

PRO

BAUM

ZEITSCHRIFT
FÜR PFLANZUNG,
PFLEGE UND
ERHALTUNG



2010

3

25 Jahre Baumstatik – Eine Bilanz

Die Sicherheitsbeurteilung von Bäumen orientiert sich in der Baumstatik nach **Kriterien des konstruktiven Ingenieurbaus**. Diese Art der Sicherheitsermittlung hatte vor 25 Jahren an der Universität Stuttgart, ihren Ursprung. Der vorliegende Beitrag zeigt die Entwicklung der wissenschaftlich begründeten Baumstatik auf, zeigt statistisch ausgewertete Ergebnisse und reflektiert den Bezug zum heutigen Stand der Regelwerke der Baumkontrolle.

Lothar
Wessolly

Der Beginn

Im Jahr 1985 wurde mit der Gründung des Sonderforschungsbereiches „Natürliche Konstruktionen – Leichtbau in Natur und Technik“ an der Universität Stuttgart die Basis für die wissenschaftlich fundierte Baumstatik gelegt. In diesem Sonderforschungsbereich, unter Leitung des weltweit renommierten Baumeisters Frei Otto (unter anderem Olympiastadion München), organisierten Wissenschaftler aus einem breiten Spektrum, das vom Philosophen über Biologen, Physiker, Materialwissenschaftler bis zum konstruktiven Ingenieur der Fachrichtungen Bauingenieurwesen und Luft- und Raumfahrttechnik reichte, ihre Untersuchungsschwerpunkte unter obigem Begriff selbst.

Für unser Wissensgebiet Baumstatik war es eine glückliche Phase: Die Umwelt begann wichtig zu werden und Geld war auch noch genügend vorhanden. Das Computerzeitalter begann. Zudem verfügten die Ingenieurwissenschaften über eine ausgezeichnete Ausstattung und auch Drittmittel, von denen die Biologen nur träumen konnten. Es begann eine fruchtbare Zusammenarbeit.

Heute spricht man oft von Bionik: Wie schaue ich der Natur etwas ab, das ich in der Technik verwenden kann. Natürlich arbeiteten wir auch mit führenden Bionikern, wie Nachtigall eng zusammen. Aber unser Zugang war der umgekehrte Weg: Wie kann man natürliche Konstruktionen erklären oder berechenbar machen. Somit war die Baumstatik ein Kernthema.

Die Baumstatik

Biologen hatten bis dato nicht ins Kalkül genommen, dass auch die natürlichen Konstruktionen wie Menschen oder Pflanzen den statischen und dynamischen Gesetzen unterworfen sind. Benötigt jemand eine Prothese, muss man natürlich wissen, wie stark sie beansprucht wird, um sie möglichst leicht und dennoch ausreichend tragfähig zu gestalten. Das ist eine klassische Ingenieursaufgabe. Warum sollte man nicht mit der gleichen Methodik die Sicherheit von Bäumen angehen? Günther Sinn hat den Stein bei uns ins Rollen gebracht. Werner Koch aus Stuttgart war für die Ak-

zeptanz seiner Wertermittlung höchst interessiert an der flankierenden Wissenschaft und bot mit seinen Bad Godesberger Gehölzseminaren ein ausgezeichnetes Forum für die Verbreitung baumstatistischen Wissens, das mit jedem neuen Vortrag von Jahr zu Jahr wuchs.

Zu Beginn waren nur Bruchstücke vorhanden: Eine Ausbildung in Statik, Dynamik und Aerodynamik, vertieft im bodennahen Winden und ein hervorragend ausgestattetes Institut der Experimentellen Mechanik mit Mess- und Prüftechnik standen ebenso auf der Habenseite, wie die breit aufgestellte Palette der im Sonderforschungsbereich organisierten Institute.

Der Statiker benötigt für die Lösung seiner Aufgabe (Dreieck der Statik) Angaben über die angreifende Last und Tragfähigkeit des Materials. Die Tragfähigkeit setzt sich zusammen aus der Form und dem verwendeten Material (Dreieck der Statik). Für Bauholz gab es natürlich Tabellen und eine lange Forschungstradition. Allerdings ist Bauholz trocken, Bäume sind dagegen grün und feucht. Beides ist so gut wie nicht miteinander zu vergleichen. Trockenes Holz ist störrisch, während grünes Holz nachgiebig ist.

Materialforschung

Der erste Schritt war somit, die Wissenslücke auf der Materialseite zu schließen. Das war zuerst einfacher gesagt als getan. Denn die im städtischen Bereich stehenden Gehölze sind häufig anderer Art, als die tagtäglich in Sägewerken verarbeiteten Waldhölzer. Es konnte somit auch nicht gezielt untersucht werden, sondern nur das, was unwiederbringlich gefällt werden musste. Somit kamen Teile frisch gefällter grüner Bäume ins Versuchslabor. Es entstand nach der Art der Jäger und Sammler über mehrere Jahre der „Stuttgarter Festigkeitskatalog grüner Hölzer“. Hier sind Druckfestigkeit, Elastizität und die dazugehörige Elastizitätsgrenze die wichtigsten Materialdaten, die wir wissen mussten.

Klar war auch, dass selten gepflanzte Bäume nicht untersucht werden konnten. Sie waren viel zu wertvoll, als dass man sie für einen Materialwert gefällt hätte. Bei Buchen und Eichen war es naturgegeben einfacher.

Das Umfeld in der Baumpflege

Als wir mit unseren Arbeiten begannen, stand draußen in der Praxis die Baumchirurgie in höchster Blüte: Stämme wurden geöffnet, morsches Holz wurde herausgefräst. Man erfuhr so, wie wenig tragfähige Wandstärke ein Baum benötigt, hat er doch Jahrzehnte allen Stürmen getrotzt. Aber die Baumchirurgie war ins Gerede gekommen. Shigo hat maßgeblich dafür gesorgt. In Deutschland wurde sie als „lukrativer Vandalismus“ bezeichnet, Mykologen wie Reinartz und Schlag und Holzforscher wie Wiebe berichteten, dass man gegen den Pilzbefall mit Fräsen keine Chance hätte. Holzbiologen wie Liese und Dujesiefken unterstützten die Ansätze Shigos. Wir hatten rechnerisch und experimentell mit dem Bruchversuch an der Blutbuche im Park der Villa Berg in Stuttgart nachgewiesen, dass die nach dem baumchirurgischen Eingriff den Öffnungen implantierten Gewindestäbe nutzlos wie der Spoiler am 2 CV waren. Die Stadt Stuttgart hat uns bei diesem Grundversuch maßgeblich unterstützt.

