

# Zerstörungsfreie Ansicht von Baumwurzeln mit Georadar und Geoelektrik

Von Ulrich Weihs, Mitja Vianden, Falko Kuhnke und Andreas Koch

*Die Feststellung von Wurzelverläufen ist im Rahmen der Baumkontrolle notwendig zur Beurteilung der Standsicherheit von Bäumen. Darüber hinaus ist sie auch von elementarer Bedeutung für die Grundlagenforschung in verschiedenen Fächern. Im Forschungsschwerpunkt „Städtischer Wurzelraum“ an der HAWK Göttingen (Fakultät Ressourcenmanagement) werden deshalb die Möglichkeiten der Wurzelerkennung (Wurzeldetektion) mit geophysikalischen Methoden im städtischen Raum untersucht. Zukünftig werden damit aufwändige und kostspielige Freilegungen von Wurzeln seltener erforderlich.*

Anhand eines Uferbaumes am Berliner Landwehrkanal, einem Silberhorn (*Acer saccharinum*), werden die Möglichkeiten der eingesetzten Verfahren – Georadar und Geoelektrik – veranschaulicht.

## Material und Methoden

### Baum- und Standortansprache

Der Silberhorn wurde nach FLL-Richtlinien einer „qualifizierten fachlichen Inaugenscheinnahme“ unterzogen [6]. Des Weiteren wurden im Stammfußbereich des Baumes mithilfe eines Pürckhauerbohrers vier Bohrstockproben in den Hauptrichtungen bis in eine Tiefe von ca. 50 cm entnommen, um einen groben Eindruck über die Beschaffenheit des Bodens und seine elektrische Leitfähigkeit zu erhalten. Die

Bohrprofile wurden direkt vor Ort im Anhalt an die Bodenkundliche Kartieranleitung [1] angesprochen und getrennt nach drei Tiefenstufen (0 bis 10 cm, 10 bis 20 cm und 20 bis 30 cm) zu einer Mischprobe für laborchemische Untersuchungen zusammengefasst.

### Georadar

Beim Bodenradarverfahren (engl. Ground Penetrating Radar; GPR) werden hochfrequente elektromagnetische Wellen in den Untergrund eingestrahlt. Diese Wellen, die sich in der Luft annähernd mit Lichtgeschwindigkeit fortsetzen, werden von

den verschiedenen Bestandteilen des Bodens, den sie durchdringen, unterschiedlich beeinflusst. Die dabei auftretenden Änderungen des Ausbreitungsverhaltens werden von einer Empfangsantenne wieder aufgezeichnet, wobei die Stärke (Amplitude) des eingehenden Signals in eine Farbskala umgerechnet wird. Die in Farbabstufungen umgerechneten Amplituden werden anschließend in einem Blockbild (ähnlich wie ein Bodenprofil), dem so genannten Radargramm (Abb. 2) dargestellt. In einem solchen Blockbild können Objekte (auch Wurzeln) im einfachsten Fall anhand ihrer Form als Hyperbeln ausgemacht werden. Die sicherste Unterscheidung von Wurzeln und anderen Objekten gelingt durch die dreidimensionale Erfassung einer Untersuchungsfläche. Hierbei werden mehrere Messungen in einem möglichst engmaschigen Raster rechtwinklig zueinander durchgeführt, sodass durch Interpolation ein dreidimensionales Abbild des Untergrundes an einem Baumstandort erzeugt wird. Darin können Wurzeln als vom Baum wegführende, sich vergabelnde Strukturen erkannt werden.

Dr. U. Weihs ist Professor für Baumsachverständigenwesen, Verkehrssicherheit für Bäume und Baumwertermittlung an der Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) in Göttingen sowie von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen öff. best. u. vereidigt. Sachverständiger für Baumpflege, Verkehrssicherheit von Bäumen und Baumwertermittlung. Dipl.-Geograf M. Vianden und Dipl.-Forsting. A. Koch sind wissenschaftliche Mitarbeiter an der HAWK. Dipl.-Physiker Dr. F. Kuhnke ist Koordinator des Forschungsschwerpunktes „Städtischer Wurzelraum“ an der HAWK-Fakultät Ressourcenmanagement.



