

Auswertung baumstatischer Zugversuche

Ergebnisse aktueller Untersuchungen zur Abschätzung von Tragfähigkeit und Verankerungskraft, aktuelle Ansätze der Windlastanalyse, Fehleranalyse



Dipl.-Ing. Andreas Detter

Brudi & Partner TreeConsult, Baumsachverständige
Berengariastr. 7; 82131 Gauting

Tel.: +49-(0)89-752150; Fax: +49-(0)89-7591217

Mail: a.detter@tree-consult.org

Web :www.tree-consult.org

Von der IHK für München u. Oberbayern öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Baumpflege, Verkehrssicherheit von Bäumen, Baumwertermittlung



Professor Dr. Steffen Rust

HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen

Fakultät Ressourcenmanagement

Büsgenweg 1a (Raum 140)

37077 Göttingen

Tel.: +49/551/5032-173; Fax: +49/551/5032-200 173

Mail: Rust@hawk-hhg.de

Web: www.hawk-hhg.de

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen

2 Zugversuch: Aufbau und Durchführung

3 Aktuelle Untersuchungsergebnisse

3.1 *Unsicherheit bei der Schätzung der Windlast aus Kronenfotos*

3.2 *Einfluss der Bodentemperatur auf die Schätzung der Verankerungskraft*

3.3 *Auswirkung von Wurzelkappungen bei der Sanierung von Gehwegen*

3.4 *Primäres Versagen stark ausgehöhlter Stämme*

3.5 *Eigengewicht von Bäumen und Baumteilen*

4 Zusammenfassung

5 Literatur

Einleitung

Für die eingehende Untersuchung der Verkehrssicherheit von Bäumen werden zerstörungsfreie Zugversuche eingesetzt, um Bäume mit erhöhter Versagensgefahr identifizieren und gleichzeitig ausreichend sichere Exemplare belassen zu können. Das Messverfahren und entsprechende Auswerteprogramme wurden bereits Ende der 1980er Jahre in einem Forschungsprojekt an der Universität Stuttgart entwickelt (SINN & WESSOLLY 1989) und bis heute weltweit an Tausenden von Bäumen angewandt (WESSOLLY 2010).

Basierend auf der wertvollen Vorarbeit, die in den letzten 25 Jahren hauptsächlich von Praktikern geleistet wurde, ist eine etablierte Methode entstanden. Die Grundlagen der Zugversuche wurden nur durch wenige wissenschaftlich begutachtete Arbeiten beschrieben (z.B. WESSOLLY 1991) oder überprüft (KANE & CLOUSTON 2008, SANI ET AL. 2012). Basierend auf der langjährigen praktischen Erfahrung mit Zugversuchen wird in Forschungsprojekten begonnen, diese Lücke zu schließen (vgl. DETTER & RUST 2013).

1 Grundlagen

Grundsätzlich wird in der Baumstatik die Tragfähigkeit des Baumes den zu erwartenden Windlasten gegenüber gestellt, um die Sicherheit rechnerisch zu ermitteln. Baumstatische Zugversuche erfolgen in mehreren Arbeitsschritten:

- Zugversuch:** Messung der Baumreaktion auf definierte statische Belastungen
- Extrapolation:** Hochrechnung der Tragfähigkeit hinsichtlich Bruch und Kippen durch Extrapolation auf definierte Grenzwerte
- Windlastanalyse:** Abschätzung der am Standort zu erwartenden Windbelastung, ggf. können wichtige Parameter durch dynamische Messungen (Monitoring im natürlichen Wind, Ausschwingversuche) ermittelt werden
- Bewertung:** Vergleich von Tragfähigkeit und Windlast zur rechnerischen Bestimmung der Stand- und Bruchsicherheit

Der Zugversuch ist also nicht nur ein Messverfahren, das auf die mechanischen Eigenschaften des Baumes abzielt. Baumstatische Zugversuche beinhalten systematische Auswertungsschritte, um vom Ergebnis der zerstörungsfreien Messung am Baum zu einer Bewertung der Verkehrssicherheit zu kommen und stellen damit eine in sich geschlossene Untersuchungsmethode dar (DETTTER ET AL. 2010).

Das eigentliche Messergebnis des Zugversuchs zeichnet zunächst ein sehr exaktes Bild der Reaktion des Baumes auf eine Biegebelastung. Das Ziel der Untersuchung ist jedoch die Bestimmung der Sicherheit gegen Versagen. Wie bei allen anderen Untersuchungsverfahren kann dies nicht ohne weitere Bewertungsschritte erfolgen, die spezifische Analysen, vereinfachende Abschätzungen und Richtwerte enthalten. Damit unvermeidliche Unsicherheiten nicht zu einer falschen Einschätzung der Gefahr eines Versagens führen, werden die Bewertungen als Extremwertanalysen angelegt.

