

Ergebnisse eines Forschungsprojektes

Rigging-Techniken beim Abtragen von Bäumen. Teil 1: Kinematische Analysen

Von Andreas Detter, Gauting

Rigging-Techniken, also das Abtragen von Bäumen mithilfe von Seilen und Rollen, werden schon seit langem in der Baumpflege eingesetzt. In den vergangenen Jahren wurden traditionelle Verfahren mehr und mehr durch fortschrittlichere Methoden ersetzt. Die Verwendung neuartiger Geräte und Seiltypen bietet viele Vorteile, beseitigt aber längst nicht alle Risiken. In den Jahren 2006 und 2007 wurde deshalb von britischen und deutschen Baumpfleger, Ausbildern und Sachverständigen eine Studie¹⁾ zu Rigging-Verfahren durchgeführt. Ziel des Projektes war es, den Stand der Technik bei der Durchführung von Gefährdungsanalysen, bei Planung und Organisation von Abläufen sowie bei Maßnahmen und Verfahren zur Unfallverhütung beim Rigging darzustellen und den Wissensstand soweit möglich zu erweitern.

Rigging ist eine Methode zum stückweisen Abtragen von Bäumen. Bei dieser Technik werden Baum, Arbeitsseile und Rollen zu einem dynamischen System verbunden, das fallende Stammstücke mit oft beträchtlichem Gewicht auffangen soll. Die einzelnen Komponenten stehen dabei miteinander in einer Wechselwirkung, die noch nicht vollständig untersucht und verstanden ist. Beim Rigging werden Kletterer, Ausrüstung und der Baum selbst großen Belastungen ausgesetzt, die schwer zu kalkulieren sind. Die Gefahren beim Rigging und die damit verbundenen Risiken für Kletterer sind auch aus diesem Grund deutlich größer als bei anderen Baumpflegemaßnahmen.

Der verstorbene PETER DONZELLI begann bereits 1998 die beim Rigging auftretenden Kräfte zu untersuchen. Teile des Videomaterials, das während seines Projektes aufgenommen wurde, sind von Ar-

borMaster Training zur Verfügung gestellt und 2004 von Brudi & Partner TreeConsult ausgewertet worden. Die Ergebnisse zeigten deutliche Unterschiede zwischen der tatsächlichen Flugbahn des Stammstückes und dem mechanischen Modell, nach dem bis dahin eine Abschätzung auftretender Lastspitzen im Seil erfolgte. Dies gab den Anlass für eine Pilotstudie, die von TreeConsult in Zusammenarbeit mit dem deutschen Baumpflegeunternehmen ArBO, München, durchgeführt wurde.

In der Studie wurde folgendes Rigging-Verfahren näher untersucht: beim Ablassen eines Stammstückes von einem senkrecht stehenden Stamm ist das Bremsgerät blockiert, sodass kein Seil nachrutschen kann (im Gegensatz zum sog. „dynamischen Ablassen“, bei dem das Seil zunächst durchläuft). Dieses Szenario stellt den ungünstigsten Fall dar, da es enorme Lastspitzen erzeugen und immer wieder auch unbeabsichtigt auftreten kann. In diesem Projekt wurden Rigging-Arbei-

ten im Labor nachgestellt und analysiert. Während des Rigging Research wurden die Daten zusammen mit zusätzlichen Feldversuchen sowie Daten aus den Versuchen von PETER DONZELLI ausgewertet. Diese hatte er bei seinem vom TREE Fund geförderten Projekt erhoben, das durch seinen plötzlichen Tod nicht abgeschlossen werden konnte.

Während der Arbeiten wurde versucht, vier grundlegende Fragestellungen zu dem oben beschriebenen Ablassen mit blockiertem Rigging-System näher zu untersuchen:

- 1. Kinematik:** Welche Bewegungen führen das Stammstück, das Ablass-System und der Stamm aus, wenn das Stammstück ins Seil fällt?
- 2. Energieumwandlung:** Wie wird Energie im Rigging-System verteilt? Wodurch, auf welche Weise und bis zu welchem Grad können die einzelnen Komponenten Energie aufnehmen?
- 3. Sicherheitsfaktoren:** Mit welchen Kraftspitzen werden die Komponenten eines Rigging-Systems belastet? Wie groß sind die tatsächlichen Sicherheitsmargen in dem untersuchten Szenario?
- 4. Dynamik:** Wie reagiert der Baum, wenn das Ablass-System blockiert ist? Wie wirken sich die Kräfte im Rigging-System und die Bewegungen des Stammes auf die Sicherheit eines Kletterers aus?

