

Messtechnik zur Baumuntersuchung?

Diplom-Physiker Frank Rinn, Heidelberg

Die technische Entwicklung bringt in immer kürzeren Zeitabständen neue Messverfahren und Geräte auf den Markt, die auch im Rahmen von Sachverständigengutachten Anwendung finden. Vielfalt, Unterschiedlichkeit und zeitlicher Wandel der verfügbaren Techniken und ihrer Eigenschaften machen es nicht nur technischen Laien mitunter schwer, die für eine konkrete Aufgabenstellung im Gutachten geeignete Messtechnik bzw. das beste Verfahren auszuwählen. Nachfolgend werden unter weitgehendem Verzicht auf Formeln wichtige grundlegende Fragen aufgeführt, mit deren Hilfe Sachverständige die Anwendbarkeit und Verlässlichkeit von Berechnungs- und Messverfahren sowie von Messgeräten für ihre Gutachten näher ergründen können und sollten - insbesondere dann, wenn es noch keine diesbezüglichen Normen oder Regelwerke gibt, wie beispielsweise zur technischen Überprüfung der Verkehrssicherheit von Bäumen.

Pflichten von Sachverständigen

Zimmermann beschreibt die vielfältigen Pflichten von Sachverständigen (Zimmermann 2006), die nachfolgend durch entsprechende Zitate auch international verständlich nachvollziehbar werden. Sachverständige haben die Pflicht zur Beachtung des aktuellen Stands von Wissenschaft und Technik (§8 III 1 MSVI DIHT) und die Pflicht zur nachvollziehbaren Begründung gefundener Ergebnisse (§8 III 2 MSVI DIHT): "Bei wissenschaftlichem Meinungsstreit zu bestimmten Fachfragen muss sich der Sachverständige nicht unbedingt einer herrschenden Meinung anschließen. ... Schlussfolgerungen hat der Sachverständige in seinem Gutachten so klar und verständlich darzulegen, dass sie auch für einen Nichtfachmann lückenlos nachvollziehbar und plausibel sind. ... In der Rechtsprechung wird ganz allgemein die Begründung von Aussagen in Sachverständigengutachten gefordert, wobei Verstöße dagegen zur Unwertbarkeit des Gutachtens führen (wertloses Gutachten). ... Nach der Rechtsprechung müssen Sachverständigengutachten nachprüfbar und vor allem nachvollziehbar sein. Bei dieser Nachvollziehbarkeit eines Gutachtens handelt es sich um eine Qualität, die es dem privaten Auftraggeber und einem Dritten, dem er das Gutachten zur Verfügung stellt, oder einem Gericht oder einer Behörde ermöglicht, eingehend zu prüfen, ob das Gutachten überzeugt."

Zu den "besonderen Pflichten" der Sachverständigen gehört nach Zimmermann u.a. die Kenntnis und Beachtung der geltenden Normen und Regelwerke. Aus der rasanten auch messtechnischen Entwicklung einerseits und den Pflichten der Sachverständigen andererseits ergibt sich damit die Notwendigkeit zur Ausbildung einer eigenen Urteilsfähigkeit bezüglich des Einsatzes von Messtechnik für Gutachten - insbesondere solange keine spezifischen Regelwerke vorliegen, die das Vorgehen bei entsprechenden Messung beschreiben. Dies gilt natürlich nicht nur für den Bereich der Kontrolle der Verkehrssicherheit von Straßen- und Park-Bäumen. Die DIN 1319 ("Grundlagen der Messtechnik")

beschreibt denn auch hierzu ganz allgemeine Grundlagen, die nachfolgend ausschnittsweise erläutert werden.

Normen und Regelwerke

Die Normung eines verfahrens- oder messtechnischen Vorgangs, beispielsweise die Erfassung der Stabilität eines Baumes zur Beurteilung seiner Verkehrssicherheit, kann wegen der Komplexität der Fragestellung oder auch durch andere Gründe sich über Jahre hinziehen. Mangels entsprechender Vorgaben sind Sachverständige in der Zwischenzeit gezwungen, die im jeweiligen Fall anzuwendende Messmethode eigenständig auszuwählen und diese Auswahl später ggf. auch vor Gericht zu rechtfertigen. Diese Auswahl hat mitunter aus einer schier unübersehbaren Vielzahl unterschiedlicher und oftmals kaum vergleichbarer Angebote an Verfahren und Geräten zu erfolgen. Auch dann, wenn ein Sachverständiger nicht selbst ein spezielles Verfahren oder Messgerät anwendet oder anwenden lässt, kann es dazu kommen, dass er in seinem Gutachten eine dementsprechende Empfehlung abzugeben hat oder eine messtechnische Anwendung anderer zu beurteilen hat.

Eine wachsende Notwendigkeit für den Einsatz technischer Mittel ergibt sich einerseits aus dem (verständlichen) Verlangen der Gerichte und Versicherungen nach objektiven Beurteilungen - insbesondere dann, wenn verschiedene Sachverständige zum gleichen Sachverhalt unterschiedliche subjektive Einschätzungen abgeben. Ein zumindest vermeintlich eindeutiger messtechnischer Beweis wirkt da auf den ersten Blick unverfänglicher und sicherer, als sich aufgrund eines subjektiven Eindrucks auf die Meinung eines Sachverständigen zu verlassen.

Andererseits ist auch der Wunsch von Sachverständigen, ihre eigene Einschätzung auf nachweisbaren Belegen aufzubauen, nachvollziehbar, denn dies erleichtert meist die Argumentation und steigert die Akzeptanz des Gutachtens. Es gibt also eine mit unserer beschleunigten Technisierung

steigende Anzahl von Gründen für Sachverständige, sich mit den Grundlagen zur Bewertung der Tauglichkeit und Zuverlässigkeit von Messtechnik befassen.

Physikalisch-technische Grundlagen nach DIN 1319

Auch wenn die DIN 1319 eine deutsche Norm ist, so sind ihre wissenschaftlich-technischen Inhalte von universeller Gültigkeit, wenngleich Abweichungen zwischen verschiedenen Ländern in den genauen Bedeutungsdefinitionen einzelner Begriffe auftreten können. „In dieser Norm sind allgemeine Grundbegriffe der Metrologie (...) definiert und beschrieben. Die in der Norm enthaltenen Begriffe gelten unabhängig von der zu messenden Größe für alle Bereiche der Messtechnik.“ Einige Begriffe der DIN 1319 sind von besonderer Bedeutung für die sachverständige Auswahl eventuell geeigneter Messverfahren und Geräte und werden nachfolgend vertiefend erläutert.

