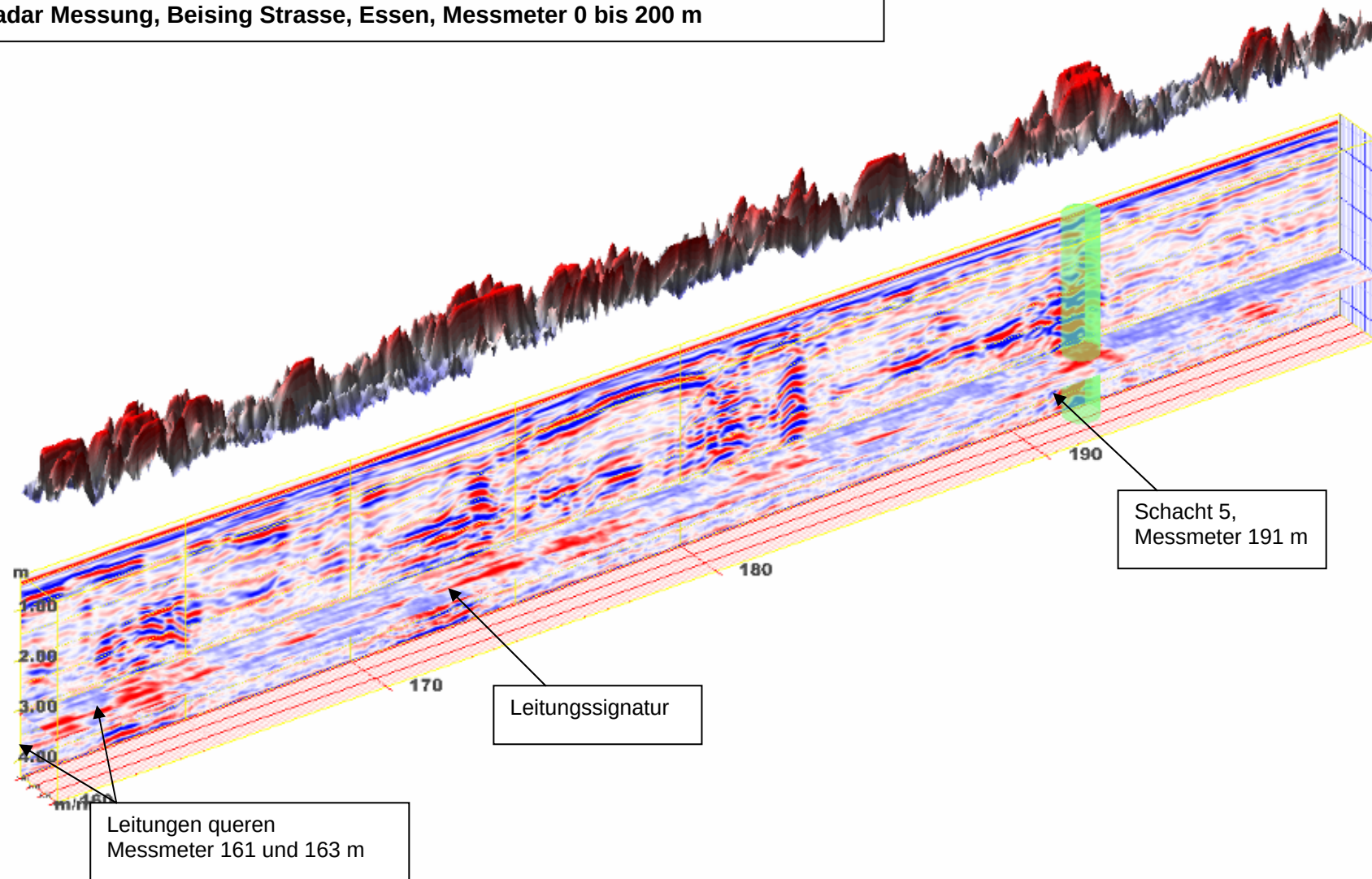
Auswertung der Georadar Messung (TerraVision) auf der Beising Strasse, Essen, Messabschnitt 0 bis 200 m

Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 1,5

Georadar Messung, Beising Strasse, Essen, Messmeter 0 bis 200 m

Georadar Messung, Beising Strasse, Essen, Messmeter 0 bis 200 m

Georadar Messung, Beising Strasse, Essen, Messmeter 0 bis 200 m

Auswertung der Radarscannermessung auf der Bocholderstrasse, Essen

Ausgewertete Messmeter: 0 bis 200 m

Identifizierte Schachtnummern: Es liegen keine Pläne vor, keine Zuordnung möglich, Schächte wurden einfach durch nummeriert

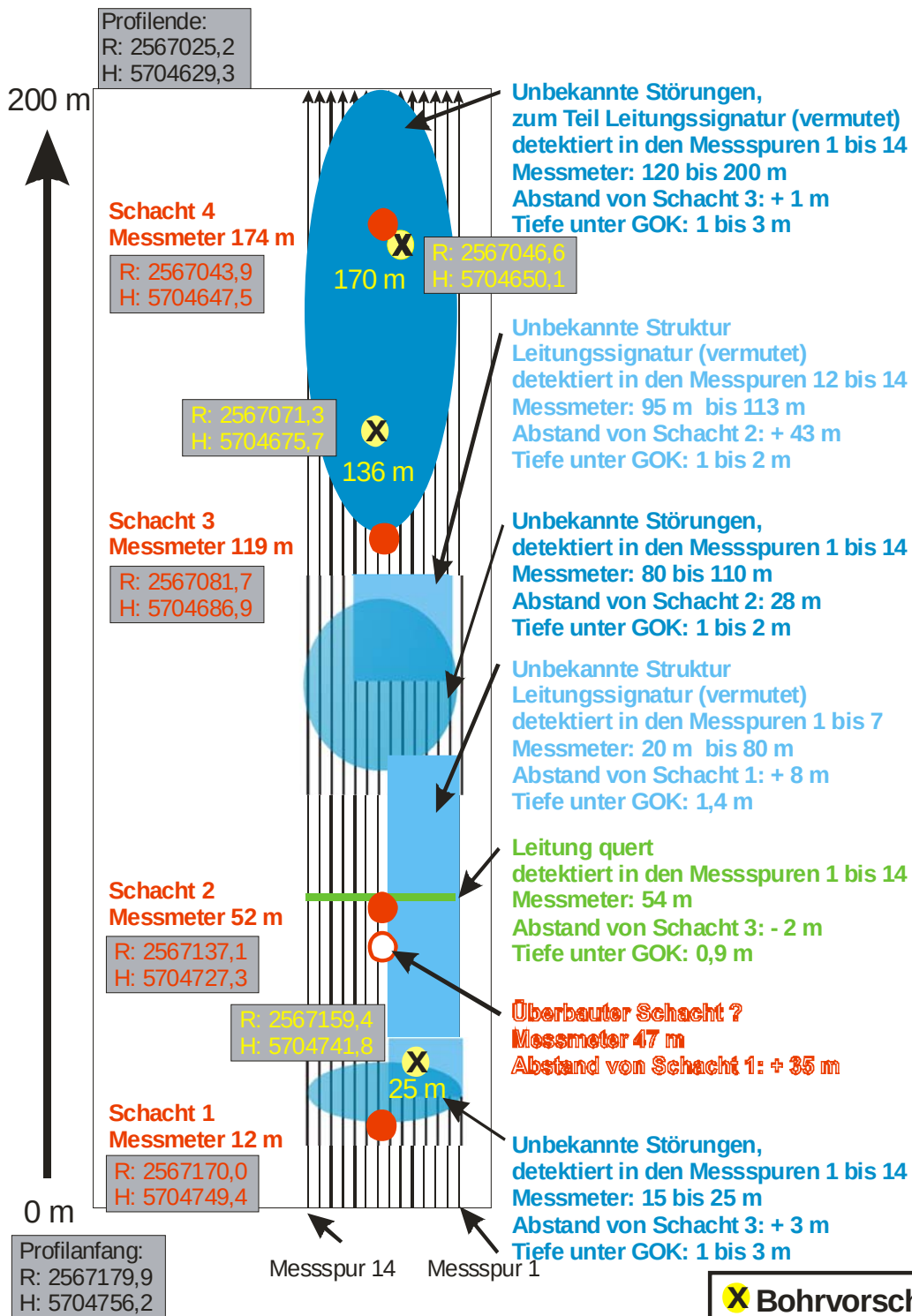
In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigen Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angegeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert zu verstehen!

Die Angaben in Gauß-Krüger Koordinaten haben eine Ungenauigkeit von 1 – 2 m, die Entfernungsangaben bezogen auf die jeweiligen Schächte haben eine deutlich höhere Genauigkeit (< 50 cm)!!

Auswertung der Georadar Messung, Essen, Bocholderstrasse, Messmeter 0 bis 200 m						
identifizierte Schacht Nummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
1	12					
		unbekannte Struktur	15 bis 25	+ 3	1 bis 3	
		unbekannte Struktur, Leitungssignatur (vermutet)	20 bis 80	+ 8 bis + 68	1,4	25 m
		überbauter Schacht	47	+ 35		
2	52					
		Leitung quert	54	- 2	0,9	
		Leitungssignatur (vermutet)	95 bis 113	+ 43 bis + 61	2,7	
		unbekannte Struktur	80 bis 110	+ 28 bis + 58	1 bis 2	136 m
3	119					
		unbekannte Struktur	120 bis 200	+ 1 bis + 81	1 bis 3	170 m
4	174					

Radarscannermessung, Essen, Bocholderstrasse
Messmeter 0 m bis 200 m, Länge 200 m,
Messspur 1 ist ca. 0,2 m und Messspur 14
ca. 1,8 m vom rechten Strassenrand entfernt, 2-spurige Strasse,
Koordinaten Angaben sind im Gauß-Krüger Format, R = Rechts, H = Hoch



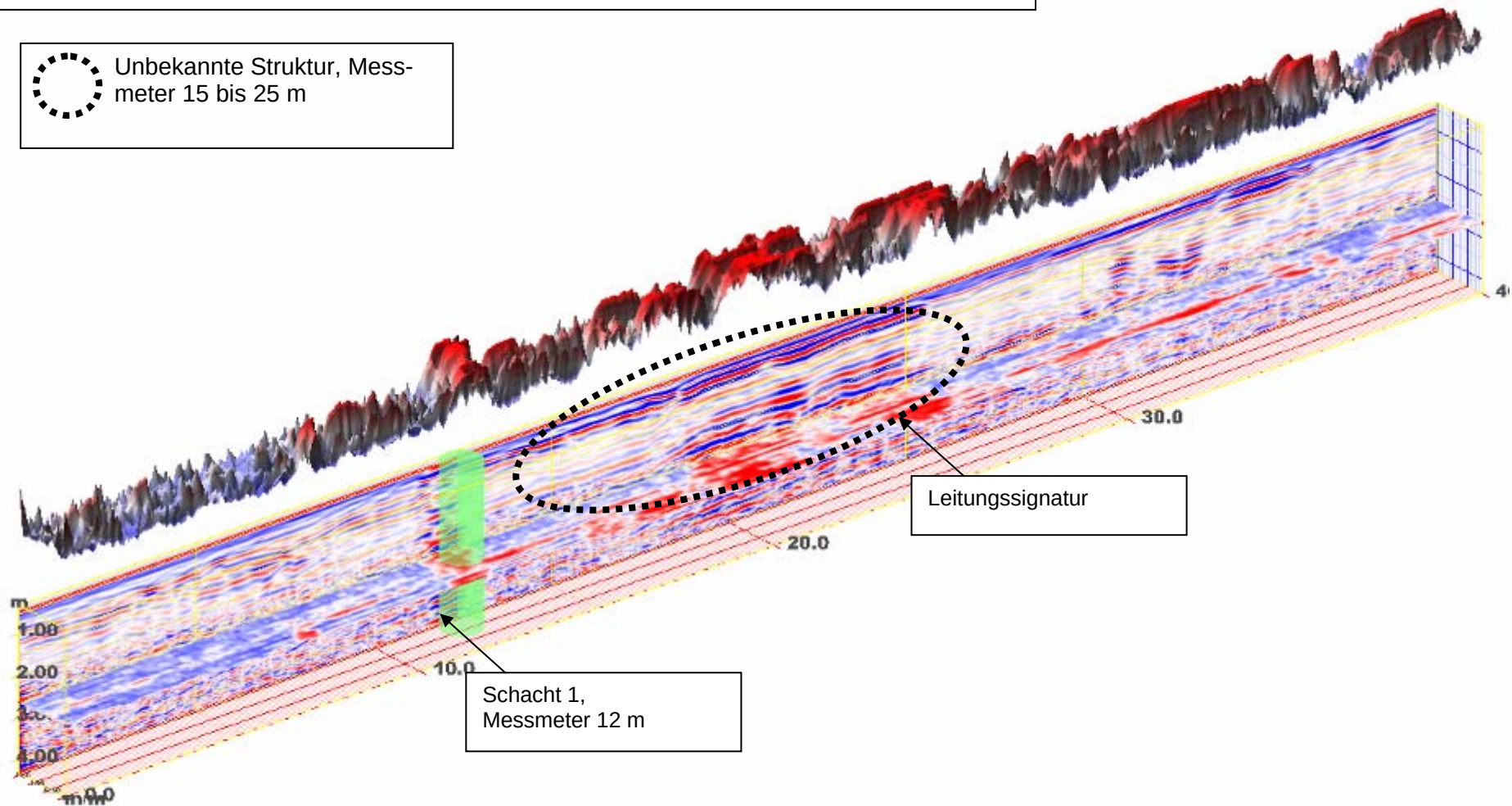
Auswertung der Georadar Messung (TerraVision) auf der Bocholder Strasse, Essen, Messabschnitt 0 bis 200 m

