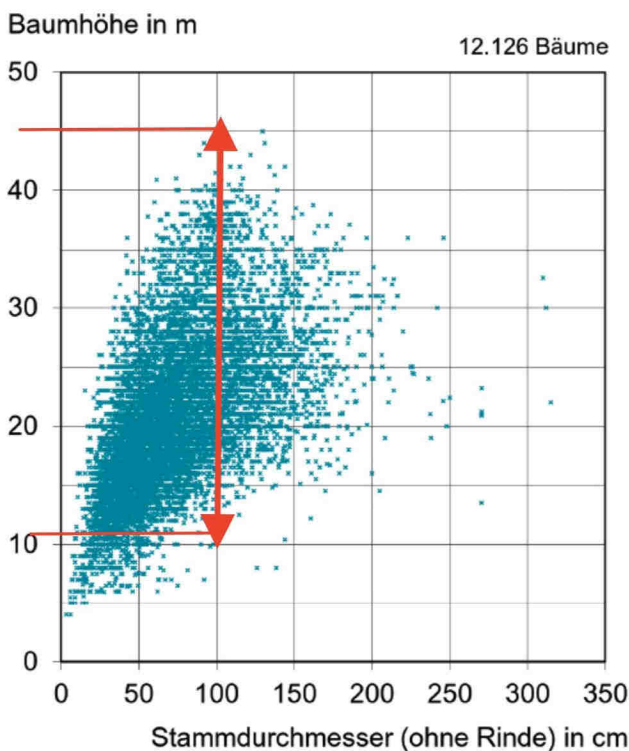


30 Jahre Baumstatik – fundierte Sicherheitsbeurteilung

Die Baumkontrolle soll Gefahren erkennen. Es besteht Einigkeit, dass die vom Baum ausgehende Gefahr nicht chemisch/biologischer, sondern physikalischer Art ist. Das heißt, Kräfte müssen ausgehalten werden. Eine Gefahr entsteht, wenn die wirkende Kraft für das Tragvermögen des Baumes zu groß ist. Die Hauptkraft ist der Wind. Die Sicherheit eines Baumes festzustellen, ist bei der Konzentration aufs Wesentliche einfacher als man denkt.

Baumhöhe / Stammdurchmesser (H/D)



Orkanbelastung / Stammdurchmesser

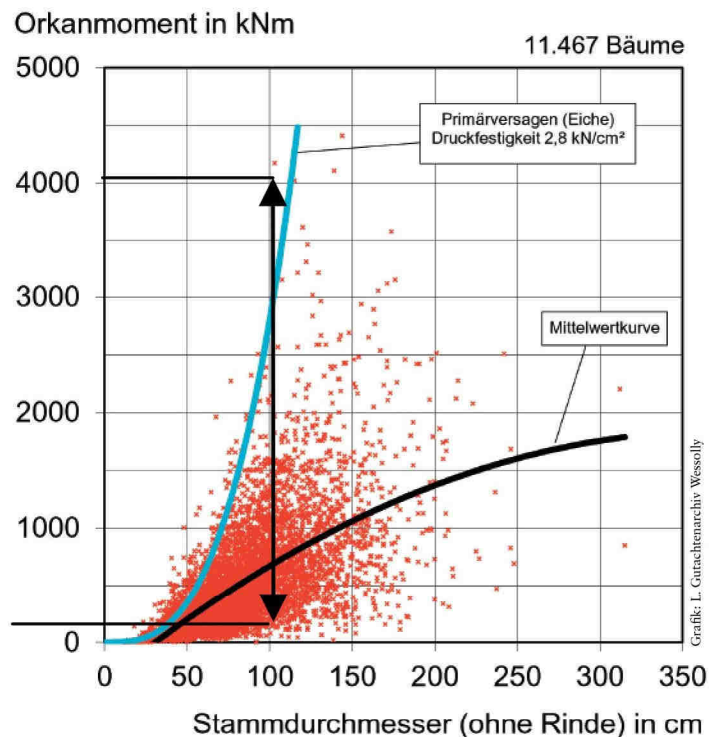


Abb. 1: Die Natur erzeugt kein Gleichmaß. Einfache Faustformeln verfehlen die Realität