Kernfragen aus der DIN 1319

Da sich nicht alle Technik anwendenden Sachverständigen intensiv und detailliert mit der DIN 1319 befassen wollen oder können, folgen hier die diesbezüglich wichtigsten Sätze der DIN 1319:

1. "Vollständiges Messergebnis = Messergebnis mit quantitativen Angaben zur Genauigkeit." [d.h. mit Angaben zu Fehlerschwankungen]
2. "Anzugeben ist immer das vollständige Messergebnis der Auswertung, d.h. für jede einzelne Ergebnisgröße Y_i , das Messergebnis y_i und die Standardmessunsicherheit $u(y_i)$."
3. "Es ist klarzustellen, auf welche Weise sich das vollständige Messergebnis aus ihnen (einzelne Messergebnisse und Messunsicherheiten) ergibt."

Ein Verfahren oder Messgerät, welches diesen drei Bedingungen nicht genügt, darf grundsätzlich keine Akzeptanz bei Sachverständigen finden, insbesondere bei sicherheitsrelevanten Fragestellungen wie der Beurteilung von Bäumen. Diese drei grundlegenden Voraussetzungen aus der DIN müssen ohnehin grundsätzlich von Verfahren und Messgeräten erfüllt sein, um den Anforderungen nicht nur des deutschen Sachverständigenrechts bezüglich der Nachvollziehbarkeit von Gutachten zu entsprechen (Zimmermann 2006). Sind die drei vorgenannten Bedingungen erfüllt, gibt es jedoch noch etliche weitere Fragen, die je nach Fall zu beantworten sind, insbesondere dann, wenn verschiedene Verfahren oder Messgeräte miteinander verglichen werden sollen.

Rettungsanker

Wenn Sachverständige sich nicht selbst in der Lage sehen, die Einhaltung der obigen Bedingungen der DIN 1319 durch ein konkretes Verfahren oder Messgerät zu beurteilen, hilft ein Blick in die weltweiten Standards wissenschaftlicher Arbeit.

Neue Verfahren und Ergebnisse sind vor ihrer allgemeinen Anerkennung von möglichst mehreren unabhängigen und neutralen Institutionen zu überprüfen. Hierüber sollte am besten in Fachzeitschriften veröffentlicht werden, deren Beiträge vor dem Abdruck wiederum zu neutralen Gutachtern geschickt werden ('Peer Review Journal'). Wenn diese Bedingungen erfüllt sind und Ergebnisse bzw. Verfahren von verschiedenen unabhängigen Institutionen verifiziert (als korrekt bestätigt) wurden, kann man sich meist mit relativ hoher Sicherheit darauf verlassen, dass die Ergebnisse im angegebenen Rahmen korrekt und verlässlich sind. Eine der zentralen Voraussetzungen für eine neutrale Überprüfung von Verfahren oder Ergebnissen ist natürlich die vorherige Erfüllung der vorgenannten Bedingungen der DIN 1319 - denn sollten diese drei o.g. Grundbedingungen nicht erfüllt sein, sind Nachprüfung und Bestätigung sowie sachverständige Anerkennung ohnehin unmöglich. Wenn also Veröffentlichungen in qualitativ hochwertigen Fachzeitschriften (Peer Review Journal) die fragliche Tauglichkeit neutral nachgewiesen haben und nachvollziehbar beschreiben, ist dies meist eine relativ verlässliche Grundlage. Letztlich obliegt es jedoch noch immer den Sachverständigen selbst, ihre gutachterliche Entscheidung für oder gegen ein bestimmtes Verfahren oder Messgerät nicht nur vor Gericht nachvollziehbar zu begründen, sondern auch vor Versicherungen und privaten Auftraggebern - was wiederum ein entsprechendes Mindestmaß an grundlegenden Kenntnissen und spezifischem Verständnis voraussetzt - sodaß der alleinige Verweis auf Fachveröffentlichungen nicht unbedingt ausreichend sein wird. So gut und plausibel die Ergebnisse eines Verfahrens oder Messgerätes auch erscheinen mögen - solange sie noch von keiner neutralen unabhängigen Institution verifiziert wurden und darüber in Fach-Zeitschriften zu lesen ist, ist Skepsis angezeigt; insbesondere dann, wenn das Verfahren zur Klärung sicherheitsrelevanter Fragen angewendet wird.

Wichtiger Unterschied

Grundsätzlich gilt zu beachten, ob es um die Beurteilung eines Messgerätes und seiner Ergebnisse geht oder um eine Auswertung und Schlussfolgerung. Bei Messgeräten ist es meist noch relativ einfach zu prüfen, ob die obigen Bedingungen der DIN 1319 eingehalten werden. Bei rechneri-

schen Auswertungsverfahren, die möglicherweise sogar noch verschiedene Messgrößen aus unterschiedlichen Messungen kombinieren, wird es schwieriger. Je komplizierter und länger der Weg von den einzelnen Messwerten zum Endergebnis, umso höher sind einerseits die einzuhaltenden Anforderungen und umso aufwändiger ist andererseits die Überprüfung. Wenn zum Beispiel aus einem statischen Zugversuch am Baum auf die Bruchsicherheit im Sturm geschlossen wird, dann sind unterwegs viele einzelne Verfahrensschritte zu gehen und dementsprechend zu überprüfen - was wiederum nur dann möglich ist, wenn alle einzelnen Schritte nachvollziehbar dokumentiert sind. Bei solch komplexen Vorgängen und Auswertungen ist nicht nur die Fehlerfortpflanzung zu beachten, sondern auch die Frage der Zulässigkeit einzelner Vorgehensweisen überhaupt. Eine diesbezügliche Überprüfung kann auch für Sachverständige schnell zu komplex und schwierig werden. Bevor eine Anerkennung für ein Verfahren ausgesprochen werden kann, die Anwendung ausgeführt oder empfohlen wird, sind also neutrale unabhängige Tauglichkeitsnachweise und nachvollziehbare Fachveröffentlichungen einzufordern.

Von 'relativ' zu 'absolut'

Messungen sind zunächst in der Regel relativ, d.h. eine Größe oder Eigenschaft (z.B. Umfang eines Baumes) wird mit einem Maßstab (Maßband) verglichen. Elektronische Bohrwiderstandsmeßgeräte, z.B., messen den Stromverbrauch des Motors, der eine dünne Bohrnadel in das Holz dreht, und zeichnen diesen Wert in einer Kurve über der Bohrtiefe auf. Die Skalierung dieser 1986 bis 1989 entwickelten Methode ist dabei zunächst relativ, d.h., sie kann zwischen beliebigen Werten schwanken (Rinn 1988, 1989). Solange die Auswertung der Profile einzig auf relativen Veränderungen im einzelnen Kurvenverlauf basiert (z.B. hoher Bohrwiderstand = Holz vorhanden, kein Bohrwiderstand = starke Fäule oder Hohlraum), sind die zu erfüllenden Bedingungen noch relativ einfach: die Zuordnung zum Holzzustand muss stimmen und die Wiederholbarkeit gegeben sein.

