

Die Sicherheit des Anne Frank-Baumes

Ende letzten Jahres ging es durch die Medien: Der berühmte „Anne Frank-Baum“, eine rund 250 Jahre alte Rosskastanie in einem Garten in der Amsterdamer Prinsengracht, sollte gefällt werden. Mittels eines statisch integrierten Zugversuchs konnte inzwischen eine ausreichende Stand- und Bruchsicherheit nachgewiesen werden – der Baum wurde bisher nicht gefällt. **Von Dr. Lothar Wessolly**

Der Anne-Frank-Baum, eine 154 Zentimeter dicke Rosskastanie, ragt dabei neben ihrem Alter von 150 bis 170 Jahren als bedeutendes historisches Subjekt besonders heraus. Dieser Baum diente Anne Frank aus ihrem Versteck vor den Nazis als einziger wesentlicher Kontakt zur Natur und den Jahreszeiten. Wie bedeutend dieser Baum international ist, hat die heftige Reaktion der Öffentlichkeit auf die beabsichtigte Fällung im November 2007 gezeigt: In kaum einem Sender der westlichen Welt wurde nicht über dieses Ansinnen berichtet. Nahezu jede Tageszeitung und die großen Nachrichtenmagazine in Europa und Nordamerika widmeten sich diesem Vorgang mit einem Artikel.

Die Anne-Frank-Kastanie ist in den letzten Jahren diagnostisch und baumpflegerisch intensiv betreut worden. Zuletzt zeigte sie ein explosionsartiges Auftreten von Fruchtkörpern des Lackporlings. Das so besiedelte Stammbild sah für Laien und selbst für einen Baumpfleger furchteinflößend aus.

Folgerichtig war sie von den Verantwortlichen zur Fällung freigegeben worden, nachdem wandstärke- oder querschnittorientierte Methoden der Sicherheitsdiagnose, zuletzt die Schalltomographie mittels Picus, an ihre Grenze gestoßen waren. Denn die Bilder zeigten den weitgehenden Zerfall der untersuchten Querschnitte. Die damit arbeitenden Sachverständigen waren verunsichert, denn nach monokausalen, wandstärkeorientierten Sicherheitskriterien hätte der Baum längst umgebrochen sein müssen. Er stand aber immer noch.



Der Anne-Frank-Baum wurde in den letzten Jahren diagnostisch und baumpflegerisch intensiv betreut.

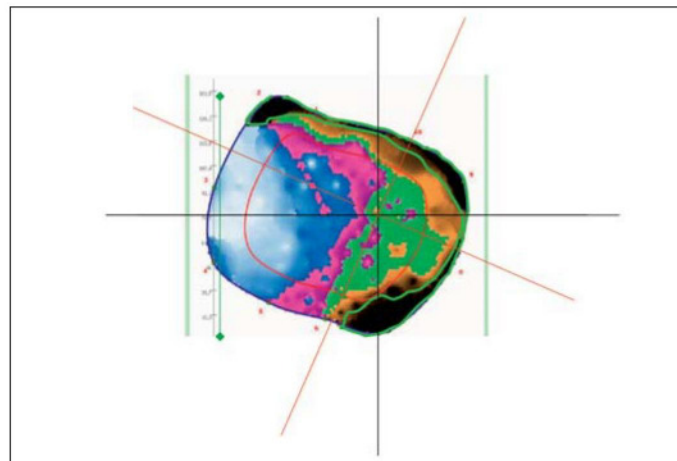
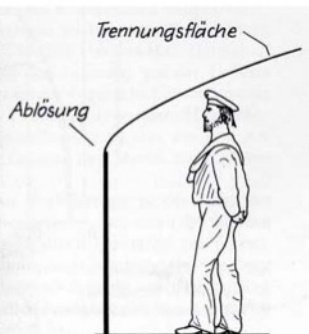
Der Stand vor der Untersuchung

