

Kräfte am Ankerpunkt bei Umlenkungen

Seilumlenkungen spielen in seilgestützten Arbeitsverfahren der Baumpflege eine große Rolle – im wahrsten Sinne des Wortes. Sie gehören zum Alltag von Baumpflegerern, ob im Doppelseil-Klettersystem als Kambiuschoner oder als Umlenkrollen oder beim Rigging-Einsatz in Flaschenzügen, Seilbahnen oder anderen Systemen.

Grundsätzlich gibt es bei Umlenkungen erhebliche Unterschiede zwischen dem Ablassen und dem Heben von Gewichten. Hier wirkt sich die Reibung in der Rolle verschieden auf die Lastverteilung aus. Beim Anheben muss der Reibungswiderstand überwunden werden, so dass eine größere Kraft erforderlich ist als das einfache Gewicht. Beim Ablassen wirkt die Reibung einem schnellen Seildurchlauf entgegen, so dass eine bestimmte Masse mit geringerem Kraftaufwand gehalten werden kann.

Dieser Effekt ermöglicht es auch in der SKT, das eigene Gewicht leicht in einem Doppelseilsystem zu halten. Dazu müssen Kletterer deutlich weniger als die Hälfte des Körpergewichts aufbringen, es sei denn, die Reibung im Ankerpunkt wird durch entsprechend leichtläufige Rollen weitgehend reduziert. Gleichzeitig werden die meisten Kletterer schon registriert haben, wie stark sich ein natürlicher Ankerpunkt beim Aufstieg über ein Redirect (das sind Umlenkrollen, die an einem zweiten Ankerpunkt dafür sorgen, dass das Kletterseil günstiger in Richtung der Arbeitsposition verläuft) bewegt – viel mehr als beim Abstieg, weil erheblich höhere Belastungen auftreten.

Tatsächliche Kraftverteilung ist schwierig einzuschätzen

Die Reibung macht es wirklich schwierig, die tatsächlich auftretende Verteilung der Kräfte an einer Umlenkrolle einzuschätzen. Nicht nur der Betrag der Zugkräfte im Seil und am Ankerpunkt ändert sich infolge der Reibung, sondern auch ihre Richtung. Deswegen ergeben sich mit zunehmender Reibung erhebliche Unterschiede zu einer viel leichter zu begreifenden Situation ohne Reibung – die allerdings in der Realität nie auftritt. Dies zeigt Tabelle

1: Beim Anheben einer Last führt die Reibung zu höheren Kräften an dem Seilende, an dem die Kraft eingeleitet wird, weil der Reibungswiderstand überwunden werden muss. Dadurch erhöht sich auch die am Ankerpunkt auftretende Belastung, zum Beispiel beim Anheben von Ästen mit einer Seilwinde. Der Angriffswinkel der Kraft am Ankerpunkt verschiebt sich zugleich in Richtung des höher belasteten Seilendes, also zur Winde.

Die erste Spalte zeigt den „Idealfall“ ohne Reibungseinfluss. Die folgenden Spalten wurden für Reibungswiderstände von 10, 25 und 50 Prozent berechnet. Der letzte Wert entspricht etwa einem schlichten Karabiner, der erste einer leicht laufenden Rolle (vgl. Donzelli 1999). Der angegebene Seilwinkel entspricht dem Winkel zwischen den beiden Seilenden an der Rolle. Nähere Erläute-