Im Folgenden sollen einige Ergebnisse aus den Untersuchungen im Hinblick auf die Bewegungsabläufe (Kinematik) beim Rigging (Punkt Nr. 1) zusammengefasst werden. In AFZ-DerWald werden weitere Artikel folgen, in denen auf die anderen Punkte, u.a. die Kraftspitzen und die auftretende Dynamik, eingegangen wird.

Kinematik beim Ablassen von Stammstücken in ein blockiertes Rigging-System

Die Kinematik untersucht und beschreibt die Art und Weise der Bewegung von Objekten. Die Bewegungsabläufe beim Rigging wurden mithilfe des Motion Capture Verfahrens (digitale Bewegungserfassung) untersucht. Dabei werden Versuchspersonen oder Objekte mit sog. Markern aus-

Dipl.-Ing. A. Detter,
ÖBUV Sachverständiger
für Baumpflege, Mit-
gründer des Sachver-
ständigenbüros Brudi
& Partner TreeConsult,
betreut Forschungspro-
jekte zur Arbeitssicher-
heit in der Baumpflege.



Andreas Detter
info@tree-consult.org

¹⁾ Auftraggeber der Studie (der sog. Rigging Reserach) waren die britischen Behörden Health and Safety Executive (HSE) und der Forestry Commission (FC). Teilgenommen an dem Forschungsprojekt haben Brudi & Partner TreeConsult, Treevolution Arboricultural Services, Chris Cowell (Treepartner) und Paul Howard (Baumpflege ArBO). Der Abschlussbericht erschien am 9. 12. 2008 und steht online zur Verfügung (siehe www.tree-consult.org). In diesem Artikel werden vorab einige Ergebnisse dargestellt.



Abb. 1: Versuchsaufbau: Am Rigging-System und am Baum wurden Marker angebracht, um folgende Bewegungen aufzuzeichnen: die Flugbahn des Stammstücks, Dehnung und Nachrutschen der Schlinge am Anschlagpunkt, die Biegung des Stammes und die Dehnung im Ablassseil. Im Hintergrund sind die roten Leuchtdioden einer der acht Hochgeschwindigkeitskameras zu erkennen, die die Bewegungen aufzeichneten.

gestattet, deren Position im Raum durch Videoaufzeichnungen aus mehreren Richtungen exakt verfolgt und in ein digitales Bild umgewandelt werden kann. Bekannt wurde diese Technik insbesondere durch Filme wie z.B. „Shrek“, in denen Mimik und Bewegungen von Schauspielern mit Motion Capture erfasst und auf computer-animierte Figuren übertragen wurden. Im vorliegenden Fall wurde das Verfahren eingesetzt, um eine genaue digitale Abbildung der Abläufe beim Rigging zu erhalten.

Ein 5,5 m langer Stamm (Durchmesser 35 cm an der Basis) einer frischgeschlagenen Fichte (*Picea abies*) wurde in senkrechter Position im Versuchslabor des sportwissenschaftlichen Instituts der Universität der Bundeswehr in Neubiberg aufgestellt. Vier 1,5 m lange Stammstücke mit einem Durchmesser von ca. 30 cm und einem Gewicht zwischen 55 und 65 kg wurden mit blockiertem Bremsgerät abgelassen. Nach jedem Versuch wurde die Stammspitze um 50 cm eingekürzt, und mit Stahlprofilen ein frisches Teilstück eingesetzt, um Fällkerb und Fällschnitt in unversehrt Holz anbringen zu können.

