Bruchverhalten hohler Stämme

Woran versagt der hohle Baumstamm bei Biegebelastung als erstes? Um dieser Frage nachzugehen, wurden in Österreich über mehrere Jahre zahlreiche aufwendige Untersuchungen durchgeführt.

Text Roman Novak, Rainer Prosenz

In einem Forschungsprojekt, an dem die Firma SV Prosenz, die Österreichischen Bundesforste (ÖBf) und Brudi & Partner TreeConsult beteiligt waren, wurde über den Sommer 2012 das Bruchverhalten sehr hohler Bäume (Höhlungen zwischen 80 und 98 Prozent, Stammdurchmesser zwischen 52 und 131 Zentimeter) untersucht. Weitere Versuche wurden in den Jahren 2013 und 2014 von Roman Novak mit Unterstützung der Firmen Prosenz und Brudi & Partner TreeConsult durchgeführt.

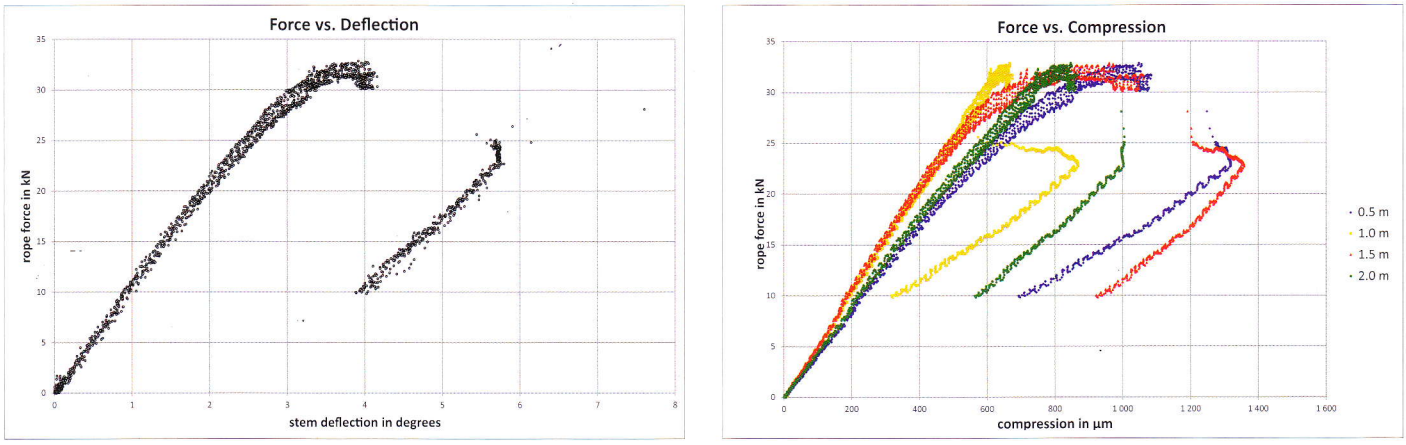
Die Ausgangslage

Viele Symptome können nur gemessen werden und sind mit freiem Auge nicht sichtbar. Wichtig und entscheidend für die Prognose des Baumbruchs ist das erste feststellbare Versagen, das Primärversagen.

Um der Versagensart im Stamm nachzuspüren, ist es erst einmal notwendig nachzuweisen, ob es überhaupt ein messbares Primärversagen im Stamm gibt, und wenn ja, ob es möglich ist, genau festzustellen, welche Bereiche und Strukturen im

// Risse waren zwar häufig das erste sichtbare Versagenssymptom, jedoch konnte vorher mit hoch sensiblen Geräten ein Faserstauchen gemessen werden. //

Fotos: Novak



Grafiken: Brudi & Partner TreeConsult

// Gegenüberstellung der Seilzugkraft in kN und der Stammbiegung in Grad ° (Diagramm 1) bzw. der Faserkompression in µm (Diagramm 2). Die linke Grafik stellt die Stammbiegung dar, die rechte zeigt die Faserstauchung. Ein erstes Versagen ist in beiden Abbildungen im Lastbereich von ca. 26 kN, durch ein Abweichen der Linearität der Messdatenreihe zu erkennen. Eine Krümmung hat sich gebildet und zeigt somit das Primärversagen im Stamm. Im weiteren Verlauf ist in beiden Grafiken ein Sprung innerhalb der Messdaten zu erkennen, der ein Sekundärversagen in Form eines Risses darstellt. //

