

## Kritische Festigkeitsreduktionen bei Bandschlingen

(aus dem Bergsportbereich nach EN 566, UIAA-104)

### Labortest von Bandschlingen (Haselbach, M./ Schweinheim, F.)

#### Anlass

Vor einigen Jahren ereignete sich bei der Benutzung eines Flying Fox einer schwerer Unfall aufgrund einer gerissenen Bandschlinge, die als Verbindungsmittel zwischen Flying-Fox-Schlitten und Auffanggurt der abfahrenden Person genutzt wurde. Wie es zu dem Riss der Bandschlinge kommen konnte ist bisher nicht aufgeklärt bzw. es wurden bisher keine Ergebnisse der staatsanwaltlichen Untersuchungen veröffentlicht. Der Unfall sorgte für Beunruhigung, da angenommen werden musste, dass die Bandschlinge bei einer relativ geringen Belastung (Schwingen am Flying Fox) gerissen sei. Zum Zustand der Schlinge können wir keine weiteren Angaben machen, außer dass sie möglicherweise nass war und evtl. Knoten (womöglich zum Verkürzen oder für zusätzliche Einhängpunkte) enthielt.

In die amtlichen Untersuchungen waren wir nicht eingebunden. Wir möchten uns aber im Sinne der Prävention dieser Fragestellung widmen, ohne damit das Unfallgeschehen bewerten zu wollen oder zu können.

#### Fragestellung

Da für uns unersichtlich war, warum eine Bandschlinge bei relativ geringen Kräften (wir gehen beim Lastfall am Flying Fox inklusive wippen und pendeln von max. 300 bis 600 daN aus, die auf ein Verbindungsmittel wirken) reißen sollte, suchten wir den Austausch mit Fachleuten und Herstellern.

Aus der Literatur ist uns bekannt, dass es Faktoren gibt, die zur Festigkeitsreduktion führen. Jedoch dürfte selbst die Einwirkung verschiedener dieser Faktoren nicht zu einer solch starken Festigkeitsreduktion führen:

- Knoten: lt. SEMMEL 2007 II gilt für Polyamid-Bandschlingen „[...] eine Reduzierung der Knotenfestigkeit um bis zu 60 Prozent [...] Mit den anderen Materialien (Dyneema und Kevlar) sieht es wiederum ganz anders aus.“ (SEMMEL 2007 II, S.77). Der Sackstich reduziere die Festigkeit einer 19mm-PA-Schlinge bis zu -43% und er sei für eine 8mm-Dyneema-Schlinge nicht geeignet, da der Knoten ab etwa 2kN durchschlupft. Verlängert man zwei identische Schlingen mit dem Ankerstich so reduziere sich bei 19-mm-Polyamid die Festigkeit bis zu -19% und bei 8-mm-Dyneema bis zu -47% (vgl. SEMMEL 2007 II, S. 79). KUNIGHAM 2006 II schreibt: „Bänder reagieren sensibler auf Knoten als Seile und statische Seile sensibler als dynamische Seile. Ein geknotetes Band hält ca. noch die Hälfte der aktuellen Höchstzugkraft, eher weniger“ (KUNIGHAM 2006 II, S. 25).
- UV-Strahlung: „UV-Strahlung hat auf textile Ausrüstungsgegenstände wie Seile, Bänder usw. im Verhältnis zur Schädigung durch normalen Gebrauch einen vernachlässigbar geringen Einfluss“ (KUNIGHAM 2006 I, S. 38). Die Materialien werden heute „bei der Herstellung mit Mangan-Verbindungen versetzt, welche die zerstörend wirkenden freien Radikale des UV-Lichts ähnlich einer Pufferlösung binden. Ist jedoch das Mangan verbraucht, sinkt die Festigkeit schlagartig (SEMMEL 2007 I, S. 92). SEMMEL bestätigt die Aussage von KUNIGHAM wie folgt: „Zwar hat die Untersuchung Pit Schuberts aus den 1990er Jahren gezeigt, dass bei den von ihm getesteten Schlingen keine gravierende Festigkeitsreduzierung zu beobachten war, allerdings scheint es sich bei der UV-Belastung um eine schwer abschätzbare Größe zu handeln“ (SEMMEL 2007 I, S. 92). Er macht aber auch deutlich, dass es auf die

Intensität der UV-Belastung anzukommen scheint und auf die Qualität bei der „Veredelung“ des Materials mit UV-stabilisierenden Substanzen.