Wenn jedoch behauptet würde, der aufgezeichnete Wert des Bohrwiderstands stehe einerseits in einer festen Beziehung zu einer bestimmten Eigenschaft des Holzes oder lasse andererseits konkrete Schlüsse beispielsweise über dessen Stabilität zu, sind weitere Bedingungen zu erfüllen. Dann muss u.a. eine Fehlerangabe erfolgen. Für trockenes Bauholz fanden Görlacher und Hättich bei Untersuchungen im Jahre 1988 und 1989 mit den ersten Serienbohrgeräten eine Korrelation zwischen Bohrwiderstand und Dichte von $r=0,923$ (Görlacher und Hättich 1990). Dies bedeutet, dass ca. 85% ($\sim r^2$) der Schwankungen der Holzdicke aus Bohr-

widerstandswerten erklärt werden konnten. Ähnliche Ergebnisse brachten Messungen an Spanplatten (Winnistorfer and Wimmer 1995).

Bei feuchtem Holz sinkt diese Korrelation jedoch, die Ungenauigkeit der Dichteangabe aus Bohrwiderstandsmessungen steigt dementsprechend (Eckstein und Sass 1994). Entsprechend höher sind die Fehlerschwankungen. Wenn die Y-Achse des Bohrwiderstandsprofils als absolute Dichte (in kg/m^3) angegeben wird, gehört eine entsprechende Korrelations- bzw. Fehlerangabe dazu oder zumindest der Hinweis auf eine entsprechende Quellenangabe.

Das digitale Foto einer Baumkrone erlaubt im PC schnell die Bestimmung der Kronenfläche - zunächst in relativen Einheiten (z.B. Bildpunkte=Pixel). Werden 10 Bäume aus gleichem Abstand, gleicher Richtung und im gleichen Winkel fotografiert, können die 10 Bilder und Kronenflächen einfach miteinander verglichen und in ein Verhältnis zueinander gesetzt werden. Bei allen diesen Messvorgängen herrschten die gleichen Bedingungen und typischen Fehlerschwankungen. Aus diesem relativen Vergleich können nun ohne weiteres Schlüsse gezogen werden. Wenn beispielsweise alle Bäume gleicher Art und Belaubungsstruktur sowie gleichen Alters sind, kann aus der Größe und Geometrie der Kronen auf unterschiedliche Windlasten geschlossen werden. Wird ein einzelner Baum über Jahre hinweg aus gleicher Entfernung und gleichem Winkel fotografiert, können auch aus einem relativen Vergleich der Abfolge dieser Bilder Schlüsse gezogen werden - ohne eine umfangreiche Fehlerrechnung angeben zu müssen, denn bei allen Messungen herrschten die gleichen Bedingungen und es erfolgen nur relative Vergleiche von Messergebnissen, die auf gleichem Wege entstanden.

Kalibration

Sobald die Kronenfläche eines Baumes jedoch in absoluten Flächeneinheiten, z.B. Quadratmeter, angegeben wird, ist die Angabe einer individuellen Fehlerschwankung gemäß DIN 1319 unabdingbar. Insbesondere dann, wenn hieraus konkrete Windlasten errechnet und Schlüsse über die Stand- und Bruchsicherheit gezogen werden.

Grundsätzlich ist also festzuhalten: sobald eine zunächst relative Messgröße in eine 'absolute' (z.B. Länge/Meter, Zeit/Sekunde, Fläche/ m^2 , Kraft/Newton) umgerechnet wird, steigen die Anforderungen an die Angaben von Genauigkeiten. Dann muss gemäß DIN 1319 klar beschrieben werden, wie die Umrechnung erfolgt und wie genau sie ist. Der Vorgang des Vergleiches einer relativen Messgröße an einem Referenzmaß (z.B. am sogenannten Urmeter in Paris) wird üblicherweise als 'Eichung' oder auch 'Kalibration' beschrie-

ben. Auch hierfür gibt es detaillierte Vorschriften und Normen. Liefert ein Gerät absolute Ergebnisse, kann nach einiger Zeit eine erneute Eichung erforderlich werden. Dies ist üblich beispielweise bei Waagen, wo das Gewicht heute meist auf elektronischem Wege erfasst wird.

Wenn ein Messgerät oder nachgeordnetes Berechnungsverfahren beispielsweise Steifigkeit (E-Modul) oder Festigkeit eines Holzes oder gar Baumes (als absolute Größe) ausgibt, ist also stets auch die Frage nach einer Kalibrationsvorschrift zu stellen, d.h. wie die angegebene Genauigkeit dauerhaft gewährleistet wird. Schließlich ist zu klären, wann (nach wie vielen Messungen oder nach welcher Zeit), wie (auf welche Weise) und durch wen eine Re-Kalibration zu erfolgen hat. Außerdem ist zu prüfen, ob die dazu erforderlichen Angaben dem Anwender zur Verfügung stehen und ob ein Nachweis der erfolgreichen Kalibration vorgelegt wird.

Wenn auf einem Maßband, was natürlich üblicherweise der Fall ist, Abstände in Zentimeter aufgedruckt sind, wird die Umfangsmessung also zur absoluten Messung. Ihre Genauigkeit hängt nun einerseits davon ab, wie gut und gewissenhaft die Messung ausgeführt und wie genau der betreffende Wert abgelesen wurde. Andererseits ist es entscheidend, wie genau der Aufdruck auf dem Maßband ist und wie gut er dem Referenzmaß entspricht. Beides kann stark variieren, sich je nach Fall gegenseitig verstärken oder ausgleichen.

Sobald mehrere Fehlerquellen sich summieren können, sind die Regeln der Fehlerfortpflanzung zu beachten. Bei einfachen Werten wie dem Umfang von Bäumen wird üblicherweise auf die Angabe von Genauigkeiten verzichtet. Gleichwohl bekommen die Abweichungen eine Bedeutung, wenn aus dem Umfang später andere Größen errechnet werden, wie beispielsweise das Höhe-zu-Durchmesser-Verhältnis eines Baumes. Überschreitet dieses Verhältnis einen gewissen Wert (z.B. 50 für Solitär bäume), steigt nach Ansicht vieler Wissenschaftler die Wahrscheinlichkeit für einen Windbruch des Stammes (Mattheck et. al. 2001).