An Stamm und Stammstück wurden die reflektierenden Marker befestigt, die von Spezialsoftware automatisch nachgezeichnet werden konnten. Mit solchen Markern wurde auch das Rigging-System ausgestattet, das aus einem Bremsgerät (Port-

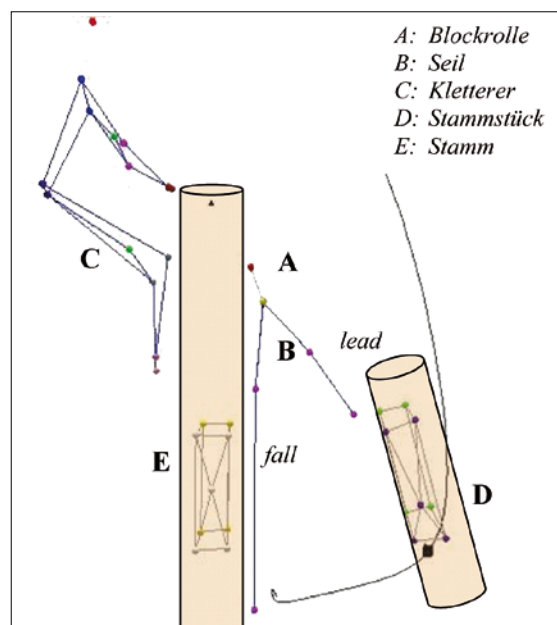


Abb. 2: Marker zur Analyse der Bewegungen des Kletterers: Zwei Elastometer (rote Pfeile) messen die Dehnung der Randfasern, wenn sich der Stamm unter Belastung biegt. In diesem Fall wird der Stamm nach rechts ausgelenkt, wodurch die untersuchten Fasern gedehnt werden. Der Stammfuß wurde mit Stahlprofilen auf Holzbalken befestigt. Die Stammspitze war frei beweglich. Vor den Falltests wurde die Flexibilität der Spitze in Zugversuchen überprüft.

Wrap medium) an der Einspannung sowie einer Blockrolle (CMI 2 to) in knapp 4 m Höhe bestand. Als Ablassseil wurde ein Doppelgeflecht mit 14 mm Durchmesser (Buccaneer Bullrope) verwendet, das am Stammstück mittels Zimmermannsknoten und halbem Schlag befestigt war. Das Seil wurde von Hand vorgespannt, um das Bremsgerät gewickelt und dort abgebunden.

An den Gelenken und am Kopf des Kletterers wurden Marker angebracht, aus denen die Motion Capture Software eine Art „Strichmännchen“ kreierte. Um die Aufzeichnung der Stammreaktion zu verfeinern, wurden hochauflösende Dehnungssensoren (Elastometer) am Stamm ange-

Abb. 3: Bewegungserfassung bei blockiertem Bremsgerät: Die Bewegungen des Stammstücks, des stehenden Stammes, des Seiles und des Kletterers wurden mit einer Frequenz von 240 Bildern pro Sekunde aufgenommen. Der Schwerpunkt der Stammstücke folgte einer bestimmten Flugbahn (schwarze Kurve). Das kurze Seilende, das am Stammstück befestigt ist, wird im englischen Sprachraum als „lead“ bezeichnet, während das andere, das zum Bremsgerät führt, üblicherweise „fall“ genannt wird.



bracht. Diese können Faserverformungen, die unter Belastung im Stamm entstehen, auf 1/1000 mm genau registrieren. Elastometer werden auch bei Zugversuchen zur Prüfung der Bruchsicherheit von Bäumen verwendet (Elasto-Inclinomethode) [4].

Es wurden vier Ablassvorgänge aufgezeichnet. Bei zwei Tests wurde ein klassischer Fallkerb mit horizontaler unterer Schnittfläche und einer Öffnung von 45° eingesetzt. Bei den anderen beiden wurde ein umgekehrter Fallkerb („Humboldt“, untere Fläche schräg geschnitten) mit gleichem Öffnungswinkel verwendet. Position und Tiefe des Trennschnittes wurden konstant gehalten, um vergleichbare Bruchleisten zu erhalten. Nach der Bearbeitung und Filterung der Rohdaten konnten die Sequenzen in 3-D dargestellt werden. Die vier Versuche zeigten eine bestimmte Fallkurve, die sich bei allen Tests stark ähnelte. Der Schwerpunkt des Stammstücks folgte jeweils einer Flugbahn, die sich offenbar aus folgenden Komponenten zusammensetzte:

- zunehmende Neigung, sobald das Stammstück um die Bruchleiste rotiert,
- Vorwärtsschub und Drehung um die eigene Achse, wenn sich das Stammstück löst,
- Beschleunigung aufgrund von Gravitation und
- die Zugkraft des Rigging-Seils auf das Stammstück beim Abbremsen.