Grundsätzlich stellen die Messergebnisse jedoch bereits die Beziehungen zwischen den aufgetragenen Kräften und der Tragfähigkeit des Baumes dar (RUST & WEIHS 2007). Die ermittelten Messwerte beziehen sich auf Reaktionen des Baumes, die im Ernstfall auch zum Versagen führen könnten: die Stauchung der Randfasern des Stammes und die Neigung der

Wurzelplatte unter Last. Diese Parameter werden bei der Hochrechnung als Indikatoren für die Belastbarkeit der tragenden Teile eines Baumes verwendet.

Die so geschätzte Tragfähigkeit wird mit den am Standort zu erwartenden Windlasten ins Verhältnis gesetzt. Daraus ergibt sich ein Sicherheitsfaktor, der ausdrückt, wie groß die Belastbarkeitsreserven des Baumes sind. Wenn die Widerstandskraft genau den zu erwartenden Windlasten entspricht, beträgt der Sicherheitsfaktor 1. In Anbetracht der Unwägbarkeiten, die jedem Schätzverfahren innewohnen, müssen bei einem statischen Nachweis aber über die einfache Sicherheit hinaus zusätzliche Sicherheitsreserven vorhanden sein.

2 Zugversuch: Aufbau und Durchführung

Beim Zugversuch werden über ein in der Krone befestigtes Seil Belastungen auf den Baum ausgeübt. Während der Baum einer zunehmenden Last ausgesetzt wird, reagieren Stamm und Wurzelplatte mit geringfügigen Verformungen, die für das menschliche Auge unsichtbar bleiben, jedoch durch hoch auflösende Messgeräte erfasst werden.

Drei Messwerte werden kontinuierlich aufgezeichnet:

- die auf den Baum einwirkende Kraft,
- die Dehnung oder Stauchung der Randfasern im Stamm und
- die Neigung der Wurzelplatte.

Diese Messdaten können elektronisch gespeichert und an einem Computer überwacht werden. Hierzu werden ein elektronischer Kraftmesser (Dynamometer) und hochauflösende Dehnungs- bzw. Neigungssensoren (Elastometer und Inclinometer) eingesetzt. Jeder Zugversuch wird bei vergleichsweise geringen Reaktionen des Baumes beendet. Durch die konstante Überwachung kann sichergestellt werden, dass alle entstandenen Verformungen reversibel sind und der untersuchte Baum in seiner tragenden Struktur sowie an Rinde und Wurzeln nicht beschädigt wird.

3 Aktuelle Untersuchungsergebnisse

Die laufenden wissenschaftlichen Untersuchungen sollen zum einen überprüfen, ob die im Zugversuch ermittelten Hilfswerte tatsächlich zuverlässige Indikatoren für die Belastbarkeit eines Baumes darstellen. Zum anderen sollen der Einfluss von individuellen Gegebenheiten bei der Messung und bei der Einschätzung von Parametern während der Auswertung untersucht und für eine Weiterentwicklung der Zugversuche zugänglich gemacht werden.

Die Untersuchungen erfolgen in der Regel im Zuge von Bachelor- oder Masterarbeiten, die von den Autoren an verschiedenen Hochschulen begleitet werden. Nachfolgend werden die Ergebnisse solcher Arbeiten mit Bezug auf die Autoren dargestellt.

3.1 Unsicherheit bei der Schätzung der Windlast aus Kronenfotos

Fabian Collet und Alexander Vögeli, HAWK Göttingen

Die Schätzung der Windlast ist ein wesentlicher Teil von statischen Zugversuchen zur Untersuchung der Verkehrssicherheit von Bäumen. Dazu wird die Silhouette des Baumes in einem Foto verwendet, um die Größe und Verteilung der dem Wind ausgesetzten Fläche zu ermit-

teln. Ziel dieser Untersuchung war, die mit diesem Verfahren verbundene Unsicherheit zu erfassen.



Abbildung 1: *Bildgrundlage für die Schätzung der Windlast für Baum 61, Höhe 22 m. Abstand 15.4, 20.3 und 27.6 m, geschätzte Windlast 155, 143 und 123 kNm*

Die untersuchten Bäume standen auf einem Parkplatz gegenüber des Wildparkstadions in Karlsruhe. Es handelte sich um 18 *Betula pendula*, die zwischen 13 m und 25 m hoch waren. Das geschätzte Alter dieser Bäume lag zwischen 15 und 35 Jahren. Sie standen in mehreren parallelen Reihen und teilten die Parkstreifen voneinander. Zunächst wurden die Bäume aus jeder Himmelsrichtung mit dem kleinstmöglichen Abstand so fotografiert, dass sie noch ganz erfasst wurden. Anschließend kamen zwei weitere Entfernungen hinzu, bei denen zusätzlich die Brennweite verändert wurde, sodass effektiv aus jeder Himmelsrichtung und pro Baum fünf Fotos für die Auswertung zur Verfügung standen. Dies war allerdings nicht bei jedem Baum möglich, da die äußerste Baumreihe an eine Straße grenzte. Für jedes dieser Bilder wurden in *Arbostat 2.2*, einer Analysesoftware für zur Auswertung von Zugversuchen, Kronenflächen und Bemessungswindmomente für eine Referenzgeschwindigkeit von 22,5 m/s (Windzone 1, DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12) geschätzt.