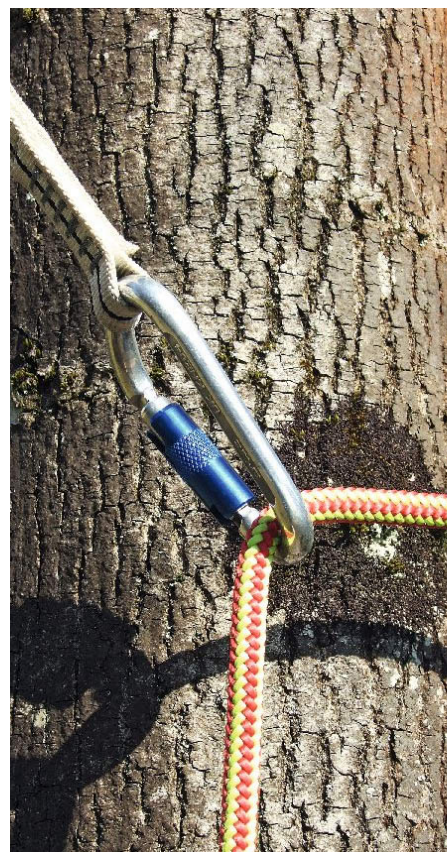


Abb. 1: Umlenkung am Karabiner um 90°

Reibung	0%		10%		25%		50%		
	Seilwinkel an der Rolle	Lastfaktor	Lastwinkel	Lastfaktor	Lastwinkel	Lastfaktor	Lastwinkel	Lastfaktor	Lastwinkel
0°	0°	2.00	0.0°	2.10	0.0°	2.25	0.0°	2.50	0.0°
20°	20°	1.97	10.0°	2.06	9.6°	2.19	9.0°	2.41	8.2°
30°	30°	1.93	15.0°	2.01	14.4°	2.13	13.6°	2.34	12.4°
45°	45°	1.85	22.5°	1.92	21.6°	2.02	20.5°	2.20	18.8°
60°	60°	1.73	30.0°	1.79	28.9°	1.88	27.5°	2.03	25.3°
75°	75°	1.59	37.5°	1.63	36.3°	1.70	34.5°	1.83	31.9°
90°	90°	1.41	45.0°	1.45	43.6°	1.51	41.6°	1.60	38.7°
105°	105°	1.22	52.5°	1.24	51.0°	1.28	48.8°	1.35	45.5°
120°	120°	1.00	60.0°	1.02	58.4°	1.04	56.0°	1.09	52.4°
135°	135°	0.77	67.5°	0.78	65.8°	0.79	63.3°	0.82	59.4°
150°	150°	0.52	75.0°	0.52	73.2°	0.53	70.6°	0.55	66.5°
160°	160°	0.35	80.0°	0.35	78.2°	0.35	75.6°	0.36	71.3°
180°	180°	0.00	90.0°	0.00	90.0°	0.00	90.0°	0.00	90.0°

Tabelle 1 Lastverteilung an einer Umlenkrolle beim Anheben eines Gewichts.

rungen zu der Tabelle finden sich im HSE Rigging Report (Detter u.a. 2008, online unter <http://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr668.htm>).

Laufen die beiden Seilenden parallel aus der Rolle heraus (Seilwinkel 0°), addiert sich der Reibungsaufwand zur normalen Belastung im Ankerpunkt hinzu, weil entsprechend mehr Kraft aufgewendet werden muss, um das Gewicht anheben zu können. Läuft das Seil gerade durch die Rolle ohne abgelenkt zu werden (Seilwinkel 180°), gibt es keinen Reibungseinfluss mehr – die Rolle hat in diesem Fall aber auch keine Wirkung, so dass ihre Befestigung folglich auch nicht belastet wird (Lastfaktor 0). Der Einfluss der Reibung verringert sich demnach mit zunehmendem Öffnungswinkel der Seilenden an der Rolle.

Der angegebene Lastwinkel zeigt die Verschiebung der Zugkraft am Ankerpunkt in Richtung der höheren Kraft. Ein Beispiel: Das Seil wird an einem Karabiner (Reibungswiderstand 50 %, letzte Spalte) um 90° (im rechten Winkel) umgelenkt (vgl. Abb. 1). In diesem Fall verläuft die Lastrichtung nicht in der Winkelhalbierenden wie im reibungslosen Idealfall (das entspräche 45°, vgl. Spalte 1), sondern in einem Winkel von unter 40°. Dabei wirkt am Ankerpunkt nicht das 1,4-fache, sondern das 1,6-fache des Gewichts des anzuhebenden Astes oder Stammstücks.

Wenn eine Last abgelassen wird, muss die Tabelle modifiziert werden, weil Reibung sich dann genau in entgegengesetzter Weise auswirkt. Zum Halten des Gewichts ist eine geringere Kraft er-

forderlich, so dass sich die Belastung des Ankerpunktes um den Reibungseffekt reduziert, wenn beide Seilenden parallel laufen. Dies ist der günstigere Fall, da die auftretenden Kräfte geringer sind als im einfacher abzuschätzenden Fall ohne Reibung. Die Richtung dieser Kraft wird durch den Reibungseinfluss allerdings aus der Winkelhalbierenden verschoben und wirkt jetzt stärker seitlich in Richtung des abzulasenden Gewichts.

