



Belastung von Altbäumen durch den Wind

cw-Wert-Messungen im Orkan Jeanette

Thomas Sinn

Am 27.10.2002 zog der Orkan Jeanette mit Windgeschwindigkeiten bis zu 152 km/h über Deutschland hinweg und richtete schwere Schäden an. Dieses Sturmereignis bot günstige Voraussetzungen für Belastungsmessungen. Zum einen wurde von den Wetterdiensten der genaue Zeitpunkt des Eintreffens des Orkans vorhergesagt und zum anderen waren die meisten Bäume noch immer belaubt und boten so ideale Voraussetzungen für Windwiderstandsmessungen. Der Verfasser konnte während des Orkanereignisses erstmals umfangreiche Belastungsmessungen an einer etwa 350 Jahre alten und mehr als 20 m hohen, bereits gekappten Stieleiche durchführen. Vergleichbare Untersuchungen wurden bislang an Altbäumen noch nicht durchgeführt. Die Meßergebnisse zeigen, daß bei baumstatischen Analysen die Luftwiderstandsbeiwerte „cw“ zu modifizieren sind.

Der cw-Wert von Bäumen

Ein wesentliches Element statikintegrierter Zugprüfungen von Bäumen zur Überprüfung der Stand- und Bruchsicherheit sind die Windlastannahmen. Bäume sind keine starren Baukörper. Der Wind kann durch die Kronen hindurchblasen und unter Windbelastung gibt die elastische Baumkrone dem Winddruck nach. Der Baum „böckt“ sich und „legt die Ohren an“. Für die Entwicklung der Baumstatik waren insbesondere die Arbeiten von Mayhead (1973) von Bedeutung. Bei seinen Versuchen mit Nadelbäumen im Windkanal wurden für Windstärke 12 cw-Werte um 0,2 festgestellt.

Weitere cw-Wertmessungen erfolgten insbesondere an der Universität Stuttgart mit einer speziellen Windmeßanlage während des Orkans Vivian im Februar 1990. Die Messungen an einer Kiefer ergaben cw-Werte bis etwa 0,23 bei Windstärke 12. Bei gleichzeitig gemessenen Laubbäumen lag der cw-Wert deutlich darunter, vor allem da sie unbelaubt waren. Aktuellere Messungen von Wessolly auf Korsika weisen an einer immergrünen, 11,30 m hohen Eiche bei Windstärke 10 einen cw-Wert von etwa 0,28 nach. Da der Luftwiderstandsbeiwert cw von Bäumen mit zunehmender Windgeschwindigkeit abnimmt, kann nach den bislang vorliegenden Meßkurven für diesen Baum ebenfalls ein cw-Wert um etwa 0,2 bei Windstärke 12 extrapoliert und angenommen werden.

Allen bislang veröffentlichten Messungen zum Luftwiderstandsbeiwert cw von belaubten Bäumen ist eines gemeinsam: Es handelte sich um relativ kleine Bäume beziehungsweise um Nadelbäume. Daher wurden stets geringe cw-Werte um 0,2 gemessen (der cw-Wert ist der Multiplikator bei den Windlastannahmen von Bäumen und daher von eminenter Bedeutung für die Windlastermittlung).

Viele Widrigkeiten gilt es bei der cw-Wertmessung von Bäumen zu überwinden:

1. Orkane kommen nicht auf Bestellung.
2. Zur Zeit der Winterorkane sind die heimischen Laubbäume unbelaubt.
3. Die Windstärkemessung muß im Bereich des Windlastschwerpunktes in der Krone erfolgen. Bei großen Bäumen kann der Windlastschwerpunkt in einer größeren Höhe als 20 m sein.



4. Die Messungen erfordern einen erheblichen Zeit- und Materialaufwand (siehe nachfolgende Versuchsbeschreibung).

Große Altbäume weisen häufig Kronensegel von mehreren hundert Quadratmetern Fläche und ein entsprechend großes Kronenvolumen sowie eine geringe Nachgiebigkeit der Äste und Zweige auf.

Der Feldversuch

Aufgrund der eingangs beschriebenen günstigen Voraussetzungen und der Möglichkeit des Anbringens einer Windmeßanlage im Bereich des Kronenschwerpunktes ergab sich im Rahmen des laufenden Forschungsprojektes der Arbeitsstelle für Baumstatik erstmals die Möglichkeit einer Messung zur Bestimmung des Luftwiderstandsbeiwertes c_w an einem mehr als 20 m hohen, etwa 350 Jahre alten Naturdenkmalbaum mit mehr als zweihundert Quadratmetern Kronensegelfläche.

Die „Pfarrgarten-Eiche“ mit einem Stammumfang von fast 6 m steht in einem Pfarrgarten nahe Frankfurt am Main. Nach Westen steht sie weitgehend frei.

