

Was Sie schon immer über den Fangstoß beim Abseilen wissen wollten (und sich bloß nie zu fragen trauten)

Beim Abtragen von Bäumen müssen Stammstücke mit großem Eigengewicht über Seilsysteme abgelassen und sicher zu Boden befördert werden. In diesen vielfach kritischen Arbeitssituationen spielen die Grundsätze der Mechanik eine enorme Rolle im Hinblick auf die Sicherheit der Kletterer und die Gefahr von Schäden im Allgemeinen. Obwohl das Thema Physik bei vielen Baumpfleger*innen gemeinhin Fluchtreaktionen auslöst, ist vorliegender Artikel ein Versuch, das Grundverständnis in diesem Bereich etwas zu verbessern.

Energiebilanz

Wollen wir ein Stück des abzutragenden Stammes nach unten befördern, müssen wir aus physikalischer Sicht seinen energetischen Zustand verändern. Das gleiche würde gelten, wenn wir es vom Boden in eine gewissen Höhe bringen – dabei kommen wir ins Schwitzen, weil wir Arbeit verrichten müssen. Wir investieren Energie, um die Position des Stammstückes zu verändern. Diese Energie kann wieder freigesetzt werden, wenn das Stammstück die gleiche Strecke herabfällt.

Wird ein Stammstück ohne Ablasssystem abgeworfen, nimmt der Boden die gesamte freiwerdende Energie auf. Dabei ist in der Regel ein dumpfer Schlag zu hören und der Erdkörper verformt sich – das Holz hinterlässt eine Delle im Boden. Türmt man zuvor Äste und Zweige zu einem Abwurfkissen auf, können diese einen Großteil der Energie aufnehmen. Dabei verbiegen sie sich, brechen und werden anstelle des wertvolleren Englischen Rasens zerstört.

Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass Energie nicht verloren geht, sondern immer vollständig umgewandelt wird. Beim Rigging geht Lageenergie des Stammstückes in Bewegungsenergie, Spannenergie und letztendlich durch Reibung in Wärme über. Diese verlässt unser Rigging-Set durch Abstrahlung in Richtung Atmosphäre, bevor sie Verformung oder Zerstörung anrichten kann.

Lageenergie

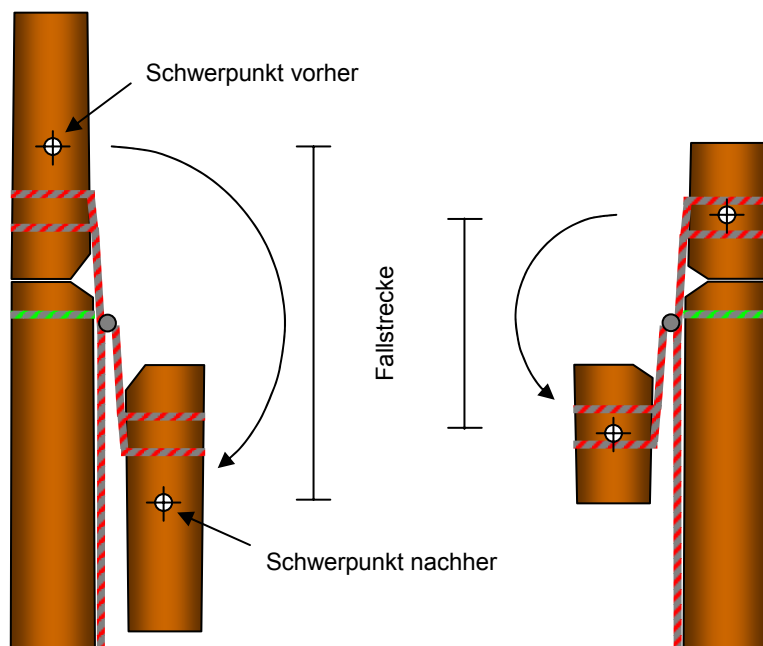
Betrachtet man die Energiebilanz bei Ablassarbeiten am senkrecht stehenden Stamm unter diesem Aspekt, so verfügt das Stammstück zunächst aufgrund seiner Position über potentielle Energie oder Lageenergie. Wie groß diese ist, hängt lediglich davon ab, wie schwer das Stammstück ist und wie weit es fallen kann, bevor es zur Ruhe kommt.