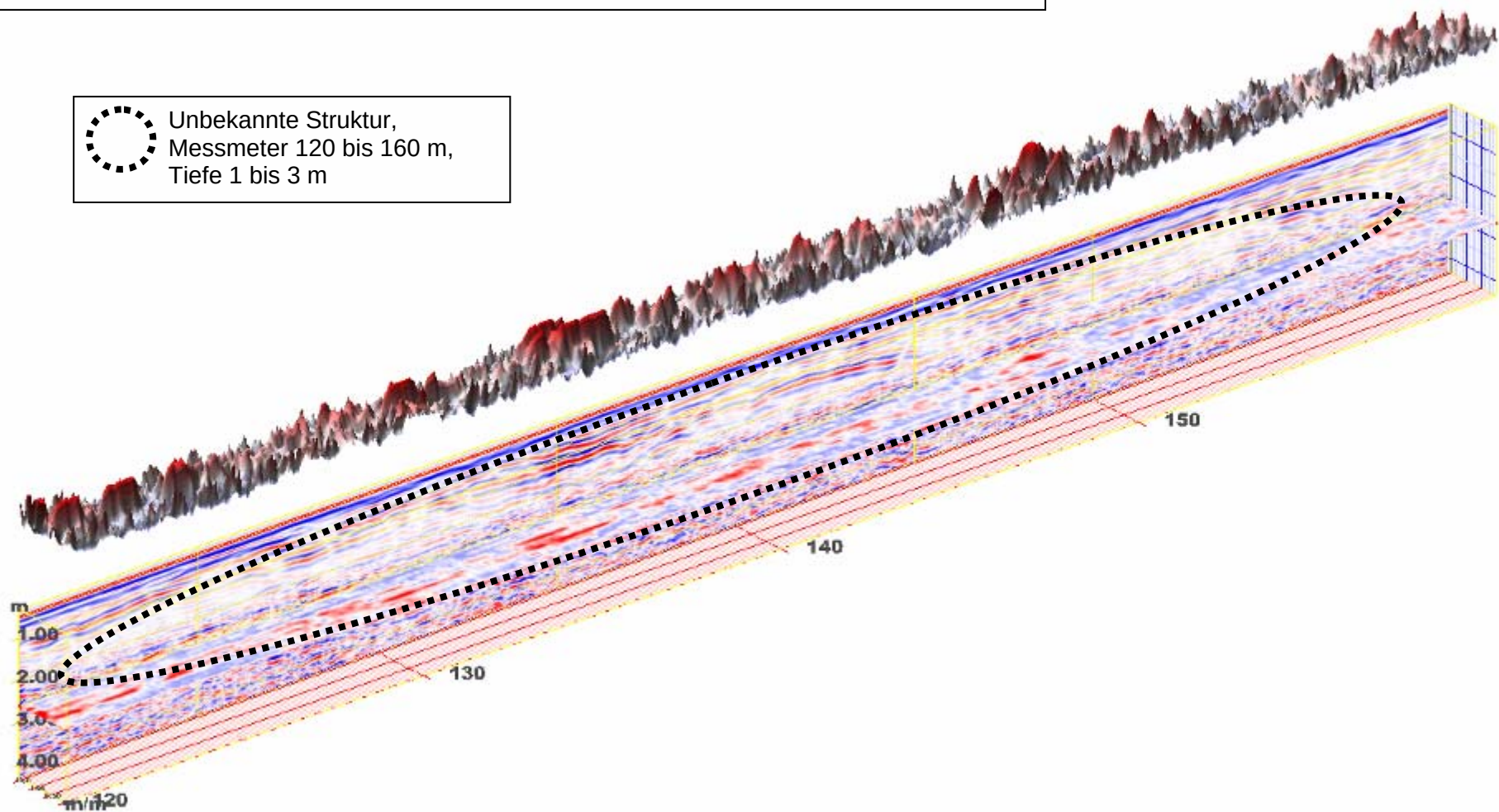
Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 1,5

Georadar Messung, Bocholder Strasse, Essen, Messmeter 0 bis 200 m

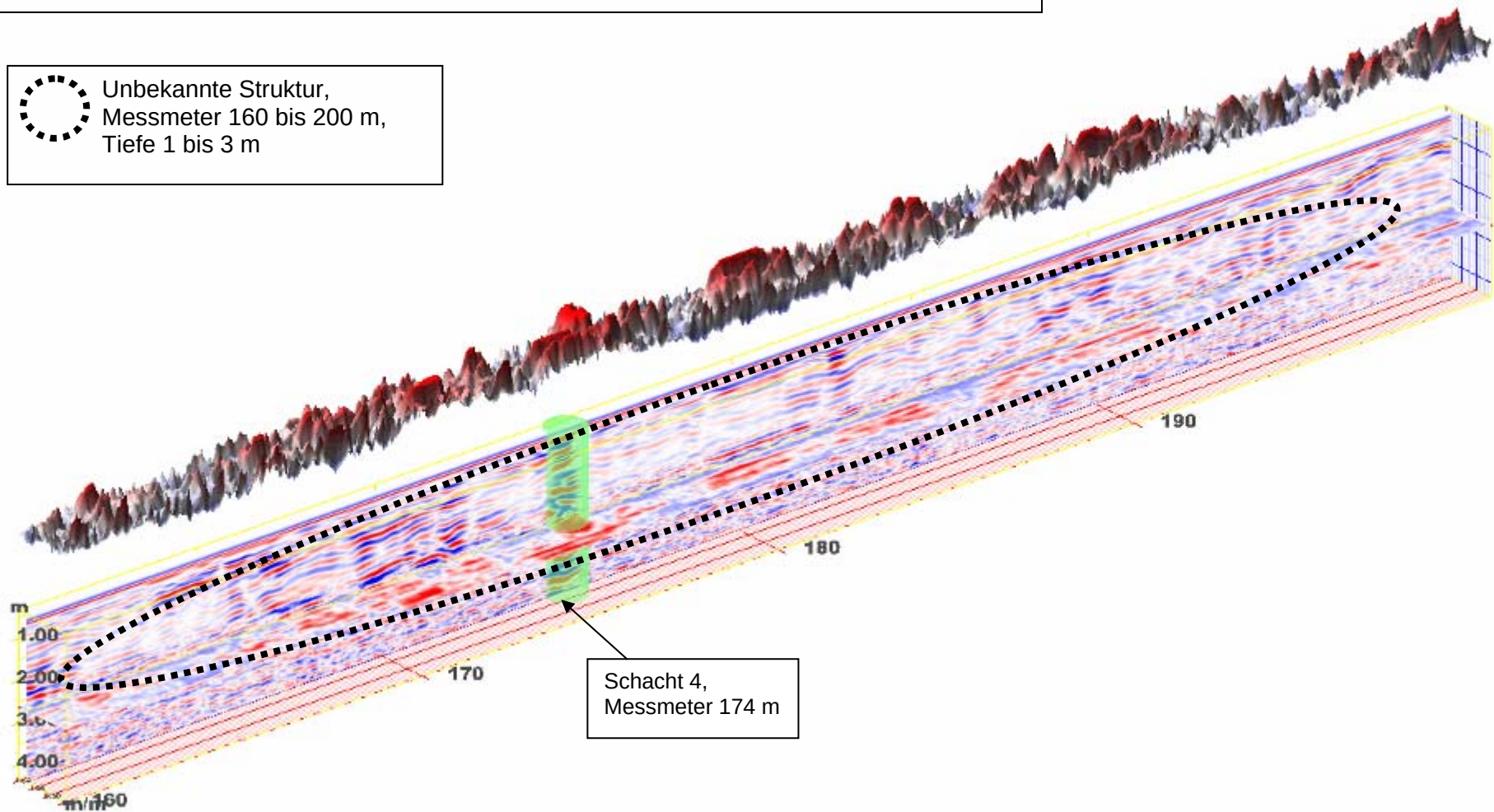
Unbekannte Struktur, Mess-
meter 15 bis 25 m



Georadar Messung, Bocholder Strasse, Essen, Messmeter 0 bis 200 m

Georadar Messung, Bocholder Strasse, Essen, Messmeter 0 bis 200 m

 Unbekannte Struktur,
Messmeter 160 bis 200 m,
Tiefe 1 bis 3 m



Auswertung der Radarscannermessung auf dem Kaldenhofs Kamp, Essen

Ausgewertete Messmeter: 0 bis 130 m

Identifizierte Schachtnummern: Es liegen keine Pläne vor, keine Zuordnung möglich, Schächte wurden einfach durch nummeriert

In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigen Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angegeben.

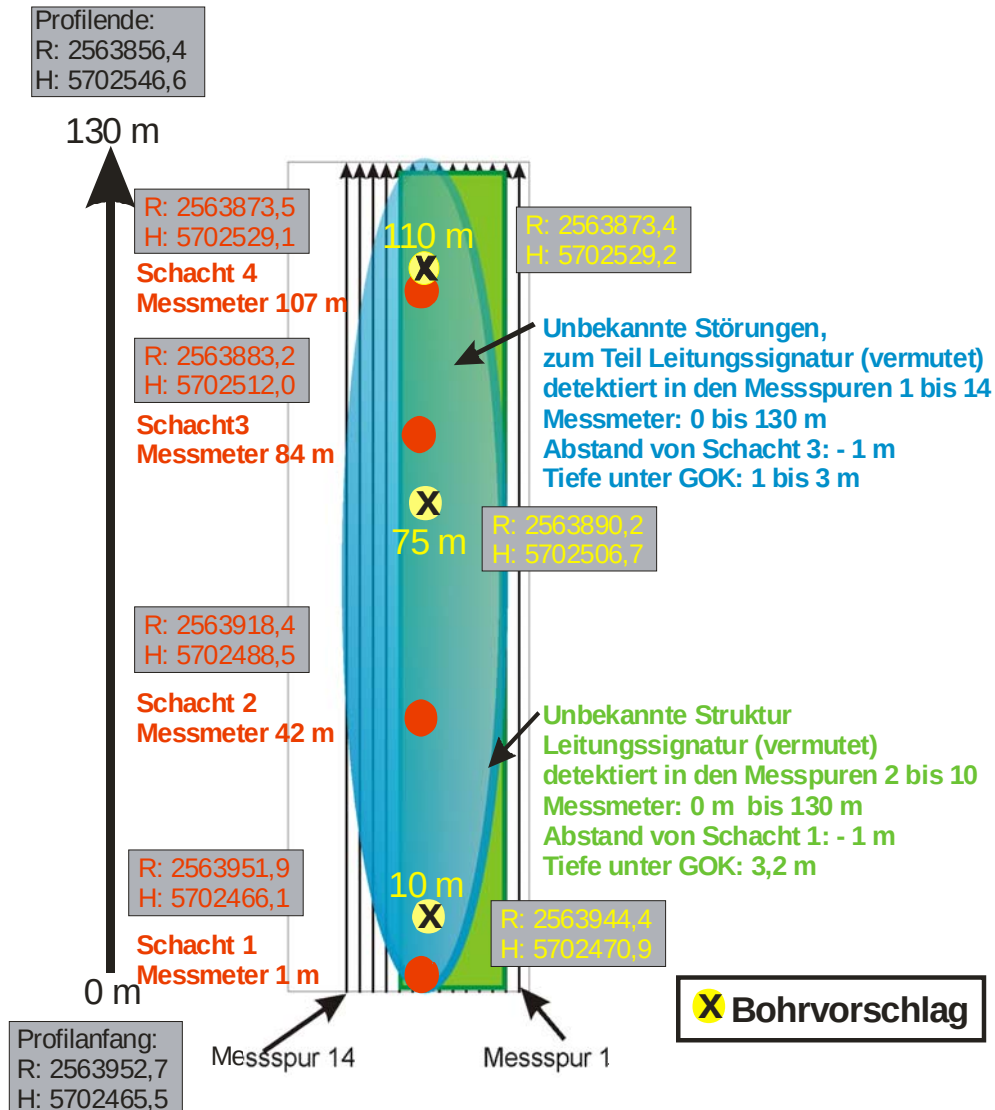
Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert zu verstehen!

Die Angaben in Gauß-Krüger Koordinaten haben eine Ungenauigkeit von 1 – 2 m, die Entfernungsangaben bezogen auf die jeweiligen Schächte haben eine deutlich höhere Genauigkeit (< 50 cm)!!