Lothar Wessolly

Schneller Überblick

- Die Beweissicherung der Stand- und Bruchsicherheit des Baumes muss zwingend die Windbelastung berücksichtigen
- Bäume variieren in ihren Abmessungen extrem, eine zufällig gefundene, punktuelle Wandstärke kann das Tragvermögen des räumlichen Hohlkörpers nicht abbilden
- Baumstatische Werkzeuge zur Beweissicherung: SIA-Methode für Praktiker, Zugversuche für Eingehende Untersuchung

Die Ausbildung zum Baumkontrolleur konzentriert sich derzeit darauf, Fehler (sog. Schadsymptome) zu finden, den Baum zu verdächtigen, negativ wahrzunehmen. In der Folge wird zu viel problematisiert, was zu einem erhöhten Nachsorgebedarf führt.

Der zielführende Weg dagegen: Man beurteilt zuerst die positive Kraft des Baumes, seine Grundsicherheit und erst dann sein Gebrechen, das sog. Schadsymptom! Im nächsten Schritt vergleicht man beides. So wird ein Schuh draus.

Das Tragvermögen bezieht sich auf die Verankerung im Boden und die Biegetrag-

fähigkeit des Stammes. (Für leicht erkennbare Bruchprobleme in der Krone gibt es die Kronensicherung).

Grundfragen

Es gilt hier, wie es vor Gericht Praxis ist, eine belastbare, durchgängige Beweissicherung zu erarbeiten und sich nicht in unwesentlichen Details zu verlieren. Belastbar sind Beweisführungen hier nur, wenn sie auf physikalischen Zusammenhängen beruhen. Die Physik ist nicht deutbar. Sie ist unabhängig von Ängsten oder Mehrheiten.

Das bedeutet, so präzise wie möglich die äußere Kraft und das Tragvermögen zu erfassen und miteinander in mathematischer Präzision zu vergleichen.

Windbelastung

Die wesentliche Beanspruchung ist der Sturm, dessen Kraft noch durch die Hebelarme Äste und Stamm verstärkt wird. Daher muss zuallererst die Tragfähigkeit des gesunden Baums in einem Orkan geklärt werden. Die dabei wirksamen bodennahen Winde verteilen sich mit vom Boden aus zunehmenden Geschwindigkeiten. Unten ist die Windgeschwindigkeit 0, die maximale wird je nach Vorfeld der Strömung ab 250 m Höhe über dem Boden erreicht.

Die Baumbelastung wächst mit der 3. Potenz seiner Höhe. Das bedeutet: Der doppelt so hohe Baum wird etwa 8-mal stärker belastet. Die Belastung ist das Biegemoment = Windkraft in der Krone mal der Stammlänge.

Tragvermögen

Das Tragvermögen setzt sich zusammen
 a) aus dem geometrischen Anteil und
 b) der Materialfestigkeit des grünen Holzes bzw. der Belastbarkeit der Wurzelmatrix in der jeweiligen Bodenbeschaffenheit. Alle oberirdischen Teile des Baumes werden auf Biegung belastet: Zug vorne, Druck hinten. Es entsteht ein inneres Moment, genannt Widerstandsmoment, die geometrische Tragfähigkeit.

