

Dr. Ing. Lothar Wessolly

Sicherheitsfaktoren bei der Eingehenden Baumuntersuchung

Die visuelle, rein qualitativ vorgenommene Baumkontrolle kennt ebenso wenig Sicherheitsfaktoren, wie das Erkennen sogenannter Schadsymptome. Denn die so gewonnenen Ergebnisse sind individuell geprägt und subjektiv wahrgenommen. Das bedeutet nicht, dass sie beliebig wären, aber es kann keine Exaktheit daraus abgeleitet werden.

Wichtig werden Sicherheitsfaktoren, wenn Bemessungsgrößen, wie zum Beispiel die Bruchlasten von Kronensicherungsmaterial in der ZTV Baumpflege festgelegt werden. Oder wenn Sicherheitsberechnungen, wie bei der Baumstatik vorgenommen werden und Unwägbarkeiten mit erfasst werden müssen, um eine Haftung für die Sicherheitsaussage übernehmen zu können. Der zweite Weg, sich der Haftungsfrage zu entledigen ist die deutliche Reduktion der Krone zur Minderung der auftretenden Last. Aber das ist für uns kein gangbarer Weg.

Die Sicherheit technischer Bauwerke stützt sich auf die rechnerische Durchdringung physikalischer Sachverhalte. Je genauer Längen, Gewichte, Geschwindigkeiten, Richtungen, Materialdaten wie Steifigkeit oder Festigkeit, Eigenfrequenzen usw. erfasst werden können, um so treffsicherer ist das Ergebnis.

Bei der Konstruktion z.B. einer Stahlbrücke sind Wandstärken und die Materialführung (Konstruktion) so ausgeführt, dass mit hoher Genauigkeit die Tragfähigkeit errechnet werden kann, denn Stahl kann in seinen Eigenschaften sehr zielgenau hergestellt werden. Allerdings ist Stahl kein besonders teurer Werkstoff, so dass man wesentlich stärker dimensionieren darf, ohne viel zu verlieren. Ja stärker man überdimensioniert, um so länger kann man sich auf das sichere Bauwerk verlassen. Man muß nicht sehr häufig kontrollieren. Damit lässt sich der höhere Materialverbrauch schnell kompensieren.

Bei laufendem Gut mit Stahlseilen ist ein Sicherheitsfaktor von 8 gefordert. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass man in Seile nicht reinschauen kann und die Bewegung höhere Lasten als das ruhende Gewicht zeitigen kann und dass Menschen entweder daran hängen oder darunter stehen.

Schwieriger wird es schon, wenn die Dynamik hinzu kommt. Dann spielt das Gewicht eine entscheidende Rolle. Besonders gilt das im Flugzeugbau. Wenn man das Prinzip der Überdimensionierung der Brücke übertragen würde, wäre der Vogel flugunfähig.

Somit gilt die Aufgabenstellung: Sicherheit und eine Dimensionierung dergestalt, dass die Flugfähigkeit gewahrt und noch eine erhebliche Transportleistung erbracht werden kann. Hinzu kommt noch der Faktor Zeit, der Abnutzungserscheinungen, Materialermüdungen mit sich bringt.

Das Problem dieser „auf Kante genähten“ Sicherheit wird, wo es geht, mit einer faile – safe Architektur gelöst. Das bedeutet z. B. dass eine Last wo möglich nicht über ein einzelnes Bauteil, sondern über viele parallele Lastabtragungselemente geführt wird. Versagt dann eines, stehen die anderen noch zur Verfügung. Das wird auch Fehler-

Toleranz-Konzept genannt. Von einer solchen Struktur wird gefordert, dass sie fehlerbehaftet die zu erwartenden Belastungen so lange erträgt, bis der Fehler oder ein nicht sicherheitsgefährlicher Funktionsausfall entdeckt und repariert werden kann. TOBER,G./SCHMIDT, H.J. Das zweite Bein ist also ein sehr strenger Kontrollmechanismus, der nahezu ununterbrochen angewendet wird. So kann der Flugzeugbau mit einem Sicherheitsfaktor von 1,5 selbst bei 50 Jahre alten Flugzeugen klar kommen. Wo sich die Lastübertragung nicht aufteilen lassen, wie z.B. beim Fahrwerk wird das safe - life Prinzip angewendet, also eine limitierte Lebensdauer. Automobile sind schneller verschlissen.