Einsatz von Spezial-Software

Ein mögliches Redirect-Szenario wurde mit Spezial-Software (RescueRigger 6.0) untersucht, um die Wirkung der Reibung zu visualisieren. Zunächst wurde das Anheben einer Last über ein System aus zwei Rollen simuliert, das entspricht auch dem Aufstieg an einem Kletterseil mit Redirect. Für den Reibungsaufwand an der Rolle wurden lediglich 10 % angesetzt – in aktuellen Untersuchungen konnte ein höherer Aufwand gemessen werden (vgl. Kane 2009). Zudem ist zu beachten, dass am Beginn des Hebevorgangs ein deutlich höherer Reibungswiderstand überwunden werden muss, um die Rolle in Bewegung zu setzen (vielfach bis zu 25 %).

Abbildung 3 zeigt, dass in dieser Konstellation eine Hebekraft erforderlich ist, die etwa 23% über dem eigentlichen Gewicht liegt. In Abhängigkeit von der Konfiguration des Seilsystems verdoppelt sich die Belastung am oberen Ankerpunkt mindestens, sie kann aber durchaus auch fast das 2,25-fache des Gewichts erreichen. Auffällig ist auch, dass die Querkraft am Ankerpunkt, die für die erzeugte Durchbiegung des Stammes ausschlaggebend ist, in beiden Fällen gleich groß ist. Dieser Sachverhalt resultiert aus den veränderten Angriffswinkeln der Kräfte in den beiden untersuchten Konfigurationen.

Völlig andere Kräfte treten auf, wenn das Gewicht nicht angehoben, sondern abgelassen wird. Beim Ablassen von Stammstücken, aber auch beim Abseilen im Klettersystem, kann Reibung die auftretenden Kräfte erheblich verringern. In einem Fall, der in Abbildung 4 links dargestellt ist, wird der Ankerpunkt nur mit einer Kraft belastet, die um etwa zwei Drittel (66 %) über dem Gewicht liegt. Die Bremskraft beträgt in dieser Konfiguration rund 80 % der Gewichtskraft. In der Konfiguration rechts in Abbildung 4 ist die Bremskraft gleich groß, am Ankerpunkt wirkt jedoch eine Kraft, die dem 1,85-fachen des abgelassenen Gewicht entspricht.