Ein doppelt so dicker Stamm hat die vierfache Fläche, die den zweifachen Abstand zur Biegeachse aufweist. Das multipliziert, besitzt der doppelte Stammdurchmesser das 8fache Widerstandsmoment, das 8fache geometrische Tragvermögen. Frei nach Cäsar: Lasst dicke Bäume um uns sein. Da Bäume nicht in den Himmel wachsen, aber jedes Jahr dicker werden, wächst ihr Tragvermögen und damit die Schadenstoleranz mit zunehmendem Alter. So können alte dicke Bäume erheblich ausfallen, ohne unsicher zu werden. Sie dienen so als unschätzbare Biotop für viele Tierarten. Erst die Baumstatik macht es möglich, an die Gren-

Tragfähigkeit eines geschlossenen Hohlquerschnitts

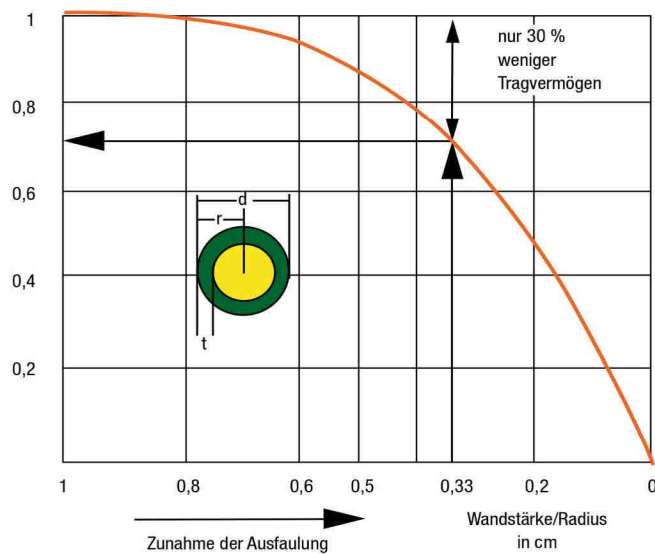


Abb. 2: Die Röhre ist eine sehr leistungsfähige Konstruktion: Bei $t/R = 0,33$ besitzt sie noch $3/4$ der Tragfähigkeit des Vollmaterials (der Grundsicherheit) bei $t/R = 0,1$ noch ein Viertel.

zen einer Höhlung zu gehen, ohne eine Gefahr heraufzubeschwören.

Die einfache Grundrechnung besagt: Doppelte Baumhöhe ergibt die 8fache Belastung von Stamm und Verankerung im Boden. Doppelter Stammdurchmesser bietet das 8fache Tragvermögen des Stammes. Bei gleicher Baumhöhe ist der im Stamm doppelt so dicke Baum 8-mal stärker, oder

bei gleicher Stammdicke ist der halb so hohe Baum 8-mal weniger belastet. Ein doppelt so hoher Baum braucht zur gleichen Sicherheit also den doppelten Stammdurchmesser.

Grundsicherheit

Sie ist das Verhältnis aus Tragvermögen zur Windbelastung und in der Regel größer als 1 = 100 %. Die Grundsicherheit nimmt mit dem Alter zu. Der Baum wird dabei schadenstoleranter.

Abgeleitet für die Grundbruchsicherheit des Stammes stellt sich die Frage, ob diese auch für die Verankerung im Boden gilt. Die Analyse von mehr als 13.000 statisch untersuchten Bäumen hat gezeigt, dass Bäume nichts

„verschenken“: In unversehrtem Zustand, auf üblichen Standorten, ist die maximale Belastbarkeit gegen Brechen oder Kippen näherungsweise gleich groß.

Das Faszinierende dabei: Das gilt sogar im Fall geschädigter Bäume, die längere Zeit mit dem Problem umgehen. Die Grundsicherheit gilt gleichermaßen für Stammschäden wie für die der Verankerung der Wurzeln.

Die Variationsbreite der drei Faktoren

Das „Dreieck der Statik“ (Abb. 4) zeigt, wie wichtig eine individuelle Sicherheitsbeurteilung eines Baumes ist und warum pauschale Bezugswerte versagen.