Stamm versagen. Als Primärversagen bezeichnet man ein Versagen, bei dem der Werkstoff nicht endgültig bricht, aber eine Verformung erleidet, wie zum Beispiel eine Stahlfeder, die etwas zu weit gedehnt wurde. Sie erfüllt meist noch ihre Funktion, ist aber beschädigt. Die Last vor dem Primärversagenspunkt ist die maximale Last, mit der ein Werkstoff belastet werden darf.

In der bestehenden Literatur und in der Praxis existieren mehrere Theorien und Meinungen bezüglich der Ursachen eines Stammversagens. So gibt es Theorien, wonach ein Baumstamm, der ein dünnwandiges Rohr darstellt, an einem Strukturversagen, dem sogenannten Schalenbeulen, versagt (Mattheck 2006 a). Ein Stamm, der ein dickwandiges Rohr darstellt, versagt hingegen durch einen Schubriss, der durch eine zunehmende Ovalisierung verursacht wird (Mattheck 2006 a; Mattheck et al. 2006 b).

Eine weitere These besagt, dass besonders dünnwandige Baumstämme zur Ovalisierung neigen, wobei sich Tangentialzugspannungen mit Schubspannung am Rande der stärksten Krümmung überlagern und schließlich Risse gebildet werden, die letztendlich zum Versagen führen (Dengler 2014). Demgegenüber gibt es Theorien, dass ein vollholziger sowie ein hohler Baumstamm durch Faserstauchen an der windabgewandten Druckseite des Baumes versagen (Detter et al. 2013; Wessolly & Erb 1998).

Methodik

Bei elastischen Werkstoffen, wie hier lebendes (grünes) Holz, ist der Primärversagensbereich im Last-Dehnungsdiagramm durch ein Abweichen der Linearität zu erkennen. In diesem Diagramm, in dem die Dehnung des Holzes in Abhängigkeit zur Zuglast eingezeichnet ist, verhält sich die Dehnung zur Last nach dem Hooke'schen Gesetz proportional. Somit erhält man im Diagramm eine Gerade. Krümmt sich die Gerade, so dehnt sich der Werkstoff plötzlich mehr und das Primärversagen ist eingetreten.

Für die Versuche wurde die Methode des Zugversuches etwas abgeändert angewandt, um neue Erkenntnisse über das Primärversagen von hohlen Baumstämmen zu erlangen. Die Bäume werden dazu so stark wie möglich belastet, um ein erstes Versagen des Stammes zu erreichen oder, wenn möglich, den Baum sogar zu brechen. Inclinometer wurden am Stammfuß und in einer Höhe von sechs Metern montiert. Durch das Subtrahieren der Messungen des unteren Inclinometers vom oberen kann die Stammbiegung im Bereich von null bis sechs Metern ermittelt werden (Detter et al. 2013). Das Ergebnis ist somit die reine Stammbiegung, die für die Versuche benötigt wird, um das Primärversagen im Stamm festzustellen (Diagramm 1).

Zeitgleich wird die Faserdehnung an der Druckseite des Stammes mit vier Elastometern gemessen, die in 50 Zentimeter Abständen montiert sind. Diese Elastometer messen die Veränderung (Streckung oder Stauchung) des Abstandes zwischen zwei 20 Zentimeter weit entfernten Punkten. So lässt sich ein eventuelles Primärversagen der Fasern ermitteln (Diagramm 2).

Zwischen zwei Seilen wird ein Forcemeter befestigt, das die Zugkraft in kN misst. Die Instrumente wurden so lange wie möglich am Baum belassen, um möglichst viele Daten, eventuell auch von Sekundärversagens-

MEHR INFORMATIONEN

Die Ergebnisse wurden in einer Masterarbeit („Überprüfung des Stammversagens hohler Baumstämme anhand von Versuchen und Messungen im Bereich der Stammbiegung und Faserstauchung") an der Universität für Bodenkultur Wien von Roman Novak veröffentlicht. Die gesamte Arbeit sowie weitere Fachinformationen finden Sie auf: www.svprosenz.at.

ereignissen zu bekommen. Um ein Beschädigen der Geräte zu vermeiden, müssen diese jedoch rechtzeitig vor einem möglichen Fall des Baumes abmontiert werden.