- Verschleiß durch den Gebrauch: SCHUBERT führte Tests mit sehr gebrauchten (Band- und Reepschnur-) Schlingen durch, die er über viele Jahrzehnte gesammelt hat. „Manche Schlingen waren so ausgebleicht, dass nicht einmal mehr die ursprüngliche Farbe zu erkennen war, vom Design ganz zu schweigen“ (SCHUBERT 2008, S. 34). In diesem sehr realitätsnahen Feldtest waren natürlich häufig die Einsatzdauer und das Alter der Schlingen nicht mehr nachvollziehbar. „So lässt sich zusammenfassend nur festhalten, dass die Festigkeitsabnahme bis zu 68% betrug und die meisten Proben eine Abnahme zwischen 21 und 40% aufwiesen (36,1% aller Proben), wobei – um es noch einmal explizit festzuhalten – das Ausmaß der Festigkeitsabnahme dem Äußeren der Proben nicht in jedem Fall anzusehen war“ (SCHUBERT 2008, S. 35).

Wenn wir davon ausgehen, dass die Bandschlinge in gutem Zustand war (nicht angerissen und keinen Kontakt zu Chemikalien hatte) bleiben einzig folgende Fragestellungen offen:

- a) Gibt es außer bereits bekannten Faktoren (Knoten, scharfe Kanten, UV-Bestrahlung oder Verschleiß) noch weitere Faktoren (z.B. Feuchtigkeit, Frost, Dauerbeanspruchung), die zu starken Festigkeitsreduktionen bei Schlingenmaterial führen können?
- b) Kann die Wechselwirkung verschiedener Einflussfaktoren dazu führen, dass die Bruchkraft einer Schlinge so stark beeinträchtigt wird, dass sie schon bei 300 bis 600 daN reißen könnte?

### **Relevanz für den Anwendungsbereich von Seilgärten**

Die Fragestellungen sind insbesondere für die Nutzung im Seilgartenbereich interessant, da hier die Materialien anders als für die übliche Verwendung (Absicherung beim Alpin- oder Sportklettern) eingesetzt werden und zusätzliche Einflussfaktoren auf sie wirken. Die übliche Nutzung von Bandschlingen beim Alpin- oder Sportklettern erfolgt gelegentlich (Wochenende, Urlaub, Training) und die Materialien verbleiben in der Regel nicht ganzjährig den Wettereinflüssen ausgesetzt. Dem gegenüber steht der Einsatz im Seilgarten, wo die Materialien häufig ganzjährig dem Wetter ausgesetzt sind und täglich hundert- bis tausendfachen Belastungszyklen ausgesetzt sind.

### **Testreihe**

Aufgrund oben beschriebener Relevanz für den Seilgartenbereich entschieden wir uns gemeinsam mit der Firma Edelmann + Ridder (Edelrid) Bandschlingentests durchzuführen, die Aufschluss darüber geben sollten, ob und welchen Einfluss Dauerbeanspruchung, mechanischer Abrieb sowie Feuchtigkeit und Frost auf die Festigkeit von Schlingenmaterial haben kann.

### **Versuchsmethode**

Wir ermitteln die Bruchkräfte von Bandschlingen, die unter Laborbedingungen verschiedenen Einflussfaktoren ausgesetzt waren. Es werden jeweils 2 Zerreißproben (für Details zum Versuchsaufbau siehe EN-566/ UIAA-104) durchgeführt. Zur Ermittlung eines Referenzwertes werden ebenso die neuen Schlingen der jeweiligen Materialcharge, die keinen weiteren Einflüssen ausgesetzt waren, ebenso einer Zerreißprobe unterzogen. Es werden 19mm-Polyamid- und 11mm-Dyneema-Schlingen getestet.

