

## Aussagekraft und Schädigungsgrad von Baumdiagnose-Geräten

# Geräte und Verfahren zur eingehenden Baumuntersuchung

Von Ulrich Weihs und Steffen Rust, Göttingen

*Die Geräteauswahl für die eingehende Baumuntersuchung ist groß und für den Anwender unübersichtlich. Erschwerend kommt hinzu, dass die verfügbaren Informationen oft bruchstückhaft und von Geschäftsinteressen bestimmt sind. Nach den vorliegenden Ergebnissen sind Gutachter und Sachverständige gut beraten, wenn sie bei der eingehenden Untersuchung Geräte einsetzen, die weitgehend zerstörungsfrei Informationen über die Bruchsicherheit des Holzes über die gesamte Querschnittsfläche liefern. Diese Kriterien werden durch die Verfahren der elektrischen Widerstandstomographie und der Schalltomographie erfüllt.*

Der allgemeinen Verkehrssicherungspflicht folgend, ist der Baumeigentümer bzw. der auf andere Weise für den Baum Verantwortliche grundsätzlich verpflichtet, Schäden durch Bäume an Personen oder Sachen zu verhindern.

Zum Umfang der Verkehrssicherungspflicht bei Bäumen hat der Bundesgerichtshof in seinem Urteil vom 21.01.1965 - III ZR 217/63 - (NJW 1965, 815; bestätigt durch BGH, Urteil vom 4.03.2004 - III ZR 225/03 - NJW 2004, 1381) grundlegende Aussagen bei Straßenbäumen getroffen. Danach muss, wenn im Rahmen der fachlich qualifizierten Inaugenscheinnahme (sog. Regelkontrolle) verdächtige Umstände festgestellt werden, eine eingehende fachmännische Untersuchung des betreffenden Baumes veranlasst werden. Eine solche Untersuchung erfordert Fachkräfte mit spezieller Aus- bzw. Weiterbildung sowie langjähriger Übung und Erfahrung [9].

Die Vielfalt der angebotenen Geräte und Verfahren zur eingehenden Untersuchung ist groß und für den Anwender schwer zu

überblicken. Erschwerend kommt hinzu, dass in Bezug auf die unterschiedlichen methodischen Ansätze und ihre jeweiligen Diagnosegeräte seit Jahren ein fundamentaler Richtungsstreit geführt wird, der eher durch Geschäftsinteressen als durch den fachlichen Anspruch an die Qualität und Aussagekraft der Verfahren geprägt ist.

### Beurteilung der Geräte und Verfahren

Bei der Untersuchung der Verkehrssicherheit eines Baumes stehen seine Stand- und Bruchsicherheit im Vordergrund. Da eine direkte Bestimmung dieser Größen mit keinem der heute verfügbaren Geräte möglich ist, werden Hilfsgrößen wie z. B. Eindringwiderstände (Bohrwiderstandsmessgeräte), Bruchfestigkeiten von Bohrspänen (Fractometer) oder die Dehnung der Randfaser bei definierter Belastung des Baumes (Zugversuche) gemessen, aus denen auf die Versagenswahrscheinlichkeit des Baumes geschlossen wird.

Die Materialeigenschaften des Holzes variieren sowohl in radialer, tangentialer als auch axialer Richtung im Stamm eines Baumes. Die meisten Verfahren, insbesondere die eindimensional bzw. linear messenden Methoden, erlauben nur eine grobe und auch räumlich stark eingegrenzte Abschätzung des Holzzustandes, z. B. in der Form von „fest“ oder „nicht fest“. Gemessen daran liefern die Tomographieverfahren, die sich indirekter, zerstörungsgarmer Prospektionsmethoden auf der Basis von

Laufzeitmessungen des Schalls oder der elektrischen Leitfähigkeit bedienen, wegen ihrer zwei- bzw. mehrdimensionalen Auflösung des Stamminnenen deutlich aussagekräftigere Diagnoseergebnisse.