In der Auseinandersetzung zwischen Fällbefürwortern und Fällgegnern, die von dem weltweiten Echo unterstützt wurden, wurde an einem Amsterdamer Gericht eine einstweilige Verfügung gegen die Fällung erwirkt. Aller-

dings ließ diese Verfügung wegen der Angst vor einem Baumbruch und der möglichen Gefährdung von Menschen nur ein sehr kleines Zeitfenster zu. Die Fällgenehmigung wurde nur bis zum 15. Januar 2008 ausgesetzt. In dieser Gemengelage wurde nach etwa einem



Foto 2.17 Trennungsflächen an der ebenen Platte



Picus Bild in 85 cm Höhe. Rekonstruktion der tragfähigen Bereiche über Messung mit Elastometer grün umrandet. Hier beträgt das Widerstandsmoment 41500 cm^3 . Der Vollquerschnitt käme auf $350\,000 \text{ cm}^3$. Der schwächste Querschnitt in 1,1 m Höhe hatte $32\,000 \text{ cm}^3$. Das sind nur noch 9 Prozent.

So entsteht ein Windschatten. An einer scharfen Kante bilden sich Luftwirbel, die in Form einer Parabel nach oben abgelenkt werden. Dieser Windschatten hat die Anne Frank Kastanie bishervor dem Zusammenbruch geschützt.

Dutzend Vorgutachten als letzte Instanz zur Wahrheitsfindung eine Untersuchungsmethode gesucht, die alle für die Sicherheit wesentlichen Parameter einschließt. Konsequenterweise wurde der statisch integrierte Zugversuch ausgewählt, hinter dem die gesammelte Kompetenz der internationalen SAG Baumstatik steht. Beauftragt wurden der Autor und Michael Schlag, Köln am 13. Dezember 2007. Durchgeführt wurde die Integrierte Baumdiagnose IBA (Biologie/Mykologie/Statik) am 18. Dezember 2007.

Die Untersuchung

Die Bruchsicherheiten der Stammquerschnitte wurden mittels sechs Elastometern in den beiden Hauptrichtungen untersucht. In diesem Bereich waren auch die massiv auftretenden Fruchtkörper des Lackporlings angesiedelt. Gleichzeitig wurden über vier Inclinometer die Standsicherheiten erfasst. Mit dem Ein-

satz der entsprechenden Menge von Geräten genügte es, einmal die Last zu steigern und abzulassen, um in einem Arbeitsgang den Tragfähigkeitsverlauf vom Wurzelanlauf bis über zwei Meter Höhe und die Standsicherheit zu erfassen. Nach Anbringung des Lastseils über einen Kletterer in der Krone, dauerte das pro Richtung nicht mehr als 15 Minuten. Der massive Pilzabbau war auf der Seite festzustellen, wo vor etlichen Jahren im stammnahen Bereich eine Backsteinmauer als Grundstücksbegrenzung errichtet worden war. Hier dürfte nach Wurzelverletzungen wohl der Haupt-Ausgangspunkt für das jetzige Problem liegen.

Wie vom Schadbild und von den vorhergegangenen Schalltomographiemessungen nicht anders zu erwarten, war die tragende Substanz erheblich abgebaut. Die Messwerte der Elastometer haben ergeben, dass die Tragfähigkeit des Stammes nur noch bei 9 Prozent gegenüber einem Vollquerschnitt lag. Das

heißt, 91 Prozent waren abgebaut. Umgerechnet auf einen Kreisring entsprach das einer Wandstärke von 2,2 Zentimeter und damit einem t/R von 0,02. Die Standsicherheitswerte waren etwas besser. Die Frage war hier: Warum war dieser Baum noch nicht zusammengebrochen?

Tatsache ist, dass die Grundsicherheit eines Baumes mit zunehmendem Alter zunimmt. Grund dafür liegt darin, dass Bäume irgendwann ihr Höhenwachstum einstellen, ihre Stammquerschnitte jedoch jedes Jahr dicker werden. Es gilt das physikalische Gesetz, dass der Widerstand gegen Biegung mit der dritten Potenz des Durchmessers zunimmt. Das bedeutet, ein doppelter Stammdurchmesser besitzt die achtfache Tragfähigkeit.