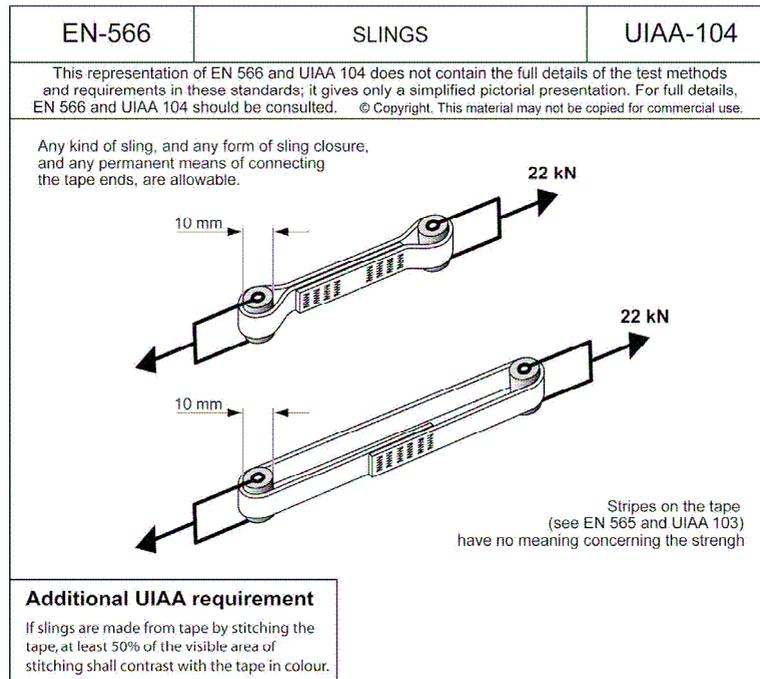


Bild 1: Versuchsaufbau zum Test von Schlingen  
Quelle: UIAA, www.theuiaa.org

### Getestete Einflussfaktoren

- Vergleichprobe: Neue vernähte und unveränderte Rundschlinge.
- Neue vernähte Rundschlinge werden 2 Tage lang in normalem Trinkwasser gewässert und nass getestet.
- Neue vernähte Rundschlinge werden 1 Tag lang in normalem Trinkwasser gewässert und danach 1 Tag bei  $-20^{\circ}\text{C}$  tiefgefroren. Sodann wird sie in tiefgefrorenem Zustand getestet.
- Neue vernähte Rundschlinge werden mittels Versuchsaufbau künstlichem Verschleiß durch Abrieb unterzogen und dann getestet (siehe Bilder).

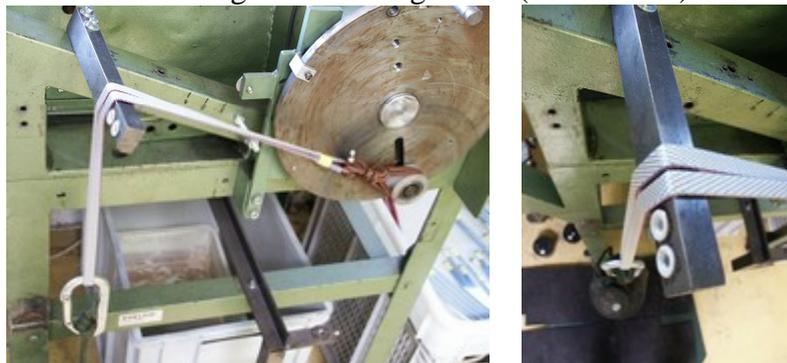


Bild 2 und 3:  
Versuchsaufbau künstlicher Verschleiß und Alterung

Quelle: Edelrid

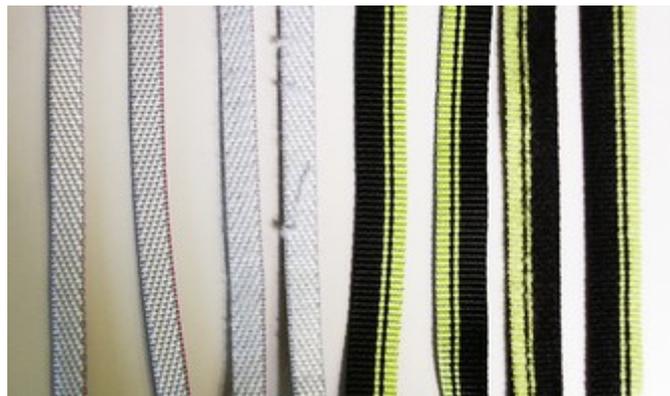


Bild 4:  
Schlingenproben vor und nach künstlicher Alterung (Dyneema links und Polyamid rechts)

Quelle: Edelrid

- E) Neue vernähte Rundschlinge wird 1800-mal mit 225 daN belastet und wieder entlastet. Danach erfolgt die Zerreißprobe.
- F) Neue vernähte Rundschlinge mit zusätzlich eingeknüpftem Sackstich-Knoten in Tropfenform „normal“ belastet (kurz „Version 1“ genannt).



Bild 5:  
Schlinge mit  
Sackstich in Tropfen-  
form, „normal“  
belastet;

Quelle: ERCA

- G) Neue vernähte Rundschlinge mit zusätzlich eingeknüpftem Sackstich-Knoten in Tropfenform unter „Ringbelastung“. (kurz „Version 2“ genannt)



Bild 6:  
Schlinge mit  
Sackstich in Tropfen-  
form, aber im Ring  
belastet;