Windlast

Diese Maße von Bäumen finden wir in der Natur: (Archiv Wessolly, Baumstatik 13.000 mittels Elasto/Inclinomethode in Europa gemessene Bäume, Auswertung Simon Rau). Abb. 1 zeigt die hohe Streubreite der Bäume in der Natur. Hier kann ein Baum mit 100 cm Stammdurchmesser 10 oder 45 m hoch sein. Und die Belastung kann 100 bis 4.000 kNm betragen. Das bedeutet eine extreme Volatilität (Schwankungsbreite). Das ist die jeweilige Ausgangssitua-

Wandstärke/Radius

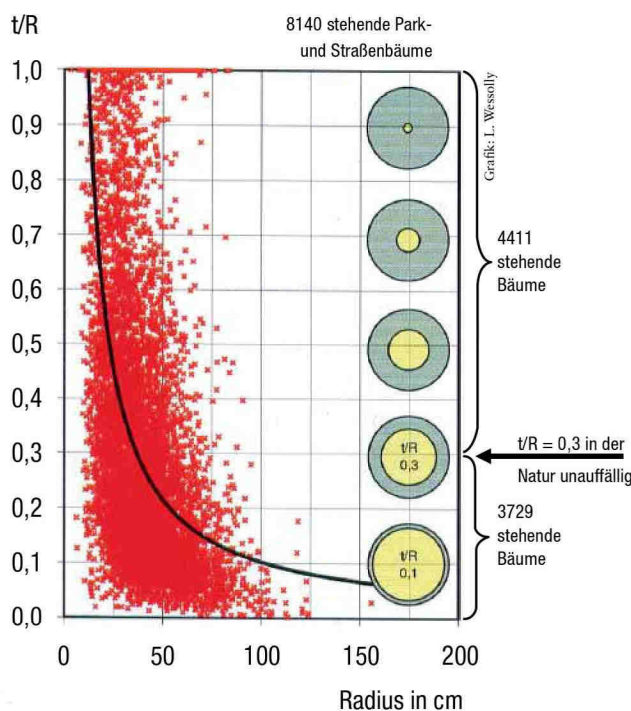


Abb. 3: Erwartungsgemäß keine Auffälligkeit im Bereich $t/R = 0,3$, also auch kein spezieller Handlungsbedarf

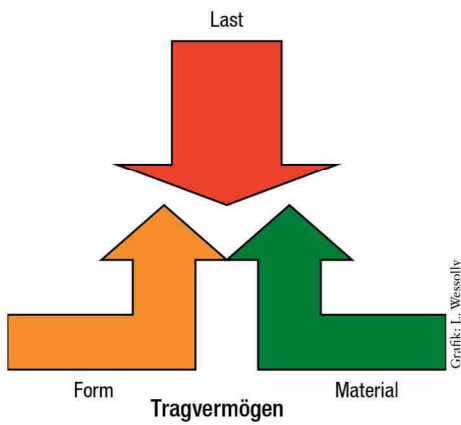


Abb. 4: Dreieck der Statik: Der Last steht das Tragvermögen aus Form und Material gegenüber.

tion. Logischer Schluss: Pauschale Grenzwerte verbieten sich von selbst. Um das zu verstehen, muss man kein Physiker sein.

Form

Die Hohlrohre ist eine sehr leistungsfähige Konstruktion. Bei $t/R = 0,33$ hat der Baum erst 30 % Tragfähigkeit eingebüßt. Bei einer Grundsicherheit von 600 % hätte ein solcher Baum immer noch 400 %. Also zuerst einmal die Grundsicherheit bestimmen. Bei $t/R = 0,2$ besitzt der Baum noch die Hälfte, bei $t/R = 0,1$ noch ein Viertel seiner Tragfähigkeit. Bei 1.000 % Grundsicherheit sind das dann immer noch sichere 250 %.

Abb. 3 zeigt in der Natur vorgefundene und mittels Zugversuchs gemessene Hohlstämmen. Es gibt keine Auffälligkeit (Grenze) bei $t/R = 0,3$ und somit auch keine Bestätigung der Regel $t/R = 0,3$. Das war nach der großen Variabilität der Orkanbelastung (Abb. 1) auch nicht anders zu erwarten. Fazit: Der Hohlungsgrad alleine, ohne Bezug zur Grundsicherheit, sagt nichts zur Bruchsicherheit.