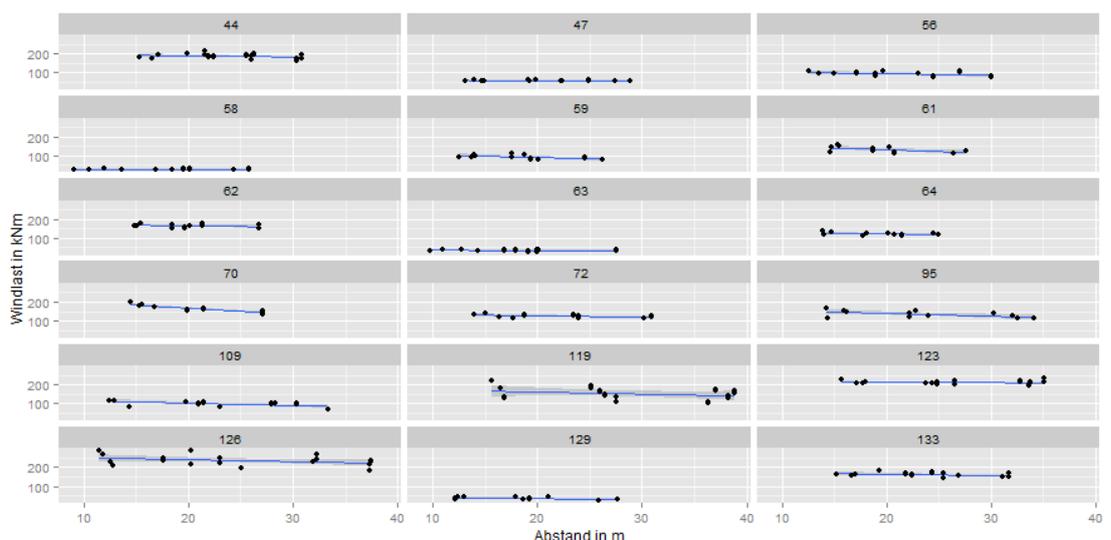


Abbildung 2: *Ergebnisse der Schätzung der Windlast. Jede Teilgraphik bildet Ergebnisse für eine der Birken ab.*

Dieser Teil der Windlastschätzung enthält einen systematischen und einen zufälligen Fehler. Je weiter man sich bei der Aufnahme des Kronenfotos vom Baum entfernt, desto geringer wird die geschätzte Windlast. Da man in der Praxis meist recht nah am Baum stehend fotografieren muss, liegt dieser Fehler auf der sicheren Seite. Die zufällige Fehlerstreuung war größer. Wertet man nur ein Kronenfoto aus, dann schloss für unsere Daten der 95%-Vertrauensbereich knapp die Hälfte des Messwertes ein. Bei Bäumen mit einem Sicherheitsfaktor um 1,5 könnte daher die Auswertung mehrerer Kronenfotos sinnvoll sein.

3.2 Einfluss der Bodentemperatur auf die Schätzung der Verankerungskraft

Vanessa Graf und Christoph Scharl, HSWT Freising

Untersuchungen an städtischen Großbäumen im Verlauf eines Jahres zeigten Einfluss auf die Ergebnisse von Zugversuchen, der nicht eindeutig mit der Bodentemperatur verknüpft war. Lediglich bei starkem Bodenfrost waren die Ergebnisse deutlich verfälscht (DETTNER & RUST 2013). Bei einer weiteren Zugversuchsreihe an Baumschulgehölzen wurde auch oberhalb des Gefrierpunktes ein Einfluss auf die Ergebnisse der Abschätzung der Standsicherheit der Bäume festgestellt (RUST ET AL. 2013). Aufgrund dieser Unklarheit finden seit Herbst 2014 weitere Messungen an Straßenbäumen in Freising statt. Dabei wird an 10 Linden jeweils die Bodentemperatur an der Oberfläche und in bis zu 30 cm Tiefe gemessen. Mit Hilfe von immer gleich angelegten zerstörungsfreien Zugversuchen wird die Biegebelastung gemessen, die zum Erreichen von etwa 0,25° Neigung erforderlich ist. Daraus wird mit Hilfe des Auswerteprogramms *Arbostat 2.2* die Belastbarkeit des Wurzelsystems abgeschätzt.

Die Untersuchungen dauern noch an, erste Auswertungen zeigen jedoch in der Regel keinen Zusammenhang zwischen der geschätzten Verankerungskraft der Wurzeln und der Bodentemperatur. Lediglich bei einem Baum wird die maximale Belastbarkeit des Wurzelsystems mit zunehmender Bodentemperatur immer geringer eingeschätzt. Dies wäre aufgrund der abnehmenden Scherfestigkeit des Bodens (JEFFERSON 1994) zu erwarten gewesen.