Der Weg der Sicherheitsdiagnose mit Umweg Stammöffnung war nun verschlossen. Was tun? Die ersten Praktiker hantierten fortan mit Zuwachsbohrer, durch dessen Loch sie ein Endoskop einführten. Dujesiefken und Liese konnten nachweisen, dass eben dieses Endoskop-Loch, wiederum Ausgangspunkt für Holzfäulen war. Ein Seitenweg, die Schädigung zu minimieren, war der unter anderem von Rinn entwickelte Densitomat, später Resistograf, der Wandstärken im Bereich seines Bohrloches erfasste. Damit hatte man ein klein wenig mehr Information, aber nur im Loch und nur an dieser eng begrenzten Stelle. Pilze höhlen bekanntlich den Stamm nicht gleichmäßig aus. Die geringste Wandstärke als Bezugswert zu nehmen, kann nicht angehen. Logisch weitergedacht: Was ist dann, wenn die Wandstärke an der schwächsten Stelle Null ist, also eine Stammöffnung vorliegt? Ist der Baum dann hochgradig unsicher? Ein Fällkandidat?

Falsche und richtige Wege

Befeuert wurde die Wandstärkediskussion durch den Vorschlag, als Entscheidungsgröße $t/R = 0,3$ zu nehmen. Bis heute erschließt sich dieser Vorschlag nicht. Auch ein fundierter Nachweis fehlt noch nach 20 Jahren. Franz Gruber hat in seinem Buch „Aktuelles zu Versagens-/Sicherheitskriterien und zur Adaption von Bäumen“ den unumstößlichen Beweis der Nichtigkeit dieser Lösungsansätze geführt. Es ist ja auch klar: Das Ganze könnte nur funktionieren, wenn vergleichbar der Automobilherstellung eine geringe Fertigungstoleranz eingehalten würde. Nur dann könnte ein prozentualer Verlust wie bei $t/R = 0,3 = \text{etwa } 25\%$ Tragfähigkeitsabnahme generell problematisch werden. Aber die Natur, vor allem auch bei Bäumen, ist von dieser genauen Fertigung meilenweit entfernt. Bei gleichem Stammdurchmesser kann, in Abhängigkeit von Baumgröße und Kronenform, die Ausgangssi-

cherheit um den Faktor 12 unterschiedlich sein (siehe Diagramme am Schluss). Und je älter ein Baum ist, je weniger sein Höhenzuwachs bei immer noch zunehmender Stammdicke, umso größer wird seine Ausgangssicherheit. Umso mehr kann er einfaulen. Wir selbst hatten uns von Anfang an folgendes Ziel gesetzt: verletzungsfrei die Messwerte zu ermitteln, die bestimmend für die Lösung der statischen Gleichung sind. Bäume werden vom Sturm gebogen. Bei Biegung tritt in Richtung der Last auf der einen Seite der maximale Druck, auf der Gegenseite der maximale Zug auf. Beides verursacht eine Längenänderung: Stauchung und Dehnung. In Stammmitte befindet sich eine Linie, vergleichbar dem Lager einer Wippe. Die äußersten Ränder der Schaukel machen die größte Bewegung. Das bedeutet, man suche den äußersten Querschnittspunkt und messe seine Auslenkung, während gleichzeitig die in die Krone eingeleitete Windersatzlast gemessen wird. Das Messinstrument hierzu war das Elastometer, mit dem eine Dehnung von $1/2000$ mm erfasst wurde. Da die Rinde in der Regel wie eine Haut dem Holz folgt, genügt es, die zwei Elastometerspitzen in die Borke zu stecken. Das ist absolut verletzungsfrei. Über den Stuttgarter Festigkeitskatalog wissen wir, wie viel Dehnung grünes Holz elastisch mitmacht. Wir können somit herausfinden, bei welcher Last in der Krone der Baum mit dem Bruch beginnen würde. Nachgewiesen wurde die Messbarkeit mit dem messtechnisch begleiteten Bruchversuch an der ausgefrästen und ausgefaulten Blutbuche im Park der Villa Berg 1987 in Stuttgart. Die eingesetzte Messtechnik füllte einen gesamten VW Transporter. Hier wurde dann weiterentwickelt. Es entstand das Elastometer, das sich bis heute in hunderttausend Messungen weltweit als robust bewährt hat. Es ist fast so simpel wie ein Zollstock, für den es bis heute auch nichts Besseres gibt, obwohl doch sonst heute die Elektronik aus jedem Knopfloch quillt.

Windlasten

Für die Bruchsicherheit ist allerdings die Bruchkraft selbst noch wenig aussagekräftig. Wir wissen damit noch nicht, wie stark der Baum im Orkan überhaupt belastet wird. Wir hatten gerade das Elastometer fertig und im Einsatz für die Ermittlung der relativen Tragfähigkeit eines hohlen zu einem vollholzigen Stamm, als uns die Orkane Vivian und Wiebke im Winter 1990 zu Hilfe kamen.

Wir packten also unsere Elastometer und setzten sie auf den Stamm von Bäumen, während der Orkan die Wipfel bog. Vorher hatten wir sie in den natürlichen Boenpausen auf Null gesetzt. Gleichzeitig maßen wir die Windgeschwindigkeit. Drei Tage später, der Orkan war inzwischen eingeschlafen, setzten wir die Elastometer in die gleiche Position zogen in der Krone bis wir den Orkanwert erreichten und maßen die dazu benötigte Kraft.