$$\text{Lageenergie} = \text{Gewichtskraft} \times \text{Fallstrecke}$$

In unserem Fall heißt das: Als wichtige Ausgangsparameter beeinflussen das Gewicht des Stammstückes und die Fallstrecke zunächst die umgesetzte Energiemenge. Daher ist es besonders effizient, kleinere Stammstücke zu schneiden.

Dass das Gewicht auf diese Weise vermindert wird, erschließt sich noch sofort: halbe Länge, etwa halbes Gewicht. Aber durch das Verkürzen des Stammstückes wird automatisch auch die Fallstrecke reduziert und die freigesetzte Lageenergie sinkt nochmals stärker ab.

Abb. 1 Fallstrecke



Die Fallstrecke misst man nicht vom Anbindungspunkt des Seiles, sondern stets vom Schwerpunkt des Stammabschnitts aus, der etwa auf der halben Länge liegt.

Mit der Halbierung der Länge des Abschnitts reduziert sich beim stehenden Stamm so auch die Fallstrecke erheblich.

Die freigesetzte Lageenergie beträgt damit deutlich weniger als die Hälfte der Energie, die beim Ablassen eines doppelt so langen Stammstückes freigesetzt würde (in der Regel etwa 30 bis 35%).

Spannenergie

Kippt das Stammstück über die Bruchleiste, wird seine Lageenergie nach und nach in Bewegungsenergie umgewandelt. Das Stammstück fällt immer schneller, bis sich das Seil zu straffen beginnt und es mehr oder weniger rasch abbremst. Dabei wird die Bewegungsenergie nach und nach in Spannenergie umgewandelt, während sich das Seil auf seiner ganzen Länge dehnt.

Dass dehnbare Materialien Energie aufnehmen können, lässt sich leicht nachvollziehen. Einen kaum dehnbaren Bindfaden kann man gefahrlos zwischen seinen Händen mit voller Kraft spannen und unter Last durchschneiden. Versucht man das gleiche mit einem Gummiband, könnte der Versuch schmerzhaft enden. Der elastische Gummi gibt dann nämlich die beim Dehnen gespeicherte Energie schlagartig wieder frei.

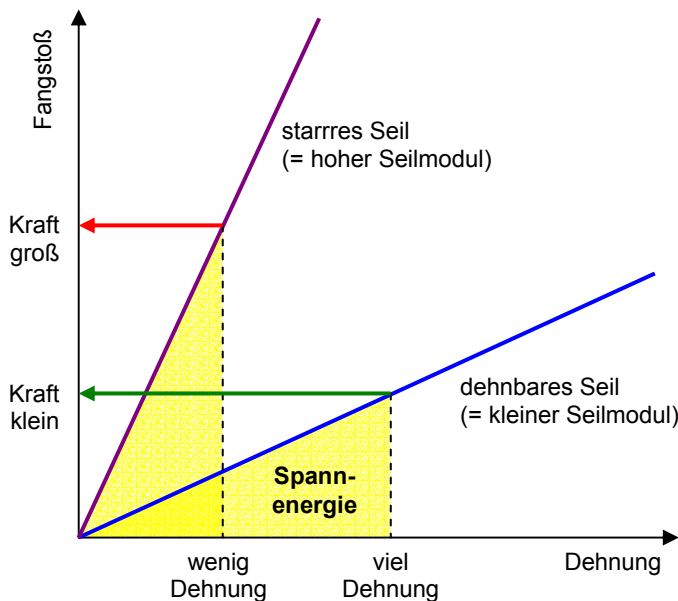
$$\text{Spannenergie} = \frac{1}{2} \times \text{dehnende Kraft} \times \text{Dehnungsweg}$$

Wieder wird die Energiemenge also von den zwei Größen Kraft und Weg beeinflusst, hier der dehnenden Kraft und der Verlängerung des Seiles, dem erreichten Dehnungsweg.