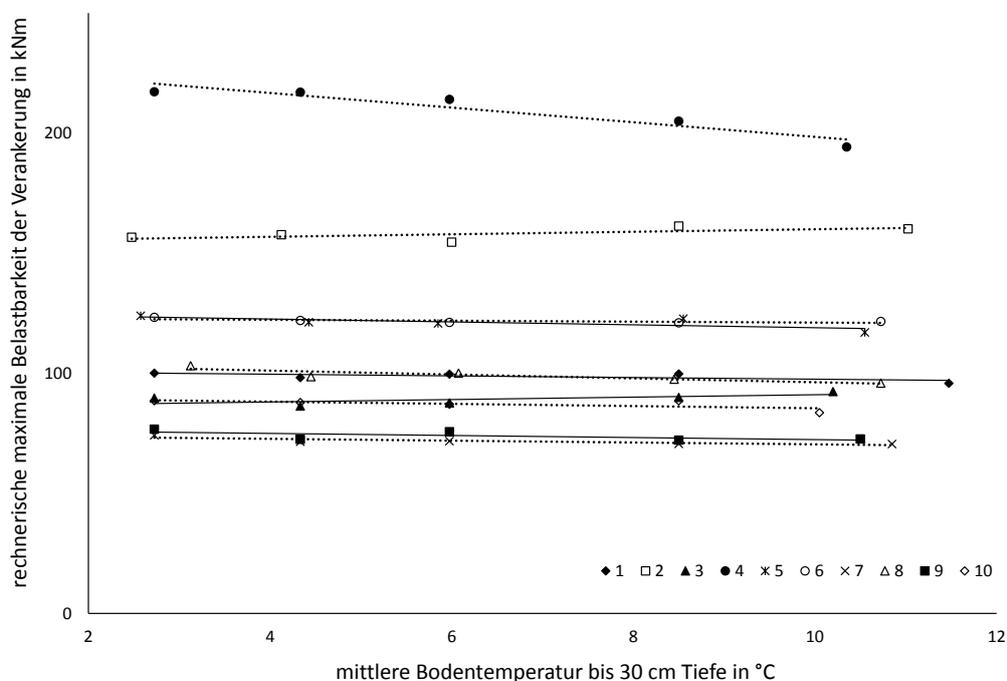


Abbildung 3: Einfluss der Bodentemperatur auf die Abschätzung der Standsicherheit. Nur für Baum 4 sinkt die geschätzte Belastbarkeit mit steigender Temperatur.

3.3 Auswirkung von Wurzelkappungen bei der Sanierung von Gehwegen

Gernot Fischer, Stadt Marl, und Roland Strecker, HSWT Freising

Durch Wurzelwachstum werden vielfach Pflasterwege und Fahrbahndecken angehoben. Es entstehen Stolperstellen, welche gerade den schwächeren Verkehrsteilnehmern wie Rollstuhlfahrern und Menschen mit Gehbehinderung gefährlich werden können. Um dies zu verhindern, müssen solch uneben gewordenen Beläge ausgebessert werden. Dazu ist es meist unumgänglich die oberflächennahen Wurzeln der betreffenden Bäume zu durchtrennen.

Die Verantwortlichen stehen dabei oft vor dem Dilemma, durch die Beseitigung der einen Gefahr für die Verkehrsteilnehmer eine andere Gefahr hervorzurufen - das mögliche Umkippen der abgegrabenen Bäume. In diesem Spannungsfeld zwischen der Verkehrssicherheit von Bäumen einerseits und der Verkehrssicherheit von Fuß-, und Radwegen andererseits sollen die Auswirkungen von Wurzelkappungen im oberflächennahen Bereich auf die Verankerungskraft von Bäumen untersucht werden.

In Zusammenarbeit mit der Stadt Marl wurde zu diesem Zweck die Standsicherheit von 28 Bäumen in der Triftstraße in Marl vor und nach einer Wurzelkappung mittels von gleich angelegten Zugversuchen untersucht. Zur Freilegung der Wurzeln wurden manuelle Grabungen und teils Spülverfahren eingesetzt. Um den Einfluss der Wasserzugabe beim Spülen zu erfassen, wurde auch nach dem Freilegen der Wurzeln ein Zugversuch durchgeführt.

Das Ergebnis zeigt keinen Einfluss der Wurzelkappungen auf die Standsicherheit der Bäume. Dies liegt vor allem offenbar darin, dass die Bäume in einer tiefer liegenden Bodenschicht zahlreiche statisch wirksame Wurzeln ausgebildet hatten. Die störenden Wurzeln, die zur Erneuerung der Beläge gekappt werden mussten, befanden sich unmittelbar unter der Belagsfläche in maximal 30 cm Tiefe. In vielen Fällen waren keine Wurzeln mit mehr als 2 cm Durchmesser vorhanden, obwohl Belagsflächen verworfen waren. In manchen Fällen waren schon zu einem früheren Zeitpunkt Wurzelkappungen durchgeführt worden.