Auswertung der Georadar Messung, Essen, Kaldenhofs Kamp, Messmeter 0 bis 130 m						
identifizierte Schacht Nummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
1	1					
		unbekannte Struktur	5 bis 40	+ 4 bis + 35	1 bis 3	10 m
		Leitungssignatur (vermutet)	5 bis 80	+ 4 bis + 35	3,2	
2	42					
		unbekannte Struktur	40 bis 80	- 2 bis + 38	1 bis 3	75 m
		Leitungssignatur (vermutet)	40 bis 80	- 2 bis + 38	3,2	
3	84					
		unbekannte Struktur	80 bis 130	- 4 bis + 46	1 bis 3	110 m
		Leitungssignatur (vermutet)	80 bis 130	- 4 bis + 46	3,2	
4	107					

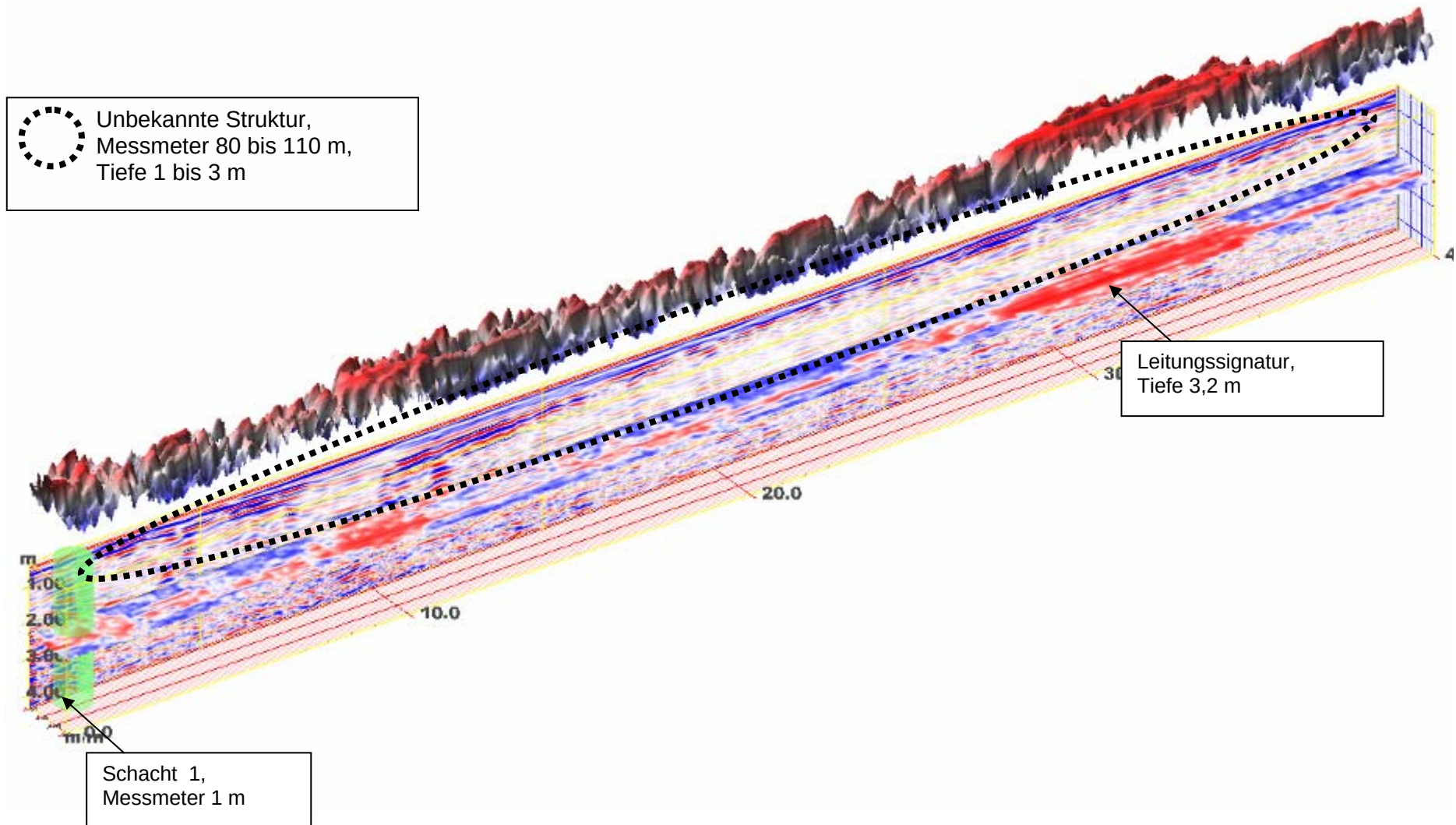
Radarscannermessung, Essen, Kaldenhofs Kamp
Messmeter 0 m bis 130 m, Länge 130m,
Messspur 1 ist ca. 0,2 m und Messspur 14
ca. 1,8 m vom rechten Strassenrand entfernt, einspurige Strasse,
Koordinaten-Angaben sind im Gauß-Krüger Format, R = Rechts, H = Hoch

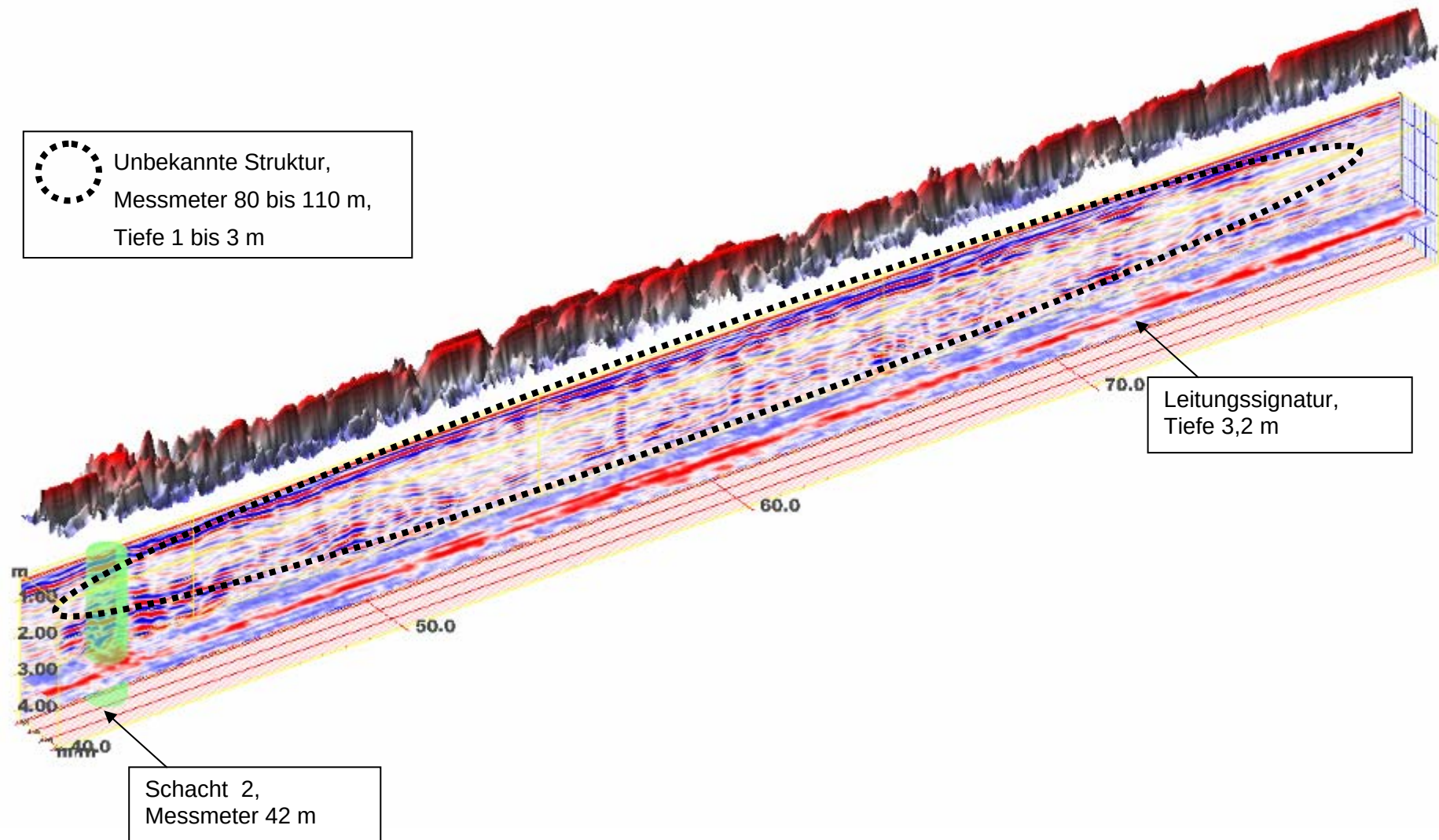


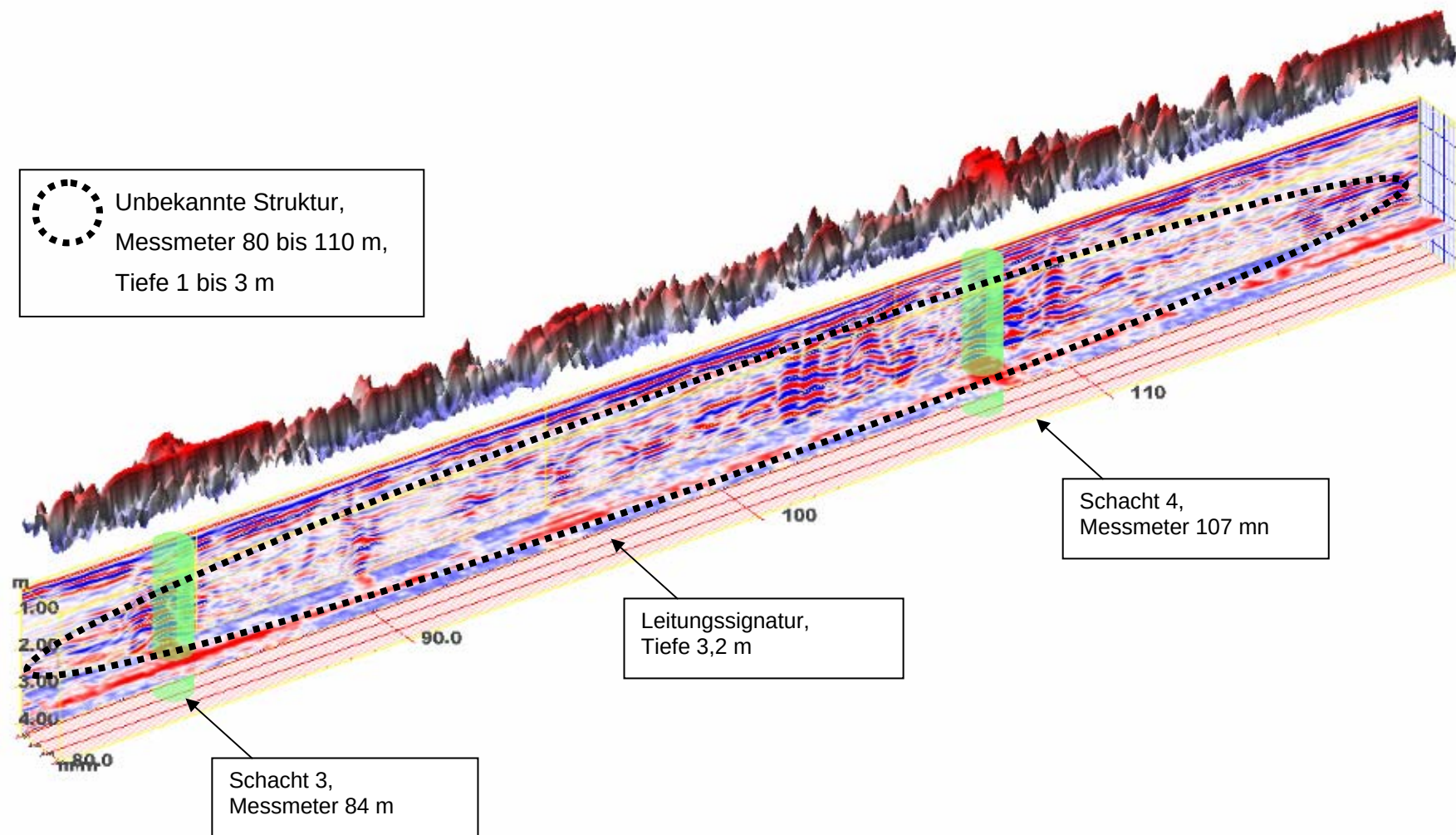
Auswertung der Georadar Messung (TerraVision) auf dem Kaldenhofs Kamp, Essen, Messabschnitt 0 bis 120 m

Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 1,5

Georadar Messung, Kaldenhofs Kamp, Essen, Messmeter 0 bis 130 m

Georadar Messung, Kaldenhofs Kamp, Essen, Messmeter 0 bis 130 m

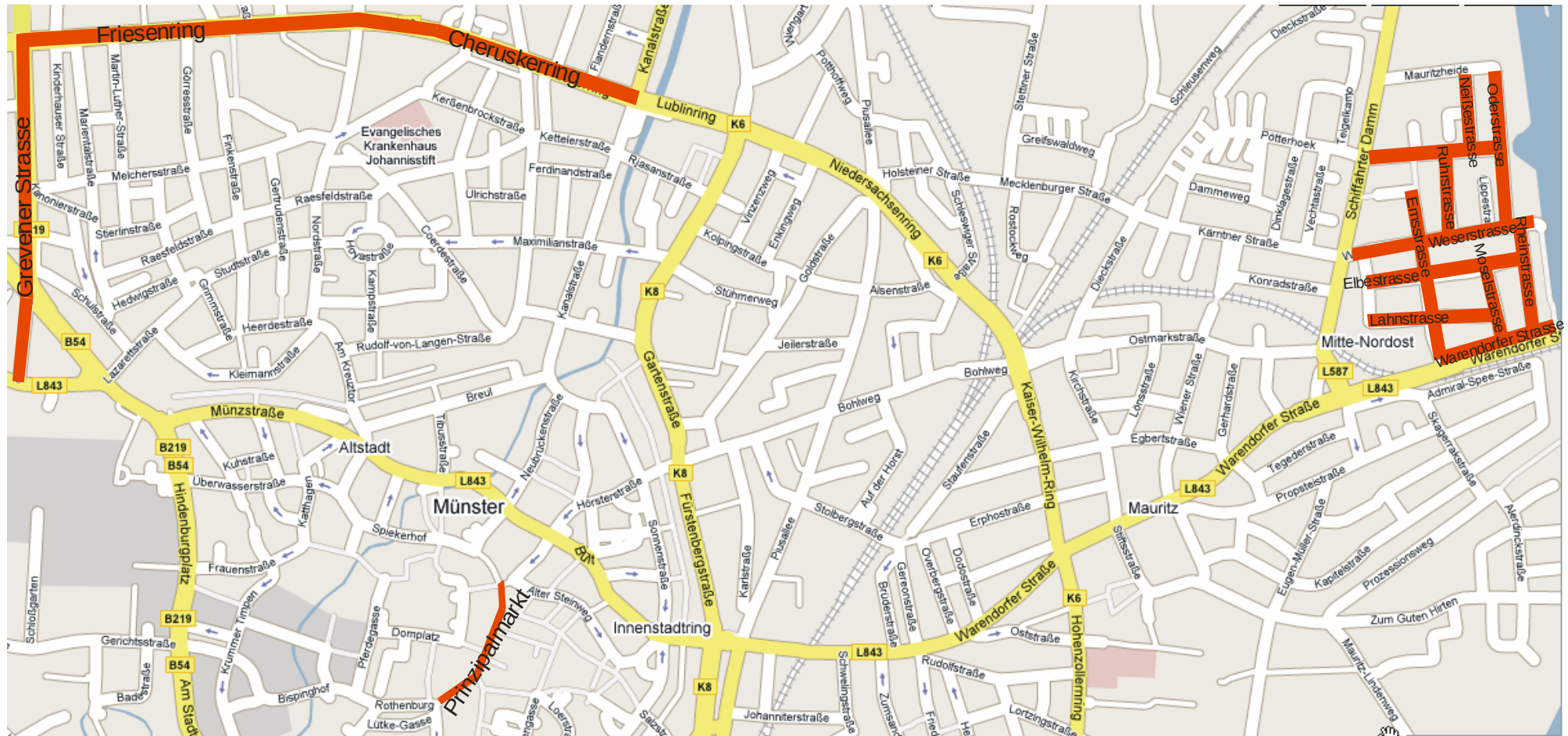
Georadar Messung, Kaldenhofs Kamp, Essen, Messmeter 0 bis 130 m

Anhang 10: Darstellung der Auswertung der Messungen Münster

Messbericht zur Auswertung der Georadarmessung auf dem Friesenring, Cheruskerring und der Grevenener Strasse, Münster, im Rahmen von:

Auftraggeber: Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
Auftragnehmer: GBM Wiebe Gleisbaumaschinen GmbH
Bearbeitung: Dipl.- Geophys. Daniela Hofmann
Bearbeitungszeitraum: März bis Oktober 2006

Übersichtsplan über alle untersuchten Strassenabschnitte, Münster (rot gekennzeichnet)



Übersicht über alle durchgeführten Radar-Messungen:

Stadt Münster, TerraVision			
Strasse	Länge [m]	Messprotokoll	Bearbeitet
Elbe Strasse	Profil 001: 361 m	ja	nein
Ems Strasse	Profil 002: 480 m	ja	nein
Friesenring	Profil 001: 790 m / Profil 002: 352 m	ja	nein
Friesenring	Profil 003: 357 m / Profil 004: 193 m	ja	nein
Friesenring	Profil 005: 879 m	ja	nein
Grevener Strasse	Profil 001: 435 m	ja	ja
Lahnstrasse	Profil 001: 375 m / Profil 0001: 82 m	ja	nein
Moselstrasse	Profil 001: 181 m	ja	nein
Neissestrasse	Profil 001: 183 m / Profil 002: 188 m / Profil 001: Defekt	ja	nein
Oderstrasse	Profil 002: 402 m	ja	nein
Prinzipalmarkt	Profil 001: 181 m / Profil 002: 164 m	ja	ja
Rheinstrasse	Profil 001: 252 m	ja	ja
Ruhrstrasse	Profil 001: 176 m	ja	nein
Saarstrasse	Profil 001: 332 m	ja	nein
Sentruper Strasse	Profil 00001: 208 m / Profil 001: 755 m	ja	nein
Warendorfer Strasse	Profil 001: 208 m	ja	nein
Weserstrasse	Profil 001: 414 m	ja	nein

(siehe auch Messprotokolle)

Insgesamt gemessene Strecke: 7950 m

Auswertung der TerraVision Messung auf der Grevener Strasse, Münster

Ausgewertete Messmeter: 0 bis 200 m, Profil 001

Identifizierte Schachtnummern: R_02505_902.00 bei Messmeter 9 m, R_02505_020.00

bei Messmeter 15 m, R_02505_019.00 bei Messmeter 65 m, R_02505_018.00 bei Messmeter 112 m, R_02505_907.00 bei Messmeter 141 m, R_02505_017.00 bei Messmeter 158 m

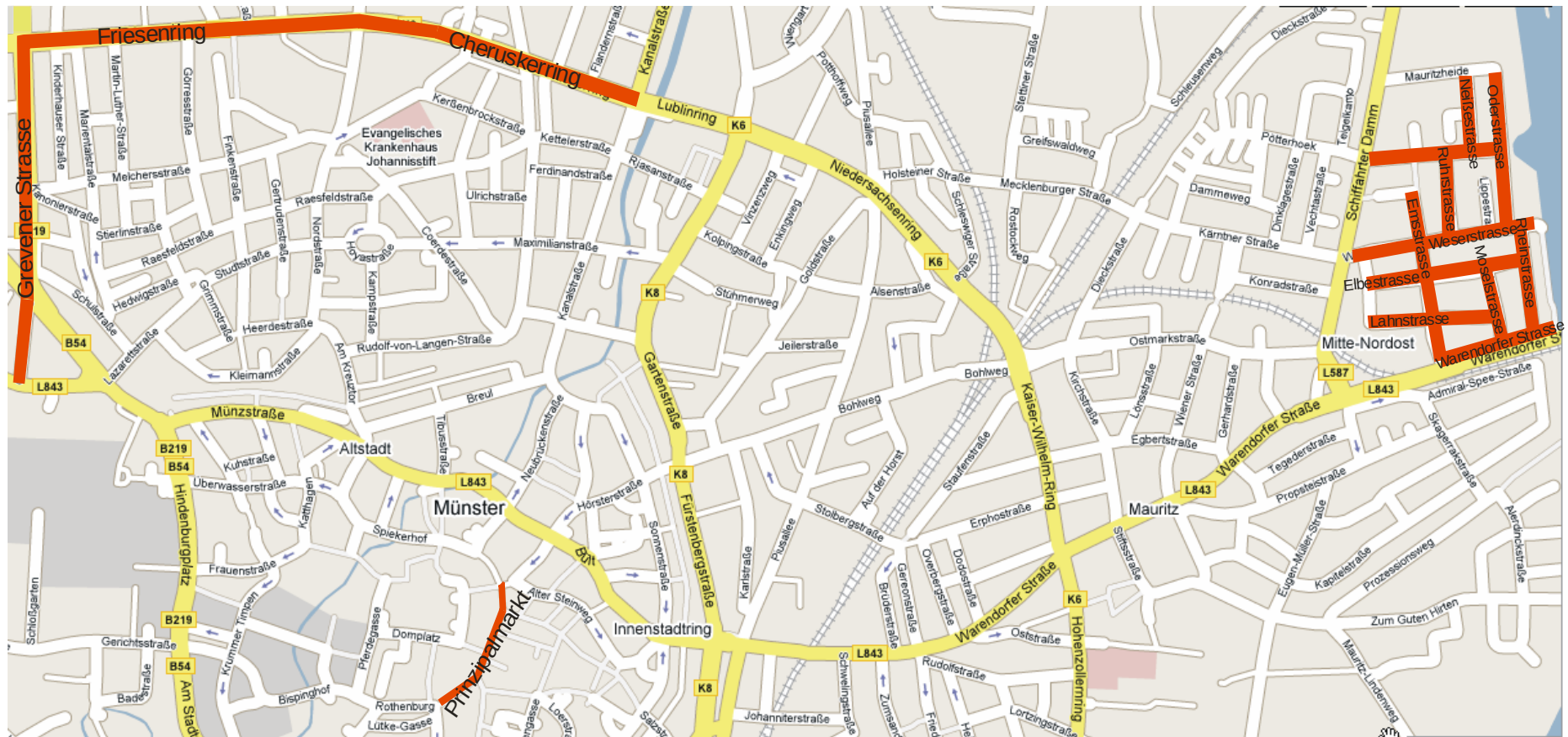
In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie die Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigem Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert gedacht!

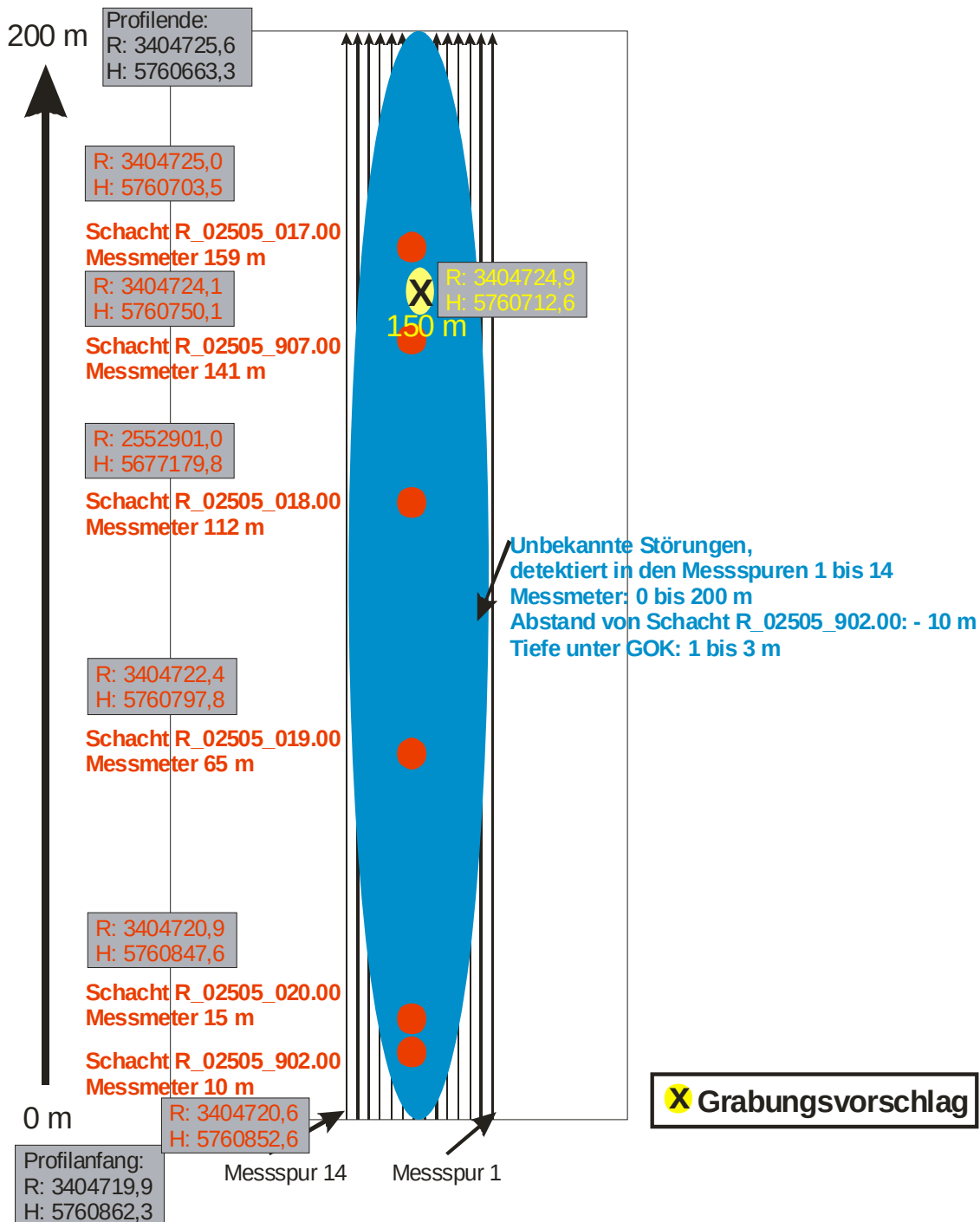
Die Angaben in Gauß-Krüger Koordinaten haben eine Ungenauigkeit von 1 – 2 m, die Entfernungsangaben bezogen auf die jeweiligen Schächte haben eine deutlich höhere Genauigkeit (< 50 cm)!!