Die wenigsten der am Markt befindlichen Verfahren können tatsächlich die für die Einschätzung der Bruch- und Stand-sicherheit erforderlichen Informationen geben. Soll z.B. die Bruchsicherheit eines Querschnittes aus der räumlichen Anordnung des Materials und seiner Festigkeit bestimmt werden, so benötigt man diese mit hinreichender räumlicher Auflösung. Auch für das Knickversagen wird die Geometrie der verbleibenden Restwand benötigt. Bei denjenigen Verfahren, die Messwerte erheben, sind die stochastischen Beziehungen zwischen diesen und den Materialeigenschaften des Holzes oft sehr komplex, mit unbekanntem Fehler behaftet und jedenfalls für den normalen Anwender kaum nachvollziehbar. Der Anwender muss dennoch von den gemessenen Größen, z. B. Schallgeschwindigkeit, elektrischer Widerstand, Dehnung der Randfaser oder Eindringwiderstand, auf die Festigkeit des Holzes schließen. Da mit Ausnahme der Tomographie die gängigsten Verfahren nur eindimensional messen, liegen die Daten überwiegend nicht in der für weitere Abschätzungen erforderlichen Auflösung vor. Große methodische Probleme herrschen auch bei der Abschätzung von dynamischen Lasten, sodass die Ableitung des Sicherheitsfaktors aus den gewonnenen Diagnoseergebnissen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist, zumal es nicht nur einen Sicherheitsfaktor für einen Baum gibt. Die in Tab. 1 getroffene Einschätzung verdeutlicht, dass sich die Verfahren und Geräte erheblich hinsichtlich des Informationsgehaltes ihrer Messergebnisse, der durch sie am Baum verursachten Schäden und in Bezug auf den Zeitaufwand und die Investitionskosten unterscheiden. Da die Geometrie eines Schadens sehr viel leichter zu ermitteln ist als die räumliche Verteilung der Holzfestig-

Prof. Dr. U. Weihs, ö.b.v. Sachverständiger für Baumpflege, Verkehrssicherheit von Bäumen, Baumwertermittlung, lehrt an der HAWK, Studiengang Arboristik in Göttingen u. a. das Modul Sachverständigenwesen und leitet die Forschungsgruppe „Non destructive testing of trees“. Prof. Dr. S. Rust, lehrt an der HAWK, Studiengang Arboristik in Göttingen u. a. Baumpflege und Baumkontrolle.

Weitergehende Informationen zu den einzelnen Verfahren, insbesondere zur Funktionsweise der eingesetzten Geräte sind im Jahrbuch der Baumpflege 2007 [28, 38] zu finden. Auf S. dieser AFZ-DerWald ist zudem ein Artikel zur elektrischen Widerstandstomographie enthalten [29, 37].

keit, beschränken sich die meisten Gutachter darauf, empirische Grenzwerte für den Festigkeitsverlust aufgrund der räumlichen Verteilung des verbleibenden Holzes anzuwenden [19, 34, 36]. Bei Anwendung der VTA-Methode kommt man für freistehende, voll bekronte Bäume mit zentraler Fäule auf diesem Weg zu der erforderlichen Versagenswahrscheinlichkeit. Nach dem bekannten VTA-Diagramm [18], haben Bäume mit einem t/R-Verhältnis über 0,3 eine Versagenswahrscheinlichkeit von 0. Diese Grenzwerte können an dieser Stelle nicht diskutiert werden, es sei nur angemerkt, dass häufig auch Bäume in Gruppen oder mit reduzierten Kronen beurteilt werden müssen, auf die dieser Grenzwert nicht anwendbar ist.

Nur bei der Auswertung der Zugversuche wird der Versuch unternommen, auch die Last unter Normalbedingungen (Windlast bei Windstärke 12) abzuschätzen, um daraus Sicherheitsfaktoren abzuleiten.

Für den Anwender ist es häufig wichtig, dem Auftraggeber oder anderen Zielgruppen das Ergebnis seiner Diagnose bildhaft zu verdeutlichen. Trotzdem gibt es eine Reihe durchaus verbreiteter Verfahren, die kein Abbild des Zustandes eines Baumes liefern. Dazu gehören einerseits die Zugversuche und andererseits beispielsweise eindimensionale Schallverfahren und die Fractometer. Die am häufigsten in der Praxis verwendeten Verfahren sind allerdings solche, die den Zustand des Baumes in einer, zwei oder sogar drei Dimensionen abbilden.

Wenn auch im Einzelfall die in Tab. 1 dargestellten Kriterien vom Anwender individuell unterschiedlich gewichtet werden, sind v.a. die Aussagekraft in Bezug auf die Beurteilung der Stand- und Bruchsicherheit und die möglichst geringe Schädigung des untersuchten Baums von zentraler Bedeutung. Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich daher auf diese beiden Punkte. Zunächst ist festzustellen, dass sich der Informationsgehalt der mit den einzelnen Verfahren erzielbaren Ergebnisse erheblich unterscheidet. So kann, mit Ausnahme der Zugversuche, keines der dargestellten Verfahren von seinem methodischen Ansatz her Aussagen zur Stand-sicherheit der Bäume treffen. Abgesehen von den Zugversuchen und den Tomographieverfahren, handelt es sich ferner bei allen übrigen Verfahren um eindimensional auflösende Geräte und Methoden. Wie jeder Anwender aus eigener Erfahrung weiß, lassen sich anhand von linearen Messprofilen trotz mehrfach versetzt durchgeführter Wiederholungsmessungen häufig nur vage Aussagen zu Art, Lage und Ausmaß eines