Material: Stuttgarter Festigkeitskatalog

Das zweite lastabtragende Element ist die Druckfestigkeit grünen Holzes. Der Stuttgarter Festigkeitskatalog zeigt, dass der Unterschied zwischen den Hölzern sehr gering ist. Am größten ist der Unterschied mit Faktor 2 zwischen Eiche und Rosskastanie. Mit der Baumart ist der Faktor Material bestimmt.

Last/Form/Material in der Zusammenwirkung

Ein Stammdurchmesser von 100 cm kann 100 bis 2.500 % Grundsicherheit aufweisen. Ein Baum mit der Grundsicherheit 2.500 % ist im Orkan dann 25-mal sicherer als notwendig und extrem schadentolerant. Schon bei Grundsicherheit 100 % erleidet der Baum weder im Stamm noch im statisch wirksamen Wurzelraum Schäden. Die Grundsicherheit muss deshalb die Bezugsgröße sein, wenn es um belastbare Sicherheitsaussagen geht.

Vergleich der Einflussfaktoren (Elemente der Statik)

Der wichtigste Anteil bei der Sicherheitsbestimmung ist mit einem Faktor von bis zu 40 die Last (Abb. 5). Die Hohlung ist mit einem Faktor von 2 bis 3 von gleicher Wichtigkeit wie die der jeweiligen Baumart entsprechende Festigkeit – beide sind deutlich nachrangig.

Die Windbelastung in Abhängigkeit von Baum- und Kronengröße zeigt eine ungleich größere Schwankungsbreite als die Form (Hohlungsgrad zwischen Voll und dünner Wandstärke).

Die Sicherheit eines Baumes allein anhand der Wandstärken oder auch anhand von Schadensymptomen führt zu keinem brauchbaren Ergebnis ohne die Grundsicherheit als Bezug.

Die Grundsicherheit errechnet man mit der SIA-Methode (Statisch Integrierte

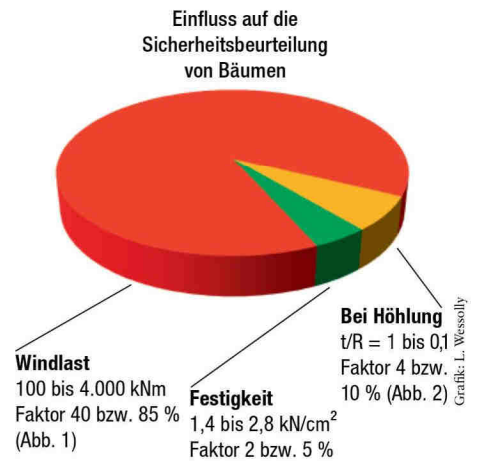


Abb. 5: Hier zeigt sich deutlich, welcher Anteil die Last an der Baumsicherheit hat, Form und Festigkeit spielen eine nachrangige Rolle

Abschätzung) in einer Minute. Die Berechnung der Grundsicherheit sollte jeder Baumkontrolleur beherrschen. Es ist simpel und gehört in die Ausbildung. So bestimmt man zuerst die positiven Baueigenschaften und geht mit einer beruhigenden Information an die Schäden.

Die Fokussierung auf sogenannte Schadsymptome bringt ebensowenig wie die Bohrwiderstandsmessung, da sie

1. nur den nachrangigen Faktor der Form zu erfassen versucht,
 2. der Baum weder im Querschnitt noch über die Höhe gleichmäßig ausfällt.
- Die Aussagekraft dieser Punktinformation die Bohrwiderstandsmessung für die Sicherheit geht gegen 0. Daran ändert nichts, wenn sie mit Kurven dokumentiert und interpretiert wird. Das ist Scheinexaktheit.