Auswertung der Georadar Messung, Münster, Grevener Strasse, Messmeter 0 bis 200 m, aus Richtung Friesenring in Richtung Steinfurter Strasse, ab Schacht R_02505_902.00, Profil 001						
identifizierte Schacht Nummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
R_02505_902.00	10					
R_02505_020.00	15					
R_02505_019.00	65					
R_02505_018.00	112					
R_02505_907.00	141					Zw. 145 und 155 m
R_02505_017.00	159					
		unbekannte Strukturen auf dem gesamten Profil	0 bis 200	- 10 bis + 200	1 bis 2	

Übersichtsplan Grevener Strasse, Münster



Radarscannermessung, Münster, Grevererstrasse aus Richtung Friesenring in Richtung Steinfurter Strasse
Messmeter 0 m bis 200 m, Länge 200 m,
Messspur 1 ist ca. 2 m und Messspur 14
ca. 3,8 m vom rechten Strassenrand entfernt, vierspurige Strasse,
Messfahrzeug fuhr in der Mitte der Strasse,
Koordinaten-Angaben sind im Gauß-Krüger Format, R = Rechts, H = Hoch



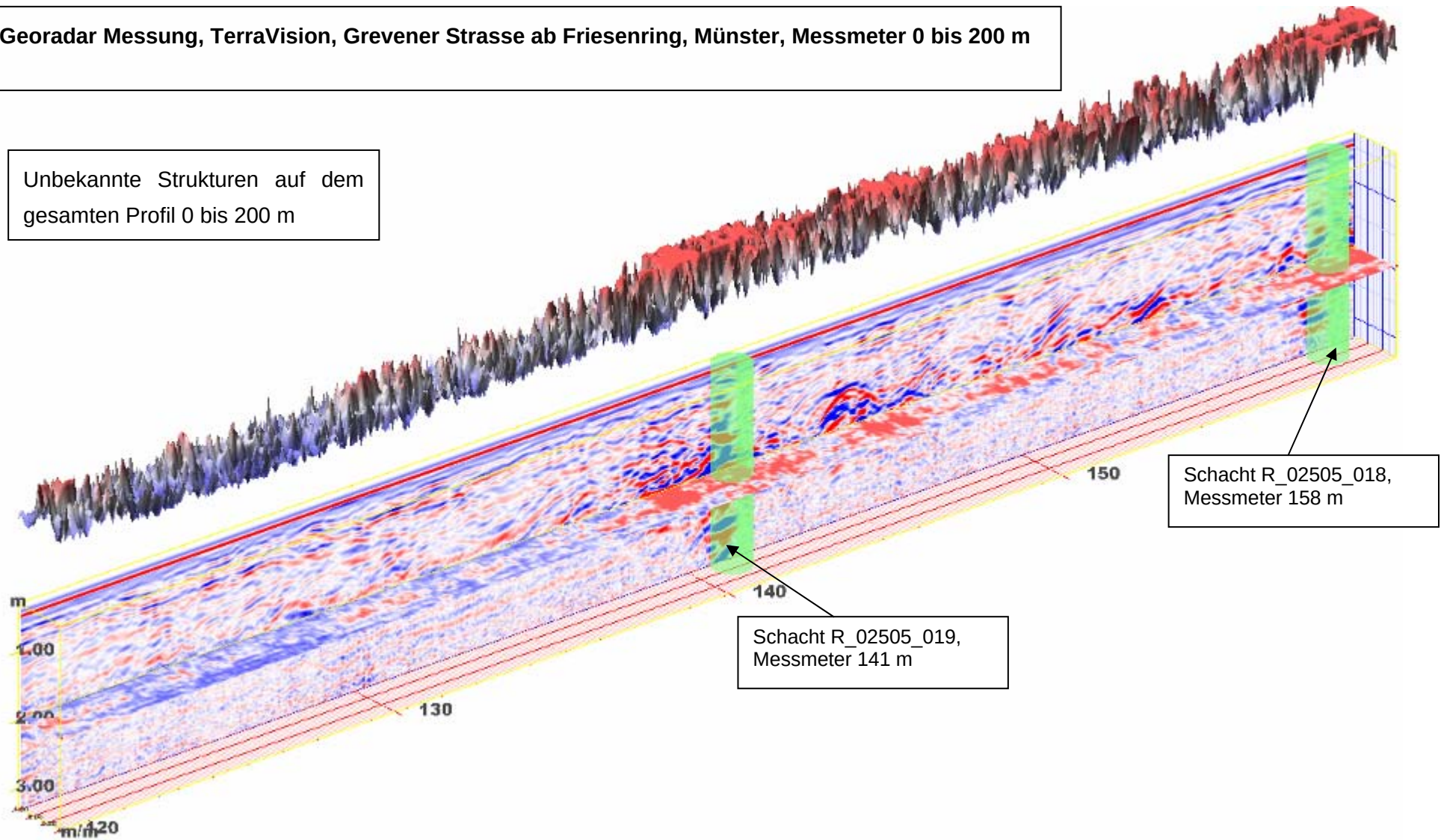
Auswertung der Georadar Messung (TerraVision) auf der Grevener Strasse, Münster, Messabschnitt 0 bis 200 m, Profil 001.

Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 1,5

Georadar Messung, TerraVision, Greverer Strasse ab Friesenring, Münster, Messmeter 0 bis 200 m

Unbekannte Strukturen auf dem
gesamten Profil 0 bis 200 m



Auswertung der TerraVision Messung auf dem Friesenring, Münster

Ausgewertete Messmeter: 0 bis 200 m, Profil

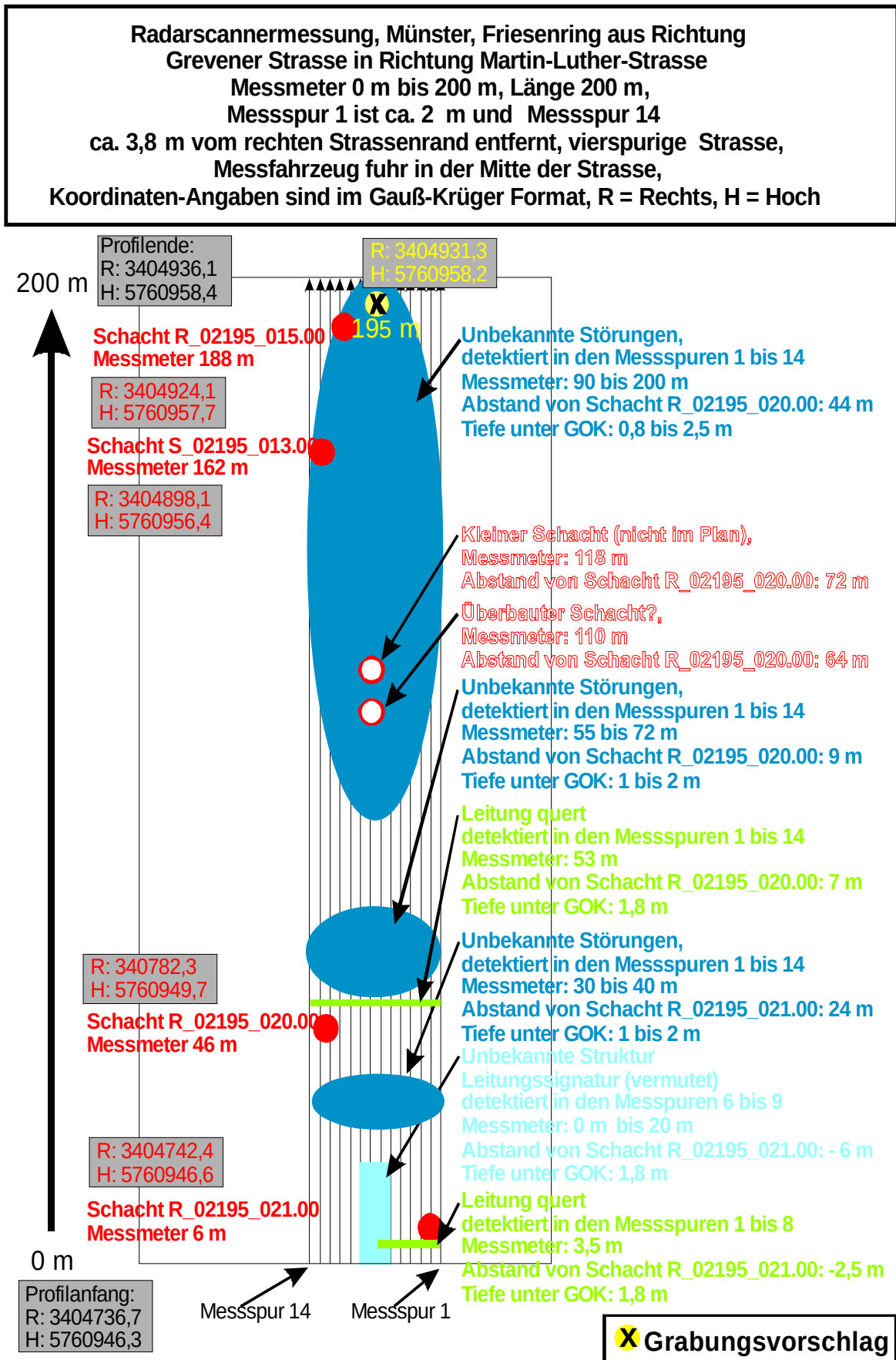
Identifizierte Schachtnummern:

In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie die Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigem Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert zu verstehen!

Die Angaben in Gauß-Krüger Koordinaten haben eine Ungenauigkeit von 1 – 2 m, die Entfernungsangaben bezogen auf die jeweiligen Schächte haben eine deutlich höhere Genauigkeit (< 50 cm)!!

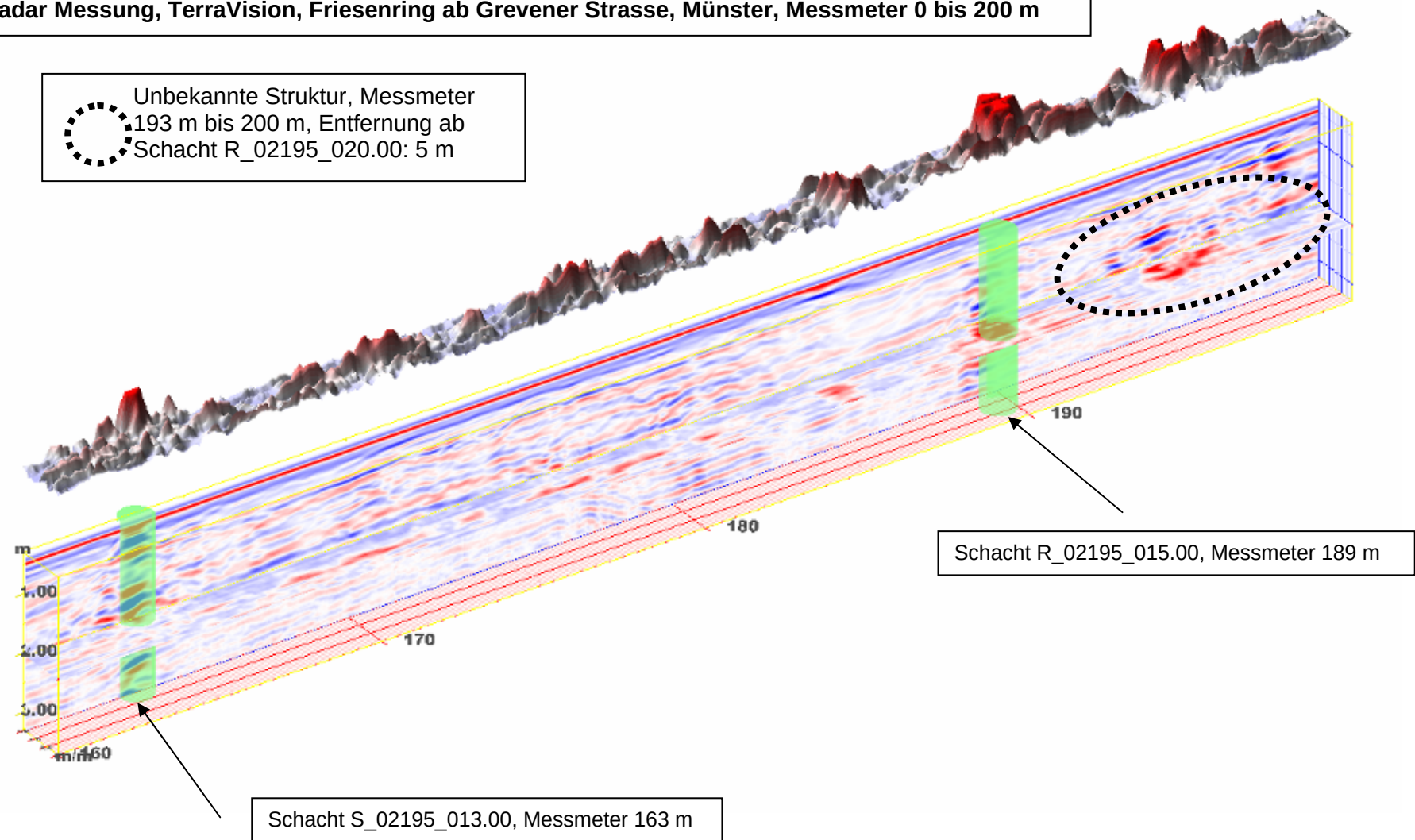
Auswertung der Georadar Messung, Münster, Friesenring, Messmeter 0 bis 200 m, aus Richtung Grevener Strasse in Richtung Martin-Luther-Strasse , ab Schacht R_02195_020.00						
identifizierte Schacht Nummer	Messmeter [m]	Bauwerk, Störung	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Bohrvorschlag
R_02195_021.00	6 m					
		Leitung quert	3,5	- 2,5	1,8	
		Leitungssignatur (vermutet)	0 bis 20	- 6 bis + 14	1,8	
		unbekannte Struktur	30 bis 40	+ 24 bis + 34	1 bis 2	
R_02195_020.00	47 m					
		Leitung quert	52	+ 5	1,8	
		unbekannte Struktur	55 bis 72	+ 8 bis + 25	1 bis 2	
		überbauter Schacht?	110	+ 63		
		kleiner Schacht	118	+ 71		
		unbekannte Struktur	90 bis 200	+ 43 bis + 153	0,9 bis 2	
R_02195_016.00	189 m					Bei 195 m



Auswertung der Georadar Messung (TerraVision) auf dem Friesenring, Münster, Messabschnitt 600 bis 800 m.

Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 2,5

Georadar Messung, TerraVision, Friesenring ab Grevener Strasse, Münster, Messmeter 0 bis 200 m

Auswertung der TerraVision Messung auf dem Cheruskerring von der Kreuzung Wienburgstrasse in Richtung Langemarckstrasse, Münster

Ausgewertete Messmeter: 580 bis 780 m, Profil005

Identifizierte Schachtnummern: R_07240_008.00 bei Messmeter 599 m, S_02195_001.00 bei Messmeter 610 m, S_01325_015.00 bei Messmeter 656 m, S_01325_014.00 bei Messmeter 702 m, S_01325_013.00 bei Messmeter 737 m

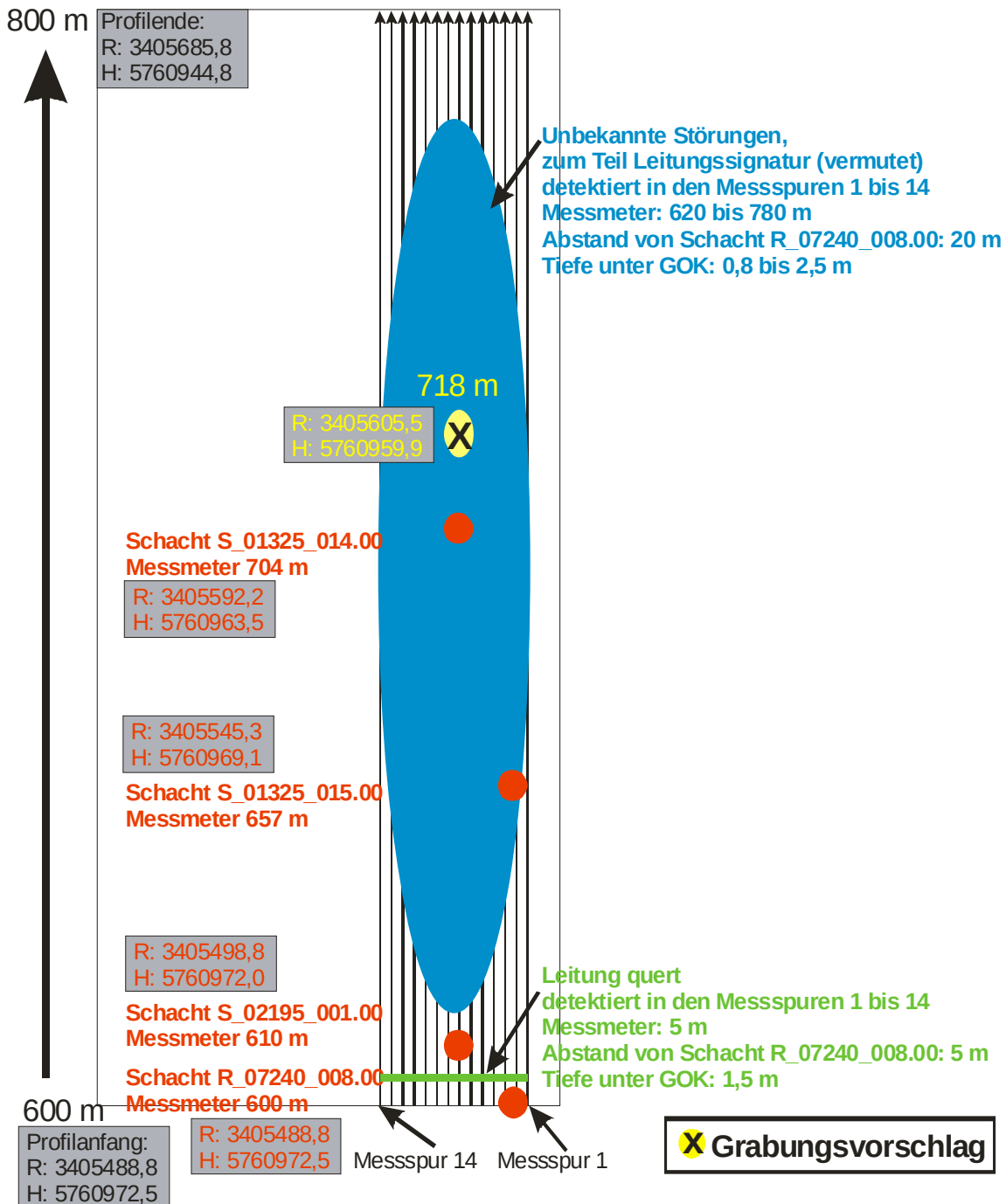
In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Schachtnummern, sowie die Angaben über Störungen oder vermutete Bauwerke im Untergrund mit dem zugehörigem Messmeter, der Entfernung zum vorangegangenen Schacht und die vermutete Tiefenlage angeben. Weiterhin enthält die Tabelle auch Bohrvorschläge.

Achtung: Sämtliche Entfernungen und Tiefen sind unkalibriert und nur als Richtwert zu verstehen!

Die Angaben in Gauß-Krüger Koordinaten haben eine Ungenauigkeit von 1 – 2 m, die Entfernungsangaben bezogen auf die jeweiligen Schächte haben eine deutlich höhere Genauigkeit (< 50 cm)!!

Cheruskerring, ab Wienburgstrasse in Richtung Langemarckstrasse, Messmeter 580 bis 820 m						
identifizierte Haltung	Messmeter [m]	Störung, Bauwerk	Messmeter [m]	Entfernung von Schacht [m]	Tiefe [m]	Grabungsvorschlag
R_07240_008.00	600					
		Leitung quert	606	+ 7	1,5	
		Leitung quert	608	+ 9	1,5	
S_02195_001.00	610					
		Leitung quert	621	+ 10	1,5	
		Leitung quert	624	+ 13	1,5	
		unbekannte Störung	630 bis 652	+ 19 bis + 41	1 bis 2	
S_01325_015.00	656					
		Leitungssignatur	660 bis 700	+ 2 bis + 42	1,5	
S_01325_014.00	702					
		unbekannte Störung	708 bis 738	+ 4 bis + 34	1,5 bis 2,5	Zw. 715 u.720 m
S_01325_013.00	737					
		unbekannte Störung	740 bis 780	+ 2 bis + 42	1,5 bis 2,5	
		unbekannte Störung	780 bis 785	+ 42 bis + 47	1,5 bis 2,5	
S_01325_012.00	814					
S_01325_011.00	872					

**Radarscannermessung, Münster, Cheruskerring ab Kreuzung
Wienburgstrasse in Richtung Langemarckstrasse**
Messmeter 600 m bis 800 m, Länge 200 m,
Messspur 1 ist ca. 0,8 m und Messspur 14
ca. 1,8 m vom rechten Strassenrand entfernt, vierspurige Strasse,
Koordinaten-Angaben sind im Gauß-Krüger Format, R = Rechts, H = Hoch

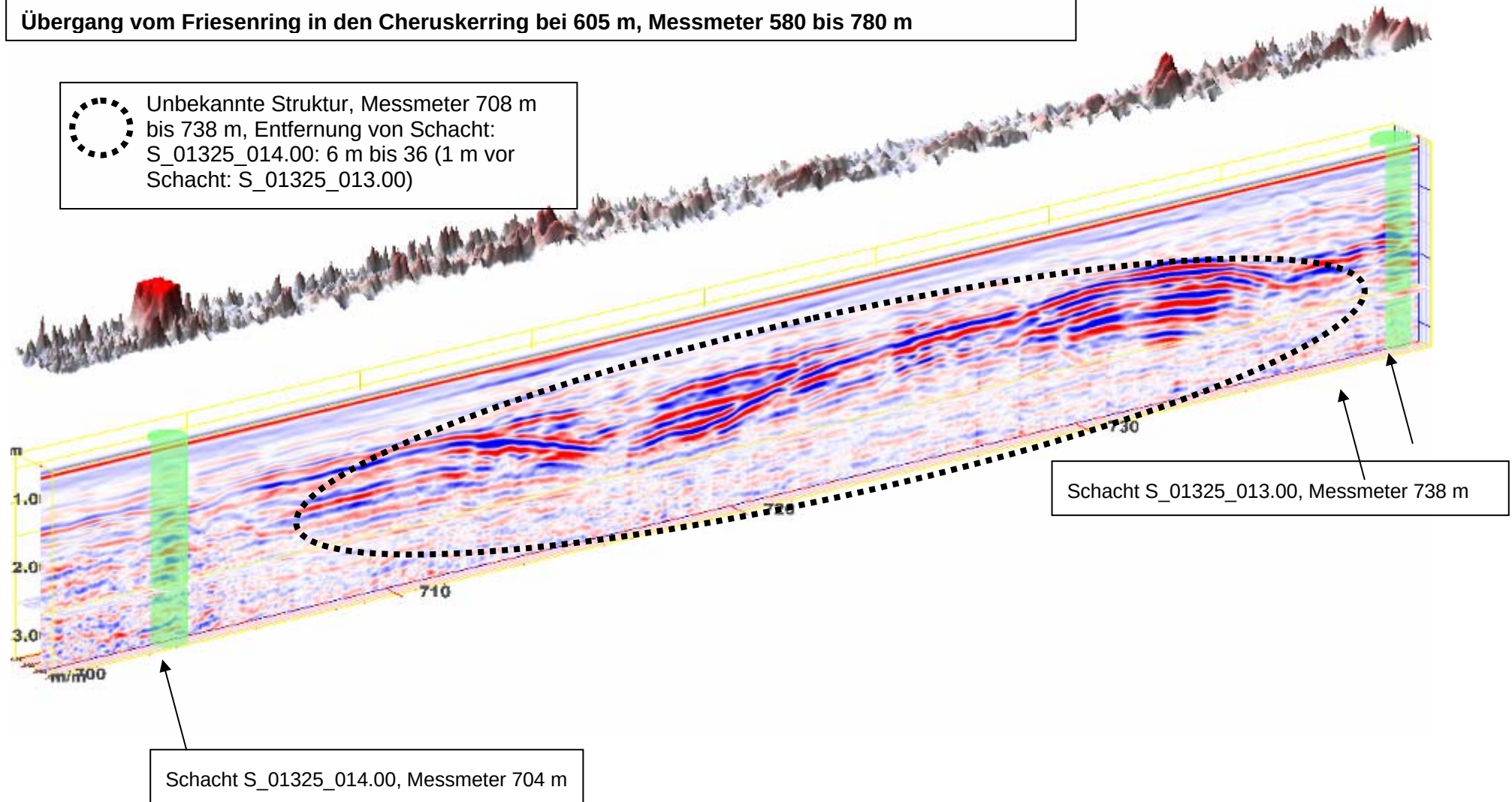


Auswertung der Georadar Messung auf dem Cheruskerring, Münster, Messabschnitt 600 bis 800 m.

Im Folgenden sind die Radargramme mit einer Kontur-Darstellung gezeigt. Die Kontur spiegelt die Amplitudenverteilung in dem zuvor gewählten Tiefenschnitt wieder.