Fehlerfortpflanzung und Zahlendarstellung

Messen 10 Personen den Brusthöhenumfang eines nicht runden Baumes am Hang, schwankt das Ergebnis oft um durchschnittlich $\pm 5\%$, bei der Baumhöhe eher um $\pm 10\%$. Wird aus diesen beiden Größen das h/d-Verhältnis errechnet, summieren sich die relativen Fehler. Die allgemeine Formel der Fehlerfortpflanzung lautet:

$$\Delta G = \sqrt{\left(\frac{\partial G}{\partial x} \cdot \Delta x\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial G}{\partial z} \cdot \Delta z\right)^2}$$

wobei G die Zielgröße (hier z.B. h/d) und x bis z die in die Zielgröße eingehenden Einzelgrößen sind. $\partial G/\partial x$ ist die erste Ableitung von G nach x. Für das h/d-Verhältnis ergibt sich also allgemein:

$$\Delta G = \sqrt{\left(\frac{\partial G}{\partial h} \cdot \Delta h\right)^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial d} \cdot \Delta d\right)^2}$$

In sogenannter erster Näherung wird für einfache Fälle wie $G=h/d$ angesetzt:

$$\Delta(h/d) \approx \Delta(h) + \Delta(d) = \pm 15\%$$

Das Gauss'sche Gesetz zur Fehlerfortpflanzung ist unabdingbar, um die Verlässlichkeit von Verfahren und Geräten zu erfassen. Besonders bei komplexen Verfahren, die verschiedene Messwerte kombinieren oder gar Regressionen und Korrelationen verwenden.

Das Biegemoment B am Stammfuß eines Baumes bei einer mittleren Windgeschwindigkeit v, beispielsweise, kann in grober Vereinfachung nach folgender Formel abgeschätzt werden:

$$B = c_w \cdot A \cdot l \cdot v^2 \cdot k$$

Dabei bezeichnet c_w den Windwiderstandsbeiwert, A die Kronenfläche, l die Länge des Hebelarms und k einen Faktor, der weitere Kenngrößen zusammenfasst, u.a. die Dichte der Luft. Hieraus ergibt sich:

$$\Delta B = \Delta c_w + \Delta A + \Delta l + 2 \cdot \Delta v + \Delta k$$

Keine der hier einfließenden und vor Ort am Baum zu messenden Größen ist bislang mit weniger als $\pm 10\%$ Genauigkeit zu ermitteln, manche haben eher 30 bis 50% Schwankungsbreite (Rinn 1993, 1994). Hinzukommt, dass dies nur eine statische Betrachtung für konstanten Wind aus einer Richtung ist, die keine dynamischen oder tordierenden Wirkungen berücksichtigt.

Demzufolge kann das Ergebnis grundsätzlich kaum eine Genauigkeit aufweisen, die besser als ± 50 bis 100% ist, eher schlechter. Wird ein derart ungenau zu bestimmendes Biegemoment in Relation zur vorgegebenen Biegefestigkeit des Stammes gesetzt, summieren sich die Fehler weiter auf. Wer behauptet, es genauer zu können, muss entsprechend nachprüfbar Daten vorlegen, d.h. u.a. Korrelationen zwischen gemessenen Windlasten, Biegesteifigkeiten und Bruchfestigkeiten. Sonst bleibt die Behauptung unglaubwürdig und wertlos und kann vor allem keine Grundlage für verantwortungsbewusste sachverständige Aussagen im Rahmen von Gutachten über Bäume sein (Rinn 2006).

Eine vergleichende Betrachtung der Beiträge einzelner Einflussgrößen auf das Gesamtergebnis einer Messung oder

Analyse hilft dabei, die notwendige Sorgfalt und den Aufwand besser zu optimieren. Unbestimmte holzanatomische Verhältnisse führen bei Schalltomogrammen, beispielsweise, zu Ungenauigkeiten in der Größenordnung von 10 bis 30% (Rinn 2004a). Daher ist es sinnlos, die Position der Sensoren auf Millimeter genau zu vermessen, denn die Gesamtgenauigkeit des Systems wird dadurch nicht wesentlich verbessert. Eine millimetergenaue Angabe der Sensorpositionen, die Angabe der Kronenfläche eines Baumes in Quadratdezimeter oder eine Millimeterangabe der Restwandstärke aus einer Bohrwiderstandsmessung - derartige Angaben täuschen eine in Wirklichkeit nicht gegebene Genauigkeit vor.

Indirekt und direkt

Kann eine interessierende Größe nicht direkt gemessen werden, wird oft der Weg über eine indirekte Messung beschritten. Die Biegebruchfestigkeit von Holz kann beispielsweise nur gemessen werden, wenn man das betreffende Holz (oder den interessierenden Baum) bis zum Bruch biegt, was sich für die üblichen Baumgutachten von selbst verbietet.

In der Holzsortierung ist dieses Problem bestens bekannt. Dort wird seit Jahrzehnten mit Millionenaufwand an Methoden gearbeitet, um aus zerstörungsfrei am Holzbrett oder -balken ermittelbaren Eigenschaften auf die Biegebruchfestigkeit zu schließen und daraus beispielsweise eine Güteklassensortierung vorzunehmen (Samson und Hailey 1989). Für diese Schlussfolgerung werden sogenannte Regressionen gerechnet, deren Güte und Genauigkeit sich im Regressionskoeffizienten ausdrücken. Bei fehlerfreiem, quasi idealem Holz (ohne Äste, Fäule und Faserabweichungen) hat sich gezeigt, dass man aus der Steifigkeit (E-Modul) mit relativ hoher Zuverlässigkeit auf die zu erwartende Biegebruchfestigkeit kleiner Prüfkörper schließen kann. Die besten Sortiermaschinen erreichen an dünnen Latten Korrelationskoeffizienten von bis zu ca. 0,7 (Glos 1986; Denzler et. al. 2005). Dies bedeutet, dass ca. 70% der Schwankungen der Biegefestigkeit aus den gemessenen E-Moduli erklärt werden können.

Steigen die Abmessungen der Hölzer (dickere Latten, Bretter oder Balken), sinkt die Korrelation deutlich, u.a. weil es keinen durchweg geraden Faserverlauf mehr gibt und damit die Inhomogenitäten zunehmen. Der Biegebruch von Balken beginnt oft an Ästen, weil dies Extremstellen der Faserabweichungen sind. Sind Äste im Holz vorhanden, sinkt die Korrelationsgüte zwischen E-Modul und Biegefestigkeit drastisch, oftmals deutlich unter 0,5. Dies bedeutet, dass weniger als 50% der Schwankungen der Biegefestigkeit durch die gemessene Größe erklärt werden können.