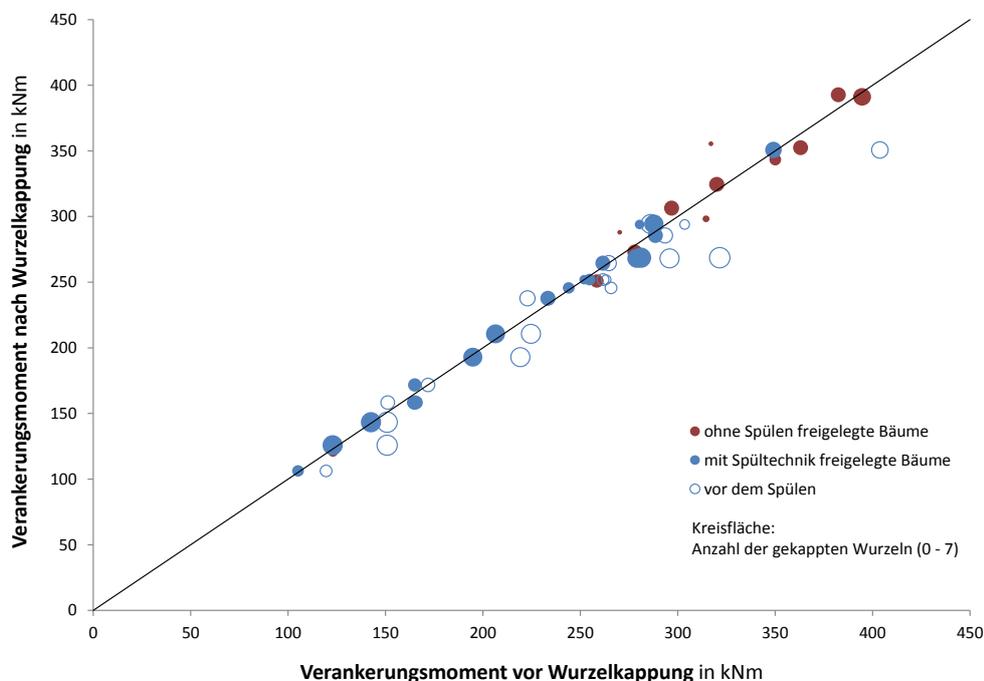


Abbildung 4 geschätzte Belastbarkeit der Verankerung vor und nach oberflächennahen Wurzelkappungen. Entlang der durchgezogenen Linie ist die Belastbarkeit etwa gleich, d.h. die Verankerungskraft wurde beim Eingriff nicht vermindert.

Das Freispülen der Wurzeln verursachte eine deutliche, aber nur geringfügige Veränderung der Kippsteifigkeit des Wurzelsystems. Dieser Effekt trat ein, obwohl das Wasser zum größten Teil durch Saugtechnik nicht tief in den Boden eindringen konnte. Daher muss bei weiteren Untersuchungen dieser Art der Effekt der Wasserzufuhr auch bei geringen Mengen unbedingt berücksichtigt werden. Für die Untersuchung der Standsicherheit mit Hilfe von Zugversuchen ergeben diese Feststellungen aber - wie in anderen Arbeiten (WOHN 2003, RUST ET AL. 2013) bereits dargestellt - keine wesentlichen Einschränkungen.

3.4 Primäres Versagen stark ausgehöhlter Stämme

Roman Novak, BOKU Wien, und SV R. Prosenz, Kirchberg a. Wechsel, in Zusammenarbeit mit den Österreichischen Bundesforsten

In der bestehenden Literatur kursieren verschiedene Annahmen und Theorien bezüglich des Bruchverhaltens und der Bruchursache hohler Baumstämme. Viele beruhen auf theoretischen Berechnungen oder auf Beobachtungen von bereits gebrochenen Baumstämmen. Die Meinungen über die eigentliche Versagensursache hohler Baumstämme aus dem Werkstoff „lebendes Holz“ gehen jedoch auseinander.

Deshalb wurden in dieser Masterarbeit 21 hohle Kanadische Holz-Pappeln (*Populus x canadensis*), sowie drei weitere Bäume (Berg-Ulme, Gemeine Esche, Berg-Ahorn), mit Hilfe von Zugversuchen untersucht. Dabei wurden die Stammbiegung sowie die Faserdehnung an der Druckseite gemessen und ein Zusammenhang gesucht. Es war das Ziel, die Bäume bis zum Versagen zu belasten. Dabei wurde auch auf andere Schadsymptome wie Risse geachtet und diese auf Film und Foto festgehalten.