Ulrich Weihs  
weihs@hawk-hhg.de



Abb. 1: Sondierung des Untergrundes einer Versuchsfläche am Landwehrkanal mit dem Georadar-Messsystem SIR 3000 (links); lineare Elektrodenauslage im Bereich des Silberhorns am Berliner Landwehrkanal (rechts)

**Tab. 1: Kurzbeschreibung des Silberahorns****– Messfeld 1 – Baum-Nr.: 78**

<b>Baumart:</b> Silberahorn ( <i>Acer saccharinum</i> )	
<b>Höhe:</b>	ca. 20 m
<b>Kronendurchmesser:</b>	ca. 20 m
<b>Stammdurchmesser in 100 cm Höhe:</b>	105 cm
vitaler, ca. 60-jähriger Solitär im Übergang von der Reife- zur Alterungsphase	
<b>Merkmale/Auffälligkeiten:</b> allseitig sehr gut ausgeprägte Starkwurzelaufläufe, kurzer Stamm, der sich im Stammkopf in 1,8 m Höhe in vier starke, gut angebundene Stämmlinge verzweigt, weit ausladende Krone	
<b>Klopfprobe:</b> im gesamten Stamm- und Wurzelanlaufbereich ohne kritischen Befund	
<b>Standort:</b> leicht (6,2 %) zum Kanal nach NO geneigter Standort am SW-Ufer des Landwehrkanals (Einsteinufer auf Höhe des Heinrich-Hertz-Instituts)	
Baum steht direkt an der Ufermauer im mittleren Bereich der Längsauslage des Messfeldes ca. 4,5 m nordöstlich des Uferweges	
relativ windgeschützter Standort; verkehrsbedingt hohe Ansprüche an Verkehrssicherheit	
<b>Bodenmerkmale:</b> fein- bis mittelsandiger, humoser Oberboden mittlerer Lagerungsdichte mit geringem Kies- und Steinanteil; Kapillarsaum bei ca. 50 cm Tiefe, teilweise eingelagerte Fremdkörper (Bauschutt, Ziegel); deutlich zunehmender pH-Tiefengradient von 3,7 in 0 - 10 cm bis 6,3 in 20 - 30 cm Tiefe. Wasserspiegel des Kanals ca. 100 cm unter Flur	

Der physikalische Hintergrund des Verfahrens, auch die Anwendung zur Wurzeldetektion, kann detaillierter in der Fachliteratur nachgelesen werden [13,14].

Der Uferbereich am Standort des Silberahorns, der mit GPR untersucht worden ist, hatte eine Größe von  $27,5 \text{ m} \times 5,7 \text{ m} = 157 \text{ m}^2$ . Um optimale Ergebnisse und eine hohe Messgenauigkeit zu erzielen, wurde in einem Abstand von 15 cm sowohl parallel als auch rechtwinklig zur Verlaufsrichtung des Kanals gemessen. Aufgrund der geringen Flächenneigung und der ebenen und grasbewachsenen Bodenoberfläche waren die Messbedingungen günstig.

Die Messergebnisse wurden anhand eines Probeschurfs verifiziert (Abb. 3). Dieser wurde in einem Abstand von ca. 14 m in der äußeren SW-Ecke des Messfeldes durchgeführt.

### Geoelektrik

Mithilfe der Geoelektrik (Elektrische Widerstandstomographie) können anhand von elektrischen Leitfähigkeitskontrasten Rückschlüsse auf den Aufbau des Bodens getätigt werden, z.B. werden Objekte (auch Wurzeln) und bestimmte Bereiche im Boden abgegrenzt, deren elektrische Leitfähigkeit von der des umgebenden Substrats abweicht. Da eine Lokalisierung von Wurzeln nur bei entsprechenden elektrischen Leitfähigkeitskontrasten zur umgebenden Bodenmatrix möglich ist, spielen die Bodenverhältnisse eine we-