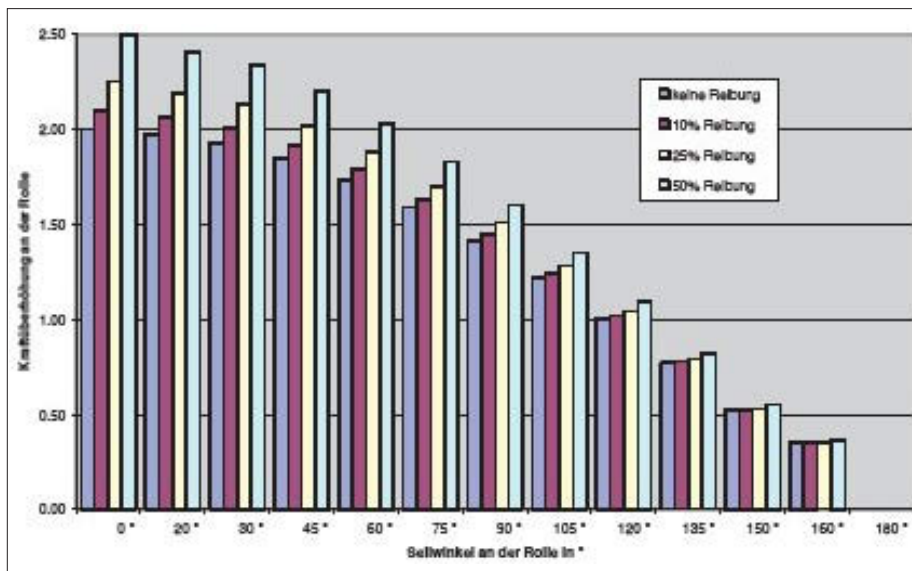


Abb. 2: Grafische Darstellung von Tabelle 1: Anheben eines Gewichts

Reibung	0%		10%		25%		50%	
	Lastfaktor	Lastwinkel	Lastfaktor	Lastwinkel	Lastfaktor	Lastwinkel	Lastfaktor	Lastwinkel
0°	2.00	0.0°	1.90	0.0°	1.75	0.0°	1.50	0.0°
20°	1.97	10.0°	1.88	10.5°	1.75	11.3°	1.53	12.9°
30°	1.93	15.0°	1.85	15.7°	1.73	16.8°	1.53	19.0°
45°	1.85	22.5°	1.78	23.4°	1.68	25.0°	1.51	28.0°
60°	1.73	30.0°	1.67	31.1°	1.59	33.0°	1.45	36.6°
75°	1.59	37.5°	1.54	38.8°	1.47	41.0°	1.37	45.0°
90°	1.41	45.0°	1.38	46.5°	1.33	48.8°	1.25	53.1°
105°	1.22	52.5°	1.19	54.1°	1.16	56.6°	1.10	61.1°
120°	1.00	60.0°	0.98	61.7°	0.96	64.3°	0.93	68.9°
135°	0.77	67.5°	0.76	69.3°	0.74	72.0°	0.73	76.6°
150°	0.52	75.0°	0.51	76.8°	0.51	79.5°	0.50	84.2°
160°	0.35	80.0°	0.35	81.8°	0.34	84.6°	0.34	89.2°
180°	0.00	90.0°	0.00	90.0°	0.00	90.0°	0.00	90.0°

Tabelle 2: Lastverteilung an einer Umlenkrolle beim Ablassen eines Gewichts

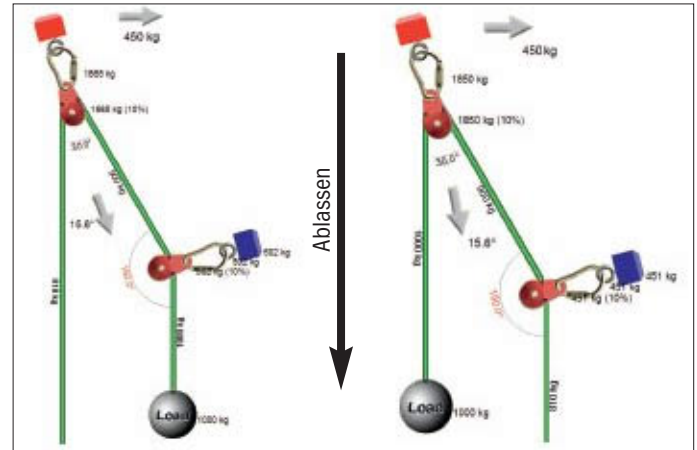
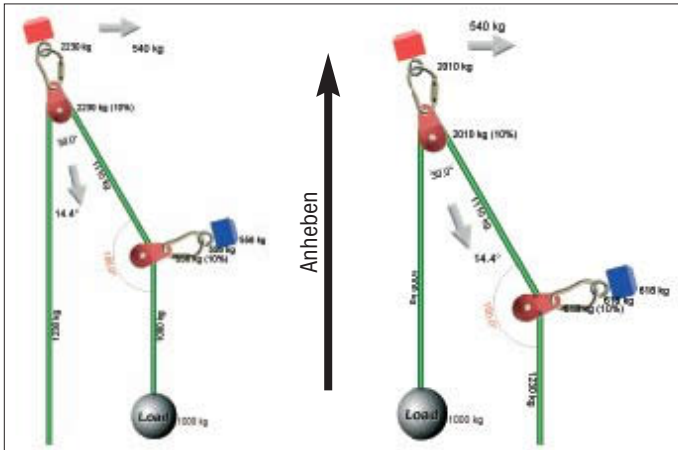


Abb. 3: Redirektsystem 30° & 150°, Last an unterer bzw. oberer Position (Anheben von Gewichten), Illustrations created with RescueRigger 6.0

Abb. 4: Redirektsystem 30° & 150°, Last an unterer bzw. oberer Position (Ablassen von Gewichten)

Die Querkraft am Ankerpunkt ist auch in diesem Fall für beide Szenarien gleich, das heißt trotz unterschiedlicher Kräfte würde ein als Ankerpunkt dienender Stamm genauso stark auf Biegung belastet. Dies ändert sich erst dann, wenn der Stamm nicht vertikal, sondern schräg gewachsen ist, also z. B. bei Stämmlingen oder Ästen. Gleiches gilt, wenn die Seile nicht senkrecht nach unten, sondern schräg verlaufen. Dies ist in der Praxis viel wahrscheinlicher als der in Abb. 3 und 4 konstruierte Fall, der lediglich das Prinzip deutlich machen soll.

Ankerpunkt erheblich höheren Lasten ausgesetzt als in anderen Arbeitsverfahren. Die Ursache hierfür liegt wiederum in den veränderten Angriffswinkeln der Kräfte - in der Regel deutlich flacher und damit effizienter - sowie dem durch Reibungseffekte überhöhten Kraftaufwand. Bei der Auswahl und Kontrolle natürlicher Ankerpunkte sollten Baumpfleger dies unbedingt berücksichtigen.