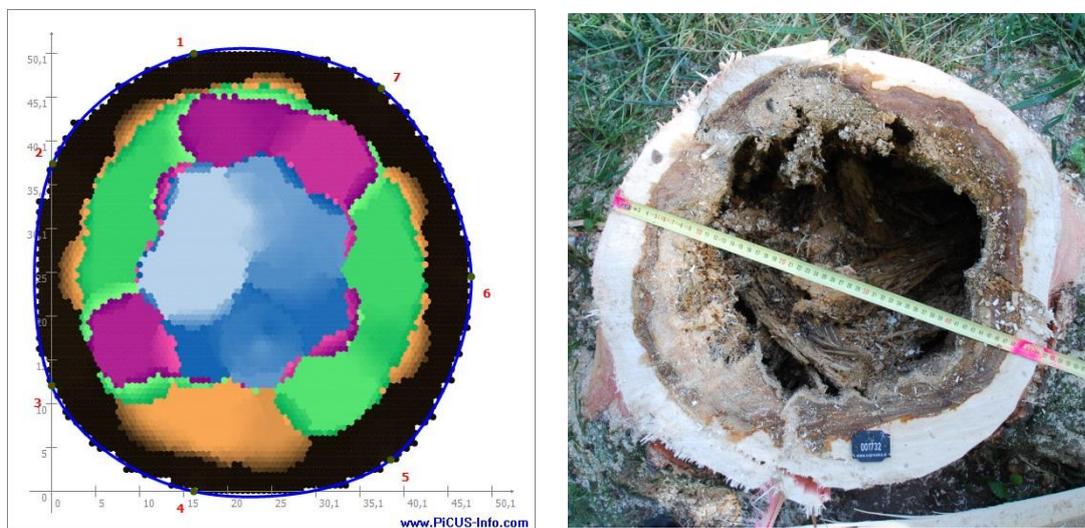


Abbildung 5 *Höhlungsgrad nach dem PicCUS-Schalltomographen und in der Schnittebene. Baum 6: Populus x canadensis*

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Ursache für das erste Versagen, die Faserstauchung im Druckbereich ist. Alle anderen gemessenen und beobachteten Versagensursachen traten nicht auf oder fanden erst danach statt.

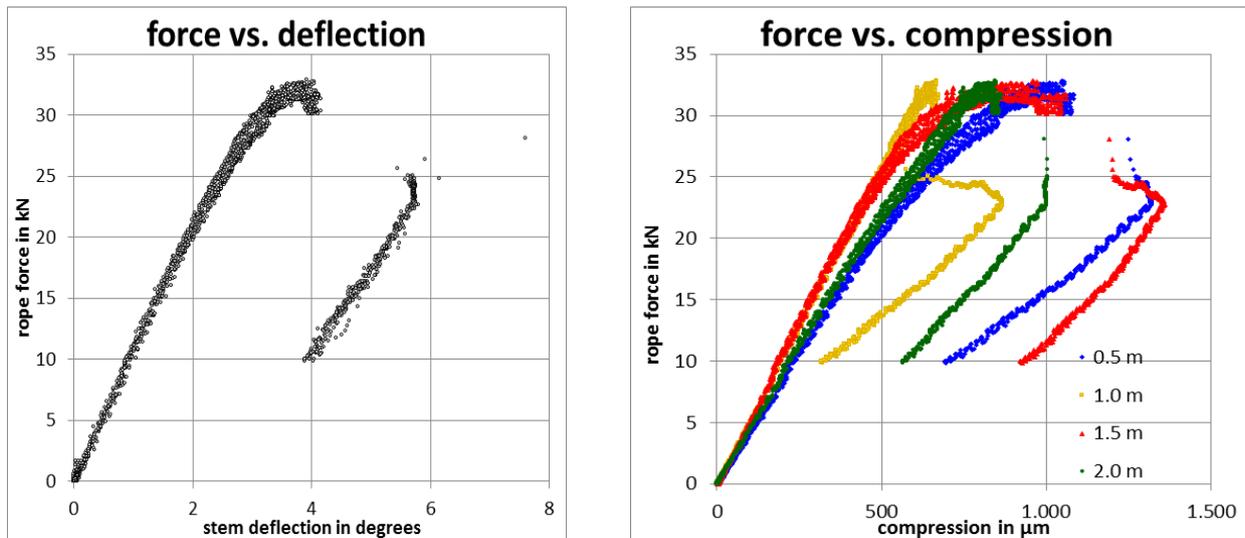


Abbildung 6 Gegenüberstellung der Seilzugkraft und Stammbiegung (links) bzw. der Faserstauchung (rechts). Primärversagen durch Faserknicken erkennbar an der hakenförmigen Krümmung im oberen Kurvenverlauf (links), Rissbildung verursacht den plötzlichen Versprung der Werte. Baum 11, *Populus x canadensis*

3.5 Eigengewicht von Bäumen und Baumteilen: L. Mauerer & M. Mosbauer, HAWK Göttingen, sowie Arge Helikopterfällung und ATP Baumpflege, Göttingen

Bei der helikopterunterstützten Fällung von 75 Wald-Kiefern wurden Baumdaten und die automatisch ermittelten Massen aufgezeichnet und ausgewertet. Im Zuge anderer Arbeiten waren auch Gewichte von anderen Bäumen ermittelt worden (i.d.R. bei Kranfällungen). Diese wurden in die Datenanalyse einbezogen. Ziel war es, einfache Berechnungsansätze für das Eigengewicht der oberirdischen Baumteile zu entwickeln, um bei Spezialfällungen mit Kran- oder Helikoptereinsatz zuverlässige Gewichtsangaben machen zu können.