Die Baumkrone wurde fotografiert und flächenmäßig ausgerechnet. In die Belastungsgleichung durch Wind geht die Windgeschwindigkeit, die wir mit einem Anemometer gemessen hatten, die Projektionsfläche und die aerodynamische Güte, beschrieben als cw-Wert, ein. Damit war letzterer für den Baum bestimmbar. Dabei fanden wir, dass die cw-Werte wegen der Kronennachgiebigkeiten bei hohen Windgeschwindigkeiten unter 0,35 lagen. Nachmessungen an belaubten Bäumen während Mistralstürmen auf Korsika haben ergeben, dass bei Laubbäumen ein Wert zwischen 0,2 und 0,35 in die statischen Gleichungen eingesetzt werden kann, um verlässliche Sicherheiten errechnen zu können. Damit war der Schlussstein für die Lösung der baumstatischen Gleichung gegeben.

Bruchsicherheit und Standsicherheit

Es war nun möglich, Bruchsicherheitswerte bei Bäumen zu errechnen. Über die Zulässigkeit dieses Ansatzes siehe Diagramme am Ende des Beitrages.

Bäume können jedoch nicht nur brechen, sie können auch entwurzelt werden. Die Sicherheit hiergegen ist als Standsicherheit definiert (obwohl Kippsicherheit entsprechend Bruchsicherheit logischer gewesen wäre). Hier hat wohl der häufig verwendete Begriff Standfestigkeit Pate gestanden. Jedenfalls vermuteten wir, dass sich eine Weichheit der Verankerung mit einer größeren Neigung zum Entwurzeln mittels Neigungsmessung im Fußpunkt des Baumes detektieren lassen müsste. Somit platzierten wir ein Inclinometer, wie wir es an unserem Institut zur Fertigungskontrolle eines großen Solarspiegels im Einsatz hatten, beim Ziehen in der Krone mitlaufen. Dabei stellte sich heraus, dass bei allen nachgiebigen Böden (Fels gehört als einziger nicht dazu) das Verhalten ähnlich ablief. Der Maximalwert bei der einzuleitenden Last korrespondierte immer mit einem Neigungswinkel zwischen 2,5 und 3 Grad. Hier stand die vertikale Tangente. Was lag also näher, als alle bisher ermittelten Neigungswerte übereinander zu projizieren. Das Ergebnis war erwartungsgemäß keine harte Kurve, sondern ähnelte einem Kometenschweif.

Ingenieurmäßige Beurteilungskriterien sind immer dadurch geprägt, eine Konstruktion so auszulegen, dass sie zwar möglichst leistungsfähig ist, der Verantwortliche selbst sich auch sicher fühlen kann. Daher wurde die Bemessungskurve, die Verallgemeinerte Kippkurve am sicheren linken Rand des Kometenschweifs geführt. Dadurch werden bestimmt einige Bäume zu streng beurteilt. Aber die Verallgemeinerte Kippkurve erlaubt es nun, weit von jedweder Wurzelbeschädigung die Kipplast vorherzusagen.

Mit der Lastanalyse lässt sich jetzt auch die Standsicherheit berechnen und mit der Bruchsicherheit vergleichen. Die die Elasto-Inclino-Methode anwendenden Sachverständigen aus

sieben Europäischen Ländern stehen in intensivem fachlichen Austausch. Zur Sicherung der Diagnosequalität mit mehr als 10 000 Gutachten als Grundlage sind sie in der SIM Gruppe organisiert.

SIA

Aus den langjährigen Erfahrungen mit der Inclino/Elastomethode wurde für den praktischen Nutzer die SIA Methode entwickelt. Die Akzeptanz der Baumstatik ist auch dadurch dokumentiert, dass seit mehr als 15 Jahren mit diesem Begriff Gerichtssachverständige bestellt und vereidigt werden. Wir haben es nicht nötig, noch im Jahr 2009 in speziellen Zeitschriftenartikeln darauf zu verweisen, dass ein Gericht unsere Methode (hier VTA) zugelassen habe.

Inzwischen können wir auf die Erfahrung von 8000 mittels Inclino/Elastomethode gemessenen, dokumentierten Gutachten (mit haftungsrechtlich verantwortlich getragenen Kontrollintervallen) zurückgreifen. Deren Nutzer sind in der SIM (Statisch Integrierte Messungen) Gruppe organisiert. Dass unser Weg nicht so ganz falsch sein kann, ergibt sich auch daraus, dass weltweit versucht wird, unsere Methoden zu kopieren. Das Know-how 25-jähriger Erfahrung steht denjenigen allerdings noch bevor.

Zur Genauigkeitsdiskussion

1. Es hilft nicht weiter, wenn ein Messinstrument mit äußerster Präzision misst, aber mindestens genauso wichtige oder sogar wichtigere Einflussgrößen erst gar nicht analysiert werden. Dann ist der Aufwand nahezu nutzlos. Was hilft ein Querschnittsverlauf, wenn er nicht in Beziehung zur Baumbelastung, abhängig von Baumgröße, Kronenfläche und Standort gesetzt wird?
2. Selbstverständlich muss ein physikalischer Nachweis auf äußerste Präzision setzen. Es gibt auch in Ingenieurwesen Einflussgrößen, wie zum Beispiel Materialeigenschaften, die kennt man relativ genau, andere zum Beispiel die Belastung selbst, ist unter Umständen weniger genau bekannt. Der Ingenieur hat die Aufgabe, Probleme der Gegenwart mit den Mitteln der Gegenwart zu lösen. Natürlich wissen wir in 100 Jahren mehr, aber es nützt nichts, heute steht die Lösung an. Er konstruiert Bauwerke, Fahr- und Flugzeuge für zukünftige Nutzungen. Dabei ist klar, er trägt eine hohe Verantwortung, ohne in die Zukunft schauen zu können. Um sich und die Nutzer abzusichern, verwendet er einerseits Sicherheitsfaktoren, zum Beispiel $1,5 = 150\%$, andererseits Inspektionsintervalle, in denen er seine Annahmen überprüft. Klar ist dabei auch, dass nicht immer optimal und genauestens, aber immer so sicher wie möglich sicher konstruiert wird.
3. Gleichgültig welches Instrument eingesetzt wird, die Verantwortung bleibt immer beim Sachverständigen, er muss

wissen, worauf er sich verlassen kann. Wir kennen zum Beispiel die Windbelastung am Standort nicht genau, müssen das auch nicht, wir müssen nur auf der sicheren Seite liegen. Wir wissen aber, dass nicht eine Wandstärke sondern die Baumgröße und Kronenfläche der absolut entscheidende Faktor sind und bauen diese in unsere Beurteilung ein. Verantwortungsvoll orientieren wir uns daran, mit der Ingenieurwissenschaft Baumstatik Sicherheit zu produzieren. Dabei befinden wir uns im Einklang mit den international angewendeten ingenieurwissenschaftlichen Lösungsansätzen.

