

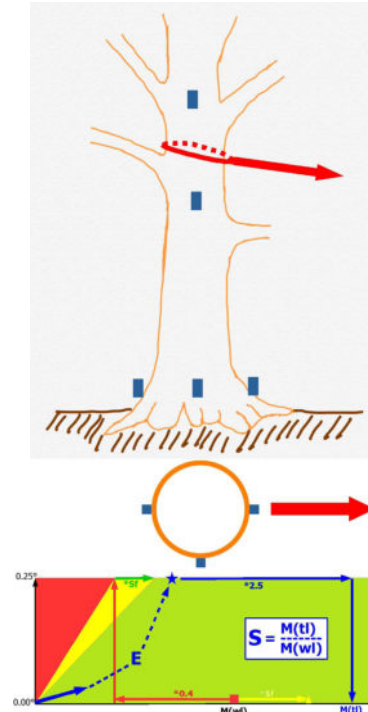
Weiterentwicklungen der Zugversuche

Allometrische Selbst-Referenzierung (ASR)

Zugversuche erfolgten bereits in den 1960er Jahren zur Untersuchung der Standsicherheit von Bäumen, wurden in den 1980er Jahren von NIELSEN tiefer erforscht und später u.a. von SINN & WESSOLLY weiterentwickelt. Hierbei muss aber u.a. die Windlast ermittelt werden - mit großen, unvermeidlichen Fehlerschwankungen. Diese addieren sich auf die aus der Neigungs-Messung und Extrapolation selbst stammenden, ebenso unvermeidlichen wie erheblichen Fehlerschwankungen, sodass der Standsicherheitsfaktor (= Kippmoment / Windmoment) am Ende entsprechend ungenau und unzuverlässig ist. Daher haben wir das Verfahren erweitert: wir setzen meist mehrere Neigungs-Sensoren an den Stammfuß sowie mindestens einen an den oberen Stamm bzw. Stammkopf (meist auf Höhe des Zugseils bzw. Druckpunkts). Der Vergleich der Neigungen am Stammfuß mit der Neigung am Stammkopf erlaubt dann eine Beurteilung der Standsicherheit ohne die Notwendigkeit einer Windlastannahme - also ohne die diesbezüglich unvermeidlichen Fehlerschwankungen.

Dieser Vergleich basiert darauf, dass das maximale Biegemoment des Stammes eines intakten Baumes typischerweise in der gleichen Größenordnung liegt, wie auch das Kippmoment. Daher funktioniert auch hier die "Allometrische Selbst-Referenzierung" (ASR).

DynaTim™ + ...



Advancements of pulling tests

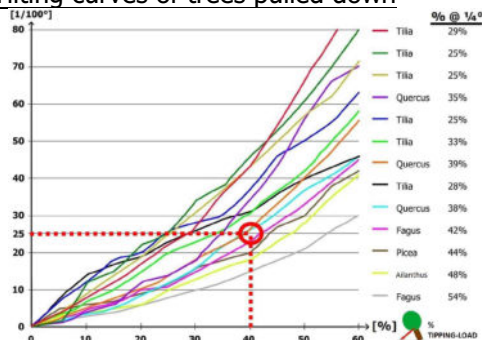
Allometric-Self-Referencing (ASR)

Tree pulling tests had already been applied in the 1960s, researched in greater depth by NIELSEN in the 1980s, and further developed by SINN & WESSOLLY in the 1990s - in order to evaluate uprooting safety of trees. This concept requires estimating wind loads, what introduces large unavoidable uncertainties, adding to the inevitable error margins arising from measuring and extrapolating inclination. In consequence, the final uprooting safety factor (= estimated tipping-load / wind-load) is correspondingly inaccurate and unreliable.

We have therefore extended the method: we put several inclination sensors at the base and at least one at the upper trunk, preferably where the rope is attached or at the pushing point. Comparing the inclinations measured at the trunk-base with the inclination at the top of the trunk allows an evaluation of uprooting safety without assuming wind-loads, thereby avoiding those unavoidable sources of inaccuracy.