Um die Dehnung möglichst gering zu halten, setzt man beim Heben von Lasten mit einer Seilwinde statische Seile ein, Greifzüge werden sogar mit Stahlseilen betrieben. Auf diese Weise können mit möglichst geringem Aufwand schwere Lasten bewegt werden, da wenig Spannenergie im Seil gespeichert wird. Mit einem elastischen Seil müsste enorme Arbeit investiert werden, um die benötigte Kraft mit Hilfe des sich dehrenden Seiles (großer Dehnungsweg) zu übertragen – zugleich stiege im Versagensfall die Gefahr gravierender Schäden, wenn die gespeicherte Energie freigesetzt wird.

Ohne dynamisches Abseilen (blockiertes Ablassgerät) muss eine bestimmte Energiemenge (die Lageenergie) vollständig in Spannenergie umgewandelt werden. Daher muss auf der linken Eingangsseite der Gleichung für die Spannenergie ein fester Wert erreicht werden. Dies ist entweder mit einer geringen Dehnung und einer hohen Kraftspitze, oder aber durch einen großen Dehnungsweg und einen entsprechend kleineren Kraftaufwand möglich.

Abb. 2 Spannenergie



Ein starres Seil weist eine hohe Steifigkeit (= Seilmodul) auf, der sich in der Grafik als sehr steile Gerade ausdrückt (violett). Je dehnbarer das Seil ist, desto flacher verläuft die Linie (blau).

Die im Seil gespeicherte Spannenergie wird von den beiden gelben Dreiecksflächen dargestellt.

Obwohl diese gleich groß sind, ergibt sich beim flexiblen Seil ein viel niedrigerer Fangstoß als beim starren Seil.

Dies resultiert aus der höheren Dehnung, die das dehnbare Seil beim Abbremsen des fallenden Stammstücks zulässt.

Durch dynamisches Ablassen wird zum einen der Dehnungsweg vergrößert, zum anderen wird in entscheidendem Maße Energie über die Reibung auf dem Bremsgerät in Wärme umgewandelt. Im besten Fall schafft es ein geübter Bodenmann, das Stammstück abzusetzen, ohne dass ein hoher Fangstoß auftritt. Dabei wird fast die gesamte Lageenergie in Wärme umgewandelt. Obwohl das Stammstück ohne dieses Abbremsen mit großer Wucht am Boden aufschlagen würde, erwärmt sich das Bremsgerät nur vergleichsweise wenig. Dies zeigt, wie wirkungsvoll diese Form der Energieumwandlung ist.

Fangstoß

Die Dehnbarkeit des Seiles entscheidet auch darüber, wie rasch das Abbremsen vor sich geht. Je weniger nachgiebig das Seil ist (= große Steifigkeit, hoher Seilmodul), desto abrupter fällt der Bremsvorgang aus. Wenn das Holzstück aus dem freien Fall von einem flexiblen Seil aufgefangen wird, wird eine viel längere Zeit benötigt, um die Fallbewegung abzubremsen.