Die Flugkurve des Schwerpunktes kann in fünf Phasen aufgeteilt werden. Diese wurden z. T. bereits in ähnlicher Form [3] beschrieben:

1. Wenn der Kletterer das Stammstück wegdrückt oder es vom Boden aus mit einem Kontrollseil abgezogen wird, dreht sich das Stammstück über der Bruchleiste, die Fasern in der Bruchleiste biegen sich und der Fällkerb schließt sich allmählich. Schlanke Stäm-

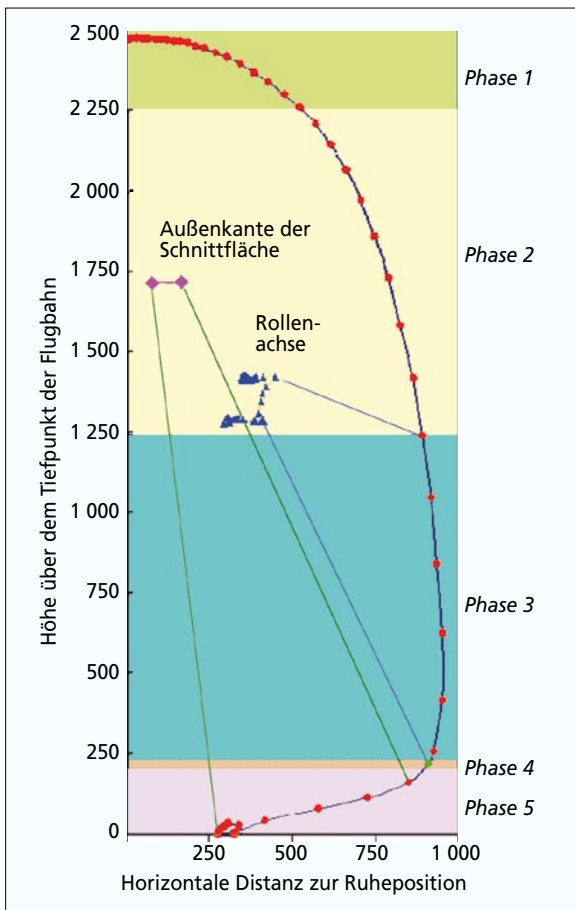


Abb. 4: Beispiel für die Kinematik beim Rigging mit blockiertem Bremsgerät

Die roten Punkte markieren die Position des Schwerpunkts des Stammstückes in einem Intervall von 0,042 s – einer oft verwendeten Aufnahmegeschwindigkeit von Filmen (24 Bilder/s).

Während das Stammstück zu Beginn langsam um die Bruchleiste rotiert, schließt sich der Fällkerb, bis die Bruchleiste bricht. Im freien Fall erhöht sich die Geschwindigkeit (erkennbar an den größeren Abständen zwischen zwei aufeinander folgenden roten Punkten).

Sobald das Seil belastet wird, lenkt es die Flugbahn in Richtung Stamm um. Gleichzeitig wird die Blockrolle nach unten gezogen (blaue Linien), und der Stamm biegt sich unter der Last in Zugrichtung (rosafarbene Raute zeigt den Rand der Schnittstelle).

Nach Auftreten der Kraftspitze (hellgrüner Punkt) schwingt der Stamm zurück, da die Spannung im Seil nachlässt (grüne Linien). Alle Angaben in Millimeter.