Ist sogar noch Fäule im Holz vorhanden, verschwindet der Korrelationskoeffizient mitunter ganz: bei Braunfäule im frühen Stadium, beispielsweise, können bei nur 10% Verlust an Dichte- und E-Modul schon 90% Biegefestigkeit verloren sein (Wilcox 1977). Da kann von keiner Korrelation der beiden Größen mehr gesprochen werden. Entsprechend hoch sind die relativen Fehler (bis weit über $\pm 100\%$), wenn man aus der am alten und fäulebesetzten Straßenbaum gemessenen Steifigkeit seine Bruchfestigkeit errechnen will.

Eingehende technische Gutachten über die Bruchsicherheit von Bäumen werden in der Realität nicht an ast-, fäule- und fehlerfreien Bäumen, sondern in der Regel an Altbäumen mit meist unbekannter innerer Geometrie und weitgehend unbekanntem Holzzustand, mit oftmals verschiedenen Fäulen und sonstigen Schäden ausgeführt. Die Korrelation zwischen der am Stamm im statischen Zugversuch in eine Richtung gemessenen Biegesteifigkeit (E-Modul) und der letztlich im Sturm relevanten dynamischen Biegebruchfestigkeit wird daher nicht besser sein, als bei idealisierten Laborverhältnissen an kleinen definierten homogenen Probekörpern. Das Ergebnis (Biegebruchfestigkeit aus Zugversuch) kann also kaum genauer sein als $\pm 100\%$, eher noch weit ungenauer - zumal Bäume auch in der Stadt eher im dynamischen Fall der Kombination von Schwingung, Biegung und Torsion brechen (und nicht wie im einfachen, statischen Zugversuch aus einer Richtung).

Wird die entsprechend ungenau und nur indirekt abschätzbare Biegebruchfestigkeit eines Baumstammes in Relation zu dem aus der Windlast errechneten Windbiegemoment gesetzt (siehe oben) und daraus eine sogenannte Bruchsicherheit errechnet, summieren sich die relativen Fehler auf weit über $\pm 200\%$. Ein solches Ergebnis kann mangels Zuverlässigkeit durchaus als wertlos bezeichnet werden. Wer behauptet, solche 'Bruchsicherheiten' genauer bestimmen zu können, muss dies durch Vorlage entsprechend nachprüfbarer Daten (Korrelationen, Regressionen, Standardabweichungen) aus Biegeversuchen (jeweils bis zum Bruch des ganzen Baumes) beweisen. Dabei ist einerseits zu beachten, dass eine statistisch verlässliche Korrelation erst bei ausreichend hohen Stückzahlen (pro Baumart) erreicht wird und andererseits aus statischen Zugversuchen grundsätzlich keine verlässlichen Aussagen über die Realität der dynamischen kritischen Belastungen von Bäumen abgeleitet werden können (solange niemand das Gegenteil bewiesen hat).

Genauigkeit entspricht nicht der Auflösung

Dass die sogenannte Auflösung wenig mit der Genauigkeit zu tun hat, bemerkt jeder, der digitale Fotos oder einge-

scannte Bilder stark vergrößert. Die Bedeutung der oftmals hohen Werte der angeblichen 'Auflösung' der jeweiligen Produkte schwindet, vergleicht man zwei Scans der gleichen Vorlage im Detail. Die Auflösung bezeichnet in der Regel die kleinste Einheit, in der der Messwert angegeben wird (z.B. Größe oder Anzahl der Bildpunkte). Dies hat zunächst jedoch nichts mit der Genauigkeit zu tun.

Wenn ein XY-Tisch zum Scannen von Holzproben eine Auflösung von 10μ hat (=Schrittweite der Bewegung der Motorachsen), dann bedeutet dies nicht, dass der XY-Tisch jeden Punkt der Bearbeitungsfläche mit einer Genauigkeit von $\pm 10\mu$ erneut anfahren kann. Die Abweichungen beim erneuten Anfahren eines bestimmten Koordinatenpunktes entspricht der Genauigkeit und liegt oft deutlich über der Auflösung, z.B. bei $\pm 20\mu$. Sachverständige sollten sich also nicht von hohen Auflösungen täuschen lassen, sondern nach der Genauigkeit fragen.

Wer nun beispielsweise die Kronenfläche eines Baumes auf Quadratdezimeter oder gar Quadratzentimeter genau angibt, behauptet damit zunächst, wo die Auflösung seines Messverfahrens liegt - über die Genauigkeit sagt dies noch nichts aus (auch wenn dies durch eine solche Angabe suggeriert wird). Zur Erfassung der Genauigkeit müssten u.a. mehrere Vermessungen der gleichen Krone erfolgen und miteinander verglichen werden (mit nachgeordneter Fehlerrechnung - auch in Abhängigkeit von den Umfeldbedingungen, z.B. wie Wind und Niederschlag). Dabei kommen dann schnell realistischere Werte mit Schwankungen von $\pm 10\%$ zustande, was eher im Bereich von Quadratmeter als Quadratzentimeter liegt. Und diese unvermeidbaren relativen Fehlerabweichungen sind bei weiterer Verwendung des Wertes zu berücksichtigen, zum Beispiel bei Berechnungen der Windlast.

Eine zentrale Frage an Messgeräte ist also die Wiederholgenauigkeit oder 'Reproduzierbarkeit': wie stark weichen die einzelnen Messergebnisse voneinander ab, wenn der gleiche Messvorgang mehrmals ausgeführt wird?

Für die Angabe von Messergebnissen gibt es wiederum konkrete Vorschriften, die einerseits die Bedeutung der Auflösung unterstreichen (Anzahl der Nachkommastellen) und andererseits die Genauigkeit der Werte verdeutlichen (relative Fehlerschwankung).

Die Angabe "Kronenfläche $A=54,739\text{m}^2$ " ist in diesem Sinne nicht nur wissenschaftlich sinnlos und falsch, sondern auch irreführend. Wenn wir von $\pm 10\%$ Schwankungsbreite ausgehen, wäre $A \approx 55 \pm 10\%$ die korrektere (und ehrlichere) Version, da alle Nachkommastellen in der Ungenauigkeit untergehen. Insofern sollte sich also niemand von vielen Nachkommastellen und vorgeblicher Präzision blenden las-

sen, sondern die echten verlässlichen Fakten einfordern und im Bedarfsfalle das entsprechende Verfahren bzw. Gerät ablehnen.