Zu den eingehenden Untersuchungen

Die Baumkontrolle hat in erster Linie die Aufgabe, die Verkehrssicherungspflicht nach § 823 BGB zu erfüllen. Momentan befasst sich der FLL Arbeitskreis Baumkontrollen unter der Leitung von H. J. Schulz mit den eingehenden Untersuchungen. Vom Baum können in vielerlei Hinsicht Gefährdungen ausgehen: Es gibt Gefährdungen, die kann man mit geschultem Auge sehen. Andere, die Sicherheit beeinträchtigende Zustände können nicht visuell beurteilt werden. Hier sind dann umfassendere Methoden (eingehende Untersuchungen) zielführend.

Zu den visuell zu erfassenden gehören zwei Kategorien:

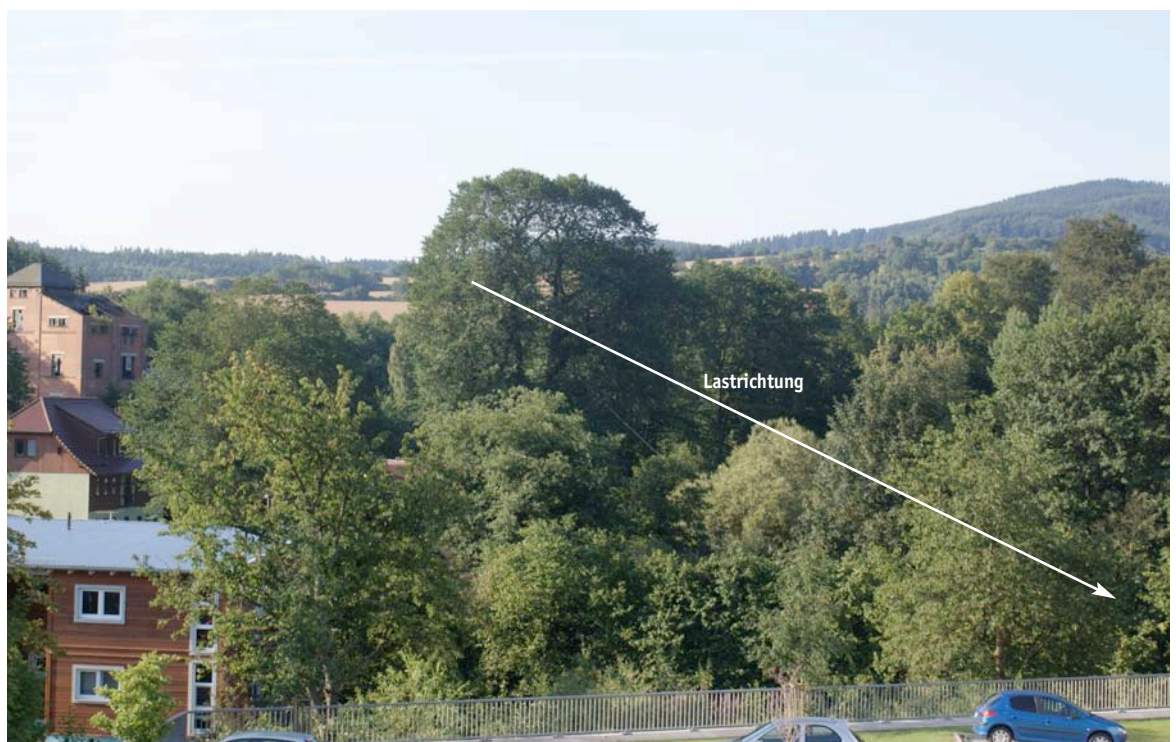
1. Die Zustände, die gut zu sehen sind und sich durch Baumpflege mittels Schnitt oder Kronensicherung leicht beheben lassen:

- a) Totholz
 - b) Massariabefall
 - c) V-Zwiesel
 - d) Eingefaltete Astungswunden
 - e) Aus der Krone überlang herausragender Ast
2. Das Erscheinen von Hinweisen, die eine die Sicherheit beeinträchtigende Situation vermuten lassen: Das wird im Allgemeinen als Schadsymptom bezeichnet. Da kann allerdings auch eine gelungene Kompensation die Auffälligkeit verursacht haben.
- f) Einwallungen, Verdickungen, Einfaltungen
 - g) Verstärkte Wachstumsstreifen
 - h) Schiefstände
 - i) Pilzfruchtkörper, Rindennekrosen
 - j) Auffälligkeiten im Bereich von Veredelungsstellen
 - k) Beeinträchtigungen durch Baumaßnahmen (Abgrabungen, Freistellungen)

Ehe hier zu einer eingehenden Untersuchung übergegangen wird, kann ein Zwischenschritt schon wesentlich weiterhelfen. Denn die Auswirkungen eines Schadens sind immer dadurch beeinflusst, wie groß die Tragfähigkeit des geschädigten Systems überhaupt ist. Die Auswertung unserer Gutachten hat ergeben, dass in der Grundsicherheit die größte Variationsbreite durch die Natur vorhanden ist. Deutlich ist das in den am Schluss folgenden Diagrammen. Um diese Lücke zu schließen, haben wir die SIA-Methode der Statisch Integrierten Abschätzung entwickelt. Hier lässt sich dann baum-

Abb. 1: Die Zwieselige Ulme in Ilmenau-Grenzhammer (Thüringen), ist die größte, dickste und älteste Ulme Europas.

