

ORFEUS – ein zukunftsweisendes Projekt zur Innenerkundung des Untergrundes

Dr. Hans-Joachim Bayer, Elmar Koch und Meinolf Rameil

1 Vorwort

Seit Jahren wird mit viel Aufwand versucht, den Untergrund „transparenter“ zu machen. Gerade die Horizontalbohrtechnik wünscht sich seit Jahren, sowohl für innerstädtische Leitungsverlegearbeiten, als auch für große Kreuzungen, Querungen und sogar Dükerungen, klare Informationen über den Verlauf von Fremdleitungen und Hindernissen im Untergrund. Nun gibt es seit wenigen Jahren ein europäisches Forschungsvorhaben, welches nicht nur die Untergrunderkundung von der Geländeoberfläche aus deutlich verbessern wird, sondern zusätzlich auch einen völlig neuen Weg geht, nämlich der Erkundung des Untergrundes aus einem Horizontalbohrkopf heraus. Erstmals in Europa werden Radarantennen in HDD-Versuchsbohrköpfe eingebaut, aus denen heraus während des Bohrvortriebes „Innenerkundungen“ des Untergrundes möglich sein werden. Über den gegenwärtigen Entwicklungsstand wird in diesem Beitrag berichtet.

2 Ausgangssituation

Dem sehr vorteilhaften grabenlosen Bauen wird von seinen Gegnern oft nachgesagt, dass der Untergrund „blind“ durchfahren werde. Dies stimmt in keiner Weise, da jedes sorgsame Bauunternehmen mit grabenlosen Bauverfahren sich über vorhandene Leitungen kundig macht. Dies geschieht durch Leitungsbestandspläne, durch „Einblicknahme“ (zugängliche Schächte, Verteiler, Sperrsysteme, Schilder, etc.) in Leitungssysteme, soweit wie möglich, sowie durch auf dem Markt befindliche Leitungssuchsysteme. Gerade Leitungsbestandspläne, die eine genaue Einmessung der Leitungen beinhalten sollen, haben sich oft als recht unzuverlässig erwiesen. Leitungsbestandspläne bestehen aus einzelnen geometrischen Einmesspunkten, die z. T. in weiten Abständen zueinander stehen. Diese Einmesspunkte werden unsinnigerweise durch gerade Linien miteinander verbunden, obwohl der beauftragende Netzbetreiber weiß, dass die Leitungslage oft kurvenförmig zur einen wie anderen Seite um Dezimeter bis Meter von diesen konstruierten Linien abweicht. Die Ungenauigkeiten der Leitungsbestandspläne sind somit systembedingt. Erst in den letzten Jahren haben sich verdichtete Einmesspunkte durchgesetzt. Die zur Lagekontrolle verwendeten Leitungspläne für neue Baumaßnahmen sind jedoch meist Jahrzehnte alt.

Durch offene Baggerarbeiten geschehen täglich vielfach große Schäden an vorhandenen Leitungen im Erdreich. Diese baggerbedingten Schäden sind so häufig und so „alltätlich“, dass sie in den Medien kaum noch erwähnt werden. Sehr viele technische Maßnahmeregeln beschäftigen sich sogar mit der „alltäglichen“ Bewältigung solcher Leitungsschadensfälle.

Diesen „Beachtungsuntergang“ von Baggerschäden in den Medien haben die grabenlosen Bauverfahren nicht, im Gegenteil, jeder der recht seltenen Leitungsschäden durch grabenlose Bauverfahren hat breite Medienbeachtung. Dies ist ein entscheidender Grund mehr, diese, wenn auch seltenen Schäden, ebenfalls minimieren zu wollen.