Verwendete Farbtabelle: 25/16, Verstärkung: 2,5

Georadar Messung, TerraVision, Cheruskerring ab Wienburgstrasse Strasse, Münster, Profil 005, Übergang vom Friesenring in den Cheruskerring bei 605 m, Messmeter 580 bis 780 m



Anhang 11: Vollständige Tabellenübersicht

Übersicht Haltungsgrunddaten (ATV-DVWK, 2003a)

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
HG001 [-] A24	Haltungsbezeichnung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes
HG002 [-] A16	alternative_Haltungsbezeichnung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> z.B. aus historischer Bezeichnung
HG003 [-] A12	Knotenbezeichnung_oben Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Knotenbezeichnung (Haltungsanfang) in Fließrichtung oben
HG004 [-] A12	Knotenbezeichnung_unten Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Knotenbezeichnung (Haltungsanfang) in Fließrichtung unten
HG101 [-] I6	Strassenschluessel Ref.: 001
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes nach Referenztable Straßenschlüssel
HG102 [-] M	Strassenname Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Wird nur informativ geführt, Straßenschlüssel ist maßgebend
HG103 [-] I4	Ortsteilschluessel Ref.: 002
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes nach Referenztable Ortsteilschlüssel
HG104 [-] M	Ortsteilname Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Wird nur informativ geführt, Ortsteilschlüssel ist maßgebend
HG105 [-] A4	Gemeindeschluessel Ref.: 003
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes nach Referenztable Gemeindeschlüssel
HG106 [-] A4	Gebietsschluessel Ref.: 004
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes nach Referenztable Gebietsschlüssel
HG107 [-] A4	Einzugsgebietsschluessel Ref.: 005
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes nach Referenztable Einzugsgebietschlüssel
HG108 [-] I4	Nummer_der_Klaieranlage Ref.: 006
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes nach Referenztable Kläranlagenschlüssel
HG201 [m] F11.3	Rechtswert_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> In Fließrichtung nach Gauß-Krüger-Koordinatensystem

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
HG202 [m] F11.3	Hochwert_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> In Fließrichtung nach Gauß-Krüger-Koordinatensystem
HG203 [-] A1	Lagegenauigkeitsstufe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang Ref.: 101
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablelle Lagegenauigkeit
HG204 [ü. NN] F8.3	Hoehe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Höhe der Rohrsohle oben in Fließrichtung
HG205 [-] A1	Hoehengenaugkeitsstufe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang Ref.: 102
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablelle Höhengenaugkeit
HG206 [m] F11.3	Rechtswert_Rohrsohle_unten_Haltungsende Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> In Fließrichtung nach Gauß - Krüger - Koordinatensystem
HG207 [m] F11.3	Hochwert_Rohrsohle__unten_Haltungsende Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> In Fließrichtung nach Gauß - Krüger - Koordinatensystem
HG208 [-] A1	Lagegenauigkeitsstufe_Rohrsohle_unten_Haltungsende Ref.: 101
	<i>Hinweis:</i> Gemaß Referenztablelle Lagegenauigkeit
HG209 [ü. NN] F8.3	Hoehe_Rohrsohle_unten_Haltungsende Ref.: -
	<i>Hinweis:</i>
HG210 [-] A1	Hoehengenaugkeitsstufe_Rohrsohle_unten_Haltungsende Ref.: 102
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablelle Höhengenaugkeit
HG301 [-] A1	Kanalart Ref.: 103
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablelle Kanalart
HG302 [-] A1	Kanalnutzung Ref.: 104
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablelle Kanalnutzung
HG303 [-] I4	Baujahr Ref.: -
	<i>Hinweis:</i>
HG304 [-] A4	Materialart Ref.: 105
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablelle Material
HG305 [-] A2	Profilart Ref.: 106
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablelle Pro_lart
HG306 [mm] I4	Profilbreite Ref.: -
	<i>Hinweis:</i>

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
HG307 [mm] I4	Profilhoehe Ref.: -
	<i>Hinweis:</i>
HG308 [-] A1	Profilauskleidung Ref.: 107
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Pro_lauskleidung
HG309 [-] A4	Profilauskleidungsmaterial Ref.: 105
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Material
HG310 [m] F8.3	Haltungslaenge Ref.: -
	<i>Hinweis:</i>
HG311 [-] F7.2	Haltungsgefaelle Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Berechnet
HG312 [m] F7.3	mittlere_Tiefe Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Berechnet
HG313 [-] A1	Haltungsart Ref.: 108
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Haltungsart
HG314 [m] F7.3	Rohrlaenge Ref.: -
	<i>Hinweis:</i>
HG401 [-] A1	Funktionszustand Ref.: 109
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Funktionszustand
HG402 [-] A2	Eigentum Ref.: 110
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Eigentum
HG403 [-] A4	Wasserschutzzone Ref.: 111
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Wasserschutzzone
HG404 [-] A2	Lage_im_Verkehrsraum Ref.: 112
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Lage im Verkehrsraum
HG405 [-] A1	Grundwasserstand Ref.: 113
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Grundwasserstand
HG406 [-] A1	Ueberschwemmungsgebiet Ref.: 114
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Überschwemmungsgebiet
HG407 [-] A1	Status_Daten Ref.: 115
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablette Status Daten

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
HG998 [-] M	Dokument Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Freie Bezeichnung des Dokuments
HG999 [-] M	Bemerkung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Freie Bemerkung zur Haltung

Übersicht Haltungsinspektionsdaten (ATV-DVWK, 2003a)

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
HI001 [-] M	Auftraggeber Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes
HI002 [-] A8	Projektnummer Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes
HI003 [-] I4	Inspektionsnummer Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Vorgaben des Projektes
HI004 [-] A1	Inspektionsgrund Ref.: 201
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Inspektionsgrund
HI005 [-] A8	Kuerzelsystem Ref.: 202
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Kürzelsystem
HI101 [-] A1	Inspektionsrichtung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> I in Fließrichtung; G in Gegenrichtung
HI102 [-] A1	Bezugspunkt_Start Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> A Rohranfang; C Mittelpunkt des Bauwerks; D Mittelpunkt des Gerinnes; Z Andere
HI103 [-] A3	Inspektionsart Ref.: 203
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Inspektionsart
HI104 [-] D10	Inspektionsdatum Ref.: -
	<i>Hinweis:</i>
HI105 [-] A8	Inspektionszeit Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Uhrzeit der Inspektion
HI106 [-] A7	Wetter Ref.: 204
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Wetter

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
HI107 [-] A1	Reinigung Ref.: 205
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablelle Reinigung
HI108 [°Celsius] I3	Temperatur Ref.: -
	<i>Hinweis:</i>
HI109 [-] A1	Vorflutsicherung Ref.: 206
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablelle Vorflutsicherung
HI110 [%] I3	Wasserspiegel Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Höhe des Wasserspiegels
HI111 [-] M	Firma Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Firmenname
HI112 [-] M	Inspekteur Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Name des Inspektors
HI113 [-] M	Bauleitung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Name des verantwortlichen Bauleiters
HI114 [-] A3	Videospeichermedium Ref.: 207
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabellen Videospeichermedium
HI115 [-] M	Name_des_Speichermediums Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> z. B. Videonummer, CD - Bezeichnung o. Ä. gemäß Vorgaben des Projektes
HI116 [-] M	Dateiname_digitales_Video Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> gemäß Vorgaben des Projektes
HI117 [-] A7	Fotospeichermedium Ref.: 208
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztablelle Fotospeichermedium
HI201 [-] A1	Vorbewertung Ref.: 209
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabellen Bewertungsklasse
HI202 [-] D10	Datum_der_Vorbewertung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i>
HI203 [-] M	Vorbewerter Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Name des Vorbewerterers
HI998 [-] M	Dokument Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Freie Bezeichnung eines Dokuments

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
HI999	Bemerkung Ref.: -
[-] M	<i>Hinweis:</i> Freie Bemerkung zur Haltungsinspektion

Übersicht Haltungszustandsdaten (ATV-DVWK, 2003a)

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
HZ001	Station Ref.: -
[m] F6.2	<i>Hinweis:</i> Vom Startpunkt aus gesehen
HZ002	Code Ref.: -
[-] A5	<i>Hinweis:</i> Gemäß gewähltem Kürzelsystem
HZ003	Quantifizierung_1 Ref.: -
[-] V	<i>Hinweis:</i> Gemäß gewähltem Kürzelsystem
HZ004	Quantifizierung_2 Ref.: -
[-] V	<i>Hinweis:</i> Gemäß gewähltem Kürzelsystem
HZ005	Streckenschaden Ref.: -
[-] A7	<i>Hinweis:</i> Gemäß gewähltem Kürzelsystem
HZ006	Position_von Ref.: -
[-] A2	<i>Hinweis:</i> _Position von_ im Uhrzeigersinn
HZ007	Position_nach Ref.: -
[-] A2	<i>Hinweis:</i> _Position nach_ im Uhrzeigersinn
HZ008	Videozaehler Ref.: -
[-] A11	<i>Hinweis:</i> Videozählerstand
HZ009	Bildname Ref.: -
[-] M	<i>Hinweis:</i> Digitaler Bildname gemäß Vorgaben des Projektes
HZ010	Langtext Ref.: -
[-] M	<i>Hinweis:</i> Gemäß gewähltem Kürzelsystem, nur informativ
HZ011	Verbindung Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> 0 nicht an einer Verbindung aufgetreten; 1 an einer Verbindung aufgetreten
HZ012	Auskleidung Ref.: -
[-]	<i>Hinweis:</i> 0 nicht an der Auskleidung aufgetreten; 1 an der Auskleidung aufgetreten

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
HZ201 [-]	Vorbewertung Ref.: 209
	<i>Hinweis:</i> Gemäß Referenztabelle Bewertungsklasse
HZ202 [-]	Datum_der_Vorbewertung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i>
HZ203 [-]	Vorbewerter Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Name des Vorbewerter
HZ900 [m] F6.2	Entfernung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Entfernung des Georadarobjektes zur Haltung
HZ901 [m] F2.2	Durchmesser Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Horizontale Ausdehnung des Objektes
HZ998 [-] M	Dokument Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Freie Bezeichnung eines Dokuments
HZ999 [-] M	Bemerkung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Freie Bemerkung zu den Haltungszustandsdaten.

Übersicht Haltungsgeoradarobjekte (ATVDVWK 2003a)

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
HO001 [-] A16	Objektbezeichnung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Eindeutige Bezeichnung des erkannten Georadarobjektes
HO002 [-] A2	Objektyp Ref.: 911
	<i>Hinweis:</i> Klassifizierung des Objektyps nach Referenztabelle
HO003 [-] F6.2	Station Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Vom Startpunkt der Haltung aus beginnend (berechnet)
HO004 [-] A4	CODE Ref.: 912
	<i>Hinweis:</i> Gemäß gewähltem Kürzelsystem
HO005 [-] A1	Objekterkennungsklasse Ref.: 914
	<i>Hinweis:</i> Mit welcher Sicherheit wurde das Objekt erkannt; Angaben nach Referenztabelle
HO006 [-] A2	Start_Position Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Position des Objektes in Bezug auf den Kanal (berechnet)

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
HO007 [-] A2	Ende_Position Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Position des Objektes in Bezug auf den Kanal (berechnet)
HO008 [m] F2.2	Durchmesser Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Horizontale Ausdehnung des Objektes
HO101 [-] A1	Erkennungsmerkmal Ref.: 913
	<i>Hinweis:</i> Merkmal nach Referenztablelle
HO102 [-] M	Dateiname_Radargramm Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Eindeutige Bezeichnung der Radargrammdatei
HO103 [-] M	Dateiname_digitales_Video Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Eindeutige Bezeichnung der Videodatei
HO104 [-] A11	Videozähler Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Videozählerstand
HO105 [-] A11	Radargrammposition Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Position im Radargramm
HO998 [-] M	Dokument Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Freie Bezeichnung eines Dokuments
HO999 [-] M	Bemerkung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Freie Bemerkung zu den Haltungsgeoradarobjekten

Übersicht Punktgeometrie (ATV-DVWK, 2003a)

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
PK001 [-] A16	Punktbezeichnung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Eindeutige Bezeichnung zusammenhängender Punkte (Multipoint)
PK101 [-] F10.3	Rechtswert Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Rechtswert des Objektes im vorgegebenen Koordinatensystem
PK102 [-] F10.3	Hochwert Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Hochwert des Objektes im vorgegebenen Koordinatensystem
PK103 [ü. NN] F7.3	Punkthöhe Ref.: -
	<i>Hinweis:</i>

PK201 [-] A1	Lagegenauigkeitsstufe Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Genauigkeit der erfassten Koordinate
PK202 [-] A1	Hoehengenaugkeitsstufe Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Genauigkeit der erfassten Höhe
PK301 [-] I5	Koordiantensystem Ref.: 903
	<i>Hinweis:</i> Koordinatensystem nach Referenztabelle

Übersicht Liniengeometrie (ATV-DVWK, 2003a)

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
LI001 [-] A16	Linienzugbezeichnung Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Eindeutige Bezeichnung des Linienzuges
LI101 [-] F10.3	Start_Rechtswert Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Rechtswert des Objektstarts im vorgegebenen Koordinatensystem
LI102 [-] F10.3	Start_Hochwert Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Hochwert des Objektstarts im vorgegebenen Koordinatensystem
LI103 [ü. NN] F7.3	Start_Punkthoehe Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Punkthöhe am Linienstart
LI104 [-] F10.3	Ende_Rechtswert Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Rechtswert des Objektendes im vorgegebenen Koordinatensystem
LI105 [-] F10.3	Ende_Hochwert Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Hochwert des Objektendes im vorgegebenen Koordinatensystem
LI106 [ü. NN] F7.3	Ende_Punkthoehe Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Punkthöhe am Linienende
LI201 [-] A1	Start_Lagegenauigkeitsstufe Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Genauigkeit der erfassten Koordinate
LI202 [-] A1	Start_Hoehengenaugkeitsstufe Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Genauigkeit der erfassten Höhe
LI203 [-] A1	Ende_Lagegenauigkeitsstufe Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Genauigkeit der erfassten Koordinate
LI204 [-] A1	Ende_Hoehengenaugkeitsstufe Ref.: -
	<i>Hinweis:</i> Genauigkeit der erfassten Höhe

Kennung/ Einheit/ Format	Feldbezeichnung/ Hinweise
LI301	Koordinatensystem Ref.: 903
[-] I5	<i>Hinweis:</i> Koordinatensystem nach Referenztablelle