- me können dabei nach hinten ausgelenkt werden, weil das Gewicht des geneigten Stammstückes gegen die Bruchleiste drückt.
- Nachdem die Bruchleiste gebrochen ist, springt das Stammstück von der Schnittkante ab und beginnt nach unten zu fallen (vergleichbar mit der ballistischen Flugbahn eines Wurfesacks im freien Fall).
- Wird das Stammstück vom Seil abgebremst, wird die Flugbahn zurück zum Stamm gelenkt. Gleichzeitig wird der Stamm in Fallrichtung nach vorne gezogen, und die Blockrolle rutscht den Stamm herab, bis die Augschlinge vollständig gereckt und fest gespannt ist. Die tatsächliche Fallhöhe wird durch das Anziehen der Knoten unter Last sowie durch Dehnung und Nachrutschen von Seil und Schlingen erhöht. Z. B. wird ein Stück Seil durch den Sicherungsknoten am Stammstück gezogen (meist ein halber Schlag), oder Seillänge vom blockierten Bremsgerät freigegeben, wenn sich das Seil in den Wicklungen dehnt.
- Die Kraftspitze im Seil tritt zu dem Zeitpunkt auf, der in Abb. 3 dargestellt ist. Dies ist der Moment, in dem Seildehnung und Bremswirkung am größten sind. Die höchste Bremswirkung (d.h. eine schnelle Änderung der Fallgeschwindigkeit des Stammstückes) erzeugt eine Kraftspitze – es handelt sich um den gleichen Effekt, durch den man beim plötzlichen Bremsen im Auto in den Sicherheitsgurt gedrückt wird.
- Wenn die Spannung im Seil wieder nachlässt, schwingt der Stamm zurück, während das Stammstück in Richtung Stamm weiterpendelt und schließlich dort anstößt. Dieser Impuls kann den Stamm in starke Schwin-

gungen versetzen, die eventuell die Sicherheit des ausführenden Baumpfleger gefährden können.

Die Flugkurven für die beiden Fällkerb-Typen unterschieden sich nur unwesentlich voneinander. Bei einem umgekehrten Fällkerb reichte die Flugbahn in horizontaler Richtung etwas weiter als beim nach oben geöffneten Schnitt. Diese Beobachtung stimmt mit den Ergebnissen aus der digitalen Nahaufnahme zweier Bruchleisten überein, bei der das Schließen des Fällkerbs, das Einknicken der Bruchleiste und das Abspringen des Stammstückes

mit einer Geschwindigkeit von 2 500 Bildern pro Sekunde gefilmt wurden. Dazu wurden von einem intakten stehenden Stamm zwei 1,5 m lange Stammstücke abgetragen. Wie bei den anderen Versuchen wurden ein herkömmlicher und ein umgekehrter Fällkerb mit jeweils 45° Öffnungswinkel verwendet. Beide Stücke wurden mit einem Seil abgezogen und ohne Ablasssystem fallen gelassen. Runde Marker an Stammstück und Stamm dienten dabei zur besseren Erfassung der Bewegungsabläufe (vgl. Abb. 5).

Beim konventionellen Fällkerb entstand nach dem Abreißen der Bruchleiste weniger Vorwärtsschub, stattdessen drehte sich das Stammstück schneller um die eigene Achse. Bei einem umgekehrten Fällkerb wurde das Stammstück beim Abspringen deutlich stärker in horizontaler Richtung beschleunigt (vgl. rote Pfeile in Abb. 5). Dieses Ergebnis konnten einige Baumpfleger bestätigen, andere berichten Gegenteiliges. Bei so detaillierten Beobachtungen zur Kinematik spielen natürlich auch mechanische Eigenschaften der Holzfasern eine Rolle. Sie sind somit nicht für alle Baumarten gültig, und es wären noch weitere Tests notwendig, um die Ergebnisse zu überprüfen.

In späteren Feldversuchen wurden bei zwei Baumarten, Buche und Berg-Ahorn, Fällkerbe mit 70°-Öffnung verwendet, im englischen Sprachgebrauch als „open-face notches“ bezeichnet. In dieser Versuchsreihe wurden 23 Stammstücke unterschiedlicher Größe mit blockiertem Bremsgerät über ein Rigging-System abgelassen. Trotzdem zeigen die Videoaufzeichnungen sehr ähnlich verlaufende Flugkurven.

Deutliche Unterschiede traten erst auf, wenn Kronenteile mit Ästen und Blättern abgelassen wurden. Die Ursache hierfür dürfte der größere Luftwiderstand sein, durch den die Bewegung gedämpft wird.