Fotos: Lothar Wessolly



statisch korrekt die Grundsicherheit des Baumes ermitteln. Damit ist dann der Schaden zu vergleichen. Dann kann mit größerer Gewissheit weitersortiert werden, ob Baumpflege mit angepasstem Rückschnitt (leistet auch die SIA) oder eine eingehende Untersuchung. Bei der Anwendung einer eingehenden Untersuchung und deren Gerätschaften ist erst einmal zu klären, welche der zur Beurteilung der Sicherheitsfragen maßgeblichen Parameter abgearbeitet werden:

1. Werden Standsicherheit oder Bruchsicherheit oder gleich beides erfasst ?
 2. Die Sicherheit beeinträchtigen:
 - a) die auftretende Last, abhängig von Baumgröße, Kronenfläche und Standort
 - b) die Tragfähigkeit des Stammes, abhängig von Geometrie und Holzmaterial oder der Wurzel und des Untergrundes
- Nur wer a) und b) bearbeitet, liefert eine im statischen Sinn korrekte und belastbare Aussage zur Sicherheit. Dieser Hinweis gehört meines Erachtens unbedingt in ein im juristischen Raum gültiges Regelwerk, wie zum Beispiel die ZTV Baumkontrolle 2. Teil.

Moderne Kronensicherung

Eine weitere Konsequenz aus der 25-jährigen Entwicklung der Baumstatik (und Dynamik) war die Entstehung moderner Kronensicherungen, die statisch und dynamisch gleichzeitig das gesunde Wachstum und Kompensationswachstum fördern und den Baum sichern. Anpassungsfähig einzubauende Hohltaue, eventuell mit nachgiebigem Ruckdämpfer, der den Baum bei niedrigen Windlasten schwingen lässt, sind das derzeitige Optimum. Der aktuelle Stand der Technik ist in der ZTV Baumpflege 2006 als Regelwerk festgehalten.

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurde die historische Entwicklung der wissenschaftlich begründeten Baumstatik und der neu dafür entwickelten Diagnosemethoden SIA (Statisch Integrierte Abschätzung) und SIM (Elasto-InclinoMethode) zusammengetragen. Die wesentlichen Grundlagen zur sachgerechten, ingenieurmäßig und juristische belastbaren Vorgehensweisen wurden dargelegt. Zum Schluss folgte die Einbindung in den aktuellen Stand der Regelwerksdiskussionen. Aus aktuellem Anlass sollte nochmals darauf hingewiesen werden, dass Baumstatik schon seit 15 Jahren als Bestelungsgebiet fest im Sachverständigenwesen verankert ist und keinerlei weiterer Bestätigung durch Gerichte bedarf. Im Folgenden sind noch ein Beispiel und statistische Auswertungen zusammengetragen, die den baumstatischen Ansatz als sach- und baumgerecht dokumentieren. Viel wertvolle Baumsubstanz kann so erhalten werden. Und jede genaue Diagnose ist letztlich die kostengünstigste.



Ein Einzelbeispiel für den baumerhaltenden Einsatz der Inclino/Elastomethode

Einer der tausendfachen Beiträge zum Erhalt wertvoller Baumsubstanz: ND Zwieselige Ulme in Ilmenau-Grenzhammer (Thüringen), größte, dickste und älteste Ulme Europas. Bis in 300 m Entfernung sind vor Jahren alle Ulmen dem Splintkäfer zum Opfer gefallen. Diese ist anscheinend resistent. (Abb. 1)

Begleitende Zugversuche mittels Inclino/Elastomethode mit Übernahme der Verantwortung in den Intervallen von 1998 über 2002 bis 2009. Baumhöhe nach fachmännischer Reduktion um 3 m jetzt 33 m, Stammumfang 700 cm, Gewicht etwa 100 t. Ergebnis 2009: Resttragfähigkeit 11,5 %, Tragfähigkeitsabbau 88,5 %, mittlere Wandstärke 4 cm (Splintholz), $t/R = 0,038$. Bruchsicherheit 80 %, Standsicherheit 110 %. Fazit: jetzt konnte nur noch die Ableitung der Windlasten in Bodenabspannungen erfolgen. (Abb. 2)

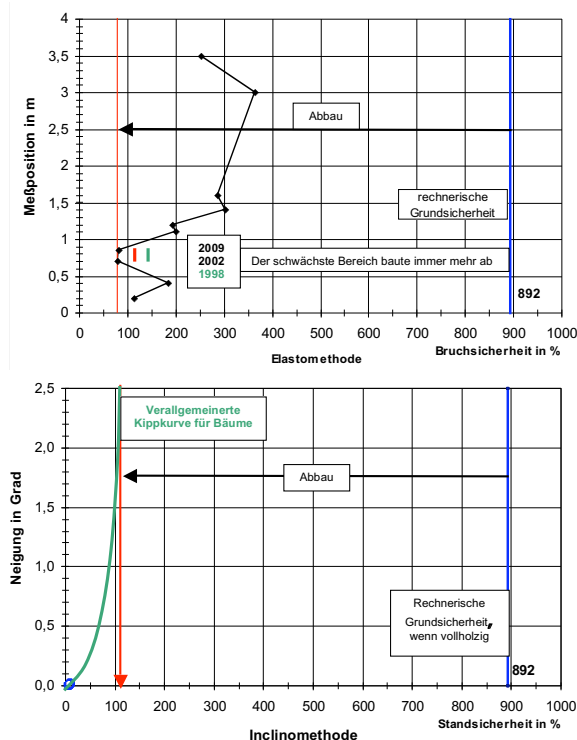
An einem anderen Baum: 4 Elastometer stecken in der Rinde und messen ohne Verletzungen die Dehnung, während der Baum über eine Belastung in der Krone gezielt gebogen wird. (Abb. 3)

Auch ein anderer Baum: Ermittlung der Tragfähigkeit im Bereich der Höhlung mittels Elastometer. (Abb. 4)

Abb. 2: Begleitende Zugversuche mittels Inclino/Elastomethode.