Der Tragfähigkeit entgegen wirkt die Belastung des Baumes im Sturm: Steht er ungeschützt auf freiem Feld, oder wird er durch die Umgebung von ankommenden Sturmangriffen geschützt? Ist seine Krone noch naturbelassen oder wurde sie schon reduziert?

Deshalb bedeutet der Verlust von 91 Prozent der Tragfähigkeit nicht zwangsläufig eine Katastrophe. Denn es gilt immer: Ohne Last gibt's kein Versagen.

Das Ergebnis

Würde dieser Baum, so wie im Jahr 2005 mit einem Stammdurchmesser von 154 Zentimeter und einer Baumhöhe von 26 Meter frei in einer Stadt stehen, hätte er in belaubtem Zustand nach der Lastanalyse analog DIN 1055/56 eine Grundsicherheit im Orkan von etwa 515 Prozent. Mit der Resttragfähigkeit von 9 Prozent errechnet sich eine Bruchsicherheit von $515 \times 0,09 = 45$ Prozent. Mit Eigengewicht verbleiben wegen der geringen Restfläche noch 30 Prozent Sicherheit. Er wäre als freistehender Solitär im Sommer nur noch bis Windstärke 7 sicher.

Der Rückschnitt von 2005 um vier Meter hat

Zur Methodik

Bei der Wandstärke- oder querschnittsorientierten Sicherheitsanalyse wird der wichtigste Parameter einer Sicherheitsdiagnose, die Belastung, bisher nicht in die Beurteilung der Sicherheit eingebaut. Aber Bäume, die geeignet sind, in ein einfaches Schema zu passen, gibt es nur in der Baumschule. Je älter ein Baum wird, um so stärker hat sich seine Individualität entwickelt. Erscheinungsform, Größe, baumpflegerische Eingriffe, sein Standort, besonders in besiedeltem Raum und somit auch seine Windbelastung zeigen eine sehr große Bandbreite. Die Auswertung von über 7000 in Zugversuchen begutachteten Bäumen hat ergeben: Die Belastung bei ein und demselben Stammdurchmesser kann zum Beispiel bei einem Stammdurchmesser von 100 Zentimeter um den Faktor 12 streuen. Es gibt Bäume, die sind sehr sicher und damit schadenstolerant,

andere sind nur mit geringen Sicherheitspolstern ausgestattet. So kann ein Baum zwölf Mal so sicher sein, wie ein anderer mit dem gleichen Stammdurchmesser. Da die Materialfestigkeiten zwischen den Baumarten nur zwischen 1,4 und 2,8 (Faktor 2) streuen, liegt der weitaus wesentlichere Teil zur Sicherheitsbestimmung in der Belastung selbst. Und hierin liegt auch der Grund, weshalb der Anne-Frank-Baum noch stand. Deshalb kann bei eingehenden Untersuchungen und stark abgebauten Querschnitten nur das Dreieck der Statik zum gutachterlich angemessenen Ergebnis führen. Hierbei wird die auftretende Last dem Material und der Querschnittsform gegenübergestellt. Materialverhalten und Querschnitt reagieren in der Verformung, die mittels Elastometer gemessen wird. Die Neigung in der Verankerung wird mit dem Inclinometer erfasst.

den Baum akut um 40 Prozent sicherer gemacht. In freiem Stand, ohne abschirmendes Umfeld, betrüge danach die Sicherheit 835 Prozent. Die Bruchsicherheit ist dadurch auf $830 \times 0,09 = 55$ Prozent gewachsen. Das würde natürlich immer noch zu wenig sein.