3 Stand der heutigen Möglichkeiten

Erste Georadarerkundungen zur Erfassung des unterirdischen Leitungsbestandes wurden vor 20 Jahren vorgenommen. Man begann Erfahrungen in der Lage- und Durchmesserortung von Leitungen zu sammeln. In Traversen und Vertikalprofilen ließ sich die Position metallischer Leitungen sehr gut verfolgen, Beton- und Keramikrohre waren bei ausreichender Dimension ebenfalls ortbar. Diese Erfassung solcher Leitungen in parallelen Querprofilen wurde sehr selten eingesetzt, da Leitungsnetzeigner selten bereit waren, für „teure“ geophysikalische Erkundungsarbeiten zu bezahlen. Geophysikalische Erkundungen erbrachten damals vor allem eine Leitungsbestandsaufnahme von gut kontrastierenden Leitungen, zum Beispiel aus metallischem oder dickwandigen, Bindemittel behafteten, Materialien, die auch mit anderen Verfahren ortbar waren. Rohre aus weniger radartechnisch „reflektierenden“ Materialien, wie Kunststoff, Ton oder „Fasermaterialien“ konnte die Georadartechnik noch vor 10 Jahren nur sehr unzureichend erfassen. Immerhin war dann die Entwicklung soweit gediehen, dass man erste dreidimensionale Darstellungen aus verschiedenen parallelen und orthogonalen Kreuzungsprofilen von Straßenabschnitten herstellen konnte und eine größere Anzahl der Leitungen erfassen konnte, die sich im Straßenuntergrund oder Gehweguntergrund befanden und befinden. Weiterhin wurde seit dieser Zeit alljährlich die Erkundungsqualität von unterirdischen Leitungen durch die Georadartechnik kontinuierlich verbessert. Die Auflösung wurde immer präziser, es gelang in zunehmendem Maße auch Kunststoffleitungen zu erfassen, selbst in wenig kontrastierenden natürlichen oder künstlichen Einbettungsmaterialien. Insbesondere tonige oder lehmige Böden sind sehr absorptiv und bilden im Radarbild einen geringen Kontrast zu Kunststoffleitungen. Doch auch in diesen Böden wurde die Auflösungsgenauigkeit permanent verbessert, so dass heutzutage ein Großteil des Leitungsinventars aus der Erkundung von der Straßen- oder Gehwegoberfläche mittels Georadar erfolgen kann. Allerdings hat die heutige Erkundungsqualität noch Ungenauigkeiten, die sowohl die vertikale als auch die horizontale Lage betreffen. Die Wandstärken- und Füllstanderfassungen sind ebenfalls noch ungenau, so dass Leitungsarten oft nicht unterscheiden werden können. Neuverlegungen von Leitungen im unterirdischen Straßenraum zwischen bestehenden Leitungen sind aufgrund dieser Erkundungen allein nicht verlässlich durchführbar.

Daher besteht ein Teil der Forschungsaufgabe im europäischen Orfeus-Projekt auch darin, die Leitungserfassung von der Oberfläche aus deutlich zu verbessern, um eine sehr hohe Auflösungsdichte zu erreichen. Leitungen kleiner Dimensionen, Leitungen aus flexiblen bis transparenten Werkstoffen, Leitungen aus gering „reflektiven Materialien“ und auch Leitungen in wenig reflektiven Böden sollen künftig dreidimensional erfasst werden können.

4 Zielaufgabe

Ziel dieses Forschungs- und Entwicklungsverbundes ist die Erkundung und Erfassung des unterirdischen Straßen- und Gehwegraumes auf seinen kompletten Bestand an unterirdischen Rohrleitungen und Kabeln, sowie die Erfassung von anderen unterirdischen Objekten (alten Mauern, Felsstücken, Hohlräumen, Holzstämmen, etc.) mit hochauflösenden geophysikalischen und speziell radartechnischen Methoden und die entsprechende Geräteentwicklung hierzu.

Diese Erkundung und Erfassung geschieht einerseits von der Oberfläche aus (ein Entwicklungspart des Orfeus-Projektes) und andererseits aus dem laufenden Bohrvortrieb heraus, d. h. aus dem unterirdischen Raum heraus (anderer Entwicklungspart des Orfeus-Projektes). Gerade die immer dichter werdende unterirdische Belegung mit neuen Leitungssystemen macht auch eine genaue Abstands- und Tiefenerfassung zu den vorhandenen Leitungen erforderlich.



Abb. 1: Beispiel einer innerstädtischen Kabelbelegung (Berlin-Mitte)