Ergebnisse

Von den drei Versuchsreihen konnte bei 18 Kanadischen Holz-Pappeln (*Populus* x *canadensis*), einer Esche, einer Ulme und einem Bergahorn ein Primärversagen im Stamm (Stammbiegung) verursacht werden. Genau bei diesen 21 Bäumen konnte auch ein Versagen im Bereich der Faserstauchung an den Randfasern der Druckseite gemessen werden.

Die Kurvenverläufe im Last-Dehnungsdiagramm der Stammbiegung und der Faserstauchung korrelierten immer und die Primärversagen der beiden Messungen sind auch immer bei gleicher Last eingetreten. Somit ist davon auszugehen, dass bei den untersuchten Bäumen das Primärversagen bei Biegebeanspruchung Faserstauchen im Stamm war.

Die Ergebnisse der Messdaten zeigen somit, dass das erste Versagen im Baumstamm durch mit freiem Auge nicht sichtbares Faserstauchen an der Druckseite der Randfaser verursacht wurde. Risse und sonstige andere Symptome treten als Sekundärversagen erst später auf. Sie sind aber die ersten mit freiem Auge erkennbaren Symptome.

Schlussfolgerung

Diese aufwendige und langjährige Arbeit legt nahe, dass die Bruchtheorie, die Lothar Wessolly bei der Entwicklung des Zugversuches angenommen hat und die noch immer Grundlage der Methode ist, zutrifft. Andere Theorien, wonach Ovalisierungen und Rissbildungen das Versagen einleiten, konnten nicht bestätigt werden. Ovalisierungen, Tangentialzugrisse und Schubrisse wurden beobachtet, traten aber immer nach dem Faserstauchen auf, sie waren Sekundärversagen. Somit bleibt Faserstauchen die einzige eindeutige Kenngröße für die Prognose eines Baumbruches. //

// Eine aufgebeulte Borke sowie tangentiale Risse wurden erst nach der Faserstauchung an der Druckseite beobachtet und gemessen. //

Literatur

DENGLER, R. (2014): Fachgerechte Untersuchung und statische Beurteilung stammfauler Bäume. Wien: Fachseminar am 24.4.2014; DETTER, A.; RUST, S.; RUST, C.; MAYBAUM, G. (2014): Determining strength limits for standing tree stems from bending tests, Vol. 226, 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium; DETTER, A.; RUST, S. (2013): Aktuelle Untersuchungsergebnisse zu Zugversuchen. In: DUJESIEFKEN D., Institut für Baumpflege (Hrsg.): Jahrbuch der Baumpflege 2013, 17. Auflage. Braunschweig: Haymarket Media Gmbh & Co. KG, S. 87 – 100; MATTHECK, C. (2006 a): Design in der Natur. 4. Auflage, Berlin: Rombach Verlag KG; MATTHECK, C.; BETHGE, K.; TESARI, I. (2006 b): Shear effects on failure of hollow trees. In: Trees, 20: S. 329 – 333. Springer Verlag; SINN, G. (2003): BAUMSTATIK: Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen an Straßen, in Parks und der freien Landschaft. Braunschweig: Thalacker Medien; WESSOLLY, L.; ERB M. (1998): Handbuch der Baumstatik und Baumkontrolle. Berlin: Patzer Verlag.

Anzeige

SCHMITT GMBH www.ergo-schnitt.de

Ergo-Schnitt®

- Handsägen
- Teleskopsägen
- Sicherheitswerkzeuge für Freischneider

Schmitt GmbH
Forst- und Gartentechnik
Seminarstraße 6
97702 Münnerstadt

☎ +49 (0)9733-9153
+49 (0)9733-4199
@ info@ergo-schnitt.de
www.ergo-schnitt.de