Linear oder uneindeutig?

Auch wenn es trivial klingt, es ist durchaus nicht selbstverständlich, dass Messwerte linear skaliert angezeigt werden, also dass bei einem doppelten Messwert auch ein doppelt so hoher Wert angezeigt wird. Es kann beispielsweise bei Messgeräten mit federgetriebenen Aufzeichnungsmechanismen vorkommen, dass ein 50% höherer Anzeigewert einem nur 10% höheren Messwert entspricht. Bei federgetriebenen Aufzeichnungsmechanismen kann es außerdem zu Resonanzen kommen: wenn der Messwert zufälligerweise in der Resonanzfrequenz der Feder schwingt, kann der Anzeigewert viel stärker schwanken als der eigentlich zu messende Wert. Sogenannte Gegenfedern können solche Resonanzeffekte zwar einerseits dämpfen aber nicht vollends vermeiden. Andererseits verstärken Gegenfedern oft den Effekt, dass die betreffenden Messgeräte eine sogenannte Ansprechschwelle aufweisen - einen Mindestwert, unter dem nichts oder Null angezeigt wird, was ebenso dazu führt, dass die Messprofile keine eindeutige Interpretation ermöglichen, weil die angezeigten Werte keinem Messwert eindeutig zugewiesen werden können. Solcherart Probleme mit federgetriebenen Messgeräten beschleunigten in der Physik des letzten Jahrhunderts die Entwicklung elektrischer und später elektronischer, linear und ohne Resonanzeffekte zu betreibender Messgeräte.

Das 'Kamm-Voß'-Bohrgerät aus 1984 zeichnete den mechanischen Eindringwiderstand einer dünnen spitzen Nadel in Holz über ein zwischen Motor und Bohrnadel drehbar gelagertes und federgehaltenes Getriebe auf. Bei schwankendem Eindringwiderstand verdrehte sich das Getriebe gegen die Feder und bewegte zugleich einen Kratzstift über einen in die Maschine eingelegten, berührungsempfindlichen Wachspapierstreifen. Somit entstand während der Messung ein Profil auf Papier, welches den relativen Verlauf des Bohrwiderstands entlang der Messstrecke im gleichen Maßstab aufzeigte.

Die Interpretierbarkeit dieser Bohrwiderstandsprofile war jedoch sehr eingeschränkt und unzuverlässig - aufgrund der bei dieserart federgetriebener Aufzeichnung unvermeidlichen Nichtlinearitäten, Ansprechschwellen und Resonanzeffekte: Im Inneren von Nadelholzmasten konnten solche Bohrkurven nahezu beispielsweise auf Nullniveau verlaufen und das Vorliegen einer Fäule vortäuschen, obwohl das Holz vollkommen intakt ist. Dies liegt einerseits daran, dass breite Nadelholzjahrringe aufgrund des relativ

geringen Spätholzanteils meist ohnehin eine niedrige Dichte aufweisen. Andererseits kann dieser Täuschungseffekt noch verstärkt werden, wenn die Bohrnadel am Kern vorbei über eine längere Strecke hinweg im Frühholz eines breiten Jahrrings verläuft und der Bohrwiderstand unter der Ansprechschwelle des Aufzeichnungsmechanismus. Wenn die Breite der Jahrringe wiederum zu Resonanzschwingungen des federgetriebenen Aufzeichnungsmechanismus führte, waren dort vorhandene Insektenfraßschäden nicht erkennbar.

Daher gingen Kamm und Voß 1985 zu der schon elektrischen Bohrwiderstandsmessung über: der Stromverbrauch des Nadeldrehmotors wurde bei konstanter Spannungsversorgung elektrisch und linear aufgezeichnet (Kamm und Voß 1985). Diese elektrische Bohrwiderstandsmethode wurde anschließend zur elektronisch hochauflösenden und linearen Messung des Bohrwiderstands weiterentwickelt (Rinn 1988, 1989), um die im Spätholz von Eichenjahrringen enthaltene Klimainformation mit bis zu 100 Messwerten pro Millimeter zu extrahieren (Rinn 1990; Rinn et. al. 1990). Diese Bohrkurven korrelierten sodann sogar zu intra-annualen Dichteschwankungen aus Röntgenmessungen (Rinn 1994/96; Rinn et al. 1996).

Geräte mit systematischen und nicht reproduzierbaren Abweichungen des Anzeigewertes vom wirklichen Messwert, wie sie bei den federgetriebenen Aufzeichnungsmechanismen der ersten Bohrwiderstandsmessgeräte auftraten, sind kaum oder nur bedingt geeignet für Sachverständigengutachten, denn sie ermöglichen keine eindeutige und verlässliche Interpretation und Beurteilung der Messwerte.

Eindeutige Interpretation und Vergleichbarkeit?

Insbesondere bei bildgebenden Verfahren wie beispielsweise der Gebäude-Thermographie, dem Bodenradar oder auch der Schalltomographie ist zu beachten, dass die oftmals farbig kodierten Bilder von unserem Auge nicht unbedingt so interpretiert werden, wie es der zugrundeliegenden Mathematik entspricht.

So kann beispielsweise das gleiche Schalltomogramm durch die Wahl einer speziellen Farbpalette einen gänzlich anderen, negativeren oder positiveren Eindruck hinterlassen - weil unser menschliches Auge Farben nicht mathematisch linear wahrnimmt (Rinn 2003, 2005a).

Aus den Fragen nach Linearität und Wiederholgenauigkeit ergibt sich die Frage nach der Vergleichbarkeit verschiedener Messungen des gleichen Gerätes am gleichen oder anderen Objekt. Diese Vergleichbarkeit setzt eine hohe Wiederholgenauigkeit voraus, was bei federgetriebenen Aufzeichnungen, z.B., aufgrund der oben beschriebenen Umstände in der Regel grundsätzlich nicht gegeben ist. Die

Vergleichbarkeit hängt auch ab von sogenannten Drift- oder Hysterese-Charakteristiken des Messgerätes sowie von der Abhängigkeit von Zeit, Alter (des Messgerätes), Anwendungsintensität, Klima und Wetter, also auch Temperatur, Luftdruck und Feuchte.