Diese Rosskastanie steht jedoch nicht frei in der Stadt, ist ringsum von 15 bis 16 Meter hohen Bauwerken umgeben. Deren Entfernung zum Baum betragen im Mittel weniger als die Baumhöhe. Das bedeutet, dass die unteren 15 Meter der Rosskastanienkrone im absoluten Windschatten stehen. Dort greift keine Windlast an.

Hinzu kommt ein weiterer entlastender Effekt, der schon lange aus der Seefahrt bekannt ist: An einer scharfen Kante bilden sich Luftwirbel, die in Form einer Parabel nach oben abgelenkt werden. Sie bilden eine Trennlinie, unter der die Luftströmung nahezu ruhig steht. Beim Autocabrio bedient sich das Windschott dieses Prinzips.

Diesen Effekt haben wir nicht in unseren Rechenansatz gebracht, da die scharfe Kante wegen unterschiedlicher Gebäude aufgelöst ist und nicht voll ihre Wirkung als Trennlinie aufbauen kann. Wir wissen allerdings, dass auch die nicht so scharfe Kante den Sturm nach oben ablenkt und den Baum im Orkan zusätzlich entlastet. So haben wir bei unserer Lastannahme nur die unterhalb der Haushöhe stehenden Kronenteile als unbelastet angesetzt. Verblieben sind etwa sechs bis sieben Meter der darüber stehenden angeströmten Krone. Dadurch erhöhte sich die Grundsicherheit des beschnittenen, aber belaubten Baumes deutlich auf über 3300 Prozent. Das Ergebnis war somit eine Bruchsicherheit von $3300 \times 0,09 = 230$ Prozent.

Da der unbelaubte Zustand einen Luftwiderstand von weniger als der Hälfte mit sich bringt, ergab sich folgerichtig eine Akutsicherheit im Entscheidungszeitraum von mindestens $2 \times 230 = 460$ Prozent.

Wir konnten also die gerichtlich wesentliche Frage nach der Akutsicherheit dahingehend beantworten, dass sie nachweislich gegeben war. Beim Zugversuch hatten wir zudem Kräfte erzeugt, die deutlich über dieser Windlast lagen. Damit war der direkte Nachweis für eine ausreichende Stand- und Bruchsicherheit gegeben. Jetzt konnte man sich in aller Ruhe mit Hilfsmaßnahmen befassen.

Konsequenzen

Wenn allerdings ein Baum dermaßen stark ausgefault ist, wird er dies auch nicht mehr kompensieren können. Zudem hatte die 2005 erfolgte Kappung negative Auswirkungen auf die Baumvitalität und den dringend benötigten Dickenzuwachs. Man hätte also besser vor diesem Eingriff eine genaue statisch fundierte Sicherheitsanalyse durchgeführt, um diesen Eingriff so gering wie möglich ausfallen zu lassen. So war es jetzt ratsam, weitere sichernde



Der mit Fruchtkörpern des Lackporlings besiedelte Stamm.

Maßnahmen zu ergreifen. Wir hatten als optimale Lösung eine Abspannung mit Seilen aus der Krone in die vier Hofecken vorgeschlagen. Dort hätte man mit Tellerankern und boa-silver Dyneema Hohltauen von acht Tonnen Bruchlast alle am Baum auftretenden Kräfte wurzeln in den Boden leiten können. Die Krafteinleitung hätte in einem Baumbereich angesetzt, der unbeeinträchtigt von Fäulen die volle Tragfähigkeit gehabt hätte. Wir haben hier die langjährige Erfahrung mit mehreren derartig ausgefaulten Naturdenkmälern, die heute noch sicher stehen. Zugbelastbare Konstruktionen sind immer optisch unauffälliger und sie brauchen dabei wesentlich weniger Material, zudem sind sie weitaus kostengünstiger.

Die Lastanalyse hat in belaubtem Zustand eine am Baum in 16,6 Zentimeter Höhe wirksam werdende Last von knapp über eine Tonne ermittelt. Damit wäre mit diesen acht Tonnen Seilen eine hohe Sicherheit über viele Jahre gegeben, auch wenn eine Abnahme der Tragfähigkeit dieses Kunststoffseiles berücksichtigt werden muss.