Die besondere Herausforderung des europäischen Orfeus-Projektes liegt nun darin, aus einem laufenden Bohrprozess im Erdreich von dem rotierenden Bohrkopf aus eine genaue Untergrunderfassung und Auflösung möglichst aller Hindernisobjekte zu erreichen. Diese Hindernisobjekte können nicht nur besagte fremde Leitungen sein oder Siedlungsreste aus früheren Jahrhunderten oder künstlich eingetragene Ablagerungen und Schuttreste, sondern sie können auch geologischer Art sein, wie zum Beispiel eingelagerte Steine (Findlinge) oder Verwerfungen im Gestein. Weiterhin gibt es manchmal im Untergrund Hohlräume, es gibt Felsaufbrüche, die nahezu unter die Oberfläche reichen, jedoch für einen starken Wechsel zwischen har-

ten und weichen Bereichen im Untergrund sorgen. Es gibt zum Teil sehr alte im Untergrund befindliche Infrastrukturen, die manchmal schon vergessen wurden oder nie von einer Einmessung erfasst wurden. Mit der Orfeus-Georadartechnik soll erreicht werden, dass während des Bohrvortriebes in einem kegelförmigen Erkundungsbereich eine Erfassung der Hindernis-Objekte vor dem Bohrkopf erfolgt und dies mit einer Durchdringungstiefe von bis zu 2 m in Längsachse des Vortriebes. Dazu werden Georadarsende- und Empfangsantennen in den Bohrkopf eingebaut. Gerade der Frontbereich des Bohrkopfes, in dem die Radarantennen einzubauen sind, unterliegt einem extrem hohen Verschleiß. Die besondere Herausforderung besteht nun darin, im Frontbereich des Bohrkopfes elektromagnetisch durchlässige Fenster einzubauen, hinter denen sich die Radarantennen befinden können, die einerseits weitestgehend abriebfest sind, andererseits wasserdicht sind und die gleichzeitig, trotz der extremen Vortriebsturbulenzen im frisch gelösten Erdreich um den Bohrkopf, einen klaren Empfang der reflektierenden Radarimpulse von den im Weg befindlichen Untergrundstrukturen ermöglichen können.

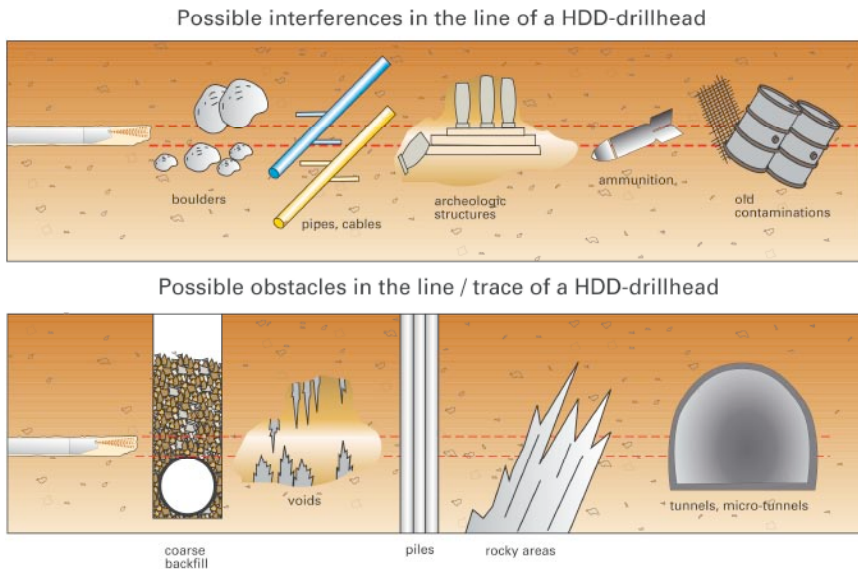









Abb. 2: Sammeldarstellung von möglichen unterirdischen Hindernissen unter Strassen und Gehwegen

5 Entwicklungskonsortium

ORFEUS ist ein europäisches Forschungsprojekt, in dem 4 Firmen (u. a. Tracto-Technik), 3 Hochschulen und 2 Verbände zu einem Forschungsverbund zusammengeschlossen sind.

Partners/Project Participants	Partners/Project Participants
<p>OSYS</p>  <p>www.osys.co.uk</p>	<p>Gaz de France</p>  <p>www.gazdefrance.com</p>
<p>Ingegneria Die Sistemi s.p.a.</p>  <p>www.ids-spa.it</p>	<p>Technical University of Delft</p>  <p>www.tudelft.nl</p>
<p>UKWIR</p>  <p>www.ukwir.org</p>	<p>Firenze University</p>  <p>www.unifi.it</p>
<p>Tracto-Technik GmbH & Co.KG</p>  <p>www.tracto-technik.de</p>	<p>Brno University</p>  <p>www.vutbr.cz</p>
<p>GERG</p>  <p>www.gerg.eu</p>	 <p>Sixth Framework Programme</p>