Abb. 3: Messen ohne Verletzung

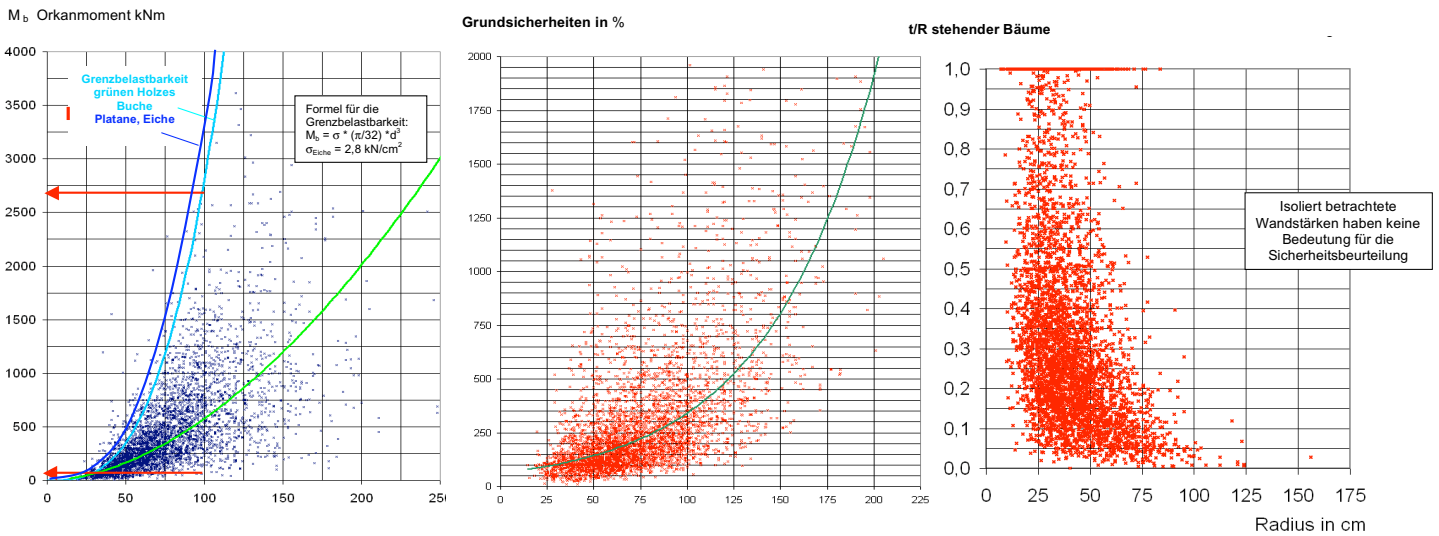
Abb. 4: Ermittlung der Tragfähigkeit



Bruchsicherheit über der Stammhöhe oben. Mit einmal Ziehen erhält man mit 5 Elastometern die Tragfähigkeit, bzw. die Bruchsicherheit in zehn Querschnitten und findet sofort die schwächste Stelle. Bruch- und Standsicherheit erhält man gleichzeitig in einem einzigen Belastungszyklus.

Ein oft beobachtetes Phänomen: Bruch- und Standsicherheit haben nahezu in gleichem Maß nachgegeben, selbst in geschädigtem Zustand verhalten sie sich so wie die Kette gleichstarker Glieder. Auch das ist eine Form der Optimierung.

Grafiken: Lothar Wessolly



4586 stehende Bäume aus dem SIM-Archiv von 8000 Baumstatikgutachten

Diagramm, li.: Baumbelastung zu Stammdurchmesser

Diagramm, m.: Grundsicherheiten zu Stammdurchmesser

Diagramm, r.: Zur Bedeutung von Wandstärken

Ausgewählte Auswertungsergebnisse

Mehr als 8000 dokumentierte Sicherheitsgutachten an Bäumen erlauben uns, statistisch abgesicherte Auswertungen vorzunehmen. Hier Beispiele:

Dieses Diagramm bedeutet folgendes: je nach Baumhöhe, Kronengröße, – Form und Standort müssen die Bäume bei Stürmen unterschiedliche Lasten ertragen. Die Orkanmomente wurden aus der bodennahen Grenzschichtströmung ermittelt, die in entsprechender Höhe auf die Kronenanteile einwirken. Die Bandbreite dieser Belastung kann wegen der Vielfältigkeit der Bäume bis zum Faktor 12 reichen. Das bedeutet, der Baum, der wegen seiner geringen Größe nur 1/12 der Last im Orkan aushalten muss, ist zwölf Mal sicherer als das andere Extrem. Mit anderen Worten: Eine Pauschalbeurteilung, zum Beispiel nur nach Wandstärke liegt völlig daneben und bringt die Sicherheitsanalyse keinen Schritt weiter. Selbst ein Schalltomogramm hängt ohne die Analyse der Belastung völlig in der Luft. Sie hierzu auch das aktuelle Buch von Gruber.

Es ist noch mehr ablesbar: Die dunkelblaue Kurve am oberen Rand des „Kometen“ bedeutet das Erreichen der Elastizitätsgrenze des am stärksten belastbaren Holzes, der Eiche. Die Platane liegt nicht wesentlich niedriger. Sie ist bei uns der größte Laubbaum. Das heißt, dass die Lastanalysen, wie sie in baumstatistischen Gutachten bei der Inclino-Elastomethode SIM und der SIA verwendet werden, im ingenieurmäßigen Ansatz absolut zutreffend sind. Nahezu alle Bäume weisen niedrigere Orkanbelastungen auf, als das grüne Holz bis zur Elastizitätsgrenze aushält. Damit ist der wissenschaftlich Nachweis für die baumstatische Sicherheitsanalyse über die der Inclino/Elastomethode zu Grunde liegenden Lastanalyse statistisch abgesichert und juristisch belastbar.

Grundsicherheiten zu Stammdurchmesser

Dieses Diagramm bedeutet: Wie die Baumbelastungen, differenzieren auch die Grundsicherheiten der Bäume stark unter-

einander. Auch hier ist ein Faktor über 12 möglich. Die Grundsicherheit errechnet sich aus dem Orkanmoment von der Lastseite, bezogen auf das Tragvermögen des Stammes, das sich aus dem Querschnitt und der Druckfestigkeit des grünen Holzes der Baumart (Stuttgarter Festigkeitskatalog) zusammensetzt.

Die grüne Kurve zeigt den Mittelwert. Der steigt mit zunehmendem Stammdurchmesser (Alter) an. Logisch erklärt sich das daraus, dass zwar die Stammdicke von Jahr zu Jahr zunimmt, der Baum selbst aber nicht mehr höher wächst. Das heißt, mit zunehmendem Alter steigt die Grundsicherheit der Bäume. Zunehmende Grundsicherheit steigert die Toleranz gegen Schäden. Je größer die Grundsicherheit, umso mehr kann ein Baum ausfallen. Praktische Hilfe zur Ermittlung der jeweiligen Grundsicherheit des zu beurteilenden Baumes bietet hier die SIA Methode.