Baumstatische Werkzeuge

Hierzu hat die Baumstatik die mechanischen Zusammenhänge der Kronensicherung formuliert und die statisch/dynamischen Bemessungen berechnet (seit 2006 Bestandteil der ZTV Baumpflege).

Die SIA-Methode, die Methode für den Praktiker

SIA berücksichtigt die Baumgröße als bestimmenden Faktor für die Sicherheit. Ihr Ziel ist, die Grundsicherheit zu berechnen. Auch die Mindestwandstärke

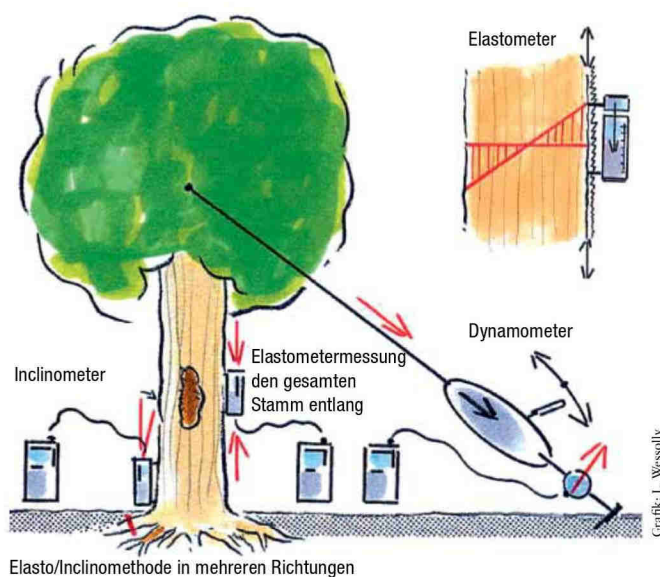


Abb. 6: Die einzige beweissichernde Methode zur Erfassung der Stand- und Bruchsicherheit bei einer eingehenden Untersuchung ist die Elasto/Inclinomethode, der Zugversuch.

lässt sich errechnen, mit der ein Baum gerade noch als sicher gelten kann. Hat man sie berechnet, sollte man nicht zum Bohrer greifen. Denn kein hohler Baum hat jemals eine gleichmäßige Wandstärke. Ein Pilzbau erfolgt ungleichmäßig über den Querschnitt und die Höhe. Deshalb führen bohrende, punktuelle Verfahren niemals zu einer beweisichernden Aussage zur Bruchsicherheit. Zur Klärung der Standsicherheit sind sie sogar prinzipiell untauglich.

Die minimal benötigte Wandstärke dient lediglich der Veranschaulichung. Beispiel: Wenn sich (z. B.) bei einem Stammdurchmesser von 1 m ein Wandstärkebedarf von 3 cm ergibt und an dieser Stelle keine Pilzfruchtkörper erscheinen, kann man wegen der unsymmetrischen Ausfaltung davon ausgehen, dass der Baum noch mehr Wandstärke hat, also sicher ist. Bei SIA werden Materialeigenschaften, Windwiderstandsbeiwerte, Kronenformen und der Standort eines normal belaubten Baumes automatisch berücksichtigt. Auch der Einfluss von Sicherungsschnitten lässt sich grob errechnen. SIA ist kostenlos und anonym anzuwenden unter arboa.com oder Simgruppe.de

SIM Elasto/Inclinomethode Eingehende statikintegrierte Untersuchung

Bei einem geschädigten Baum bleibt die Bedeutung des Schadens für die Sicherheit zuerst einmal im Dunkeln. Eine sogenannte Eingehende Untersuchung ist nötig. Die Elasto/Inclinomethode verwendet repräsentative Reaktionen des Baumes, in denen alle Wirkeinflüsse, die die Versagenslasten bestimmen, konzentriert sind. Sie lassen sich dann gezielt in einem Arbeitsgang, dem Zugversuch, verlet-

zungsfrei messen und in einer geschlossenen Statik in Sicherheitswerte umrechnen.