im Stammkörper befindlichen Defektes treffen. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn die Fäulen und Hohlräume in ihrer Ausformung unregelmäßig und/oder dezentral orientiert sind. Außerdem stehen, wie es beispielsweise bei der mittels Fractometer abgeleiteten Bruchfestigkeit der Fall sein kann, die radial gemessenen Größen nicht in einem zufrieden stellenden Zusammenhang mit den durchschnittlichen Holzeigenschaften, die für das Versagen eines Baumes entscheidend sind [15, 41]. MATHENY [17] stellte bei der Untersuchung von 25 Baumarten in Nordamerika fest, dass die Bruchfestigkeitswerte innerhalb einer Art, besonders zwischen unterschiedlichen Standorten, sehr stark variieren und CHIU [4] fand bei der Untersuchung von Taiwania-Beständen, dass die Variation innerhalb eines Baumes größer war als zwischen den Bäumen. Daher liefert ein Vergleich von Proben eines Baumes keine ausreichende Sicherheit für die Interpretation absoluter Werte, die sich wohl nur über eine ausreichend große Probenzahl erreichen lässt. Problematisch sind auch die korrekte Probengewinnung und -verarbeitung. Gerade bei weichen Hölzern wird die Probe im Zuwachsbohrer gestaucht. Zudem muss sie zügig verarbeitet werden, um die rasche Veränderung der Holzeigenschaften durch die Austrocknung an der Luft zu verhindern. In welcher Form die punktuell erhobenen Materialeigenschaften in der täglichen Praxis in die quantitative Bewertung der Bruchsicherheit eingehen sollen, bleibt unklar.

Ähnliche Interpretationsprobleme treten auch beim Vergleich der Messwerte von eindimensionalen Schallmessungen mit tabellierten Referenzwerten [1] oder Vergleichswerten von defektfreien Bereichen desselben Baumes auf. Nur bei einer deutlichen Verringerung des Wertes kann ein Defekt vermutet werden. Wegen der Ani-

sotropie und der unterschiedlichen Verteilung der Materialeigenschaften des Holzes im Stamm unterliegt die Schallgeschwindigkeit bereits im defektfreien Holz einer erheblichen Schwankung. Darüber hinaus hängt die gemessene Schallgeschwindigkeit von der Stärke des Hammerschlages ab. Die veröffentlichten Vergleichswerte [1] können deshalb und auch aufgrund der extrem geringen Stichprobenzahl und fehlenden statistischen Auswertung nur als äußerst grobe Anhaltspunkte dienen. Selbst bei der so genannten Fächerschallung lassen sich Art, Lage und Größe des Defektes nur selten erfassen [10]. Die Verfechter dieser Geräte fordern folgerichtig vor einer Fällentscheidung die Anwendung weiterer Geräte [5], sodass es sich bei der eindimensionalen Schallmessung lediglich um eine Voruntersuchung handelt [5].

Die nicht-tomographischen elektrischen Verfahren werden selten verwendet, tauchen aber regelmäßig in den Diskussionen zur Baumdiagnose auf, weil gelegentlich die Auffassung vertreten wird, dass sie über die Fäuleddetektion hinaus auch zur Ermittlung der Baumvitalität taugten. Ähnlich den vorgenannten eindimensional mechanisch arbeitenden Verfahren, werden auch bei ihnen Defekte nur dann erkannt, wenn sie in der Ausbreitungsrichtung liegen und ausreichend stark ausgeprägt sind. Exakte Aussagen über die Größe des Schadens im Baum sind nicht möglich [3]. Ferner können verschiedene Prozesse zu sich aufhebenden Wirkungen hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit führen und die Interpretation erschweren [22]. Rückschlüsse auf mechanische Eigenschaften des Holzes sind kaum möglich und die Geometrie eines Schadens lässt sich nur durch mehrere, gegeneinander versetzte Bohrungen abschätzen.