This comparison is based on the fact that the maximum bending moment of the trunk of a tree is typically of the same order of magnitude as the tilting moment, allowing "Allometric-Self-Referencing" (ASR) to be used.

Tilting curves of trees pulled down



Precision of SIA-Tipping-Load-Estimate

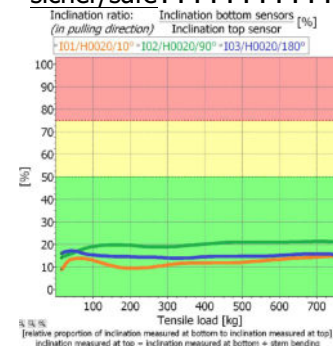
Species	% of (pulling) tipping force required for 1/4° inclination										Mean	STDV
Ailantus	48										48	13
Betula	20	55									38	25
Fagus	38	39	42	42	54						43	6
Picea	44										44	
Tilia	25	25	25	28	29	33					28	3
Quercus	35	38	39	39	63	64	67				49	14

Tipping load and thus uprooting safety:

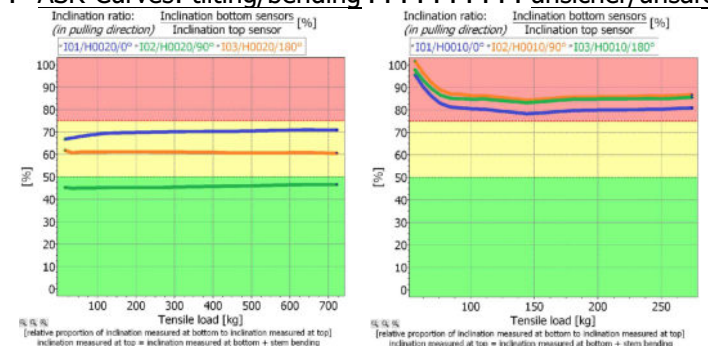
- strongly underestimated
- underestimated
- overestimated
- strongly overestimated
- extremely overestimated

when using the SIA hypothesis (40% tipping load at 1/4°).

sicher/safe



ASR-Curves: tilting/bending



unsicher/unsafe

Weiterentwicklungen der Zugversuche

Drücken statt Ziehen

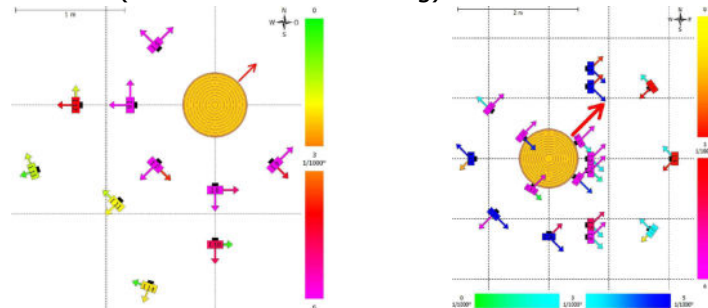
Um eine möglichst geringe Vertikalkomponente der Zuglast einzubringen, sollte der Ankerpunkt stets weitestmöglich vom Baum entfernt sein. Im urbanen Umfeld ist das oft schwierig, manchmal unmöglich. Daher haben wir einen gummielagerten Druck-Sensor entwickelt, mit dem man die Belastung am (oberen) Stamm beispielsweise per Bagger oder Radlader einleiten kann - mit dem weiteren Vorteil, keine vertikale Kraftkomponente einzubringen. Der Druck-Sensor wird mittels Spanngurt am Baum oder auch am Bagger befestigt (dann muss man nicht hochklettern).

Messung von Bodenhebungen / -senkungen

Mithilfe von Neigungs-Sensoren an schweren Blöcken messen wir seit einigen Jahren u.a. Hebungen und Senkungen um einen Baum herum, nicht nur auf dem Wurzelteller, sondern auch auf Asphalt, Beton oder anliegenden Mauern. Eine spezielle Software stellt die Ergebnisse graphisch dar. Dies hilft nicht nur, die reale Ausdehnung des statisch wirksamen Wurzeltellers zu bestimmen, sondern auch oft bei Fragen der Baumsicherheit nach Entfernung / Änderung von Bodenbelag oder Baukonstruktionen im Umfeld.