Die Windlastannahmen erfolgten im Vorfeld der Windstärke- und Dehnungsmessungen. Es wurde ein Polaroid-Foto der Eiche gefertigt, die Baumkonturen eingezeichnet, die Baumhöhe gemessen und anschließend das Bild im Windlastprogramm der Arbeitsstelle für Baumstatik digitalisiert. Über verschiedene Lastbeiwerte für die windangeblasene Baumstruktur wurden die Windlastannahmen erstellt.

Am Tag des Orkans wurde die Windmeßanlage bis in der Höhe des Windlastschwerpunktes der Eiche installiert. Der Abstand der ersten Windmeßstation bis zum Kronenmantel der Eiche betrug 11,20 m. Eine zweite Windmeßstation wurde vor der Eiche in 16,30 m Entfernung zum Kronenmantel bis in 3,60 m Höhe aufgestellt. Am Stammfuß der Eiche wurde ein Dilatometer (Setz-Dehnungsmesser) angebracht. Alle verwendeten Meßgeräte verfügen über einen min-/max-Speicher, das heißt es wird der jeweils größte Ausschlag auf der Meßskala gespeichert und auf dem Display angezeigt.

Die Geräte wurden von Beginn des Sturmereignisses an fortlaufend abgelesen. Alle Veränderungen von Windstärke 8 - 11 wurden während der mehrstündigen Messungen fortlaufend festgehalten. Danach wurde die Meßstelle, das heißt die Einstichpunkte der zwei Nadeln des Dilatometers am Stammfuß, mit wetterfestem Farbpastenstift für die nachfolgenden Messungen markiert.

Vier Tage nach den Windstärke- und Dehnungsmessungen im Orkan Jeanette, die sich über zwei Tage erstreckten, erfolgte an dem Baum bei Windstille ein Zugversuch in Ostrichtung, also genau in der Belastungsrichtung des Baumes unter dem orkanartigen Sturmereignis aus Westrichtung. Ein Vergleich zwischen den unter der tatsächlichen Windbelastung gemessenen Dehnungswerten mit den Dehnungswerten unter definierter Zugbelastung ließ eindeutige Rückschlüsse auf die tatsächliche Belastung des Baumes bei den verschiedenen Windstärken zu.

Es mußten bei den Windlastannahmen für verschiedene Windstärken nur noch die



Luftwiderstandsbeiwerte c_w im Baumstatikprogramm der Arbeitsstelle für Baumstatik so lange angepaßt werden, bis die Windlasten der Windlastannahmen mit den unter Zugbelastung gemessenen Zugkräften übereinstimmen.

Das Ergebnis war erstaunlich: Bei Windstärke 11 wurde der Altbaum durch den orkanartigen Sturm am Stammfuß mit fast 1.000 kNm belastet (dies entspricht der Masse einer Gewichtskraft von ca. 100 Tonnen). Dieser enormen Belastung widerstand der bis auf wenige Zentimeter Restwanddicke ausgefaulte und in der Vergangenheit bereits angebrochene Baumstamm problemlos.

Fazit

Mit den vorliegenden Untersuchungsergebnissen konnte erstmals der Luftwiderstandsbeiwert c_w eines sehr großen, etwa 350 Jahre alten und bereits gekappten Naturdenkmalbaumes gemessen werden. Die (bislang einmaligen) Meßergebnisse zeigen, daß bei baumstatischen Analysen die Luftwiderstandsbeiwerte c_w je nach Flexibilität der Krone zu modifizieren sind. Ältere Bäume mit sperrigen Ästen und relativ großen Kronen setzen dem Wind einen größeren Widerstand entgegen. Sie weisen einen wesentlich höheren c_w -Wert auf.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens der Arbeitsstelle für Baumstatik, das fortgesetzt wird, konnten bislang außer von der Pfarrgarten-Eiche c_w -Werte für einen mehr als 12 m hohen, etwa 50 Jahre alten und gekappten Birkenaltbaum im Orkan gewonnen werden.

Abbildungen:

Diagramm: Darstellung der gemessenen zunehmenden Belastung der Pfarrgarten-Eiche mit zunehmender Windstärke (Wert für Windstärke 10 interpoliert)

Abb. 1 Habitus der etwa 350 Jahre alten Pfarrgarten-Eiche

Abb. 2 Dilatometer zur c_w -Wert-Messung am Stammfuß der Pfarrgarten-Eiche

Literatur:

Mayhead, G.J.: Some drag coefficients for british forest trees derived from wind tunnel studies. Agric. Meteorol. 12, 1973, S. 123 - 130

Wessolly, L.: Baumstatische Analyse der Frühjahrsorkane. Neue Landschaft 36, 1991, November, S. 777 - 784, Patzer-Verlag

Wessolly, L.: Analyse der am Baum wirkenden äußeren Kräfte, deren Auswirkungen und Ableitungen für die Praxis. Vortragsskript (Kopie ohne weitere Angaben, um 1992/1993)