Darüber hinaus wirkt bei schräg stehenden Bäumen eine Belastung auf alle tragenden Teile, die durch die Masse von Krone und Stamm hervorgerufen wird. Diese kann rechnerisch durchaus annähernd so groß sein wie die zu erwartenden Windbelastung. Auch unter Windwirkung entsteht infolge der Stammdurchbiegung und der Neigung der Wurzelplatte eine zusätzliche Biegelast, die aus dem Gewicht des Baumes resultiert. Um deren Einfluss auf die Stand- und Bruchsicherheit der Bäume richtig einschätzen zu können, sollen Formfaktoren entwickelt und Annahmen für das spezifische Gewicht grünen Holzes überprüft werden.

Die Analysen zeigen eine deutliche Abhängigkeit des Baumgewichtes vom Stammdurchmesser. Dazu wurden die an der Schnittstelle, also unmittelbar an der Stammbasis, gemessenen Durchmesser für Brusthöhe hochgerechnet. Andere ermittelte Kenngrößen wie Baumhöhe, Kronenbreite oder Baumart hatten einen geringeren Einfluss auf das Gewicht. Für sehr große Stammdurchmesser ergeben sich aber große Abweichungen von der idealisierten exponentiellen Ausgleichsfunktion. Damit ist ein solch einfaches Rechenmodell nur bedingt für die Praxis einsatzfähig.

Als Näherung konnten aus der Verteilung der Messwerte aber sinnvolle ober- und Untergrenzen für das Gewicht der oberirdischen Teile eines lebenden Baumes abgeleitet werden. Diese werden derzeit in der Praxis erprobt.

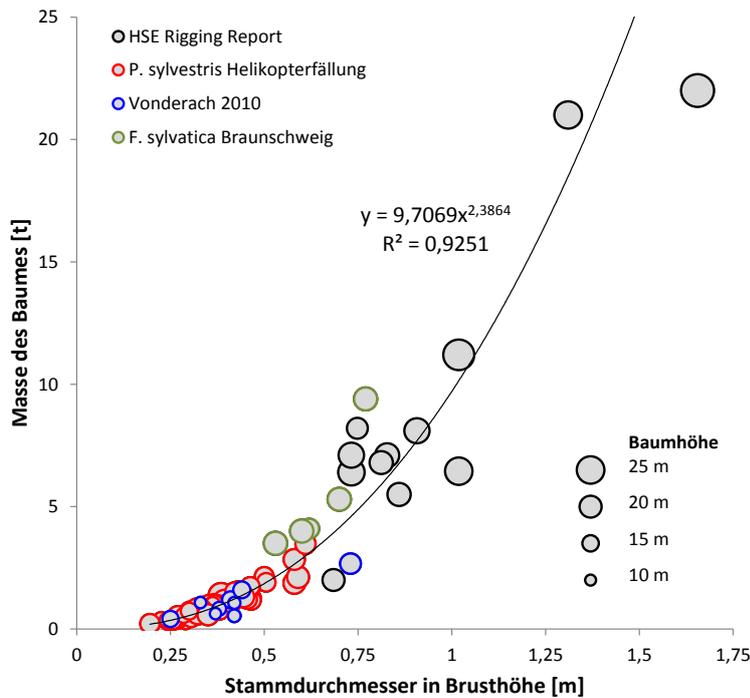


Abbildung 7 Masse 100 grüner Bäume nach BHD. Die ermittelte Masse der gefällten Bäume wird mit hoher Bestimmtheit durch den Brusthöhendurchmesser erklärt.

Die Masse der Krone wurde für 18 Wald-Kiefern und 5 Buchen gesondert ermittelt. Der Zusammenhang mit dem Durchmesser an der Schnittstelle (Kronenansatz) war dabei deutlich weniger bestimmt. Dies deutet darauf hin, dass die Ausprägung der Krone auch für einen großen Teil der Abweichungen von rechnerisch ermittelten Baumgewichten verantwortlich ist. Die Datenmenge reicht leider nicht aus, um artspezifische Formfaktoren (vgl. WESSOLLY & ERB 2014) ableiten zu können, die diesen Parameter zufriedenstellend abbilden.