Im Entwicklungskonsortium sind sowohl Anwender, Endnutzer und Endnutzerverbände, aber auch Bodenexperten, Geophysikexperten, Antennenentwickler und Gerätekonstrukteure mit viel Anwendungserfahrung im Radargerätebau und im Bau grabenloser Vortriebsgeräte vertreten. So kommen z. B. von der Technischen Universität Brunn Experten für die Bodenansprache und Geotechnik, von den Universitäten Florenz und Delft kommen weltweit führende Radarantennen-Spezialisten, während die Firmen IDS S.p.a. aus Pisa und Tracto-Technik GmbH & Co. KG aus Lennestadt als technologisch führende Gerätehersteller auf den Sektoren Geophysik-Geräte (IDS) und grabenlose Vortriebsgeräte (Tracto-Technik) bekannt sind. Die Koordinierungsfirma Osys aus England ist ein renommiertes Ingenieur- und Entwicklungsbüro für den Bereich Versorgungs- und Energietechnik, während die Firma Gas de France als größter Erdgaskonzern Westeuropas eine sehr breite Endnutzerseite abdeckt. Die Adressen GERG und UKWIR stellen Forschungsverbände dar, in denen die Forschungsaktivitäten und Neuentwicklungen der west- und mitteleuropäischen Erdgasfirmen (Gerg) und der britischen Wasserversorgungsbetriebe (UKWir) entschieden und koordiniert werden. Gerade die Verbände und die Anwenderseite stellen sicher, dass die neue Orfeus-Radartechnologie so anwendungsnah wie möglich entwickelt wird.

6 Derzeitiger Entwicklungsstand

Die derzeitigen Entwicklungsaufgaben weisen thematisch eine hohe Bandbreite auf und reichen von der permanenten Antennen-Design-Optimierung, verbunden mit permanenter Bau-Minimierung, über den Bau der Antennen-Elektronik selbst, den Bau und Einbau in ein neues Radar-Gesamtgerät, der Umkonstruktion zur Einfügung von Radar-Antennen in einen HDD-Bohrkopf, der schocksicheren Einbettung dieser Antennen, der verschleißsicheren Schutzbedeckung der Antennen und deren Austestung, der erheblichen Datenübertragung von Bohrkopf zum Empfangsleitstand, der Auflösungsoptimierung von Untergrundhindernissen bis hin zur Verbesserung des Datenprocessings und einer hochauflösenden Empfangsdarstellung. An all diesen Themen wird in gemischten Entwicklungsteams derzeit gleichzeitig gearbeitet und so, Schritt für Schritt, zu den Zielfunktionen eine Annäherung erreicht.

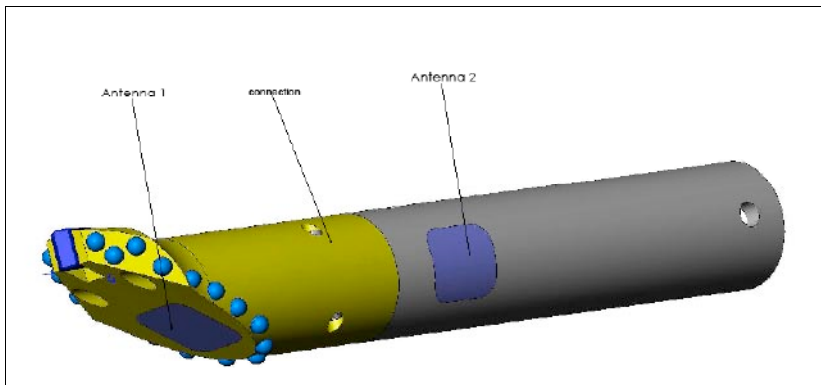


Abb. 3: HDD-Bohrkopf für schwierige Böden mit 2 möglichen Georadar-Antennenfenstern



Abb. 4: Keramisches Sendefenster für eine Orpheus-Antenne in der Steuerfläche eines Bohrkopfes nach einem Bohrtestlauf

7 Entwicklungsherausforderungen

Um die Auflösungsgenauigkeit für Radarerfassungen von der Oberfläche aus deutlich zu erhöhen, sind Radaraufnahmen des Untergrundes mit mehreren Antennenkonfigurationen erforderlich, die gleichzeitig parallel den Untergrund in unterschiedlichen Frequenzen „durchscannen“. Diese parallele Erfassung kann in zeitversetzter Form noch in orthogonal dazu angelegten Profilen wiederholt werden, so dass 3-dimensionale Darstellungen der unterirdischen Infrastruktur ermöglicht werden. Besonders in der Erfassung dünner Leitungen (z. B. abzweigende Hausanschlussleitungen, Glasfaserleitungen, etc.) oder Leitungen dicht neben oder unter bestehenden anderen Leitungen sind große Entwicklungsherausforderungen für das Oberflächenradar gegeben.