Beim Baum sind die Verzweigungssysteme Wurzel und Krone der faile safe Architektur deutlich ähnlich. Fällt eine Wurzel aus, führt das nicht zum Kippen des Baumes. Im Stamm dagegen werden die Kräfte konzentriert übertragen. Dennoch unterscheidet sich der Baumstamm erheblich von einem aus einem Metallteil bestehenden Flugzeugfahrwerk. Metall kann verspröden, ein Riss ist fatal. Grünes Holz dagegen ist weich nachgiebig, duktil, sodass leicht Lastübertragungen auf Nachbarbereiche übertragen werden, sollte eine Beschädigung vorliegen. Damit nähert sich auch der Stamm wieder der faile safe Architektur, dazu mit der Fähigkeit ausgestattet, Reparaturen vorzunehmen. Der Baum ist also eine sehr tolerante Struktur, die gut mit Schäden umgehen kann.

Die moderne Baumkontrolle lehnt sich mit der vom Verfasser begründeten Baumstatik an erprobte technische Ingenieurdisziplinen an. Aus dem Flugzeugbau kommend, wurde deren Sicherheitsphilosophie übertragen. So viel berechnen, wie möglich. Da aber, anders als bei technischen Konstruktionen, keine Konstruktionszeichnung des Baumes vorliegt und auch häufig wie die Wurzel oder das Innere eines hohlen Baumes unzugänglich sind, müssen geeignete Messverfahren die für die Berechnung fehlenden Werte bereitstellen. So lässt sich dann das Tragvermögen errechnen. Im Bereich des Stammes kann man mittels Zugversuch und Elastometer die Dehnung der repräsentativen Randfaser erfassen und im Vergleich mit der aufgebrachten Last über die Elastizitätsgrenze des Stuttgarter Festigkeitskatalogs die Bruchlast angeben. Mit dem Schalltomographen lässt sich das geometrische Tragvermögen, das Widerstandsmoment der tragfähigen Querschnittsteile aufzeichnen und ebenfalls über die Druckfestigkeiten grüner Hölzer des Stuttgarter Festigkeitskatalogs, die Bruchlast errechnen. Hier ist die Druckfestigkeit als der Spannungswert definiert, der bei Erreichen der Elastizitätsgrenze erreicht wird. Das Versagen der Verankerung im Boden, der Verlust der Standsicherheit lässt sich aus den Neigungswerten des Inclinometers über die Verallgemeinerte Kippkurve nach Wessolly errechnen. Somit kennt man die Versagenslasten beider Sicherheitskategorien.

Bei jeder Sicherheitsaussage ist die Kenntnis der auftretenden Belastung erforderlich. Die Hauptbelastung für die Bäume, sofern sie nicht extrem schief stehen, ist der Wind. Man sieht ihn nicht, sondern nur seine Wirkung. Die größten Windgeschwindigkeiten in unseren Breiten werden mit Orkanwindstärken beschrieben. Hierbei sind 12 Beaufort, der Orkan, das obere Ende der Skala. Damit wird ein Bereich ab 118 km/h – 131 km/h erfasst. Nun ist der Wind kein gleichmäßiger Föhn, sondern ein Sammelsurium auf- und abschwelliger Windbälle, deren Struktur vom Strömungsvorfeld des Baumstandortes geformt wird. Man könnte vor so viel Unwägbarkeiten aufgeben. Aber der Mensch hat auch Flugzeuge zum Fliegen gebracht, obwohl er den Auftrieb der Flügel nicht berechnen konnte. 100

Jahre nach dem Erstflug ist das erst jetzt mittels Großrechner und finite-element Programm möglich.

Aber die Aufgabe heute kann, muss mit den Möglichkeiten von heute gelöst werden. Es hilft kein Zuwarten bis man alles genau weiß. Dazu ist der Ansatz hilfreich, alles so auszulegen, dass die Haftungsverantwortung übernommen werden kann.