Bremsen und Beschleunigen sind physikalisch aber das Gleiche, nur mit umgekehrtem Vorzeichen. Dabei wird Beschleunigung nicht nur wie im Motorsport als "von Null auf 100 in 11 Sekunden" verstanden, sondern auch umgekehrt, von 100 auf Null in 0,1 Sekunden - wenn der Wagen vor die Wand fährt bzw. das Stammstück im freiem Fall gestoppt wird. Die auftretende Kraftspitze, also der Fangstoß, hängt von der Masse des gebremsten Körpers und der (negativen) Beschleunigung ab, die der Körper beim Bremsvorgang erfährt.

$$\text{Kraft} = \text{Masse} \times \text{Beschleunigung}$$

In den Crashtests der Autohersteller verfälscht dies oft das Ergebnis: leichte Kleinwagen schneiden vielfach besser ab als schwere Limousinen, weil sie infolge ihrer geringen Masse niedrigere Kraftspitzen erzeugen. Bei einer Kollision mit einem schwereren Fahrzeug jedoch werden sie total deformiert. In der Baumpflege können wir das Gewicht der Stammstücke nicht beliebig verringern. Beim dynamischen Ablassen ist daher das Ziel, möglichst gleichmäßig und nicht ruckartig abzubremsen, um hohe Kraftspitzen zu vermeiden.

Der maximal mögliche Fangstoß variiert stark mit der Dehnbarkeit des verwendeten Seilmaterials. Stahlseile kommen beim Rigging nicht zum Einsatz – viel zu groß wäre der Fangstoß, wenn das Stammstück beim eventuellen Blockieren des Bremsgerätes ins Seil knallen und dabei seine Geschwindigkeit in Sekundenbruchteilen gestoppt würde.

Umgekehrt reduziert sich die auftretende Kraft, je mehr Dehnungsweg möglich ist. Beim Bungee-jumping überlebt der Adrenalin-Süchtige den Sturz aus 80 Metern Höhe auch nur deshalb, weil extrem dehnbare Seile eingesetzt werden, um die Energie des fallenden Körpers aufzunehmen. Mit einem statischen Seil würden die enormen Kräfte beim Abbremsen des Körpers zu einem sicheren Tode führen.