Andreas Detter, Brudi & Partner TreeConsult, Gauting

Literatur

Detter, A. u.a., 2008. Evaluation of current rigging and dismantling practices used in arboriculture, Norwich, UK: Health and Safety Executive, UK. Online: <http://www.hse.gov.uk/research/rhhtm/rr668.htm> [letzter Zugriff 10.3.2011].
Donzelli, P.S., 1999. Comparison of the frictional properties of several popular arborist blocks. *Journal of Arboriculture*, 25(2), S.61–68.
Kane, B., 2009. Forces and stresses generated during rigging operations. *Arboriculture & Urban Forestry*, 35(2), S.68-74.

So treten beim Abtragen stehender Stämme über Kopf beispielsweise die maximalen Kraftspitzen im Ablasseseil bei einem Seilwinkel von etwa 30° bis 40° aus der Vertikalen auf (vgl. HSE Rigging Report). Aus diesem Grund müsste das am Ankerpunkt auftretende Biegemoment in Bezug auf diesen Winkel abgeschätzt werden, wenn ein Redirect in das Rigging-system eingebaut wird (vgl. Abb. 5).

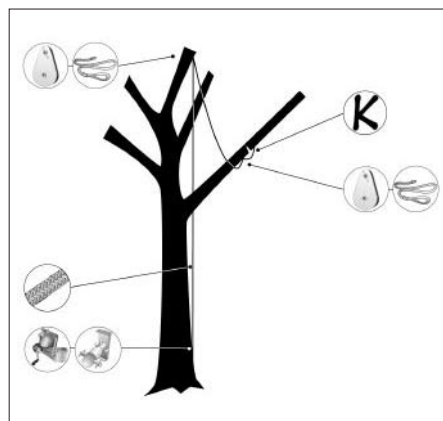


Abb. 5: Einsatz eines Redirects beim Abtragen über Kopf (Bild: M. Bridge)

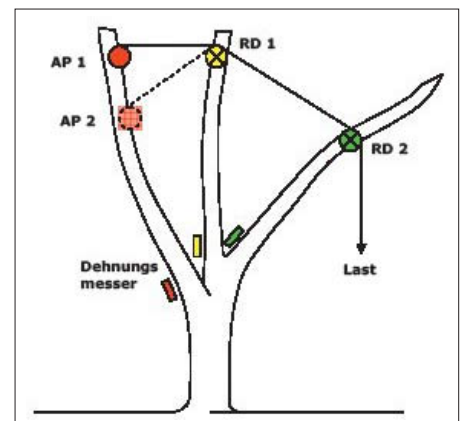


Abb. 6: Praxisbeispiel Ankerpunktbelastung beim Redirect

Reibung beeinflusst Seilkräfte und Belastungen am Ankerpunkt

Die Beispiele zeigen, dass sowohl die Seilkräfte als auch die Belastungen am Ankerpunkt von der Reibung beeinflusst werden. Daher ist es gerade bei der Verwendung von Redirects in Riggingssystemen oder beim Einsatz von Rollen zum Heben von Lasten im Baum wichtig, die auftretenden Kräfte abzuschätzen und die ausreichende Belastbarkeit der Systemkomponenten „Seil“ und „Ankerpunkt“ zu prüfen.

Auch in Seilklettersystemen haben einfache Messungen gezeigt, dass die Belastungen am Hauptankerpunkt durch Seilumlenkungen stark beeinflusst werden (vgl. Tabelle 3). In diesem Bereich wird es auch in Zukunft noch einiges zu beobachten, zu verstehen und zu lernen geben. Insbesondere beim Aufstieg in einem Klettersystem mit Redirects ist der

Positionierung		Faserdehnung am Stämmeling		
Kletterseil	Kletterer	Ankerpunkt AP	Redirect RD 1	Redirect RD 2
unbelastet	steht auf Redirect 2	unbelastet	unbelastet	100
schräg ohne Redirect	steht an Redirect 2	50	unbelastet	50
flach zu Redirect 1	hängt unter Redirect 1	100	-10	unbelastet
flach zu Redirect 1	steht an Redirect 2	100	25	5
flach zu Redirect 1	hängt unter Redirect 2	100	25	-25
AP 2, ca. 2,5 m tiefer	hängt unter Redirect 2	50	10	-20

Tabelle 3: Lastverteilung in einem Seilklettersystem mit Redirect (Dehnungswerte vereinheitlicht)