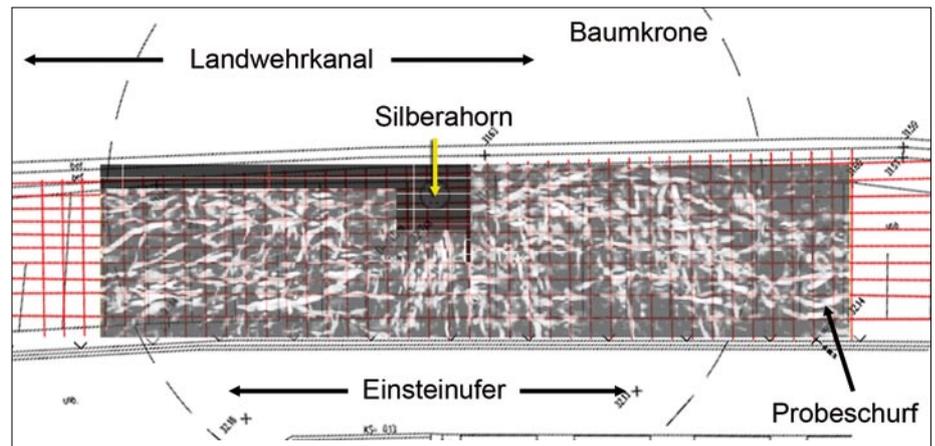


Abb. 2: Überlagerung von oberflächennahem 2D-Radargramm mit der Vermessungskarte

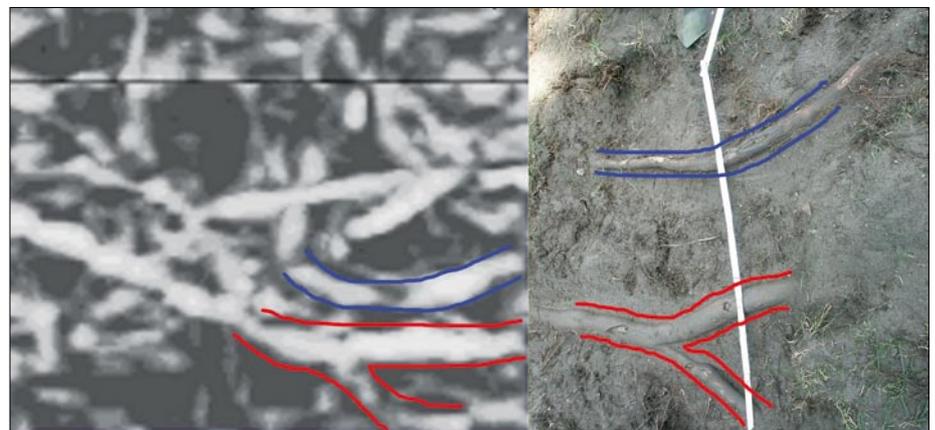


Abb. 3: Probeschurf und Ausschnitt des Grabungsbereichs im 2D-Radargramm

sentliche Rolle. Grobwurzeln haben im Vergleich zum Boden meist einen höheren elektrischen Widerstand [2, 9] und zeichnen sich vor allem in feuchten Böden als schlechter Leiter ab. In Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität (z. B. Sandböden) oder nach längeren Trockenperioden kann es dagegen vorkommen, dass sich zwischen den Baumwurzeln und dem Boden keine oder sogar umgekehrte Leitfähigkeitskontraste ergeben, der Boden also einen ähnlichen oder sogar höheren spezifischen Widerstand als die Wurzeln aufweist [5].

Zur Durchführung geoelektrischer Messungen ist die Ankopplung einer Stromquelle an die Bodenmatrix erforderlich. Hierzu werden Stichelektroden aus Edelstahl (Erdspeißer) in den Boden eingedrückt. Der Messaufbau richtet sich dabei nach der Fragestellung. So können verschiedene Sondierungstiefen und räumliche Auflösungen erreicht werden. Hierbei gilt, dass durch eine längere Messstrecke eine größere Untersuchungstiefe erreicht wird und durch geringere Elektrodenabstände die Auflösung verbessert wird.

Im Rahmen der bildgebenden Auswertung lassen sich sowohl zweidimensionale

Widerstandstomogramme für eine einzelne Messung als auch 3D-Tomogramme als Kombination aus linearen Einzelmessungen berechnen und darstellen [8]. Die Messung selbst wird in einer Vierpunkt-Anordnung durchgeführt [11, 12]. Weitere Ausführungen zur Methodik der elektrischen Widerstandstomographie im Rahmen von baumbezogenen Fragestellungen sind in der weiterführenden Fachliteratur nachzulesen [13, 14].

Auf der Messfläche am Landwehrkanal wurde die Abmessung der flächigen Elektrodenanlaye so gewählt, dass sie den potenziellen Durchwurzelungsbereich des zu untersuchenden Baumwurzelsystems abdeckte ( $34,3 \text{ m} \times 5,5 \text{ m} = 187 \text{ m}^2$ ).