Was diese Art der Absicherung nicht geleistet hätte, wäre die Verhinderung des Kollapses unter Eigengewicht. Der Baum wiegt etwa 32 Tonnen (320 kN). Die Druckfestigkeit des Rosskastanienholzes beträgt nach dem Stuttgarter Festigkeitskatalog für Kurzzeitlasten $1,4 \text{ kN/cm}^2$. Das heißt, man braucht mindestens 230 cm^2 Querschnitt um die Eigengewichtskraft auszuhalten. Das ist eine Fläche von etwa

15×15 Zentimeter. Den schwächsten Querschnitt der Elastometermessung auf den unter Biegung leistungsfähigen Kreisring umgerechnet, ergab eine Fläche von 1100 cm^2 , das ist mehr als das Vierfache des benötigten Querschnitts. Da aber der Baum nicht wie ein gleichmäßiger Reif ausfällt, sondern immer einseitig nachgibt, muss die Querschnittsfläche wesentlich größer sein. Dazu wurde ein vorhandenes Falschfarbenbild aus einer Picus Messung mittels Elastometer kalibriert. Damit ergab sich eine tragfähige Fläche von 2210 cm^2 . Das ist fast das Zehnfache des mindestens benötigten Wertes. Allerdings dürfte die Druckfestigkeit grünen Holzes unter Langzeiteinwirkung (und Eigengewicht ist im Gegensatz zum Wind eine Dauerlast) etwas niedriger sein. Auf keinen Fall jedoch ist die Dauerbelastung um den Faktor 10 kleiner als die Kurzzeitbelastung. Untersuchungsergebnisse über Dauerbelastbarkeit grünen Holzes sind jedoch nicht bekannt. Trotz dieser kleinen Unschärfe ist festzuhalten, dass zur Eigengewichtsaufnahme noch lange Zeit genügend Tragsubstanz gegeben wäre und die Seilabspannung in die vier Hofecken brauchbar gewesen wäre.

Stand der Situation

Unser 140-seitiges Gutachten ging am 1. Januar 2008, 18 Tage nach der Beauftragung, der Stadt Amsterdam zu. Der Baum wurde nicht gefällt. Die Stadt Amsterdam hat die Verantwortung an den Grundstücksbesitzer übergeben. Eine Bürgerinitiative unterstützt ihn dabei. Bisher wird ein Plan umgesetzt, der schon vor unserer Untersuchung vorgestellt worden war. Drei baumnah gesetzte mächtige Druckstützen mit je einem Ring in acht und in zwei Meter Höhe sollen den Baum im Versagensfall (Wind- oder Eigengewicht) am Umstürzen hindern. Die Gründung muss bis 20 Meter Tiefe erfolgen, da Amsterdam an dieser Stelle sehr morastig ist. Diese Lösung findet nicht unsere Zustimmung.

Nach unserer Auffassung gefährdet diese massive Stahlrohr-Konstruktion einerseits den statisch wirksamen Wurzelraum. Andererseits sieht sie dort Krafteinleitungen zwischen Konstruktion und Stamm vor, wo nach unseren Untersuchungen butterweiche zersetzte Baumbereiche gegeben oder in den nächsten Jahren zu erwarten sind. Sie werden von der Konstruktion im Versagensfall auf Druck belastet. Vergleichbar einer weichen Banane kann dieser Baumbereich Querdruk nur sehr bedingt aufnehmen. Optisch setzt sich diese Konstruktion gegenüber dem Baum in den Vordergrund. Sie ist mit weit über 50 000 Euro zwanzig mal so teuer, wie die Lösung mit boa-silver Dyneema Hohltauen und Bodenankern. Bei dieser geringen Windlast von etwa 10 kN (1 to) wäre auch eine Verankerung in die umstehenden Gebäude möglich gewesen. Nur hätte in diesen Fällen die Nachbarschaft zustimmen müssen.