Dieses Werkzeug wäre es wert, bei der Baumkontrollrichtlinie Eingang zu finden, (wie es schon in der Tharandter Baumbeurteilung der Fall ist). Mit diesem Schlüssel ließen sich auch die Schalltomographiebilder so ergänzen, dass sie baumstatistisch verwendbar wären. SIA wäre auch ein wesentlicher Zwischenschritt zwischen Baumkontrolle und eingehender Untersuchung.

Zur Bedeutung von Wandstärken

Dieses Diagramm bedeutet: Es lässt sich statistisch kein Hinweis daraus ableiten, dass irgend ein Verhältnis zwischen Wandstärke und Stammdurchmesser zum Beispiel $t/R = 0,3$ für die Sicherheit von Bäumen eine herausragende Bedeutung hätte. Nahezu beliebige Wandstärkenverhältnisse sind möglich. Das war aus den beiden vorausgegangenen Diagrammen auch nicht anders zu erwarten.

Die Wandstärke/Radiusverhältnisse sind weder erbohrt, noch Ergebnis von Schalltomogrammen, sondern sind auf Kreisringe rückgerechnete Messungen an Bäumen mittels Elastometer. Zwar ist klar, dass kaum ein Baum kreisförmig ausfällt,

da aber ein solches Grenzkriterium bei VTA so eingeführt werden sollte, kann das mit diesem Ansatz ad absurdum geführt werden. Die Natur ist eben bei aller optimierenden Entwicklungen der Evolution kein System, das im Sinn der einfachen Mechanik nur geringe Produktionstoleranzen zuließe. Wer das als Arbeitshypothese verwendet, begeht den entscheidenden ersten Fehler. Allerdings ist es durchaus möglich, bei aller Vielfalt der Einwirkungsparameter mit ingenieurmäßigen Ansätzen Ordnung in das vermeintliche multikausale Chaos zu bringen. Das was man nicht weiß, wird mit folgenden Messansätzen für die Sicherheitsbeurteilung verwertbar. Die Messungen stehen nicht zusammenhanglos im Raum, sondern erfassen die Komplexität in ihrer Gesamtwirkung: Die Bruchsicherheitsmessung über die Dehnung der repräsentativen Randfaser mittels Elastometer mit Bezug zum Stuttgarter Festigkeitskatalog. An deren Dehnung sind alle übrigen Holzfasern des Querschnitts in Abhängigkeit ihres Ortes und ihrer Anzahl direkt beteiligt. Auch der Anteil einer eventuellen Aushöhlung wird direkt mit erfasst. Die Standsicherheit über die Neigung des Wurzeltellers, die abhängig ist von der Wurzelverteilung, der Durchwurzelungstiefe, dem Untergrund und eventueller Beeinträchtigungen oder Schäden über die Verallgemeinerte Kippkurve.

LITERATUR

Balder, H.: Die Wurzeln der Stadtbäume, 1998 Parey-Buchverlag; Berlin
 Breloer, H.: Neuregelung der Haftung kommunaler Baumkontrolleure, Stadt und Grün 2/2008, S. 53–58
 Cristoffer, J., M. Ulbricht-Essing: Die bodennahen Windverhältnisse in der BRD, Offenbach 1989, DIN 18920, Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen und Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen
 Dujesiefken, D., Th. Kowol, H. Reinartz, M. Schlag, L. Wessolly: Möglichkeiten d. Baumanalyse, Das GA 40/91
 FLL.: ZTV Baumpflege 2006, Baumkontrollrichtlinie 2004
 Gordon, J. E.: Strukturen unter Stress, Mechanische Belastbarkeit in Natur und Technik, Spektrum der Wissenschaft, 1987
 Gruber, F.: Die VTA-0,32 Wandstärkeregel, wissenschaftlich unhaltbar und praktisch unbrauchbar, Agrar-Umweltrecht 1/2007
 Gruber, F.: Die VTA-Rw/R Grenzregel zum Baumwurf, ein weiteres wissenschaftlich nicht nachvollziehbares und praktisch inadäquates Versagenskriterium der Standsicherheit, Agrar- und Umweltrecht 3/2007
 Gruber, F.: Die wissenschaftlich nicht nachvollziehbaren VTA-H/D = 50 Grenzkonstante, ein kaum brauchbares nicht justitierbares Verkehrssicherheitskriterium, Agrar- und Umweltrecht 8/2007
 Gruber, F.: Aktuelles zu Versagens-/Sicherheitskriterien und zur Adaption von Bäumen, München 2009
 Höster, H. R.: Baumpflege und Baumschutz, Stuttgart Ulmer-Verlag 1993
 Jahn, H.: Pilze an Bäumen, erweitert von Reinartz, H./Schlag, M., Patzer-Verlag, Berlin/Hannover 2005
 Koch, W.: Beweissicherung mit Maßnahmenkatalog nach Wurzeleingriff – Baumstatikprüfung, eine Aufgabe für Spezialfachverständige, Schriftenreihe Taxationspraxis Heft LP 23, SVK – Verlag Wilnsdorf 1989
 Mattheck, C., H. Breloer: Handbuch der Schadenskunde von Bäumen, 1994
 Löffler, M.: Ermittlung der Materialeigenschaften grüner Hölzer, wiss. Arb. Universität Stuttgart 1990
 Otto, F.: Rechtliche Grundlagen zum Einsatz von Geräten für Baumdiagnosen, Neue Landschaft, 2/99, S. 84
 Otto, F.: Das Erkennen v. Sicherheitsproblemen i. Aufgabenbereich d. Grünflächenamtes, Stadt und Grün, 3/98, S.171
 RAS LP 4: Landschaftsgestaltung, Abschn. 4, Schutz von Bäumen und Sträuchern im Bereich von Baustellen, Ausgabe 1999
 Reinartz, H., M. Schlag: Methode zur Beurteilung pilzbedingter Schäden an Straßen- und Parkbäumen, Neue Landschaft 33, 2/88, Reinartz, H./Schlag, M.: Pilz-