Messung von Bauwerksbewegungen

Um das Verhalten von Mauerrissen oder auch Höhlungen in Bäumen unter Belastungen zu erfassen, können Dehnungsmessungen sinnvoll sein - manchmal mit Abständen von wenigen Zentimetern oder auch 1m. Hierzu haben wir kombinierte Druckstab- und Zugseil-Sensoren entwickelt (mit Mikrometer-Auflösung).



DynaTim™ + ...



Advancements of pulling tests

Press instead of Pull

For minimizing the vertical component of the pulling load, the anchor point should always be as far from the tree as possible. In urban environments, this is often difficult or impossible. We have therefore developed a rubber-mounted pressure sensor that can be used to apply the load to the (upper) trunk using, for example, an excavator or wheel loader. This provides the additional advantage of not introducing any vertical force component. The pressure sensor is either attached to the tree using a tensioning strap or to the excavator (which avoids the need to climb).

Measurement of ground heave / subsidences

Using inclination sensors on heavy blocks, we measure uplift and subsidence of the soil around a tree, not only on the root plate, but also on asphalt, concrete and walls/structures. Specialised software displays the results graphically. This helps determine the extent of the mechanically effective root plate, and answers questions of tree safety after removal or changes to ground cover or nearby structures.

Measurement of structural movements

When the behaviour of cracks in walls at trees or cavities in trees under load shall be assessed, strain measurements are often useful - sometimes at separations of a few centimetres, sometimes over meters. For this purpose, we have developed combined compression rod and tension cable sensors with micrometre (µm) resolution.



Drücken statt Ziehen: ASR-Druckversuche

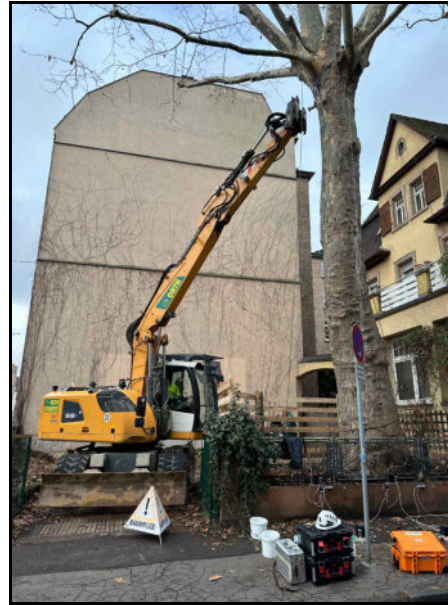
Zugversuche haben sich in gewissen Bereichen zur Beurteilung der Standsicherheit von Straßen- und Parkbäumen durchaus etabliert, obwohl Präzision und Verlässlichkeit der Standard-Berechnungs-Ergebnisse oft nicht adäquat sind für sicherheitsrelevante Aussagen. Daher haben wir die Zugversuche um zusätzliche Neigungs-Sensoren erweitert, die am oberen Stamm angebracht werden: ein Vergleich zwischen Stammbiegung und Stammfußneigung erlaubt sodann bei vielen Bäumen eine Beurteilung der Standsicherheit ("Allometrische Selbst-Referenzierung" ASR) - ohne die am Standort des Baumes herrschenden Windgeschwindigkeiten abschätzen zu müssen (was meist schwierig bis unmöglich ist und daher zwangsläufig zu entsprechend hohen, unvermeidlichen Fehlern in den errechneten Sicherheitsfaktoren führt).

An vielen urbanen Standorten ist es außerdem schwierig bis oftmals unmöglich, einen Ankerpunkt für das Zugseil in ausreichendem Abstand vom zu untersuchenden Baum zu finden, weil es die Bebauung nicht zulässt. Daher haben wir einen Druck-Sensor (mit Gummi-Puffer als Stammschutz) entwickelt, mit dem man gegen den Baum drückt, um Biegung und Neigung in Abhängigkeit von der Druck-Last zu messen.