Beim Bohrkopf-integrierten Radar sind alle Entwicklungsaufgaben völliges Neuland, zumal es in vortriebsbeanspruchten Bohrköpfen weltweit noch nie Radarantennen gegeben hat. Schon allein die Einpassung von Radarantennen in einem möglichst nicht störenden Bereich im HDD-Bohrkopf, jedoch in einem Frontbereich, der höchster Abrasion unterliegt, ist komplex. Wenn man bedenkt, welch extreme Schock- und Erschütterungsbelastungen an einem Horizontalbohrkopf herrschen, kann man erahnen, welche Grundstabilität die Radarantennen haben müssen, welche hohe Dämpfung erforderlich ist und wie besonders anspruchsvoll die Schutzabdeckung der Antennen sein muss.

Umströmung im Bereich eines HDD-Bohrkopfes

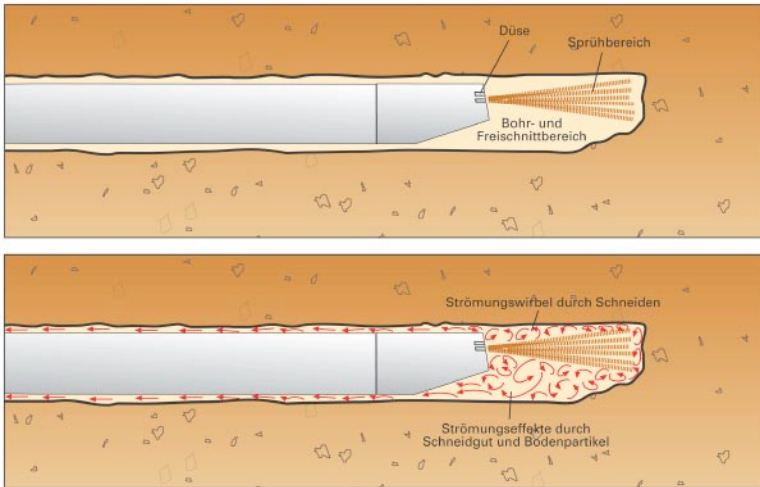


Abb. 5: HDD- Bohrkopf im Querprofil bei Bohrungsanfängerungen (Bild oben) und im Bohrbetrieb (Bild unten)

Da besonders um den Frontbereich des Bohrkopfes turbulente Umströmungen aus einer flüssigen Mischung von Bohrsuspension und gelöstem Erdreich stattfinden, und dies insbesondere vor den Radarantennenfenstern, ist eine besondere Filterung für den Nahbereich erforderlich, welche die millionenfach vor dem Radarfenster „tanzenden“ elektrischen Dipole herausfiltert.

Die andere große Herausforderung besteht darin, dass die Erkennungsmöglichkeiten von Radarantennen aus einem stark rotierenden Bohrkopf heraus insofern ungleich schwerer sind, als Erfassungen von der Oberfläche, die eine quasi ebene Erkundungs- und Bezugsoberfläche (2-D-Raum) darstellt, von der aus beliebig verdichtende Querprofile „gefahren“ werden können. Hinzu kommt, dass manche Leitungen im Boden nahezu parallel, versetzt parallel oder spitzwinklig zur Bohrlinie verlaufen, der geometrische Erfassungsanschnitt somit denkbar ungünstig verläuft. Weiterhin sind aus der Bohrlinie (1-D-Raum) heraus mehr absorptive Gesteine (Tone, Lehme, Mergel) zu erwarten als von der Oberfläche her, wo zunächst unter der Asphalt- oder Pflasterversiegelung gut durchdringbare, nicht-bindige Frostschutzeinfüllung anstehen.