### Ergebnisse

#### Messergebnisse Georadar

Das 2D-Radargramm (Abb. 2) spiegelt den Bereich bis ca. 25 cm Bodentiefe wider und lässt zahlreiche, vom Baumstandpunkt ausgehende radiale Reflektionen erkennen, die in seitlicher Richtung und insbesondere in Richtung der uferzugewandten Seite verlaufen. Teilweise sind

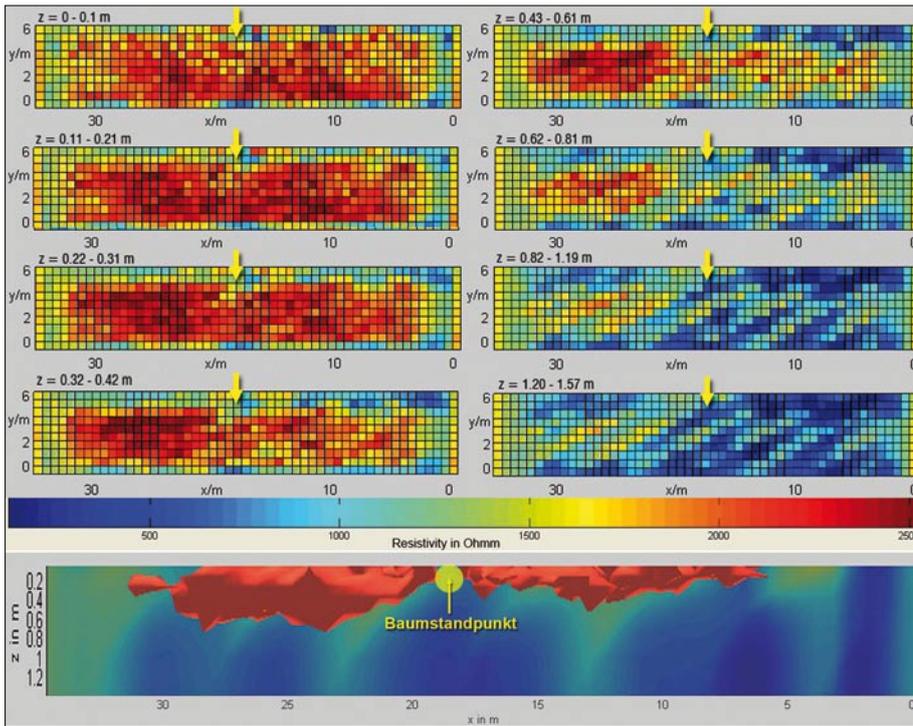


Abb. 4: 2D-Widerstandstomogramme für acht verschiedene Tiefenstufen von 0 bis 1,57 m (oben) und Seitenansicht eines 3D-Tomogramms (unten)

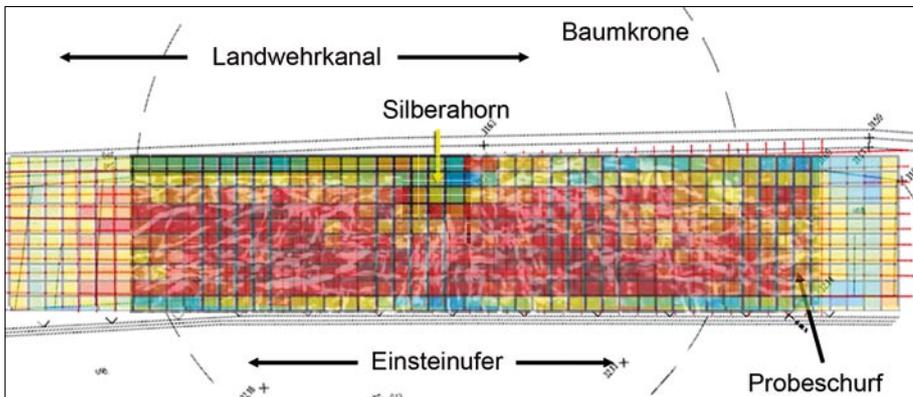


Abb. 5: Überlagerung von oberflächennahem 2D-Radar- und 2D-Widerstandstomogramm

Vergabelungen zu beobachten. Diese Strukturen sind typisch für ein Baumwurzelsystem und lassen den sicheren Schluss zu, dass hier das dicht verzweigte Wurzelsystem aus Grob- und Starkwurzeln des Silberahorns vom Radargramm abgebildet worden ist.