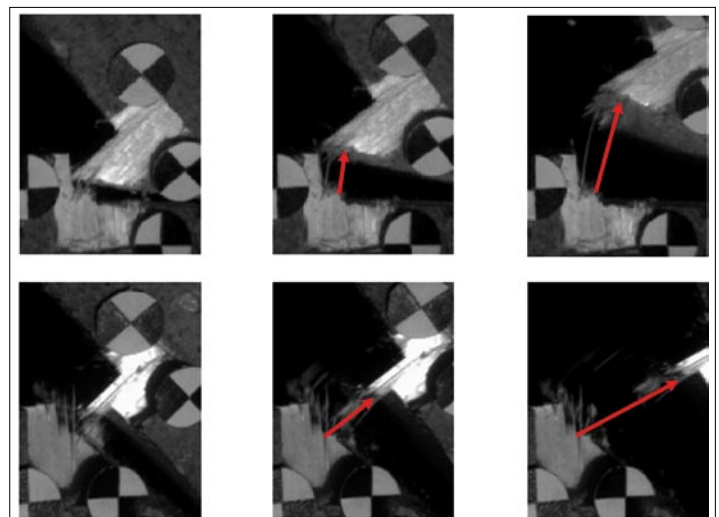


Abb. 5: Klassischer (oben) und umgekehrter Fällkerb (unten) 36, 72 und 120 ms nach dem Versagen der Bruchleiste (die roten Pfeile markieren die Bewegung anhand früherer Fasererläufe)



Abb. 6: Flugbahnen eines Stammstücks (links) und eines Kronenteils (rechts), markiert ist jeweils der Schwerpunkt des Abschnitts

Diese Teile drehten sich nach dem Ablösen vom Fallkerb nicht wie Stammstücke weiter um ihre eigene Achse, sondern glitten in mehr oder weniger horizontaler Position nach unten. Erst als sich die Seilkraft ihrem Maximum näherte, setzte eine raschere Rotation ein.

Bei allen durchgeführten Versuchen traten die Kraftspitzen im Seil auf, wenn die Enden an der Blockrolle in einem Winkel von 32 bis 42° zueinander standen. Weil die Seilenden nicht parallel verlaufen, verdoppelt sich am Ankerpunkt die Seilkraft nicht (wie bis dato angenommen).

Bei einem mittleren Winkel von 37° und unter Berücksichtigung von 10 % Kraftverlust durch die Reibung in der Blockrolle entsteht eine Gegenkraft im Ankerpunkt, die dem 1,8fachen der Kraftspitze im kurzen Ende des Seils entspricht. Die Gegenkraft wirkt auf den Ankerpunkt

in einem Winkel von ca. 20° aus der Senkrechten (vgl. Abb. 7).

Die seitliche Krafteinwirkung führt dazu, dass der Stamm auf Biegung belastet wird, wenn sich im Seil Spannung aufbaut. Die meisten Kletterer haben bereits Erfahrung mit der starken Auslenkung von Baumstämmen gemacht, die bei einem Blockieren des Bremsgeräts entstehen und zu einem nicht immer angenehmen Ritt durch die Baumkronen führen kann. Die Kräfte, die diese Bewegung hervorrufen, die in den Feldversuchen aufgezeichneten Reaktionen des Baumes auf die Last und beobachtete Auswirkungen auf Kletterer sollen in späteren Artikeln beschrieben werden. In Kürze können diese Informationen auch dem Abschlussbericht des HSE/FC Rigging Research entnommen werden (www.tree-consult.org). Die kinematischen Untersuchungen haben zudem

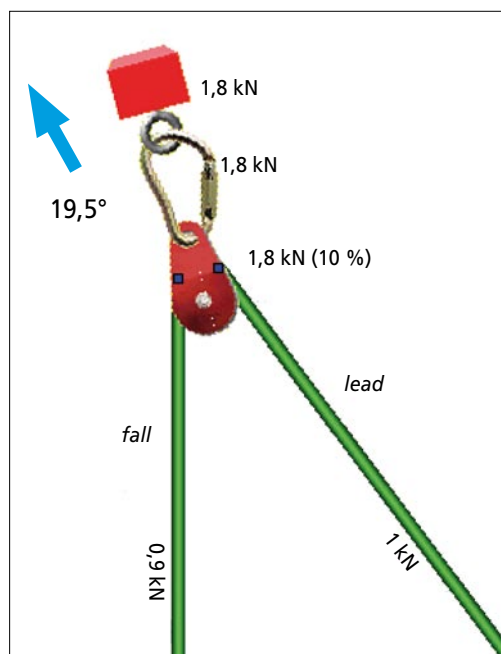


Abb. 7: Aufteilung der Seilkräfte an der Blockrolle:

Wenn die Kraftspitze im kurzen Ende des Seils (lead) erreicht wird, überträgt sie sich nicht ungehindert auf das ganze Seil, sondern wird durch Reibung in der Rolle verringert.