Diese Feststellung gilt auch für die Interpretation von Bohrwiderstandsmessungen, für die insbesondere auch baumarten-

**Tab. 1: Geräte und Verfahren zur Baumuntersuchung**

Name	Stand-sicherheit	Bruch-sicherheit	Vitalität	Zerstörungs-freiheit	Kosten	Zeitauf-wand
Zuwachsbohrer	--	0	++(-)	--	++	+
Fractometer	--	0	--	--	+	+
Schallgeschwindigkeit	--	0	--	0	+	+
Elektr. Leitfähigkeit	--	0	-	--	0	-
Bohrwiderstand	--	0	-(0)	-	0	++(-)
Schalltomographie	--	+	--	+	-	(-)*
Elektrische Widerstandstomographie	--	+	--	+	-	(-)*
Zugversuche	+	+	--	++	-	--

\*Den hoch auflösenden Farbtomogrammen liegen bis über 500 Einzelmessungen zugrunde. Eine vergleichende Betrachtung des Zeitaufwandes mit den Einzelmessungen der linearen Untersuchungsverfahren ist daher nur bei einer entsprechenden Gewichtung der Anzahl der erhobenen Messwerte (Auflösung) sinnvoll.

spezifische Kenntnisse des Holzaufbaues erforderlich sind. Nur so können Muster, die zum Beispiel durch juveniles Holz, den Alterstrend des Dickenzuwachses [25] oder tangentielle Bohrungen hervorgerufen werden, sicher von Defekten unterschieden werden. Verringerungen des Bohrwiderstandes von weniger als 25 % sind schwer zu interpretieren, obwohl sie schon mit bedeutenden Gewichtsverlusten verbunden sein können [32]. In einem systematischen Versuch an Erle waren nur etwas mehr als die Hälfte der Bohrungen eindeutig zuzuordnen [31]. Bei 70 % der aufgrund der Resistograph-Bohrung als faul eingestuften Bäume konnten tatsächlich Fäuleerreger isoliert werden [31]. Der Benutzer kann nicht sicher sein, dass der Bohrkanal geradlinig verläuft, da es beispielsweise beim Auftreffen der Bohrnadel auf Hindernisse zu einer erheblichen Ablenkung der Nadelspitze kommen kann. Beim Durchlaufen von Hohlräumen kann sich die relativ dünne Bohrnadel durch ihre zentrifugalen Rotationskräfte „aufschwingen“, sodass sich die Nadelspitze nach Durchlaufen des Hohlraumes in einer nicht nachvollziehbaren Position wieder in den festen Holzkörper des Stammes einbohrt. Dadurch wird die technisch sicher mögliche Auflösung im Bereich von Millimetern relativiert. Ein weiteres, in der Ausprägung typenabhängiges Problem dieser Geräte ist die Schaftrreibung, die insbesondere bei den überwiegend schneidenden Geräten auftritt. Sie bewirkt, dass der Bohrwiderstand systematisch von der Eintrittsstelle des Bohrers an stetig ansteigt, ohne dass es dafür durch den Zustand des Baumes begründete Ursachen gäbe [8]. Einige Hersteller bieten inzwischen technische Lösungen zur Vermeidung dieses Problems an.

Bohrwiderstandsmessungen liefern im besten Fall Informationen über die Verteilung des Materials entlang einer Linie, sowie näherungsweise über eine holzphysikalische Größe, nämlich die Rohdichte des Holzes [27], die allerdings nicht mit der Holzfestigkeit gleichgesetzt werden darf, denn schon bei einer geringen Dichteabnahme kann bereits ein erheblicher Festigkeitsverlust eintreten [43]. Außerdem kann selbst in defektfreiem Holz die Dichte nur schwach mit der Druckfestigkeit korreliert sein [16]. Eine einzelne Bohrung ist daher nicht ausreichend, um die Bruchsicherheit eines Baumes zu beurteilen, weshalb in den meisten Fällen mindestens drei Bohrungen angebracht werden müssen, um die Geometrie von Schäden abschätzen zu können. Die Bedeutung des Befundes wird meist mithilfe des  $t/R$ -Grenzwertes [19] bewertet.

Während die Aussagekraft v.a. der eindimensionalen Verfahren in Bezug auf die abschließende Beurteilung der Bruchsicherheit des Baumes also mit mehr oder weniger großen Unsicherheiten behaftet ist, lassen sich anhand der zweidimensionalen Farbdarstellungen der Tomographieverfahren Rückschlüsse auf die Restwandstärke bruchfesten Holzes über die gesamte Querschnittsfläche des Baumes ziehen.