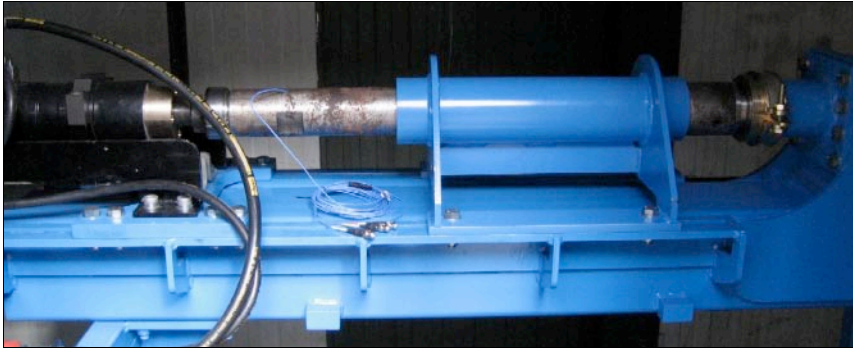


Abb. 6: Teststand für Beschleunigungsmessungen am Bohrkopf

8 Gewünschte künftige Möglichkeiten

Da durch offene Aufgrabarbeiten viel mehr vorhandene Leitungen beschädigt werden als durch grabenlose Neuverlegungen, ist diese Untergrunderkennung dem gesamten Leitungsbau dienlich. Das grabenlose Bauen (NoDig-Bau) unterliegt aufgrund seiner high-tech-Methodik, seiner Vorteilhaftigkeit und seiner schnellen und ökologischen Bauweise, vielen kritischen Bemerkungen aus dem Bereich der konventionellen, d. h. offenen Bauweise. Der NoDig-Bau ist daher veranlasst, noch mehr Vorteile zu entwickeln, die auch die letzten möglichen kritischen Bemerkungen nehmen können.

ORFEUS möchte dort anknüpfen und Erkundung bieten, wo heutige Leitungssuchsysteme keine Leitungen im Boden mehr erkennen können. Insbesondere Kunststoffrohre und Glasfaserleitungen sollen geophysikalisch geortet werden können. Dies soll zum einen von der Oberfläche her durch hochauflösende Georadartechnologie erreicht werden. Die Leitungserkennung ist hier im dreidimensionalen unterirdischen Raum geplant, so dass die Leitungen in ihrem Verlauf und in Ihrer Raumlage erfasst werden sollen.

Zugleich ist beim Bohrvortrieb mit der Horizontalbohrtechnik (HDD) ein Erfassen des Vortriebsraumes bzw. des zur Auffahrung vorgesehenen Bohrloches mit der Georadartechnologie geplant. Von innen her, aus dem künftigen Verlegeraum heraus, soll also der unterirdische Leitungsbestand erkannt und im sicheren Abstand umfahren werden.

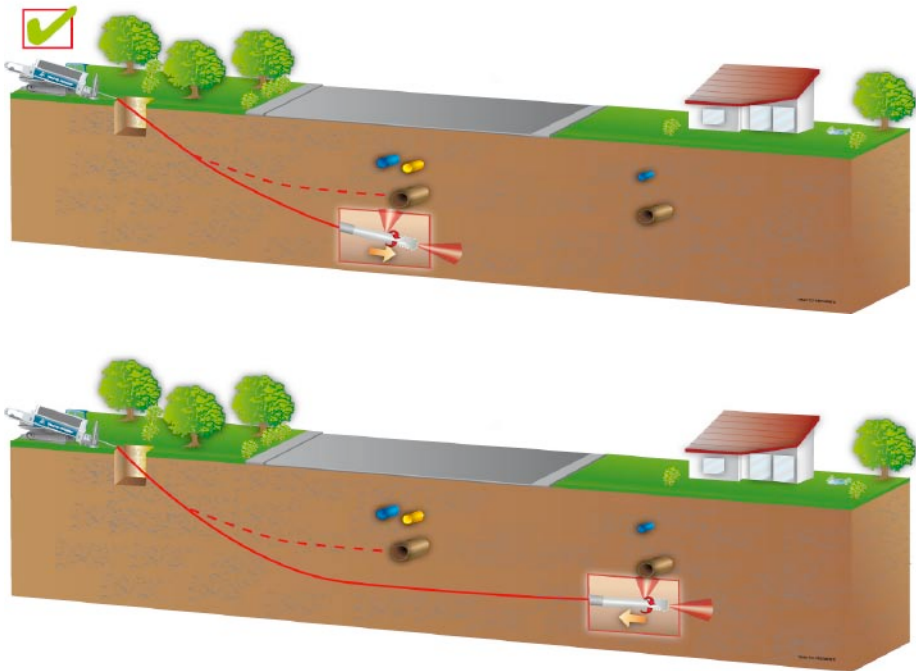


Abb. 7: Beispiel einer bohrtechnischen Wegkorrektur nach Erfassung eines Hindernisses durch das Orfeus-Bohrkopf-Radar