So haben wir den Baum als in der Bodengrenzschicht eines Orkanes freistehendes belaubtes Exemplar definiert und aus eigenen Messungen im Orkan Luftwiderstandbeiwerte zwischen 0,15 und 0,35 vorgeschlagen. Zudem wird noch die belastungsfördernde Eigenschwingung mit einem Faktor berücksichtigt. Natürlich ergeben sich auch entlastende Faktoren der Eigenschwingung, wenn zum Beispiel der Baum zurückschwingt und genau zu diesem Zeitpunkt die nächste Böe einsetzt. Nach der Philosophie, in erster Linie nur Belastendes zu berücksichtigen, um den Haftungsfall auszuschließen, ist die Beobachtung des Auspendelns der Krone eine akademische Spielerei. Denn bei einem Orkan pendelt kaum noch etwas, zumal in belaubtem Zustand das Pendeln schnell gedämpft ist.

Anders als eine technische Konstruktion, die mit klaren Sicherheitsfaktoren hingestellt wird und dann altert, wächst der Baum in die Höhe und in die Breite. Irgendwann hat er seine maximale Höhe erreicht, wächst aber immer noch in der Stammdicke, dessen Belastbarkeit in der 3. Potenz des Durchmessers zunimmt. Das bedeutet, Jahr für Jahr wird der Baum sicherer. Wäre er vollholzig, würde seine Grundsicherheit immer stärker werden. Im Extremum haben wir an 1500 jährigen Eiben Grundsicherheitsfaktoren von über 1000 gefunden. Zur Erinnerung, beim Flugzeugbau wird ein Sicherheitsfaktor von 1,5 angestrebt

Grundsicherheit zu Stammdurchmesser

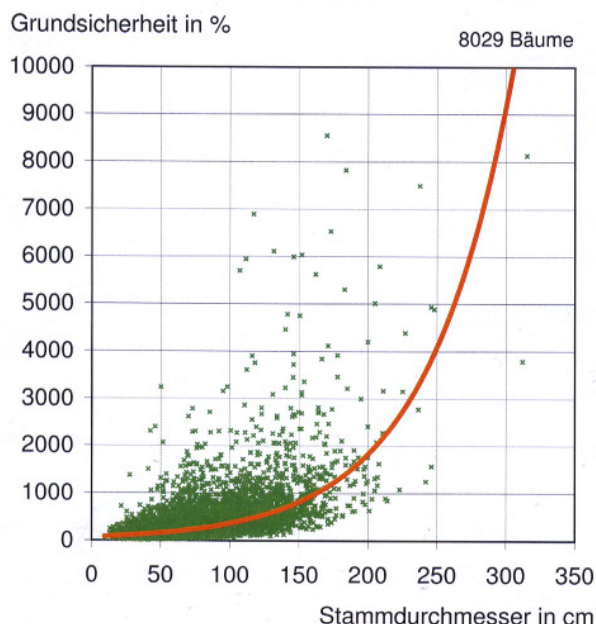


Abb. 1. Die Auswertung des eigenen Gutachtenarchivs zeigt, dass die mittlere Grundsicherheit (rote Kurve) der Bäume relativ niedrig beginnt, um immer stärker anzusteigen. Aus diesem Sachverhalt lässt sich folgendes ableiten: Ein junger Baum ist nicht durch eine innere Fäule beeinträchtigt, sondern sogar vorgespannt. So übersteht er Orkane auch mit Sicherheiten unter 100 %. Der erwachsen werdende Baum, immer noch ohne Aushöhlung, übersteht bis zu einem Stammdurchmesser von 75 cm Orkane mit einer Sicherheit unter 200 %. Dieser Feldversuch der Natur bestätigt, dass Sicherheiten von 150 % anzusetzen der angemessene Weg der Beurteilung ist. Das lässt sich dann auch auf ältere ausgefallene Bäume übertragen, deren Sicherheit mittels Elasto/Inclinomethode bestimmt wurde. Über 15000 Bäume sind mit dieser Sicherheitsphilosophie haftungsbelastet ohne Schadensfall beurteilt worden.