Die Interpretation der Tomogramme setzt grundlegende Kenntnisse zur Baumbiologie und zu artspezifischen Besonderheiten voraus, ist aber nach entsprechender Schulung und Einübung relativ sicher zu handhaben. Vom gesunden, bruchfesten Holz heben sich Defekte zumeist durch typische Farbkontraste ab, die durch abweichende elektrische Leitfähigkeit bzw. Laufzeiten des Schalls verursacht werden. Schwieriger oder gar unmöglich ist die Differenzierung zwischen gleichartigen Defekten, die sich in ihrem Farbkontrast nicht voneinander unterscheiden lassen. So können bei der Schalltomographie Höhlungen, Sternrisse oder Ringschäle im Tomogramm alle sehr ähnlich abgebildet werden. Dies ist zwar kein Mangel, da sie baumstatistisch vergleichbare Auswirkungen haben [26], führt aber häufig nach der Fällung eines Baumes zu Erklärungsproblemen. Auch bei der elektrischen Widerstandstomographie können ähnliche Effekte, z.B. bei der Abgrenzung eines elektrisch gut leitenden Nasskerns und einer ebenfalls gut leitenden, beginnenden Fäule auftreten. Solche, eher durch baumartenspezifische Eigenschaften geprägten Fälle, lassen sich jedoch durch die Einbeziehung eines weiteren Untersuchungsverfahrens absichern. Hier bietet sich aufgrund ihrer ähnlichen Vorgehensweise insbesondere die Kombination der elektrischen Widerstands- und der Schalltomographie an.

Abschließend soll noch kurz auf die Aussagekraft von Zugversuchen eingegangen werden. Die bei Zugversuchen von Bäumen vor Ort gewonnenen Ergebnisse zur Dehnung der äußersten Holzfasern und zur Neigung des Stammfußes stellen zunächst lediglich Eingangsgrößen für weiterführende Berechnungen dar. Erst nach der Auswertung mit Hilfe von lizenzierten Computerprogrammen, in die eine ganze Reihe weiterer, für die Abschätzung der Stand- und Bruchsicherheit relevanter Faktoren integriert werden muss (z.B. Stuttgarter Festigkeitskatalog, Kippkurve bzw. Kraft-Neigungskurve der AfB-Methode und Windlastabschätzungen), wird eine Aussage zur Stand- und Bruchsicherheit des untersuchten Baumes getroffen. Die weiterführenden Berechnungen werden

durch einige, wenige Sachverständigenbüros durchgeführt. Unseres Wissens sind von den Urhebern bislang keine Einzelheiten über die Art und Weise, wie die Berechnungen durchgeführt werden und in welcher Größenordnung die für die Statik des Baumes relevanten Parameter in das Programm eingehen, wissenschaftlich veröffentlicht worden. Eine objektive und unabhängige Beurteilung der für die Berechnungen zentralen Daten dieser Methode ist daher an dieser Stelle nicht möglich. Als wissenschaftlich wird eine Veröffentlichung im Allgemeinen dann angesehen, wenn die Ergebnisse systematisch erarbeitet wurden sowie in objektiver und überprüfbarer Form kommuniziert werden, also auch falsifizierbar sind [23]. Es wäre daher hilfreich, wenn es unabhängigen Fachleuten, die nicht zum engen Kreis der Entwickler und Anwender gehören, ermöglicht würde, die Zugversuche einzusetzen, um die Auswertungsmethodik beurteilen zu können.

### Schädigende Auswirkungen auf den Baum

Im Vergleich zu den Zugversuchen und den indirekten Tomographieverfahren können insbesondere die eindimensionalen Bohrverfahren aufgrund ihres mehr oder weniger tief geführten Bohrkanals zu Wundreaktionen und Verfärbungen im Holz mit anschließender Besiedelung durch Holz zerstörende Pilze führen [12, 13]. Trotz der recht dünnen Bohrnadel sind die zu verzeichnenden Verletzungen insbesondere dann nicht zu vernachlässigen, wenn mehrere, zueinander versetzte Bohrungen notwendig sind, um eine annähernd zweidimensionale Vorstellung von der Bruchfestigkeit des Holzes im Inneren eines Baumes zu erlangen [25, 39, 40]. Daher empfiehlt es sich diese Geräte nur in begründeten Einzelfällen zu verwenden und in kurzen zeitlichen Abständen durchgeführte Wiederholungsmessungen zu vermeiden.

Eine im Vergleich dazu deutlich gravierendere Schädigung des Baumes tritt in der Regel bei Verfahren auf, die eine Entnahme von Bohrkernen mittels Zuwachsbohrer vorsehen, da der Zuwachsbohrer nach allen vorliegenden Erkenntnissen eine vergleichsweise große Holzzerstörung bewirkt [2, 7, 14, 24, 30]. Er sollte deshalb für die eingehende Baumuntersuchung nur noch in begründeten Einzelfällen zur Absicherung einer Diagnose bei ohnehin schon abgängigen Bäumen eingesetzt werden, oder dann, wenn eine Holzprobe zur Identifikation der Erreger einer Holzfäule oder zur Jahrringanalyse benötigt wird. Eine ähnlich zerstörerische Wirkung weisen Ver-

fahren mit tief gehenden Einstichkanälen zur direkten Messung bestimmter Materialeigenschaften des Holzes im Stammkörper auf, wie es beispielsweise bei der eindimensionalen Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Fall ist [3, 21].