Radarantennen werden hierzu in einen HDD-Bohrkopf eingebaut werden und in den nächsten Monaten auf ihr Erfassungsvermögen und ihre Detektionseigenschaften getestet werden. Mit vielen Aufstreu- und Absorptionseffekten wird am Anfang zu rechnen sein, die permanente laufende Verbesserung der Erkennung und Umrisserfassung der Hindernisse wird die Orfeus-Projektmitarbeiter intensiv beschäftigen.

Das große Ziel ist es, unter versiegelten Oberflächen die unterirdische Infrastruktur „röntgenartig“ detektieren und kartieren zu können und andererseits aus dem unterirdischen Bohrvortrieb heraus alle entscheidenden Hindernisse vor dem Bohrkopf rechtzeitig erfassen zu können, damit ein sicheres Umsteuern um das Hindernis herum möglich sein soll.

9 Literatur

- [1] 'The ORFEUS Project: a step change in Ground Penetrating Radar technology to locate buried utilities', Manacorda G, Scott H F, Rameil M, Pinchbeck D, Farrimond, M, Courseille, R, NoDig 2007, Rome, 12-14 Sept.
- [2] 'The ORFEUS Project: a step change in Ground Penetrating Radar technology to locate buried utilities' Manacorda G, European Forum Gas (EFG) 2007, Paris, 12-13 September.
- [3] 'Projekt ORFEUS – optimalizovany georadar pro vyhledávání podzemních inženýrských sítí', Raclavský, J, Scott HF, PLASTY 2007 – the conference on plastic pipelines, Prague, Czech Republic, 19-20 June 2007;
- [4] 'Projekt ORFEUS – optimalizovany georadar pro vyhledávání podzemních inženýrských sítí', Raclavský, J, Scott HF, International conference on Science and Innovations in Modern Construction, St Petersburg, Russia, 17-19 October 2007
- [5] "ORFEUS IN THE UNDERWORLD"
Published in: The Engineer Online, 10 March 2008, based on an interview with H F Scott. See the article on www.theengineer.co.uk
- [6] 'Verbessertes Bodenradar zum Auffinden von Leitungen', Rameil M, annual Pipeline Conference, University of Applied Sciences, Oldenburg, Germany, 8th-9th Feb.; annual meeting of the DCA – Drilling Contractors Association Europe, 7th Feb.; RSV - German Pipe Rehabilitation Contractors Association, 7th Feb.
(Also available in English on: www.nodig-construction.com);
- [7] 'Projekt ORFEUS – optimalizovany georadar pro vyhledávání podzemních inženýrských sítí', Raclavský, J, Pospisil P, Mica L, Scott HF, NODIG Magazine of Czech Society for Trenchless Technology, Issue 2/07, February.

10 Dank

Besonderer Dank gibt der EU-Forschungs-Kommission für die Förderung dieses anspruchsvollen und wegweisenden Entwicklungsprojektes. Die Förderung innerhalb des 6. Rahmenprogramms der EU zeigt auch den Stellenwert des Schutzes der unterirdischen Infrastruktur und die high-tech-Bedeutung der Radar-Technologie.

Autoren:**Dr. Hans-Joachim Bayer**

Tracto-Technik GmbH & Co KG
Reiherstr. 2
D-57356 Lennestadt

Tel.: 07025-843704

E-Mail:

hj-bayer@tracto-technik.de

Internet:

www.tracto-technik.de

**Dipl.-Ing. Elmar Koch**

Tracto-Technik GmbH & Co KG
Reiherstr. 2
D-57356 Lennestadt

Tel.: 02723-8080

E-Mail:

elmar.koch@tracto-technik.de

Internet:

www.tracto-technik.de

**Dipl.-Ing. Meinolf Rameil**

Tracto-Technik GmbH & Co KG
Reiherstr. 2
D-57356 Lennestadt

Tel.: 07025-843704

E-Mail:

meinolf.rameil@tracto-technik.de

Internet:

www.tracto-technik.de