Der Druck-Sensor kann mittels Gurtband am Baum oder auch am Bagger-Arm / Schaufel befestigt werden, mit weiteren Vorteilen: zum einen entsteht keine vertikale Kraftkomponente, was bei Zugversuchen mit Seil stets zu entsprechenden zusätzlichen Fehlern in der Sicherheitsprognose führt. Zum anderen ist die Messung noch schneller und einfacher machbar, insbesondere wenn der Sensor beispielsweise am Bagger montiert ist, weil dann niemand per Seil, Leiter oder Hubsteiger oben am Baum tätig werden muss, um das Seil einzuhängen.

Die modernen Baumaschinen erwiesen sich bei unseren bisherigen Druckversuchen als sehr gut steuerbar: die Druckbelastung konnte langsam gesteigert, bei ausreichendem Druck gestoppt und zurückgenommen werden. Wer den Drucksensor nur selten braucht, kann ihn bei uns auch bei Bedarf ausleihen und mit dem vorhandenen DynaTim koppeln.

DynaTim™ - Push



MAX: 5 to

Pushing instead of pulling: ASR pressure tests

Pulling tests have become established in some contexts for assessing the uprooting safety of important street and park trees, although the precision and reliability of the standard calculation results are not always adequate for making safety-relevant statements. We have therefore extended these tests by adding inclination sensors, which are attached to the upper trunk: for many trees, a comparison between trunk bending and trunk base inclination then allows an evaluation the uprooting safety ("Allometric Self-Referencing" ASR) - without having to estimate the wind speeds prevailing at the tree's location (which is usually difficult to impossible and therefore inevitably leads to correspondingly high, unavoidable errors in the calculated safety factors).

In many urban locations, it is also difficult or often impossible to find an appropriate anchor point for the pulling cable at sufficient distance from the tree to be examined because surrounding buildings / structures prevent it. We have therefore developed a pressure sensor (with a rubber buffer to protect the trunk) that can be used to press against the tree in order to measure the bending and inclination as a function of the pressure load.

The pressure sensor can be attached to the tree or to an excavator arm / shovel. Advantages include: no vertical force component is introduced into the trunk (which otherwise leads to additional errors in common rope-pulling tests); measurements are faster and simpler; measurements are much faster when the sensor is mounted on the excavator, because no one needs to work on the upper trunk for fixing the rope with a ladder or platform.

In our pressure tests to date, modern construction machines have proven sufficiently sensitive and precise to control: the pressure load can be increased carefully and slowly, held at the required level, and then released. If you only need such a pressure sensor occasionally, you can also borrow it and connect it to an existing DynaTim.

Konstruktions- und Bodenbewegungen

Bei Zug- oder Druck-Versuchen geht es nicht immer nur um die Beurteilung der Standsicherheit von Bäumen, sondern oft auch um die seitliche Ausdehnung des statisch wirksamen Wurzeltellers sowie zum mechanischen Kontakt zwischen Wurzeln und um-/anliegenden Bauwerken bzw. Konstruktionen. Hierzu haben wir spezielle Sensor-Halterungen entwickelt, die beispielsweise die Hebungen und Senkungen des Bodens oder von Mauern im Umfeld des Baumes messen.