infektionen und ihre Auswirkungen auf Jung- und Altbäume, Unterlagen der Seminare des Instituts für Baumdiagnose, Köln ab Mai 1993
 Reinartz, H., M. SCHLAG: Wichtige holzerstörende Pilze an Straßen- und Parkbäumen, Das Gartenamt 6/94, S. 403
 Reinartz, H., M. Schlag, L. Wessolly: Schädigung + Beurteilung des Riesenportlings an Buche, Stadt + Grün 10/96,
 Reinartz, H., M. Schlag: Schädigung und Kontrolle der Lackportlingsarten, Neue Landschaft, 2/99, S. 79
 Reinartz, H., M. Schlag: Schädigung und Kontrolle des Brandkrustenpilzes, Neue Landschaft, 9/99, S. 577
 Roloff, A. (Hrsg.): Baumpflege, Ulmer Verlag 2008
 Ruscheweyh, H.: Dynamische Windwirkung an Bauwerken, Bd. 1+2, Berlin 1982
 Rust, St.: Geräte und Verfahren zur eingehenden Baumuntersuchung in Roloff (Hrsg.) Baumpflege, Ulmer 2008 S. 129 ff
 Schneider, W. Haftungsfragen im Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit von Bäumen, VersR 2007 Heft 16
 Schulz, H. J.: Verkehrssicherungspflicht bei Straßenbäumen, Stadt und Grün 7/99, S. 461
 Schulz, H. J.: VTA und seine fachlich belastbaren Grundlagen, WF 2/05 45
 Shigo, A.: Die Neue Baumbiologie, Thalacker, Braunschweig, 1990
 Siewniak, M., D. Kusche: Baumpflege heute, Patzer-Verlag, Berlin 1994
 Sinn, G., L. Wessolly: Messungen an Bäumen: Ermittlung d. Sicherheiten geg. Kippen o. Bruch, Das GA 38, 7+8, 89
 Spatz, H.-Chr., Ch. Boomgaardens, Th. Speck.: Contribution to the biomechanics of plant, III. Experimental and theoretical studies of local buckling, acta botanica 1993
 Spatz, H.-Chr.: Ein Kommentar zur mechanischen Stabilität hohler Bäume, Das Gartenamt 2/94 S. 92
 Vetter, H., L. Wessolly: Verkehrssicherheit- Kronensicherung, Das Gartenamt 9/94 S. 611–615
 Vetter, H., L. Wessolly: Kronensicherung in Bäumen, Neue Landschaft 2/95, S. 104–110
 Weigel, B., L. Wessolly: Standsichere und vitale Bäume auf einer Tiefgarage, Stadt und Grün 2/96, S. 110
 Weiss, H.: Fachgerechte Sicherung bruchgefährdeter Baume und Baumteile, in Roloff (Hrsg.) Baumpflege, Ulmer 2008 Wessolly, L.: Baumstatik – Was ist das? Der Gartenbau, Schweiz 8/89, S. 1445
 Wessolly, L.: Zur Verkehrssicherheit von Bäumen – zwei neue zerstörungsfreie Messverfahren, Neue Landschaft 9/89;
 Verfahren z. Bestimmung der Stand- u. Bruchsicherheit von Bäumen, Holz als Roh- und Werkstoff 49,91;
 Baumstatische Analyse der Frühjahrsorkane, Neue Landschaft 11/91;
 Verkehrssicherheit: Zur sachgerechten Beurteilung geschädigter Bäumen, Neue Landschaft 1/93, S. 33 ;
 Großbäume auf Tiefgaragen, Untersuchung zur Standsicherheit LA 3/93 S. 59;
 Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen, Das Gartenamt 8/93, S. 486;
 Wurzelschäden und Standsicherheit von Bäumen, Neue Landschaft 11/94 S. 853;
 Bruchdiagnose von Bäumen Teil1-3, Stadt und Grün 6/95, S. 416–424, 8/95 S. 570–573, 9/95 635–640;
 Standsicherheit von Bäumen, das Kippverhalten ist geklärt, Stadt und Grün 4/96, S. 268–272;
 Wie hohl darf ein Baum sein? Neue Landschaft 11/96, S. 847;
 Einfluss des Baumschnittes auf die Statik: Tagungsband Westdeutsche Baumpflegetage 1996;
 Schuldhaftes Verletzung der Verkehrssicherungspflicht bei Bäumen, Agrarrecht 10/96, S. 502;
 Muss man jetzt bohren? Stadt und Grün 3/97 S. 150;
 Zu: Bohren unverzichtbar? AFZ/Der Wald 8/1997 S. 450;
 Jahrhundertorkan Lothar – Lehren für die Beurteilung der Sicherheit von Bäumen, Neue Landschaft 3/00;
 Verkehrssicherheit von Bäumen – Eine Bilanz , Stadt und Grün 13/2000, S. 42–47;
 Vorspannung – der unverzichtbare Turbo für junge Bäume. Stadt und Grün 7/2000, S. 474;
 Der Platanensturz in Straßburg – Baumstatische Ursachen, Stadt und Grün 10/2001 S. 703;
 Zur richtigen Bemessung von Kronensicherungen, Stadt und Grün, 7/2002, S. 54;
 Baumdiagnose – Eingehende Untersuchung mittels Zugversuch – Ergebnisse, Pro-Baum 1/2004 S. 2 + 3;
 Bäume dürfen hohl sein. Baumzeitung 5/2005, S 27;
 Neue ZTV Baumpflege, Kronensicherungen. Pro Baum 4/2005, S. 2–10;
 Die Sicherheit des Anne Frank Baumes, Baumzeitung 3/08 S. 37 f;
 Holzbock oder künstliche Pfahlwurzel ?, Bi GaLaBau 10 +11 08;
 M. Erb: Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle, Patzer-Verlag, Berlin/Hannover 1998
 Wessolly, L., W. Mang: Die Tübinger Platanenallee, Stadt und Grün 7/98 S. 50
 Zuranski, J.: Windbelastung von Bauwerken und Konstruktionen, Köln 72