Erfolgen zwei Bohrwiderstandsmessungen bei gleicher Nadeldrehzahl mit unterschiedlichen Vorschubgeschwindigkeiten, so sind ihre Ordinaten (y-Achsen) nicht mehr direkt miteinander vergleichbar, weil die physikalischen Vorgänge an der Nadelspitze sich unterscheiden. Der Weg, den die Nadelspitze pro Umdrehung durch das Holz zurücklegt, unterscheidet sich, sodaß die Spannerzeugung anders abläuft. Wenn Profile verschiedener Bohrwiderstandsgeräte oder auch Schalltomographen verglichen werden sollen, ist verständlich, dass zunächst zu klären ist, ob überhaupt die gleichen messtechnisch-physikalischen Verhältnisse herrschen. Dies kann jedoch auch bei gleichen Geräten erforderlich sein.

Eine Schalltomographie am selben Baum, beispielsweise, liefert aufgrund der Abhängigkeit von der Holzfeuchte und Temperatur an einem warmen Tag im Mai andere Werte als an einem sehr kalten Novembertag. Beschränkt sich die Interpretation auf relative Veränderungen innerhalb des Tomogramms, sind solche Schwankungen oft vernachlässigbar. Werden aber aus dem Tomogramm absolute Werte beispielsweise über die Holzgüte oder den inneren Zustand abgeleitet, sind die Werteschwankungen zwischen den unterschiedlichen Jahreszeiten zu beachten und diesbezügliche Fehler anzugeben. Ohne Fehlerangaben wären diesbezügliche Aussagen wertlos. Gleiches gilt für Bohrwiderstandsmessungen.

Ein Zugversuch mit Neigungsmessung zur Beurteilung der Standsicherheit liefert nach einer Woche Dauerregen gänzlich andere Werte als nach einem Monat Trockenheit, denn die gemessene Steifigkeit des Wurzel-Boden-Verbunds ist auch abhängig vom Wassergehalt. Solche Einflüsse sind demnach in Gutachten stets zu berücksichtigen und anzugeben, insbesondere wenn absolute Aussagen getroffen und darüberhinaus sogar noch sicherheitsrelevante Schlüsse gezogen werden sollen.

Eigenständigkeit versus Abhängigkeit

Schließlich hat ein Sachverständiger noch zu prüfen, ob ein Verfahren oder eine Auswertungsmethode am Markt frei verfügbar, vollständig dokumentiert und nachvollziehbar ist. Wenn Sachverständige die gemessenen Werte beispielsweise nicht eigenständig auswerten und bewerten können, sondern an eine zentrale Stelle zur Auswertung senden - müssen, stellt sich u.a. auch die Frage nach ihrer eigenen

Unabhängigkeit. Der Anwender wird in diesem Falle wohl auch kaum in der Lage sein, die Auswertung nachvollziehbar zu erläutern (wozu er nach Sachverständigenrecht gehalten ist) - es sei denn, die zentrale Auswertung erfolgt in einem genormten oder standardisierten und allgemein anerkannten Verfahren.

Insofern sollten zu einem Gerät oder Verfahren zumindest diejenigen Kenntnisse, die zur Beurteilung der Bedeutung der Ergebnisse notwendig sind, wenigstens dem sachverständigen Anwender zugänglich und bekannt sein. Dies bedeutet nicht zwangsläufig, dass der Sachverständige das Messverfahren in allen Details verstehen muss, wohl aber die beurteilungsrelevanten Teilaspekte insoweit, wie es auch erforderlich ist, diese nach außen nachvollziehbar zu erläutern.

Zusammenfassung und einige Schlussfolgerungen

Die Normung von Mess- und Prüfverfahren ist (aus meist guten Gründen) ein mitunter jahrelanger Prozess. Die stetig steigende Komplexität der Themen und Fragestellungen von Gutachten sowie die Schnelligkeit des technischen Wandels machen es für Sachverständige daher immer schwerer, die für konkrete Anwendungsfälle richtigen Verfahren oder Messgeräte auszusuchen und zu verstehen. Die DIN 1319 gibt hierfür grundlegende Hinweise, die jedoch insbesondere für nicht technisch versierte Fachleute der weiteren Erläuterung und Ergänzung bedürfen.

Hersteller von Messgeräten und deren Produkte sind zunächst daran zu messen, welchen Anspruch sie erfüllen wollen. Sobald 'absolute' Werte (z.B. Kilogramm, Meter, Newton) angegeben, über Zwischenschritte ermittelt bzw. ausgerechnet werden, steigen die Anforderungen an die Methoden und Geräte im Vergleich zu relativen Messungen stark an. Wer Nachkommastellen, also eine hohe Genauigkeit, vorgibt, muß deren Signifikanz mit einer Fehlerrechnung belegen.

Sobald ein Messgerät oder Verfahren (ggf. sogar eigenständig oder automatisch) Bewertungen der eigentlichen Messwerte vornimmt oder diese Messwerte (physikalischen) Eigenschaften des untersuchten Objektes (z.B. Dichte oder Festigkeit) zuordnet, dann sind zumindest die entsprechenden Bedingungen der DIN 1319 hinsichtlich Nachprüfbarkeit und Fehlerangaben zu erfüllen, bevor überhaupt eine Anerkennung und Anwendung erfolgen oder gar eine Empfehlung ausgesprochen werden darf. Noch höher sind die Anforderungen, wenn aus Messwerten ggf. sogar sicherheitsrelevante Schlussfolgerungen gezogen werden (z.B. "dieser Baum ist standsicher, wenn das Berechnungsergebnis über diesem Grenzwert liegt").

Ansonsten scheint stets eine grundlegende Skepsis nicht unangebracht, wenn vorgebliche präzise Geräte oder Verfahren angeboten werden, jedoch die neutralen Tauglichkeitsnachweise fehlen und eine vollständige Nachvollziehbarkeit und Nachprüfbarkeit nicht gegeben ist, weil z.B. einzelne Auswertungsschritte oder deren Grundlagen nicht veröffentlicht werden oder keine neutralen Tauglichkeitsnachweise unabhängiger Institutionen aus seriösen Fachzeitschriften vorliegen.

Nach der allgemeinen Empfehlung zur eigenen Beschäftigung mit den hier beschriebenen Aspekten insbesondere mithilfe der DIN 1319 bleibt letztlich nur der Hinweis, sich insbesondere in anerkannten Fachzeitschriften über neutrale Verifikationen von Verfahren und Geräten zu informieren. Bei dieser Literaturrecherche reicht heute ein Blick in ausschließlich nationale Zeitschriften kaum aus. Auch der Besuch von Fachtagungen im In- und Ausland ist in diesem Sinne sehr empfehlenswert, wie auch die Mitgliedschaft in Berufsverbänden, die den Zugang zu entsprechenden Informationen erleichtern.