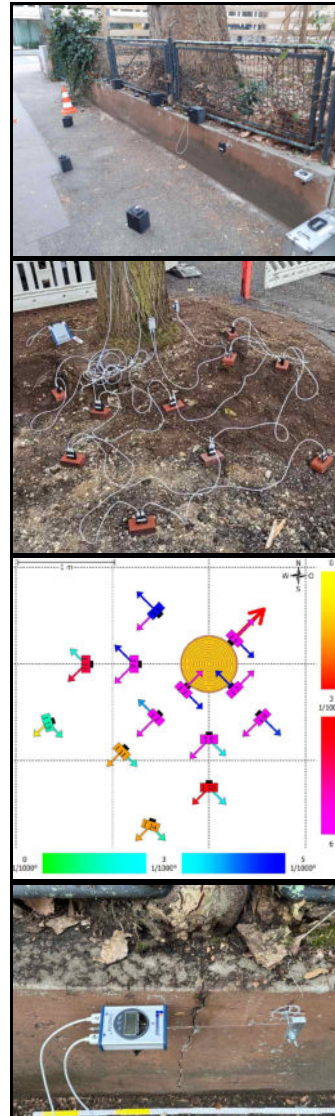
Die graphische Darstellung in der DynaTim-Software zeigt sodann mit Pfeilen die Richtung und mit Farben die Intensität der Neigung der jeweiligen Sensoren an. Dabei wird deutlich, welche Fläche um den Baum herum von Wurzeln angehoben wird und ggf. ab wo sich der Boden vom Baum weg neigt. Das liefert aufschlussreiche Informationen über die räumliche Verteilung der Verankerung des Baumes im Boden.

Auch die Hebungen oder Senkungen von Mauern, Bodenplatten oder asphaltierten Flächen bei einem Zug- oder Druckversuch liefern oftmals wichtige Informationen zur Verankerung des Baumes bzw. zur Reichweite der statisch wirksamen Starkwurzeln.

Um die Bewegung von Rissen in Mauern oder Abstandsänderungen zwischen Baum und Mauern zu erfassen, haben wir außerdem neue Mikrometer-Seilzug-Abstands-Sensoren entwickelt, die auch noch mit Edelstahl-Stangen auf Druck betrieben werden können. Die Verwendung als Seilzug-Sensor hat den Vorteil, dass man damit auch große horizontale Abstände während des Zug- oder Druckversuchs überwachen kann. Auch diese Messungen fließen in den DynaTim-Datensatz ein und werden graphisch angezeigt.

Weil es bei solchen Anwendungen einerseits meist sinnvoll oder gar notwendig ist, sehr viele Sensoren zu verwenden (mitunter einige Dutzend), andererseits solche Aufgabenstellungen nicht unbedingt alltäglich sind, bieten wir die gesamte Technik auch zur Ausleihe an, damit man ein vorhandenes DynaTim entsprechend erweitern kann.

DynaTim™ Terrano



Construction and soil movements

Pulling or pushing tests are not always just about assessing the uprooting safety of trees, but often also about the lateral expansion of the statically effective root plate and/or the mechanical contact between roots and surrounding/adjacent buildings or structures. For these purposes, we have developed special sensor mounts for measuring the heave and subsidence of the soil or walls in the vicinity of the tree during pulling or pushing the tree.

The DynaTim software then graphically displays the results and uses arrows for direction and colours for inclination intensity of the at the respective sensor-positions. This usually quickly makes it clear how large the area around the tree is that is being lifted by roots and from where the ground slopes away from the tree. This often provides very revealing information about the spatial distribution of the tree's anchoring in the ground.

The uplift or subsidence of walls, floor slabs or asphalted surfaces during a pulling/pushing test also often provide important information on the anchoring of the tree or the range of the statically effective structural roots.

To detect the movement of cracks in walls or changes in distance between trees and walls, we have also developed new micrometer-precision cable-pull distance sensors, which can also be operated with stainless steel push-rods. The advantage of using them as cable-pull sensors is that they can also be used to monitor large horizontal distances during pulling/pushing tests. These measurements are also included in the DynaTim data set and are displayed graphically.

Because it is usually sensible or even necessary to use a large number of sensors (sometimes several dozens) for such applications, and because such tasks are not necessarily commonplace, we also offer the entire technology on loan so that you can expand your DynaTim accordingly.