Beim Ablassen von schweren Stammstücken kann der Verlust durch Reibung mit ca. 10% angenommen werden. Bei niedrigen Lasten oder statischer Reibung wäre dieser Anteil deutlich größer. Auch wenn zum Beispiel eine Last, die an einer Seite des Seils hängt, angehoben werden soll, tritt deutlich höhere Reibung auf. [2].

Durch das Zusammenwirken von Reibung und einem Seilwinkel von im Mittel 37° ergibt sich am Ankerpunkt eine Gegenkraft, die das 1,8fache der Kraft im kurzen Ende des Seils (lead) beträgt. Auf einen vertikalen Stamm wirkt diese Kraft in einem Winkel von ca. 20° aus der Senkrechten.

gezeigt, dass das Stammstück bei Erreichen der Kraftspitze im Seil noch nicht die gesamte Fallstrecke zurückgelegt hat. Darüber hinaus bewegt es sich zu diesem Zeitpunkt noch mit einer beträchtlichen Geschwindigkeit. Erst in dem Moment, in dem das Stammstück gegen den Stamm schlägt, wird es für einen kurzen Augenblick zur Ruhe gebracht (Geschwindigkeit null), bevor es wieder abprallt. Dabei wird Bewegungsenergie auf den Baum übertragen und eine mehr oder weniger starke Stammschwingung erzeugt. Diese Beobachtungen weisen darauf hin, dass der Energieumsatz beim Rigging etwas komplexer ist als bisher angenommen. Die Folgen für wirklichkeitsnahe Modelle zur Abschätzung von Kräften beim Rigging sollen in einem späteren Artikel vertieft werden.

Fazit

Generell sollten Schocklasten in Rigging-Systemen möglichst vermieden werden. Da aber deren Auftreten nie ganz ausgeschlossen werden kann, sollte bei der Gefährdungsermittlung auf einen solchen Fall abgehoben werden, um ausreichende Sicherheitsfaktoren ansetzen zu können. Eine sorgfältige visuelle Baumkontrolle, gute Kommunikation und Organisation am Einsatzort sowie die Anwendung sicherer Rigging-Verfahren können viel zur Unfallvermeidung beitragen.

Dennoch sollten Baumpfleger irgendwann in die Lage versetzt werden, die Belastbarkeit aller Komponenten eines Rigging-Systems (einschließlich des Baumes) auf die Kraftspitzen abstimmen zu können, die bei Eintritt eines worst-case Szenarios zu erwarten wären. Im Rahmen des Rigging Researchs wurden einige der Parameter untersucht, die zur Abschätzung der Sicherheitsmargen bei Rigging-Arbeiten benötigt werden. Durch das Projekt wurden aber auch zahlreiche Fragen aufgeworfen, zum Beispiel hinsichtlich des Einflusses von bestimmten Schnitt- oder Arbeitstechniken und der dämpfenden Wirkung von Stamm und Krone [1]. Es bleibt zu hoffen, dass einige dieser Aspekte bald von interessierten Baumpflegerinnen und Forschern näher untersucht werden können.

Literaturhinweise:

- [1] DETTER, A. (2008): Offene Fragen nach dem HSE/FC Rigging Research. In: Kletterblatt der Münchner Baumkletterschule 2008.
 [2] DONZELLI, PETER S. (1999): Comparison of the frictional properties of several popular arborist blocks. In: Journal of Arboriculture 25 (2): 61–68.
 [3] DONZELLI, PETER S.; LILLY, SHARON (2001): The Art and Science of Practical Rigging, Champaign, Illinois, USA: International Society of Arboriculture.
 [4] WESSOLLY, L. (1991): Verfahren zur Bestimmung der Stand- und Bruchsicherheit von Bäumen. In: Holz als Roh- und Werkstoff 49, S. 99–104.