Glossar

DIHK = Der "Deutsche Industrie- und Handelskammertag" (DIHK) bildet als eingetragener Verein (e.V.) die Dachorganisation der 81 deutschen Industrie- und Handelskammern (IHK) und damit die Interessenvertretung der gesamten deutschen gewerblichen Wirtschaft gegenüber nationalen und internationalen Institutionen. Mitglieder des DIHK sind die Industrie- und Handelskammern als sogenannte Körperschaften des öffentlichen Rechts.

DIN = Das "Deutsches Institut für Normung e. V." (DIN) ist die nationale deutsche Normungsorganisation. Ihre Normen und Regelwerke werden mit eindeutigen Nummern gekennzeichnet, haben zwar keinen gesetzlichen Status, wohl aber einen entscheidenden referenziellen Einfluss bezüglich der juristischen Einschätzungen der Regeln der Technik.

Literature

Bayerlein. 1990. Praxishandbuch Sachverständigenrecht. Verlag C. H. Beck.

Bethge, Klaus. Mattheck, Claus. Schwarze, Francis. 1995. Felderfahrungen beim Einsatz der neuentwickelten Resistographen. 18. Godesberger Gehölzseminar, 07.03.-10.03.1997. Bonn, Bad Godesberg.

Burger N, Glos P. 1997. Strength relationships in structural timber subjected to bending and tension. Proc. CIB-W18A Timber Structures.

- Denzler, J.K., Diebold, R., Glos, P. 2005. Machine strength grading – Commercially used grading machines – current developments. In Proc. of 14th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Hannover 2005.
- Eckstein, D., Saß, U. 1994. Holzanatomische Untersuchungen zu Bohrwiderstandsmessungen an Laubhölzern. Holz als Roh- und Werkstoff, 1994.
- Goerlacher, Rainer, Haettich, Ronnie. 1990. Untersuchung von altem Konstruktionsholz: Die Bohrwiderstandsmessung. Bauen mit Holz 92 (1990) S. 455-459.
- Glos, P. 1986. Ermittlung des nationalen und internationalen Standes der maschinellen Holzsortierung. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V., München.
- Kamm, W.F.G., Voß, S. 1985. Verfahren und Vorrichtung zur Feststellung des inneren Zustandes von Bäumen und Holzbauteilen. Patent des Deutschen Patentamtes 3501841. [Auslandsanmeldungen in Brasilien, Frankreich, Kanada, Österreich, Schweden, USA]. Am 12.03.2000 vom Bundespatentgericht als nichtig erklärt und aufgehoben.
- Mattheck, C., Bethge, K., Tesari, I., Kappel, R. 2001. Ein neues Versagenskriterium für nicht fäulegeschädigte solitäre Bäume. FZK6666. Bericht Forschungszentrum Karlsruhe 2001.
- Rinn, F. 1988. Eine neue Methode zur Messung von Jahrringparametern. Nadel-Bohrwiderstandsmessungen. Physik-Diplomarbeit, Institut für Umweltphysik, Universität Heidelberg, 85 Seiten.
- Rinn, F. 1989. Eine neue Bohrmethode zur Holzuntersuchung. Holz-Zentralblatt Nr. 34 (20.3.1989). S. 529 - 530.
- Rinn, F. 1989. Neue Meßmethode für Baumuntersuchung und Holzprüfung, Garten und Landschaft 6/89 (3).
- Rinn, F. 1990. Vorrichtung zur Materialprüfung, insbesondere Holzprüfung, durch Bohr- bzw. Eindringwiderstandsmessung. Deutsches Patent 4122494.
- Rinn, F., Becker, B., Kromer, B. 1990. Penetration resistance measurements: density profiles of conifers and deciduous trees. Proceedings of Lund Symposium on Tree rings and Environment, Ystad, South Sweden, August 1990.
- Rinn, F. 1993. Modelle zur Beurteilung der Bruchsicherheit von Bäumen. Landschaftsarchitektur, 8/1993.
- Rinn, F. 1994. Wie genau kann die Bruchsicherheit eines Baumes ermittelt werden? DAS GARTENAMT, 2/94.
- Rinn, F. 1994/96. Resistographic visualization of tree ring density variations. Radiocarbon 1996, pp. 871-878 (presented on: International Conference Tree Rings and Environment. Tucson 1994).
- Rinn, F. 2003. Comparison of Arbotom stress wave tomograph and Resistograph drilling profiles for cross section reconstruction of hazard trees. 2nd International Symposium on Plant Health in Urban Horticulture in Berlin, Germany.
- Rinn, F., 2004a. Holzanatomische Grundlagen der Schall-Tomographie an Bäumen, Neue Landschaft 7, 44-47, Patzer Verlag, Berlin – Hannover.
- Rinn, F., 2004b. Statische Hinweise im Schall-Tomogramm von Bäumen, Stadt und Grün 7, 41 – 45, Patzer Verlag, Berlin – Hannover.
- Rinn, F. 2005a. Influence of anisotropic wood anatomy on stress-wave tomography. Symposium on Non-Destructive Testing of Wood, LIGNA / Hannover 2005.
- Rinn, F. 2005b. Fehlerrechnung in der Baumkontrolle? Allgemeine Forstzeitschrift / Der Wald 24/2005. S. 1325--1328.
- 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. Holzforschung Vol. 50 (1996) pp. 303-311.
- Samson, M. and J. R. T. Hailey. 1989. Status of machine stress-rating of lumber 25 years after commercial implementation. Forest Products Journal 39(11/12).
- Samson, M. 1986. Predicted and actual performance of two laboratory stress-grading machines employing different support conditions. Wood and Fiber Science 18(3).478-489.
- Samson, M. 1986. Dynamic behavior of lumber in stress-grading machines. Faculty of Forestry, Laval University, Quebec, CANADA. Presented at 18th IUFRO World Congress, Ljubljana, YUGOSLAVIA.
- Samson, M. and J. R. Sotomayor-Castellanos. 1991. Constant bending method for determining modulus of elasticity of lumber in structural size. Wood and Fiber Science 23(4).520-532.
- Samson, M. and L. Blanchet. 1992. Effect of knots on the flatwise bending stiffness of lumber members. Holz als Roh-und Werkstoff 50.1-5.
- Wilcox, W. W. 1977. Review of literature on the effects of early stages of decay on wood strength. Wood and Fiber, V, 9(4), pp. 252-257.
- Winnistorfer, Paul M., Wimmer, Rupert 1995. Application of a drill resistance technique for density profile measurement in wood composite panels. Forest Products Journal, Vol. 45, No. 6, p. 90-93, June 1995.
- Zimmermann. 2006. Sachverständigenpflichten. Der Sachverständige DS 10/2006. Seite 304-316.
-