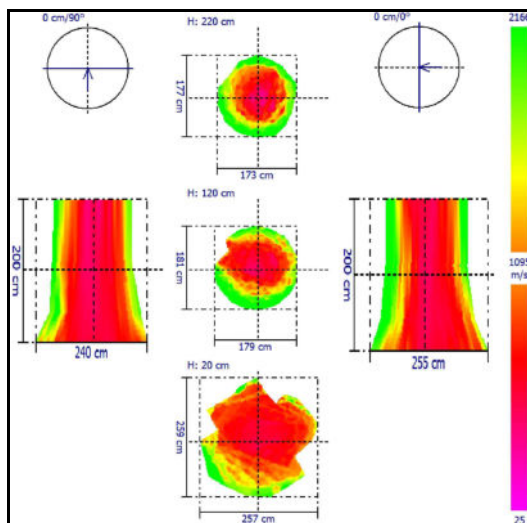
Impuls-Sender-Erweiterung zur Schall-Tomographie mit beliebig vielen Sendepunkten

Für komplexe 2D-Querschnittsmessungen, beispielsweise am Stammfuß mit vielen Brettwurzeln wie auch für größere 3D-Tomographien bieten wir einen speziell entwickelten, hammerförmigen Impuls-Sender an, mit dem man am Stamm beliebig viele zusätzliche Sende-Punkte setzen kann. Aus physikalischen Gründen empfehlen wir weiterhin, pro Querschnitt-Ebene mindestens 8 Sensoren zu montieren. Diese können dann aber mit Dutzenden oder gar Hunderten Sende-Punkten ergänzt werden.

Der Impuls-Sender wird, wie auch der ArboRadix™-Sensor, mit einem langen Kabel (10 oder 20m) am Akkupack angeschlossen. Am Baum verwenden wir die auch für die Sensoren üblichen Nägel oder Schrauben, allerdings mit farbigen Nummer-Plaketten, um die Sendepunkte auch auf den Fotos eindeutig nachvollziehbar zu dokumentieren. In der Software muss dann "nur noch" die Position des jeweiligen Klopfpunktes als reiner Sende-Punkt eingetragen werden. Die Anzahl der zusätzlichen Sende-Punkte ist technisch nicht begrenzt, meist reichen aber auch für komplexe 3D-Messungen ein paar Dutzend Sendepunkte aus.



ARBOTOM® + Impuls-Sender



Pulse sender extension for sonic tomography with any number of transmission points

For complex 2D cross-section measurements, for example at the base of a trunk with many buttress roots, as well as for larger sonic tomographies in 3D, we offer a specially developed, hammer-like impulse sender that allows you to set practically any number of additional impulse sending points on the trunk. For physical reasons, we still recommend installing at least 8 sensors per cross-section level. However, these can then be supplemented with dozens or even hundreds of sending points at any desired position.

Like the ArboRadix™ root plate sensor, the impulse sender is connected to the battery pack with a long cable (10m or 20m). On the tree, we use the same nails or screws that are used for the sensors. The sending points are clearly marked by coloured number tags, visible on pictures as well. In the software, you just need to note the respective position as a pure sending point. There is no technical limit to the number of additional sending points, but even for complex 3D measurements, a few dozen sending points showed to be sufficient.