Der hoch anstehende Kanalwasserspiegel bedingt, dass das Wurzelsystem des Silberahorns bereits in 50 bis 60 cm Tiefe Anschluss an das Grundwasser (Kapillarsaum) hat. Deshalb streichen die Baumwurzeln in einer schmalen Tiefenzone relativ oberflächennah, wodurch sich die linearen Strukturen im Radargramm besonders gut abzeichnen.

In dem auf der Messfläche durchgeführten Probeschurf (Abb. 3) konnte eine im Radargramm identifizierte Starkwurzel gefunden werden. Unterhalb dieser Starkwurzel befand sich eine zweite, ebenfalls auf dem Radargramm erkennbare Grobwurzel, die durch ihren gebogenen Wuchsverlauf auffällt.

### Messergebnisse Geoelektrik

Abb. 4 zeigt die für acht verschiedene Tiefenstufen (0 bis 1,6 m) erzielten 2-D-Widerstandstomogramme sowie die Seitenansicht eines 3D-Tomogramms. Zwecks Vergleichbarkeit sind alle Tomogramme auf einen Widerstandsbereich von 0 bis 2 500  $\Omega\text{m}$  skaliert (s. Widerstandskeil im unteren Drittel von Abb. 5). Der Standpunkt des Baumes ist durch den gelben Pfeil markiert.

Die ab einer Bodentiefe zwischen 40 und 60 cm sprunghaft ansteigende elektrische Leitfähigkeit ist eine Folge des hoch anstehenden Kanalwasserspiegels und markiert die Lage des Kapillarsaumes, unterhalb dessen für die Baumwurzeln eine schlechte Sauerstoffversorgung zu verzeichnen ist. Im Hauptwurzelbereich ober-

halb des Kapillarsaums stellt sich der Sandboden dagegen als besonders schlecht leitend, d.h. trocken, dar. Die Messtermine lagen in bzw. am Ende einer sommerlichen Trockenperiode. Die dadurch bedingten hohen Widerstandswerte im Hauptwurzelhorizont der ausgetrockneten Sandstandorte haben geringe Widerstandskontakte zwischen Bodenmatrix und Wurzeln zur Folge.

## Vergleich der Ergebnisse von Georadar und Geoelektrik

Die Ergebnisse zeigen, dass es bei der Untersuchung gelungen ist, mithilfe des Georadars nicht nur Querschnitte einzelner Baumwurzeln, sondern auch die dreidimensionale Ausprägung eines gesamten Baumwurzelsystems abzubilden. Durch die Geoelektrik wurden für das Wurzelwachstum wichtige Standortinformationen geliefert und Auskunft über die Ausprägung und Ausdehnung des Baumwurzelsystems gegeben. Entsprechend lässt die in Abb. 5 dargestellte Überlagerung der 2D-Tomogramme des Hauptwurzelbereiches beider Methoden eine gute Übereinstimmung erkennen.

Der auf dem Radargramm abgebildete Hauptwurzelbereich des Silberahorns zeichnet sich im Widerstandstomogramm deutlich als so genanntes hochohmiges Gebiet ab, das noch einige Meter über die Messfläche des Georadars und über die Kronenprojektionsfläche des Silberahorns hinausgeht, um dann in den sich anschließenden, weniger durchwurzelten Bereichen wieder sinkende Widerstände aufzuweisen.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Nach diesen vorliegenden Ergebnissen bestätigen sich die angewandten geophysikalischen Untersuchungsmethoden als bildgebende Verfahren zur zerstörungsfreien Untersuchung von Baumwurzelsystemen. Da es sich um indirekte Verfahren handelt, die ohne in das Medium einzudringen, Informationen über seine innere Struktur und Beschaffenheit liefern, muss bei der Interpretation der Radargramme bzw. Tomogramme berücksichtigt werden, dass die tatsächliche Geometrie der sondierten Objekte von der bildlichen Darstellung abweichen kann. Das Ausmaß solcher Abweichungen lässt sich u.a. durch Wurzelgrabungen feststellen. Der auf dem Messfeld des Silberahorns bereits durchgeführte Probeschurf (s. Abb. 3 rechts unten) hat gezeigt, dass sich die für die Standsicherheit maßgeblichen Grob- und Starkwurzeln [7] des Silberahorns anhand des Radargramms sicher ansprechen ließen.