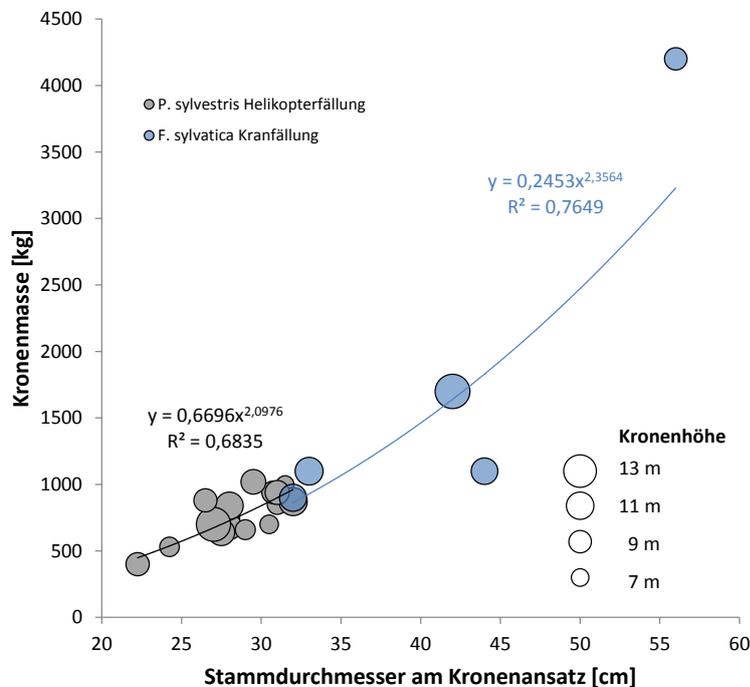


Abbildung 8 Masse von 18 Kronenteilen nach Durchmesser an der Basis. Das Bestimmtheitsmaß ist für diesen Zusammenhang deutlich geringer.

Die Analyse der Daten für 75 Wald-Kiefern hat aber gezeigt, dass bei dieser Baumart ein Formfaktor von 0,6 anzuwenden wäre, wenn Literaturangaben für die Rohdichte des grünen Holzes ($0,84 \text{ g/cm}^3$ nach DETTER ET AL. 2008) herangezogen werden.

4 Zusammenfassung

Die aktuellen Arbeiten im Rahmen der Forschung zu Zugversuchen können weitere Einflussfaktoren beleuchten und etablierte Schätzgrößen besser nachvollziehbar machen. Auch die Zuverlässigkeit von Bildanalysen zur Abschätzung der Kronenfläche hat sich als ausreichend zuverlässig erwiesen, um sie im Rahmen einer Sicherheitsanalyse einsetzen zu können. Einflussfaktoren auf das Ergebnis von Zugversuchen, wie z.B. die Bodentemperatur, sollten ebenso noch weiter wissenschaftlich untersucht werden wie die Auswirkungen von Wurzelkappungen. Dadurch wird die Zuverlässigkeit der Zugversuchsmethode verbessert und ihre Nachvollziehbarkeit erhöht.

5 Literatur

DIN EN 1991-1-4/AN (2010). Actions on Structures – Part 4 – Wind Effects, German National Annex 41 S.

DETTNER, A., COWELL, C., MCKEOWN, L., HOWARD, P. (2008). Evaluation of current rigging and dismantling practices used in arboriculture (Research Report No. RR668), HSE Books. Health and Safety Executive, UK, Norwich, UK. (Online at <http://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr668.htm> accessed 2015-01-07)

DETTNER, A., BRUDI, E. UND BISCHOFF, F. (2010). Messverfahren und Bewertungsmethoden zur Verkehrssicherheit. AFZ-Der Wald (8), 34–35.

DETTNER, A. & RUST, S. (2013). Aktuelle Untersuchungsergebnisse zu Zugversuchen. In: DUJESIEFKEN, D. (Hrsg.) Jahrbuch der Baumpflege 2013, Haymarket Media

JEFFERSON, I. (1994). Temperature effects on clay soils. Diss. Loughborough University of Technology.

KANE, B. & CLOUSTON P. (2008). Tree Pulling Tests of Large Shade Trees in the Genus Acer. Urban Forestry & Urban Greening 34 (2), 101–109.

RUST, S., DETTNER, A., FUCHS, CH. UND SCHIRUTSCHKE, B. (2013). Einfluss der Witterung auf die Ergebnisse statischer Zugversuche. In: D. Dujesiefken, (Hrsg.), Jahrbuch der Baumpflege 2013, Haymarket Media, Braunschweig.

RUST, S. & WEIHS, U. (2007). Geräte und Verfahren zur eingehenden Baumuntersuchung. In: DUJESIEFKEN, D. & KOCKERBECK, P. (HRSRG.). Jahrbuch der Baumpflege 2007, 215–241.

SANI, L., R. LISCI, D. SARRI, M. RIMEDIOTTI, M. VIERI, UND S. TOFANELLI (2012). Preliminary experiments and verification of controlled pulling tests for tree stability assessments in Mediterranean urban areas. Biosystems Engineering 112, 218–226.

SINN, G., UND L. WESSOLLY. 1989. Baumstatik - zwei neue zerstörungsfreie Messverfahren. Teil 1: Ermittlung der Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen durch Messung. Das Gartenamt 38 (7), 422–428.

WESSOLLY, L. (1991). Verfahren zur Bestimmung der Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen. Holz als Roh- und Werkstoff 49, 99–104.

WESSOLLY, L. (2010). 25 Jahre Baumstatik – eine Bilanz. Pro Baum 3, 12–15.

WESSOLLY, L. & ERB, M. (2014). Handbuch der Baumstatik + Baumkontrolle, Berlin, Patzer 270 S.

WOHN, J. (2003). Untersuchungen zur Standsicherheit von Bäumen bei Wassergehaltsänderungen im Boden. Diplomarbeit, FH Nürtingen, Landespflege 116 S.