Bruchsicherheit

Im Orkan werden Äste und Stamm gebogen. Dabei befindet sich die am stärksten beanspruchte Holzfaser in der vertikalen Linie, die im Querschnitt der Windlast am nächsten (Zug) und am entferntesten (Druck) liegt. Die Dehnung dieser repräsentativen Faser ist abhängig von allen Fasern im Querschnitt, die sie unterstützen. Misst man die Dehnung dieser Faser (Auflösung 1/2.000 mm) bei einer in die Krone eingeleiteten Kraft, kennt man mit dem Stuttgarter Festigkeitskatalog die Bruchlast des Stammes. So lässt sich auch die Tragfähigkeit von Veredelungsstellen messen.

Standsicherheit

Der Sturm kippt auch den Wurzelteller mit einer Neigung, die beim Zugversuch mittels Inclinometer (Auflösung 1/1.000 Grad) gemessen wird. Wir fanden heraus, dass dieser Kippvorgang immer ähnlich verläuft. Mit der Verallgemeinerten Kippkurve nach Wessolly wurde es möglich, schon bei unmerklichen Neigungsgraden die Kippplast zu berechnen.

Im Vergleich beider Versagenslasten mit Kenntnis der am Baum angreifenden Orkanlast lassen sich Bruch- und Standsicherheiten beweisgesichert berechnen. Bisher stehen aktuell 13.000 Bäume im eigenen Archiv.

Gültigkeitsdauer

Da die Prozesse im Baum (Zuwachs und Abbau) kontinuierlich und langsam ablaufen, kann man so je nach Sicherheitspo-

lster für drei bis acht Jahre die Verantwortung vor einer nächsten Kontrollmessung übernehmen.

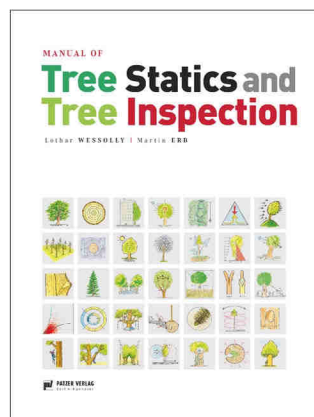
Zusammenfassung

13.000 in Zugversuchen gemessene Bäume zeigen: Bäume sind von der Statik her extrem unterschiedlich. Baumstatik bedeutet, sich an gebräuchliche Vorgehensweisen des konstruktiven Ingenieurbaus zu orientieren. Konkret bedeutet das immer, die Analyse der am Baum angreifenden Kräfte mit einzubeziehen und damit eine statische Berechnung durchzuführen. Der Baum ist von seinen positiven Ausgangswerten der Grundsicherheit zu betrachten. Irgendwelche Schadsymptome können nur im Vergleich damit zu einer Sicherheitsaussage führen. Das richtige Werkzeug hierfür stellt die SIA-Methode zur Verfügung (kostenlos im Netz unter arboa.com, simgruppe.de). Für Eingehende Untersuchungen steht die Elasto/Inclinomethode mit beweisichernder Zuverlässigkeit bereit.

Literaturhinweise:

Zusammengefasst in WESSOLLY, L.; ERB, M. (2014): Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle, Patzer Verlag, oder WESSOLLY, L.; ERB, M. (2016): Manual of tree statics and tree inspection, Patzer Verlag.

Dr. Ing. Lothar Wessolly,
baumstatik.wessolly@t-online.de,
führt ein Ing.- und Sachverständigenbüro und ist als öbv SV für die Verkehrssicherheit von Bäumen und Wertermittlung vom RegPräs. Stuttgart bestellt und vereidigt, Institut für BaumDiagnose Stuttgart (D), Frick (CH), Wien (A). L. Wessolly ist Inhaber der Fa. arboa e.K. tree safety und ist Mitglied der SIM Gruppe.



WESSOLLY, L. / ERB, M.:
Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle,
2. verbesserte Auflage, Patzer Verlag 2014,
Englische Ausgabe, 2016.