Auch die eindimensional auflösenden Schall- und Ultraschallgeräte, bei denen 3 bis 5 cm tief in den Stammkörper eingedrehte Schrauben als Impulsgeber und Impulsnehmer dienen [20], können zur Verletzung des Kambiums und des Splintholzes führen. Dabei hängt der Schädigungsgrad u.a. von der Häufigkeit des für eine Eingrenzung des Defektes notwendigen Versetzens der Schrauben ab (sog. Fächerschallung).

Tomographische Verfahren zählen dagegen zur Klasse der indirekten Verfahren (sog. Prospektionsmethoden), bei denen anhand von Messungen, die lediglich an der Oberfläche des zu untersuchenden Mediums durchgeführt werden, Rückschlüsse auf die Strukturen im Inneren des Mediums getroffen werden können. Sie gelten als zerstörungsfreie oder weitgehend zerstörungsfreie Methoden. Gleiches gilt für die Zugversuche zur Untersuchung der Stand- und Bruchstabilität von Bäumen [33, 42].

## Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Mit Ausnahme der Zugversuche werden zur Beurteilung der Bruchstabilität von Bäumen empirische Grenzwerte für die Bruchgefährdung als Entscheidungshilfe herangezogen. Das Versagenskriterium  $t/R < 0,3$  [19], in das die Holzfestigkeit in der Form „fest“ oder „nicht fest“ eingeht, stellt in Deutschland wohl die gängigste Formel dar. Über den Umgang mit dezentralen, nicht konzentrischen Fäulen und offenen Querschnitten besteht dabei erhebliche Unsicherheit [35].

In Anbetracht der unvermeidlichen Messfehler bei Durchmesser und Höhe der begutachteten Bäume, ganz zu schweigen von Holzfestigkeiten oder Annahmen für die Windlastabschätzung, erscheint die Diskussion über die Abbildungsgenauigkeiten einzelner Verfahren im mm- oder cm-Bereich müßig. Weder wird diese Information von den Anwendern tatsächlich genutzt, noch liegen andere erforderliche Daten in ähnlicher Genauigkeit vor.

Ein Gerät zur Einschätzung der Bruchstabilität sollte in der Lage sein, eine Unterscheidung der Flächenanteile des Holzes nach „fest, bzw. tragfähig“ und „nicht fest, bzw. nicht tragfähig“ sicher treffen zu können. Diese Forderung ist bei den Tomographieverfahren auf der Basis des elektrischen

Widerstands und der Schallgeschwindigkeit in der überwiegenden Anzahl der Fälle erfüllt, da sie weitgehend zerstörungsfreie Informationen über den gesamten Stammquerschnitt liefern. Im Vergleich dazu lässt die überwiegende Mehrzahl der in der täglichen Praxis eingesetzten und in Ausschreibungen von Baumgutachten nach wie vor stereotyp geforderten eindimensionalen Verfahren nur punktuelle oder eindimensionale Aussagen bei mehr oder weniger großer Baumschädigung zu. Der im Vergleich zu den übrigen Methoden geringere Bekanntheitsgrad der tomographischen Verfahren, hier insbesondere der elektrischen Widerstandstomographie, liegt sicherlich darin begründet, dass diese Verfahren noch vergleichsweise neue Entwicklungen darstellen, die sich erst noch ihren Stellenwert gegenüber den propagierten und seit Jahren am Markt etablierten Verfahren der eingehenden Baumuntersuchung erobern müssen.

Neben der Aussagekraft für die Beantwortung der fallbezogenen Fragestellung

werden vom Anwender immer wieder auch die Investitionskosten und der für eine Untersuchung zu veranschlagende Zeitbedarf als ausschlaggebend für die Wahl eines bestimmten Gerätes genannt. Hier sei der Hinweis erlaubt, dass die hohe Auflösung und Aussagekraft der tomographischen Untersuchungsverfahren aus bis zu 504 Einzelmessungen der Querschnittsebene natürlich einen höheren Zeitaufwand erfordern, als beispielsweise eine einzelne Bohrung mit einem Bohrwiderstandsmessgerät. Entsprechend höher sind jedoch auch der Informationsgehalt und die Diagnosekompetenz zur Ableitung einer fallspezifisch korrekten Entscheidung.