Referenztabellen (ATV-DVWK, 2003a)

101 Lagegenauigkeit	
Schlüssel	Langtext
D	Digitalisiert
G	Geschätzt
V	Vermessen
102	Höhengenaugigkeit
Schlüssel	Langtext
B	Berechnet
G	Geschätzt
V	Vermessen
103	Kanalart
Schlüssel	Langtext
F	Offene Freispiegelleitung (Gerinne)
D	Druckrohrleitung
K	Geschlossene Freispiegelleitung
104	Kanalnutzung
Schlüssel	Langtext
B	Bach
M	Mischwasser
R	Regenwasser
S	Schmutzwasser
Z	Sondernutzung
105	Material
Schlüssel	Langtext
AZ	Asbestzement
B	Beton
BS	Betonsegmente
BT	Bitumen
CN	Edelstahl

EIS	Nichtidentifiziertes Eisen und Stahl
EPX	Epoxidharz
FZ	Faserzement
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
GG	Grauguß
GGG	Duktiles Gußeisen
KST	Nichtidentifizierter Kunststoff
MA	Mauerwerk
OB	Ortbeton
PC	Polymerbeton
PCC	Polymermodifizierter Zementbeton
PE	Polyethylen
PH	Polyesterharz
PHB	Polyesterharzbeton
PP	Polypropylen
PVCU	Polyvinylchlorid hart
SFB	Stahlfaserbeton
SPB	Spannbeton
SB	Stahlbeton
ST	Stahl
STZ	Steinzeug
SZB	Spritzbeton
TF	Teerfaser
W	Nichtidentifizierter Werkstoff
Z	Sonstiger Werkstoff
ZM	Zementmörtel
ZG	Ziegelwerk
106 Profilarart	
Schlüssel	Langtext
BO	Bogenförmig (kreisförmiger Scheitel und flache Sohle bei parallelen Wänden), Haubenquerschnitt
DN	Kreisförmig, Kreisquerschnitt
EI	Eiförmig, Eiquerschnitt
GR	Offener Graben
MA	Maulquerschnitt
OV	Oval (kreisförmige Sohle und Scheitel bei parallelen Wänden)
RE	Rechteckig, Rechteckquerschnitt
RI	Rinnenquerschnitt
U	U-förmig
Z	Sonstige Profilarart

107 Profilauskleidung	
Schlüssel	Langtext
A	Auskleidung werkseitig eingebracht
B	Spritzwasserauskleidung
C	Vor-Ort – Auskleidung
D	Abschnittsweise Auskleidung
E	Auskleidung mittels einzelner Rohre
F	Auskleidung mittels Endlosrohren
G	Close-Fit Auskleidung
Z	Sonstige Auskleidung
108 Haltungsart	
Schlüssel	Langtext
A	Haltung
B	Hausanschlussleitung
C	Entlastungsleitung
Z	Sonstige
109 Funktionszustand	
Schlüssel	Langtext
B	In Betrieb
N	Nicht im Betrieb
P	Geplant
V	Verschlossen
Z	Sonstige
110 Eigentum	
Schlüssel	Langtext
A	Abwasserverband
G	Gemeinde
P	Privat
S	Stadt
Z	Sonstige
111 Wasserschutzzone	
Schlüssel	Langtext
0	Keine Wasserschutzzone
I	Wasserschutzzone I
II	Wasserschutzzone II
III	Wasserschutzzone III
IIIa	Wasserschutzzone IIIa
IIIb	Wasserschutzzone IIIb

T	Trinkwasserschutzzone
Th	Thermal- und Heilquellenschutzzone
Z	Sonstige
112 Lage im Verkehrsraum	
Schlüssel	Langtext
0	Unbekannt
A	Acker
BA	Baustraße
BG	Bebautes Grundstück
BO	Böschung
F	Fahrbahn
GL	Gleisanlage
GS	Grünstreifen
GW	Gehweg
P	Parkplatz
PS	Parkstreifen
PW	Privatweg
RW	Radweg
W	Wiese
Wb	Wirtschaftsweg befestigt
Wu	Wirtschaftsweg unbefestigt
Z	Sonstige
113 Grundwasser	
Schlüssel	Langtext
A	Außerhalb des Grundwassers
I	Innerhalb des Grundwassers
W	Wechselzone
114 Überschwemmungsgebiet	
Schlüssel	Langtext
J	Im Überschwemmungsgebiet
N	Nicht im Überschwemmungsgebiet
115 Status Daten	
Schlüssel	Langtext
B	Bestandsdokumentation
K	Aus Kanalinspektion
V	Vermessung vor Ort

116 Knotenart	
Schlüssel	Langtext
B	Bauwerk
F	Fiktiver Schacht
S	Schacht
SE	Straßeneinlauf
117 Bauwerksart	
Schlüssel	Langtext
ZABA	Absturzbauwerk mit außenliegendem Untersturz
ZABI	Absturzbauwerk mit innenliegendem Untersturz
ZABK	Absturzbauwerk mit Kaskaden
ZABS	Absturzbauwerk mit Schussrinne
ZABU	Absturzbauwerk mit Untersturz
ZAL	Auslaufbauwerk
ZASA	Abscheideranlagen
ZDUE	Düker
ZERD	Bauwerk für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen
ZEL	Einlaufbauwerk
ZES	Einsteigschacht
ZFS	Fallschacht
ZHEB	Heber
ZKB	Kurvenbauwerk
ZMS	Messschächte
ZPW	Pumpwerke
ZRKB	Regenklärbecken
ZRRB	Regenrückhaltebecken
ZRUB	Regenüberlaufbecken
ZRUE	Regenüberlauf
ZSA	Straßenablauf
ZSB	Schieberbauwerk
ZSS	Spülschacht
ZVB	Verbindungsbauwerk
ZVT	Verteilerwerke
ZWS	Wirbelfallschacht
Z	Sonstige
118 Form	
Schlüssel	Langtext
E	Rechteckig
Q	Quadratisch
R	Rund

Z	Sonstige
119 Deckelklasse	
Schlüssel	Langtext
0	Nicht bekannt
A	Klasse A
B	Klasse B
C	Klasse C
D	Klasse D
E	Klasse E
F	Klasse F
Z	Sonstige
120 Innenschutz	
Schlüssel	Langtext
A	Auskleidung
B	Beschichtung
Z	Sonstige
121 Steighilfe	
Schlüssel	Langtext
SE1	Steigeisen einläufig
SE2	Steigeisen zweiläufig
SL	Steigleiter
Z	Sonstige
122 Steighilfenmaterial	
Schlüssel	Langtext
AL	Aluminium
EIS	Eisen
GEIS	Galvanisiertes Eisen
KM	Kunststoffummanteltes Metall
KST	Kunststoff
ST	Nichtrostender Stahl
Z	Sonstige
123 Messtechnik	
Schlüssel	Langtext
J	Messtechnik vorhanden
N	Messtechnik nicht vorhanden

124 Bauteil	
Schlüssel	Langtext
A	Ausgleichsring
AP	Abdeckplatte
K1	Konus 600/1000
K2	Konus 600/1500
K3	Konus 600/2000
SP	Sohlenplatte
SR	Schachtring
SW	Schachtwand
SUF	Schachtunterteil, Fertigteil
SUO	Schachtunterteil vor Ort hergestellt
Z	Sonstige
201 Inspektionsgrund	
Schlüssel	Langtext
A	Abnahme
E	Ersterfassung
G	Gewährleistung
N	Nachuntersuchung
S	Nach Sanierung
V	Vor Sanierung
Z	Sonstige
202 Kürzelsystem	
Schlüssel	Langtext
ATVM143	ATV-M 143 Teil 2 (1999)
EN13508	EN 13508-2 8/99
ISYBAU96	ISYBAU 1996
ISYBAU01	ISYBAU 2001
Z	Sonstige
203 Inspektionsart	
Schlüssel	Langtext
BG	Begehung
KTV	Kamera-Inspektion
SP	Spiegelung / Von der Oberfläche inspiziert
Z	Sonstige
204 Wetter	
Schlüssel	Langtext
Frost	Frost

Regen	Regen
Schnee	Schnee
Trocken	Trocken
205 Reinigung	
Schlüssel	Langtext
J	Wurde vor Inspektion gereinigt
N	Wurde vor Inspektion nicht gereinigt
206 Vorflutsicherung	
Schlüssel	Langtext
J	Untersuchung mit Vorflutsicherung wurde durchgeführt
N	Untersuchung ohne Vorflutsicherung
207 Videospeichermedium	
Schlüssel	Langtext
CD	Compact Disk
DVD	DVD – Medium
MOD	Magnet – optisches Laufwerk (magneto optical disk)
SVHS	SVHS Videokassette
Z	Sonstige
208 Fotospeichermedium	
Schlüssel	Langtext
FOTO	Foto als Filmabzug
DIGFOTO	Digitales Bild
Z	Sonstige
209 Bewertungsklasse	
Schlüssel	Langtext
S	Sofortmaßnahme
Z	Sonstige
210 Bezugspunkt vertikal	
Schlüssel	Langtext
A	Sohllage des niedrigsten Rohres
B	Überdeckung
C	Nationaler Bezugspunkt
D	Lokaler Bezugspunkt
Z	Sonstige

211 Bezugspunkt Umfang	
Schlüssel	Langtext
A	Niedrigstes abgehendes Rohr bei 12 Uhr
B	Niedrigstes abgehendes Rohr bei 6 Uhr
Z	Sonstige
212 Umgebungsluft	
Schlüssel	Langtext
A	Sauerstoffmangel
B	Schwefelwasserstoff
C	Methan
D	Andere entzündliche Gase
E	Keine gefährliche Umgebungsluft
Z	Sonstige

Anhang 12: XML Schema

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xs:schema xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  <xs:element name="Haltungsprotokoll">
    <xs:complexType>
      <xs:sequence maxOccurs="unbounded">
        <xs:element name="Haltungsgrunddaten">
          <xs:complexType>
            <xs:sequence>
              <xs:element name="Haltungsbezeichnung"/>
              <xs:element name="Knotenbezeichnung_oben"/>
              <xs:element name="Knotenbezeichnung_unten"/>
              <xs:element name="Strassenschluessel"/>
              <xs:element name="Strassenname"/>
              <xs:element name="Rechtswert_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang"/>
              <xs:element name="Hochwert_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang"/>
              <xs:element name="Lagegenauigkeitsstufe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang"/>
              <xs:element name="Hoehe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang"/>
              <xs:element name="Hoechengenauigkeitsstufe_Rohrsohle_oben_Haltungsanfang"/>
              <xs:element name="Rechtswert_Rohrsohle_unten_Haltungsende"/>
              <xs:element name="Hochwert_Rohrsohle_unten_Haltungsende"/>
              <xs:element name="Lagegenauigkeitsstufe_Rohrsohle_unten_Haltungsende"/>
              <xs:element name="Hoehe_Rohrsohle_unten_Haltungsende"/>
              <xs:element name="Hoechengenauigkeitsstufe_Rohrsohle_unten_Haltungsende"/>
              <xs:element name="Kanalart"/>
              <xs:element name="Baujahr"/>
              <xs:element name="Materialart"/>
              <xs:element name="Profilart"/>
              <xs:element name="Profilbreite"/>
              <xs:element name="Profilhoehe"/>
              <xs:element name="Haltungs-laenge"/>
              <xs:element name="Rohr-laenge"/>
              <xs:element name="Lage_im_Verkehrsraum"/>
              <xs:element name="Grundwasserstand"/>
              <xs:element name="Ueberschwemmungsgebiet"/>
              <xs:element name="Dokument"/>
              <xs:element name="Bemerkung"/>
              <xs:element name="Haltungsinspektionsdaten" minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
                <xs:complexType>
                  <xs:sequence>
                    <xs:element name="Auftraggeber"/>
                    <xs:element name="Inspektionsnummer"/>
                    <xs:element name="Inspektionsgrund"/>
                    <xs:element name="Kuerzelsystem"/>
                    <xs:element name="Inspektionsrichtung"/>
                    <xs:element name="Bezugspunkt_Start"/>
                    <xs:element name="Inspektionsart"/>
                    <xs:element name="Inspektionsdatum"/>
                    <xs:element name="Inspektionszeit"/>
                    <xs:element name="Wetter"/>
                    <xs:element name="Temperatur"/>
                    <xs:element name="Firma"/>
                    <xs:element name="Inspekteur"/>
                    <xs:element name="Videospeichermedium"/>
                    <xs:element name="Name_des_Speichermediums"/>
                    <xs:element name="Dateiname_digitales_Video"/>
                    <xs:element name="Fotospeichermedium"/>
                    <xs:element name="Dokument"/>
                    <xs:element name="Bemerkung"/>

```

```
<xs:element name="Haltungszustandsdaten" minOccurs="0"
maxOccurs="unbounded">
  <xs:complexType>
    <xs:sequence>
      <xs:element name="Station" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Code" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Quantifizierung_1" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Quantifizierung_2" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Streckenschaden" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Position_von" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Position_nach" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Videozaehler" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Bildname" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Langtext" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Entfernung" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Durchmesser" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Dokument" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Bemerkung" minOccurs="0"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
</xs:element>
</xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
</xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:element>
</xs:schema>
```