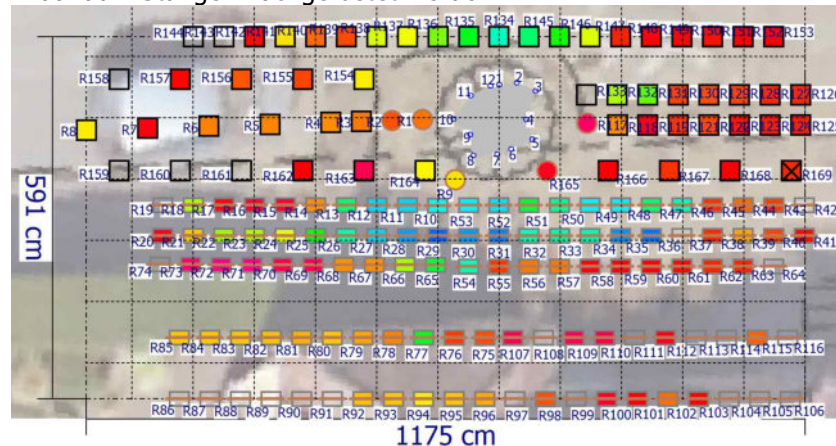


Schlag-Standardisierung

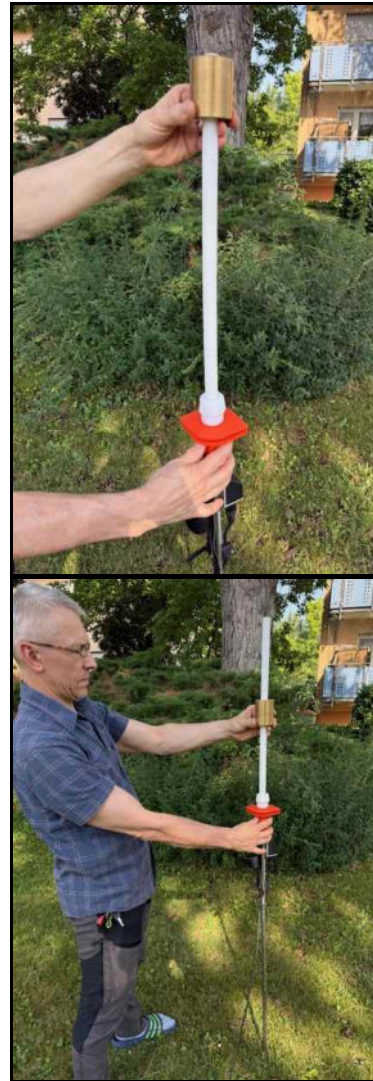
Seit 2003 haben wir bei etlichen Hundert Straßen- und Park-Bäumen mit der ArboRadix-Bodenlanze nach Wurzeln gesucht, zunächst und vor allem, um die seitliche Ausdehnung des statisch wirksamen Wurzeltellers zu ermitteln. Wenn eine verholzte, weitgehend intakte und im Boden mechanisch eingebundene Wurzel (Durchmesser mindestens ca. 3cm) die per Stahlstange darüber in den Boden eingeleitete Druckwelle als Vibration an den Stammfuß weiterleitet, können die dort angebrachten Schall-Sensoren dies detektieren und an den Computer melden.

Überraschenderweise haben Freigrabungen gezeigt, dass dies nicht nur in Parkanlagen, sondern sogar in verdichteten urbanen Böden möglich ist - unerwarteterweise mitunter sogar unter Pflastersteinen, Asphalt und ähnlichen Bodenbelägen. Daher wuchsen über die Jahre der Anwendung hinweg auch die Wünsche nach Weiterentwicklungen des Verfahrens.

Um einigen dieser neuen Anforderungen zu genügen, war eine Standardisierung des Impulseintrages notwendig. Hierzu haben wir eine Aufsatz-Stange entwickelt, an der ein Fallgewicht auf den Schlag-Kopf herabfällt. Damit ist es zwischenzeitlich gelungen, auch an schwierigen urbanen Standorten den ungefähren Verlauf von Starkwurzeln zu rekonstruieren, beispielsweise um Fragen nach Ursachen von Schäden an Mauern und Fundamenten zu klären. Der Fallgewichts-Aufsatz kann an vorhandenen ArboRadix-Stangen nachgerüstet werden.



ArboRadix™ Standard-Tap



Tapping standardization

Since 2003, we have used the ArboRadix rod to search for roots around several hundred street and park trees, initially and primarily to determine the lateral extent of the statically effective root plate. If a lignified, largely intact root that is mechanically embedded in the soil (diameter at least 3cm, approx. 1.2inch) transmits the pressure wave introduced into the soil by a steel rod above it as a vibration to the base of the trunk, the sonic sensors attached there can detect this and report it to the computer.

Excavations have shown that this is possible not only in parks, but even in compacted urban soils - and, in some cases, even under asphalt and other coverings. As a result, demand for the process has grown over the years of its application.

To meet new requirements, it was necessary to offer an option to standardize the tapping impulse. For this, we developed an attachment bar on which a drop weight falls onto the impact head. This has now made it possible to reconstruct the approximate course of structural roots even in difficult urban locations, for example to clarify questions about the causes of damage to walls and foundations. The drop weight attachment can be retrofitted to existing ArboRadix rods.