Aber zu so einem Sicherheitsauswuchs kommt es in Wirklichkeit nicht. Holzeretzende Pilze sorgen schon dafür, dass nicht zuviel unnützes Holz im Baum anzutreffen ist. Die o.g. extrem vitalen Eiben haben bei Stammdurchmesser bis zu 380 cm eine mittlere Wandstärke von 1 cm ($t/R = 0,005$).

Bei der Sicherheitsbeurteilung der Bäume mittels Statisch Integrierter Abschätzung (SIA) oder der Inclino/Elastomethode (SIM) werden unsere Eingangsdaten so konservativ gewählt, dass wir mit einem Sicherheitsfaktor von 1,5 = 150 % als Untergrenze arbeiteten. Konservativ heißt, Mittelwert der Druckfestigkeiten des grünen Holzes zuzüglich der die Schwankungsbreite beschreibenden Standardabweichung. Bei allen Unwägbarkeiten war das vor 25 Jahren ein gewagter Ansatz, der allerdings so viele Bäume vor den damals üblichen Angstschnitten bewahrt und die Selbstheilungskräfte durch größtmögliches Belassen des Kronenmantels gefördert hat.

Inzwischen können wir auf über 15 000 archivierte, haftungsbelastbare Gutachten zurückgreifen, ohne dass es zu einem unvorhersehbaren Schaden gekommen ist.

Damit ist mit unseren baumstatischen Ansätzen der Sicherheitsfaktor von 1,5 ein juristisch belastbarer Wert und Stand der Technik. Abweichende aerodynamische Ansätze und Programme, die Windkarten in Deutschland zu Grunde legen, sind damit nicht abgedeckt und fahrlässig. Windkarten z.B. nach DIN spielen für die Bemessung von Gebäudestandards großmaßstäblich eine ökonomische Rolle. Da fällt es kaum einmal ins Gewicht, wenn ein paar Gebäude durch ein Gewitter beschädigt werden. Aber die stärkste Belastung eines Baumes, ein Gewitterorkan in belaubtem Zustand, ist mit der Anlehnung an eine Gebäudenorm nicht erfasst, wohl aber in unserem Ansatz, dass ein Gewitterorkan überall und aus jeder Richtung auftreten kann. Das hat der Pfingstorkan 2014 in Nordrhein-Westfalen eindrucksvoll bestätigt.



Abb. 2: Folgen des Pfingstorkans 2014 in Düsseldorf- Himmelsgeister: Hieran kann man gut den von uns erarbeiteten cw Wert von Bäumen nachkontrollieren. Eine definierte Windgeschwindigkeit und ein Ausmessen der stehen gebliebenen Pappeln.

Bei der Bemessungstabelle der Kronensicherung nach ZTV Baumpflege wurden die gleichen Sicherheitsüberlegungen angestellt. Im entsprechenden FLL Gremium wurde eine etwa 2 fache Sicherheit beschlossen. Eine höhere Sicherheit anzustreben wäre kontraproduktiv, da sie zu steiferen Ausführungen und damit zu Stoßbelastungen führt. Je stärker, umso besser, trifft hier absolut nicht zu.

Mit diesem Sicherheitsansatz können wir ruhigen Gewissens Gewährleistungen übernehmen, die je nach ermitteltem Sicherheitsabstand 3 bis 8 Jahre betragen, bei der Kronensicherung 12 Jahre. Denn anders als in der Tierwelt existieren beim Baum kein Kreislauf, Herz oder Hirn die unversehens versagen können und eine Gewährleistung verunmöglichen.

Die Prozesse im Baum laufen langsam und kontinuierlich, wobei die zuwachsenden und kompensierenden den Abbau nochmals aufhalten oder zumindest verlangsamen können.

KEIL, Telefonische Auskunft, Bauingenieurbüro Schlaich, Bergermann und Partner Stuttgart.

KRAILICH, Telefonische Auskunft, Institut für Flugzeugbau der Universität Stuttgart
TOBER,G./SCHMIDT, H.J: Fehlertoleranz-Konzepte in der Luftfahrt, DHZFP Querschnittseminar und Bruchmechanik, Berlin 1998

WESSOLLY,L./ERB, M. Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle 2014