Die Tatsache, dass der Wert eines markanten Stadtbaumes die Investitionskosten der Schall- oder Widerstandstomographen um ein Mehrfaches überschreiten kann, mag verdeutlichen, dass sich die Anschaffung eines baumpflegerischen Diagnosegeräts mit hoher Aussagekraft im Interesse des Baumschutzes und einer fachgerechten Baumpflege durchaus lohnen kann. ◀

### Literaturhinweise:

- [1] BETHGE, K.; MATTHECK, C.; THUN, G. (1994): Ein Katalog der Ausbreitungsgeschwindigkeiten von Stoßwellen in defektbehafteten Holzquerschnitten. In: Baumzeitung 28, Nr. 1, S. 12-15. [2] BOSSHARD, H. H. (1974): Holzkunde. Bd. 2. Basel und Stuttgart: Birkhäuser Verlag. [3] BUCHER, H. P.; KUCERA, L. J.; WALTER, M.; BONSEN, K. J. M. (1993): Elektrische Leitwertprofile im Holzkörper mitteleuropäischer Baumarten, bestimmt mit dem Vitamat. In: Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 68, Nr. 2, S. 63-144. [4] CHIU, C.-H.; WANG, S.-Y.; LIN, C.-J.; YANG, T.-H.; JANE, M.-C. (2006): Application of the fractometer for crushing strength: juvenile/mature wood demarcation in Taiwan (Taiwania cryptomerioides). In: Journal of Wood Science 52, S. 914. [5] DENGLER, R.: Praxishinweise zur Anwendung von Impulshammer, Resistograph, Fractometer. Selbstverlag deritac, o.J. [6] DIMITRI, L. (1968): Ermittlung der Stammfäule von Fichten (*Picea abies* Karst.) durch Bohrspaltenentnahme. In: Forstarchiv 39, S. 221-224. [7] DUJESIEFEN, D.; PEYLO, A.; LIESE, W. (1991): Einfluss der Verletzungszeit auf die Wundreaktionen verschiedener Laubbäume und der Fichte. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt 110, S. 371-380. [8] ECKSTEIN, D.; SASS, U. (1994): Bohrwiderstandsmessungen an Laubbäumen und ihre holzanatomische Interpretation. In: Holz als Roh- und Werkstoff 52, S. 279-286. [9] Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FL) (2004): Richtlinie zur Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen - Baumkontrollrichtlinie, 44 S., Bonn. [10] GRUBER, F. (2000): Messergebnisse zur Identifizierung von Buchenfarbkernen (*Fagus sylvatica* L.) mit den Bohrmessgeräten Teredo und Resistograph 1410 sowie dem Impulshammer-Schallmesssystem. In: Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung 171, S. 117-123. [11] GRUBER, F. (2001): Vergleich der Diagnosegeräte Teredo, Resistograph und Impulshammer Schallmesssystem. In: AFZ-DerWald 6, S. 280-283. [12] JASKULA, P.; BLATT, A. (2001): Vergleich der Wundreaktionen an Bohrlöchern vom Resistographen, Teredo-Prüfnadelmesssystem und Zuwachsbohrer. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.): Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege. Thalacker, S. 191-194. [13] KERSTEN, W. (2001): Infektionsgefahr durch den Einsatz invasiver Diagnosegeräte am lebenden Baum. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.); Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege. Thalacker, S. 195-202. [14] KUCERA, L. J.; NIEMZ, P. (1998): Fäule in Bäumen erkennen. In: Wald und Holz 2, S. 27-30. KUCERA, L. J. (1986): Kernspintographie und elektrische Widerstandsmessung als Diagnosemethode der Vitalität erkrankter Bäume. In: Schweiz Z Forstwes 137, S. 673-690. [15] LESNINO, G.; GLOS, P. (1994): Zu: Das Fractometer. In: AFZ 8, S. 417-418. [16] LIN, C.-J.; WANG, S.-Y.; YANG, T.-H.; TSAI, M.-J. (2006): Compressive strength of young Taiwanian (*Taiwania cryptomerioides*) trees grown with different thinning and pruning treatments. In: J Wood Sci 52, S. 337-341. [17] MATHENY, N. P.; CLARK, J. R.; ATTEWELL, D.; HILLERY, K.; GRAMHAM, A. W.; POSNER, G. (1999): Assessment of fracture moment and fracture angle in 25 tree species in the United States using the Fractometer. In: Journal of Arboriculture 25, Nr. 1. [18] MATTHECK, C. (2002): Mechanik am Baum. Forschungszentrum Karlsruhe. [19] MATTHECK, C.; BRELOER, H. (1993): Reihe Ökologie. Bd. 4: Handbuch der Schadenskunde von Bäumen. Rombach Wissenschaften. [20] MATTHECK, C.G.; BETHGE, K.A. (1993): Detection of

