

Faserstauchen als Primärversagen

Neue Erkenntnisse zum Bruchverhalten hohler Stämme aus Praxistests. Von **Rainer Prosenz** und **Andreas Detter**

Die Firma SVProsenz hat mit Unterstützung der Österreichischen Bundesforste (ÖBf) im Jahr 2012 eine Untersuchung zum Bruchverhalten hohler Bäume durchgeführt. Ziel des Projektes war es herauszufinden, auf welche Weise stark ausgehöhlte Stämme unter Biegebelastung versagen. Die Arbeit wurde von Andreas Detter, Brudi & Partner TreeConsult, Gauting, begleitet, der auch die Auswertung der Daten vorgenommen hat.

Am Gemeindegebiet der Stadtgemeinde Tulln/Österreich wurde für diese Untersuchung ein Baumbestand, der zur Fällung ausgeschrieben war, zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um Pappeln mit Baumhöhen um die 30 Meter und Stammdurchmessern von rund 80 Zentimetern, von denen 13 Bäume in den Versuch einbezogen wurden. Alle Bäume wiesen aus dem Stock aufsteigende Fäulen auf, die sich bis in eine Höhe von mindestens zwei Meter erstreckten. Der Höhlungsgrad der Bäume lag zwischen 80 und 90 Prozent (Foto oben links).

Die Bäume wurden im Zugversuch über ein Seil mit bis zu sechs Tonnen Zugkraft zum vollständigen Versagen gebracht. Dabei wurden nicht nur die Kraft, sondern auch die Biegung des Stammes und das Kippen des Wurzelballens exakt gemessen. Hierfür wurden TreeQinetic Messgeräte der Firma Argus Electronic GmbH, Rostock, benutzt: Elastometer, die Längenänderungen der Fasern im Stamm auf einen Mikrometer genau anzeigen, Inclinometer, die die Neigung der Wurzelplatte im Tausendstel-Grad-Bereich aufzeichnen und Forcemeter zur Messung der Zugkraft. Zusätzlich wurde der gesamte Vorgang des Versagens gefilmt, um zeitgleich zu erfassen, was während des Versagensprozesses von außen erkennbar ist.

Als Primärversagen bezeichnet man ein Versagen, bei dem der Werkstoff nicht endgültig bricht, aber eine dauerhafte Verformung erleidet – wie beispielsweise eine



Die Stämme aller untersuchten Pappeln waren ähnlich stark ausgehöhlt wie der abgebildete Baum Nr. 3. Fotos: ÖBf



Bei bereits nachlassender Zugkraft bildeten sich diese deutlich sichtbaren Quetschungen und Rindenablösungen auf der Druckseite von Baum 7.

„Deutlich vor dem Auftreten des Risses versagten auf der Druckseite des Stammes bereits die Fasern.“

Rainer Prosenz

Stahlfeder, die etwas zu weit gedehnt wurde. Sie erfüllt zwar noch teilweise ihre Funktion, ist aber beschädigt. Die Krafteinwirkung am Primärversagenspunkt ist die maximale Last, mit der ein Werkstoff aus ingenieurtechnischer Sicht belastet werden darf.

Wird ein Primärversagen im Stamm festgestellt, ist es von Interesse zu erfahren, was im Stamm tatsächlich versagt hat. Diskutiert werden unterschiedliche mögliche Versagensarten. Manche sprechen von Biegeschubriss, manche von Faserstauchen, Strukturversagen, Tangentialzugriss und mehr.

Versuch und Auswertung

In der hier beschriebenen Untersuchung wurde als Hypothese Faserstauchen als Ursache angenommen. Daher wurden auf der Biege-Druckseite vier Elastometer angebracht. Jedes Gerät zeigt die Faserstauchung über 20 Zentimeter Messstrecke an, das unterste wurde auf 50 Zentimeter Höhe montiert, die anderen auf 1 m, 1,5 m und 2 m Höhe. So konnte der Bereich der größten Stammhöhhlung überwacht werden.

Wird nun ein Druckversagen in den Randfasern nachgewiesen, bevor andere Versagensprozesse eintreten (beispielsweise Rissbildung), ist das Faserstauchen als Ursache des Primärversagens identifiziert. Jeder Versuch lieferte

te zwischen 1.500 und 2.500 Datensätze, die im Abstand von etwa 0,25 Sekunden elektronisch aufgezeichnet und tabellarisch aufbereitet wurden. Anhand des Verlaufs der Kraft-Stauchungsdaten ist ablesbar, wann bei den Randfasern das Primärversagen eintritt. Anhand der Inclinometerwerte ist ersichtlich, wie weit der Wurzelballen zu diesem Zeitpunkt kippt, das heißt, wie weit der Baum vom endgültigen Kippversagen entfernt ist.

Sehr interessant ist beispielsweise der Versagensverlauf von Baum Nr. 3: Bei einer Zugkraft von etwa 25 kN, das entspricht dem Gewicht von 2,5 Tonnen, hatte sich der Wurzelballen um etwa 0,8 Grad geneigt. Gleichzeitig trat ein Druckversagen der Randfasern in 0,5 und 1,5 Meter Höhe ein. Zu diesem Zeitpunkt sind die Randfasern bereits beschädigt, obwohl der Stammquerschnitt noch intakt erscheint.

Erst bei einer Wurzelplattenneigung von rund 3,9 Grad entsteht plötzlich ein Riss auf der Biegezugseite – zu diesem Zeitpunkt

hatte die Zugkraft aber bereits wieder abgenommen, weil die Maximallast für die Bodenverankerung überschritten war und der Baum zu Kippen begonnen hatte. Die Messgeräte am Stamm zeigten dieses sekundäre Versagen durch Rissbildung genau auf – die Faserstauchungen steigen innerhalb einer Viertelsekunde sprunghaft an, während die Kraft rapide absinkt. Für den Betrachter war das Auftreten des Risses allerdings das erste mit freiem Auge sichtbare Versagensereignis im Stamm (Grafik und Foto unten).