Insgesamt können aus den Ergebnissen folgende standortspezifische Schlussfolgerungen abgeleitet werden, die weitgehend denen von BARSIG [4] nach umfangreichen Aufgrabungen an Wurzelsystemen am Landwehrkanal entsprechen:

- Die Längsausdehnung des für die Standsicherheit wichtigen Grob- und Starkwurzelsystems erreicht uferparallel eine Längsausdehnung von 30 m und eine Breitenausdehnung von 5,6 m, wodurch der Baum trotz des nahen Stands an der Kanalmauer als standsicher anzusprechen ist.
- Aufgrund des hoch anstehenden Grundwassers (Kapillarsaum bei ca. 50 cm) ist die Tiefenausdehnung des Wurzelsystems relativ gering. Der Hauptdurchwurzelungshorizont liegt oberflächennah in einem Bereich von 0 bis 50 cm.
- Abgesehen von einer durch Dickenwachstum verursachten Verdrückung der Kanalmauer im Stammfußbereich, ließ sich kein schädigender Einfluss des Wurzelwerks auf die Kanalmauer feststellen. Ebenso können wurzelbedingte Schäden an der Spundwand in tieferen Bereichen des Untergrunds aufgrund der oberflächennahen Ausprägung des Wurzelsystems ausgeschlossen werden.

## Literaturhinweise:

- [1] Ad-hoc AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover, 169 S. [2] AMATO, M.; BASSO, B.; CELANO, G.; BITELLA, G.; MORELLI, G.; ROSSI, R. (2008): In situ detection of tree root distribution and biomass by multielectrode resistivity imaging. *Tree Physiology* 28 (10), S. 1441-1448. [3] ANNAN, A. P. (2005): Ground-Penetrating Radar. In: D. J. Butler (Hrsg.): *Investigations in geophysics 13 – Near-Surface Geophysics*, Tulsa Oklahoma, USA, S. 357- 438. [4] BARSIG, M. (2008): Darstellung der Wurzelverläufe und bodenkundliche Feldansprache nahe der Ufermauer des Berliner Landwehrkanals. <http://www.landwehrkanal-berlin.de> (Zugriff am 24.09.2009). [5] DIESENDORF, T. (2007): Vergleich zwischen elektrischer Widerstandstomographie und Bodenradar zur Wurzelortung. Bachelorarbeit an der HAWK-Fakultät Göttingen, unveröffentl., 61 S. [6] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), (2004): Richtlinie zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen – Baumkontrollrichtlinie. Bonn, 44 S. [7] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), (2006): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Baumpflege (ZTV-Baumpflege). 5. Aufl., Hrsg.: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), Bonn, 71 S. [8] GÜNTHER, T.; RÜCKER, C.; SPITZER, K. (2006): 3-D modelling and inversion of DC resistivity data incorporating topography – Part II: Inversion. *Geophys. J. Int.* 166, S. 506-517. [9] HAGREY, S. A. (2007): Geophysical imaging of root-zone, trunk, and moisture heterogeneity. *Journal of Experimental Botany* 58, S. 1-16. [10] LICHTENEGGER, L.; KUTSCHERA, E. (2002): *Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher*. Stocker Verlag, Graz. [11] PARASNIS, D. S. (1986): *Principles of Applied Geophysics* (4th edn.). Chapman and Hall, London. [12] TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. (1990): *Applied Geophysics* (2nd edn.). Cambridge University Press, Cambridge. [13] VIANDEN, M.; BIEKER, D.; RUST, S. (2009): Beispiele für die zerstörungsfreie Ortung von Baumwurzeln durch geophysikalische Methoden, in D. Dujesiefken; P. Kockerbeck (Hrsg.), *Jahrbuch der Baumpflege*, Haymarket Media, S. 260-265. [14] WEIHS, U.; BIEKER, D.; RUST, S. (2007): Zerstörungsfreie Baumdiagnose mittels elektrischer Widerstandstomographie, in D. Dujesiefken; P. Kockerbeck (Hrsg.), *Jahrbuch der Baumpflege*, Haymarket Media, S. 230-241.