- decay in trees with the Metriguard Stress Wave Timer. In: Journal of Arboriculture 19, Nr. 6, S. 374-378. [21] NICLOTTI, G.; MIGLIETTA, P. (1998): Using high technology instruments to assess defects in trees. In: Journal of Arboriculture 24, Nr. 6, S. 297-302. [22] NIEMZ, P.; BODMER, H.-C.; KUCERA, L. J.; RIDDER, H. W.; HABERMEHL, A.; WYSS, P.; ZÜRCHER, E.; HOLDENRIEDER, O. (1998): Eignung verschiedener Diagnosemethoden zur Erkennung von Stammfäule bei Fichte. In: Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen 149, S. 615-630. [23] POPPER, KARL R. (1984): Objektive Erkenntnis. Ein evolutionärer Entwurf. Hoffmann und Campe. [24] RING (1951): Feststellung von Holzfäulen. In: Holzzentralblatt 47, S. 544. [25] RINN, F. (1994): Catalog of relative density profiles of trees, poles, and timber derived from Resistograph micro-drillings. In: 9th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, S. 61-67. [26] RINN, F. (2004): Statische Hinweise im Schall-Tomogramm von Bäumen. In: Stadt+Grün 7, S. 41-45. [27] RINN, F.; SCHWEINGRUBER, F.-H.; SCHÄR, E. (1996): RESISTOGRAPH and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species. In: Holzforschung 50, Nr. 4, S. 303-311. [28] RUST, S.; WEHS, U. (2007): Geräte und Verfahren zur eingehenden Baumuntersuchung. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.); Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege. Thalacker. [29] RUST, S.; WEHS, U. (2007): Die elektrische Widerstandstomographie. In: AFZ-DerWald, Heft 8. [30] SACHSSE, H.; FERCHLAND, R. (1988): Abnorme Kerne bei Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). In: Holz als Roh- und Werkstoff 46, S. 426. [31] SCHUMACHER, J.; ROLOFF, A. (2000): Evaluierung und Vergleich unterschiedlicher Diagnoseverfahren zur Ermittlung von Holzfäulen in lebenden Schwarzerlen (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). In: Forst und Holz 55, Nr. 23, S. 739-743. [32] SCHWARZE, F. W. M. R. (1995): Entwicklung und biomechanische Auswirkungen von holzersetzenden Pilzen in lebenden Bäumen und in vitro, Universität Freiburg, Diss. [33] SINN, G.; WESSOLLY, L. (1988): Zur sachgerechten Beurteilung der Stand- und Bruchstabilität von Bäumen. In: Neue Landschaft 33. [34] SMILEY, E. T.; FRAEDRICH, B. R. (1992): Determining strength loss from decay. In: Journal of Arboriculture 18, Nr. 4, S. 201-204. [35] TESARI, I.; BETHGE, K.; KAPPEL, R.; LEDERMANN, M.; WEBER, K.; GÖTZ, K.; MATTHECK, C. (2001): Die Biomechanik der offenen Morschung: Versagenskriterium und visuelle Beurteilung. In: Messen und Beurteilen am Baum. [36] WAGENER, W. W. (1963): Judging hazards from native trees in California recreational areas/USDA Forest Service. (PSW-P1). research paper. [37] WEHS, U.; DUBBEL, V.; KRUMMHEUER, F.; JUST, A. (1999): Die elektrische Widerstandstomographie. In: Forst und Holz 54, S. 166-170. [38] WEHS, U.; BIEKER, D.; RUST, S. (2007): Zerstörungsfreie Baumdiagnose mittels Elektrischer Widerstandstomographie. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.); Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege. [39] WENZEL, J.-M. (1999): Bohrwiderstandsverfahren zur Unterstützung der Baumdiagnose. In: Neue Landschaft, S. 37-43. [40] WENZEL, J.-M. (1999): Neues Gerät für das Bohrwiderstandsverfahren. In: AFZ-DerWald, S. 256-258. [41] WENZEL, R.; BUES, C.T. (1997): Das Fractometer II - ein Taschenprüfgerät für Holzforscher und Förster? In: Dujesiefken, D. (Hrsg.); Kockerbeck, P. (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 1997, S. 217-219. [42] WESSOLLY, L. (1989): Zwei neue zerstörungsfreie Messverfahren. 34, S. 587-591. [43] WILCOX, W. W. (1978): Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength. In: Wood and Fibre 9, Nr. 4, S. 252-257