Im Fall von Baum Nr. 7 setzte bei einer Zugkraft von rund 16 kN das Druckversagen der Randfasern ein. Später wurden druckseitig in rund zwei Metern Höhe deutliche Quetschungen am Stamm sichtbar, die Zugkraft hatte jedoch, trotz beständigen Ziehens, bereits nachgelassen. Schließlich „sank“ der Stamm in sich zusammen, druckseitig platzte Borke ab (Foto oben rechts). Erst ab einem Stammknick von rund 20 Grad entstanden die ersten Risse seitlich am Stamm, also senkrecht zur Zug-

richtung. Schließlich entwickelten sich zahlreiche Längsrisse, die bei rund 45 Grad Neigung zu einer Zerbröckelung des Stammes führten. In Höhe der Bruchstelle betrug die intakte Restwand des Baums nur etwa drei Zentimeter (rund zehn Prozent des Stammradius).

Zusammenfassung

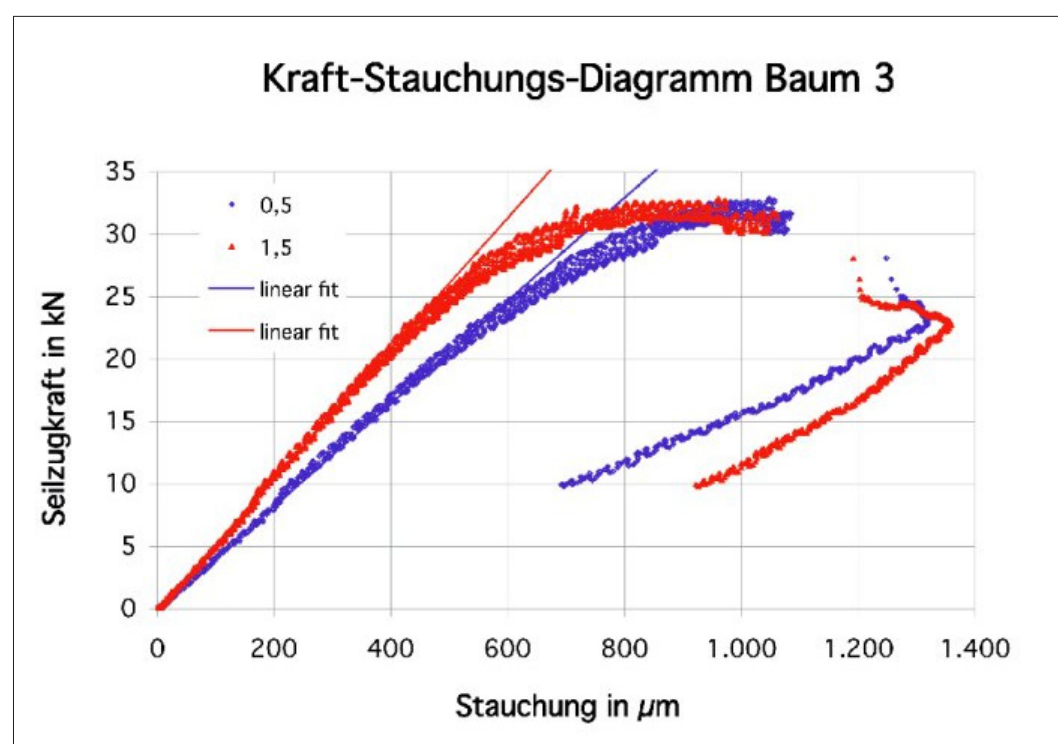
13 stark ausgehöhlte Pappeln wurden zum Bruch gezogen. In allen Fällen konnte eindeutig Faserstauchen als erster irreversibler Prozess im Stamm festgestellt werden. Bei keinem Baum gab es zu diesem Zeitpunkt ein mit freiem Auge erkennbares Anzeichen für dieses Primärversagen. Bei acht Bäumen erfolgte ein Kippversagen, das dem finalen Stammbruch zuvor kam.

In einem Fall entstand während des Kippversagens noch ein Stammriss, zwei Bäume bildeten während des endgültigen Bruches eine Vielzahl von Rissen. Dieses Zerbröckeln war jedoch trotz der starken Aushöhlung nicht die Ursache des Bruchs: Allen anderen Versagensprozessen ging das nur messtechnisch erfassbare Stauchen der Fasern auf der Druckseite voraus.

Eine ausführlichere Darstellung der Versuchsergebnisse soll in einer der nächsten Ausgaben der TASPO Baumzeitung erscheinen. Die weitere wissenschaftliche Auswertung erfolgt im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes des Sachverständigenbüros Brudi & Partner TreeConsult mit der Fachhochschule in Göttingen, Prof. Steffen Rust.

Fazit

Bereits jetzt wird aus den Untersuchungen deutlich, dass selbst bei diesen stark ausgehöhlten Querschnitten die Stauchung der Randfasern auf der Druckseite das maßgebliche Versagenskriterium darstellte. Das äußere Erscheinungsbild eines gebrochenen Stammes mag über diesen Sachverhalt zunächst hinwegtäuschen, sollte Praktiker aber nicht zu vorschnellen Rückschlüssen auf den Ablauf des Versagens verleiten. Dieser ist in der Regel nur messtechnisch nachweisbar. (pr)



Lange vor der Rissbildung (Foto rechts) wurde bei Baum 3 bereits das Versagen der Fasern auf der Druckseite von den Elastometern erfasst (Grafik links).



Grafik: A. Detter, Treeconsult