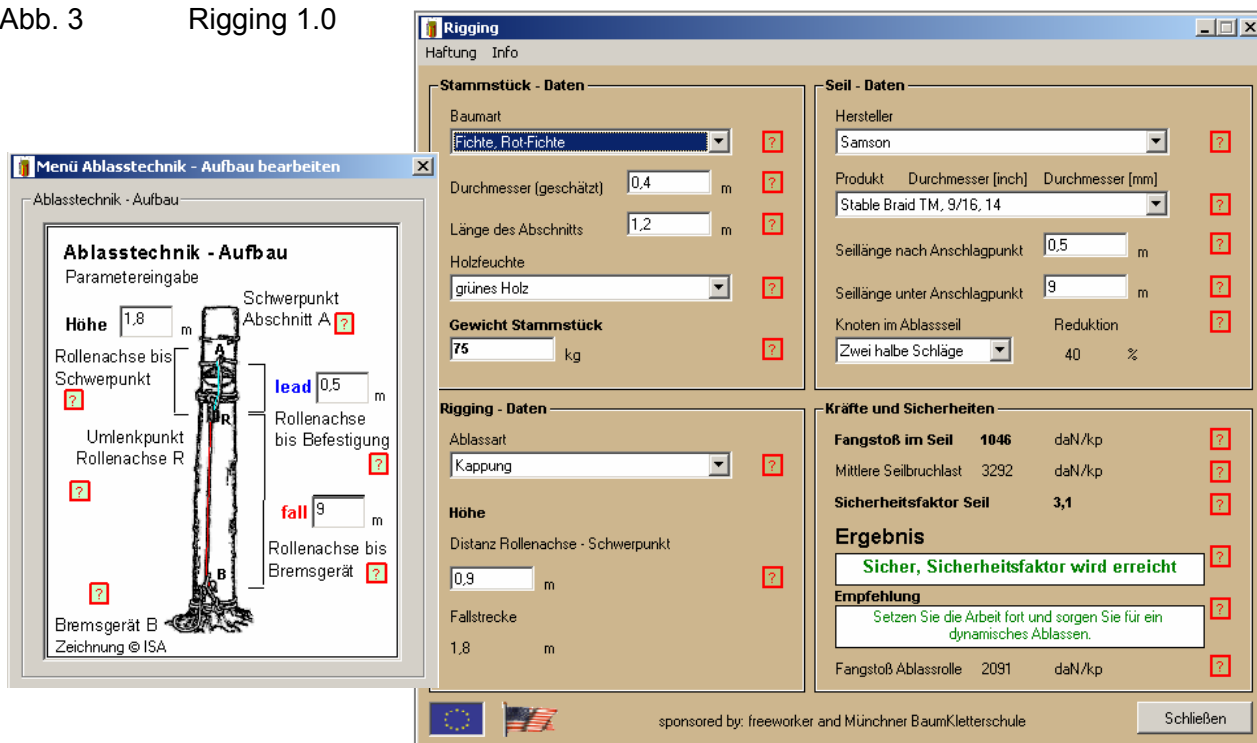
Rigging 1.0

Diese Fakten und Zusammenhänge wurden erstmals in einer Software integriert, die Praktikern helfen soll, Risiken besser abschätzen zu können. Die Schulungssoftware Rigging 1.0 geht vom energietechnischen GAU* aus, dem Blockieren des Bremsgeräts. Dies kann auch bei erfahrenen Bodenleuten unbeabsichtigt auftreten oder muss aufgrund von Platzmangel bewusst in Kauf genommen werden. Der Einfluss der genannten Ausgangsfaktoren auf den Fangstoß kann in dieser Situation mit den Berechnungen der Spezialsoftware abgeschätzt werden:

- Gewicht des Stammstücks
- Fallstrecke
- Dehnbarkeit des verwendeten Seiltyps, Seillänge

Gleichzeitig sind dies auch jene Parameter, auf die der Baumpfleger selbst Einfluss nehmen kann – durch die Größe des Abschnitts, die Wahl eines geeigneten Seiles und die im Ablasssystem verfügbare Seillänge.

Abb. 3 Rigging 1.0



Wie sich eine Veränderung dieser Größen auf den Fangstoß auswirkt, lässt sich rechnerisch mit Hilfe von Rigging 1.0 durchspielen. Zudem gibt das Programm Hinweise auf eine erhöhte Gefahr des Ankerpunktversagens, wenn z.B. hoch belastbare, aber wenig dehnbare Seile (z.B. aus Dyneema-Fasern) zum Einsatz kommen. An der Umlenkrolle verdoppelt sich rechnerisch die Kraft im Seil, da analog zum Flaschenzugprinzip auf einer Seite der Fangstoß und auf der anderen die haltende Gegenkraft des blockierten Bremsgeräts angreift.

* größter anzunehmender Unfall

Bereits jetzt aber ist absehbar, dass individuell variable Größen, von der Form des Fällkerbs bis zur Elastizität der Fasern der entsprechenden Baumart, ebenfalls den Fangstoß erheblich beeinflussen. Da diese den Energieumsatz vermindern und den Fangstoß federnd abdämpfen können, wird das Rechenergebnis der Software in der Praxis deutlich nach unten korrigiert. Der günstige Einfluss dieser Faktoren ist aber bislang kaum untersucht, teilweise – wie bei den Holzeigenschaften der jeweiligen Baumart - lassen sie sich ohnehin vom Kletterer nicht verändern.

Literaturtipps:

Brudi, E., Detter, A., Bischoff, F.: Neue Schulungssoftware Rigging 1.0, Kletterblatt, 2004

Donzelli, P.: Engineering Concepts for Arborists, Arborist News, Feb. 1998

Donzelli, P. & Lilly, S. w. ArborMaster Training Inc.: The Art and Science of Practical Rigging, International Society of Arboriculture, 2001

Gordon, J.E.: Strukturen unter Stress, Spektrum der Wissenschaft, 1987