Quelle: ERCA

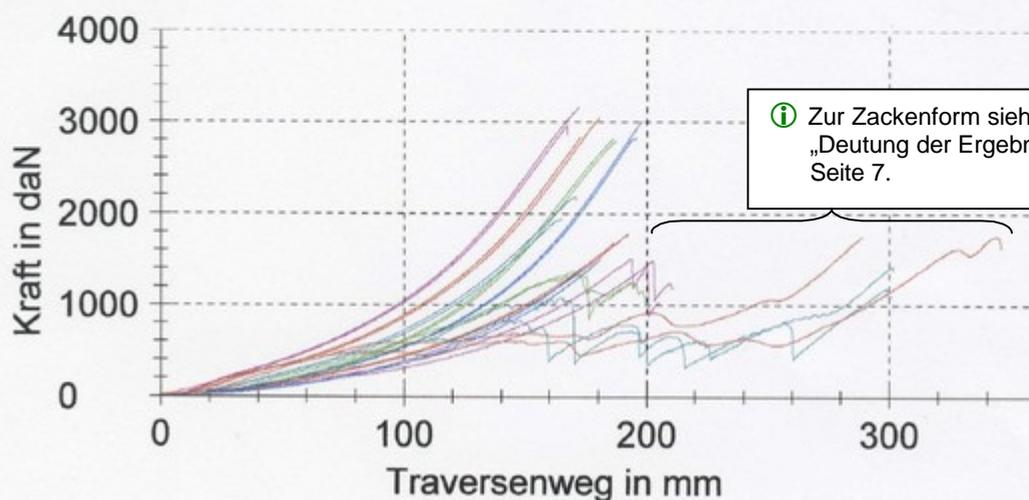
- H) Neue vernähte Rundschlinge wird 2 Tage lang in normalem Trinkwasser gewässert, mit Sackstich-Knoten „Version 1“ versehen und nass getestet.
- I) Neue vernähte Rundschlinge wird 2 Tage lang in normalem Trinkwasser gewässert, mit Sackstich-Knoten „Version 2“ versehen und nass getestet.
- J) Neue vernähte Rundschlinge wird 1 Tag lang in normalem Trinkwasser gewässert, mit Sackstich-Knoten „Version 1“ versehen und danach 1 Tag bei  $-20^{\circ}\text{C}$  tiefgefroren. Sodann wird sie in tiefgefrorenem Zustand getestet.
- K) Neue vernähte Rundschlinge wird 1 Tag lang in normalem Trinkwasser gewässert, mit Sackstich-Knoten „Version 2“ versehen und danach 1 Tag bei  $-20^{\circ}\text{C}$  tiefgefroren. Sodann wird sie in tiefgefrorenem Zustand getestet.

Es werden je Versuchsaufbau 2 Polyamid- und 2 Dyneema-Schlingen getestet.

## Ergebnisse: 19mm Polyamid-Rundschlinge vernäht

Aufbau/ Legende	Nr	Bemerkungen	Höchstzugkraft daN
A	1	19 mm PA-Schlinge neu	2828
A	2	19 mm PA-Schlinge neu	3049
B	3	19 mm PA-Schlinge nass 2 Tage	2819
B	4	19 mm PA-Schlinge nass 2 Tage	2784
C	5	19 mm PA-Schlinge 1 Tag gew./1 Tag -20°C	2831
C	6	19 mm PA-Schlinge 1 Tag gew./1 Tag -20°C	3004
D	7	19 mm PA-Schlinge gealtert 2 * 500 Zykl.	1935
D	8	19 mm PA-Schlinge gealtert 2 * 500 Zykl.	2181
E	9	19 mm PA-Schlinge 1800 Zykl. 225 daN	3158
E	10	19 mm PA-Schlinge 1800 Zykl. 225 daN	2957
F	11	19 mm PA-Schlinge neu Knoten Vers. 1	1682
F	12	19 mm PA-Schlinge neu Knoten Vers. 1	1769
G	13	19 mm PA-Schlinge neu Knoten Vers. 2	1363
G	14	19 mm PA-Schlinge neu Knoten Vers. 2	1322
H	15	19 mm PA-Schlinge 2 Tage gew. Knoten Vers. 1	1420
H	16	19 mm PA-Schlinge 2 Tage gew. Knoten Vers. 1	1498
I	17	19 mm PA-Schlinge 2 Tage gew. Knoten Vers. 2	1422
I	18	19 mm PA-Schlinge 2 Tage gew. Knoten Vers. 2	1177
J	19	19 mm PA-Schlinge 1 Tag gew./1 Tag -20°C Knoten Vers. 1	1480
J	20	19 mm PA-Schlinge 1 Tag gew./1 Tag -20°C Knoten Vers. 1	1508
K	21	19 mm PA-Schlinge 1 Tag gew./1 Tag -20°C Knoten Vers. 2	1748
K	22	19 mm PA-Schlinge 1 Tag gew./1 Tag -20°C Knoten Vers. 2	1741

### Kraft/Weg-Diagramm

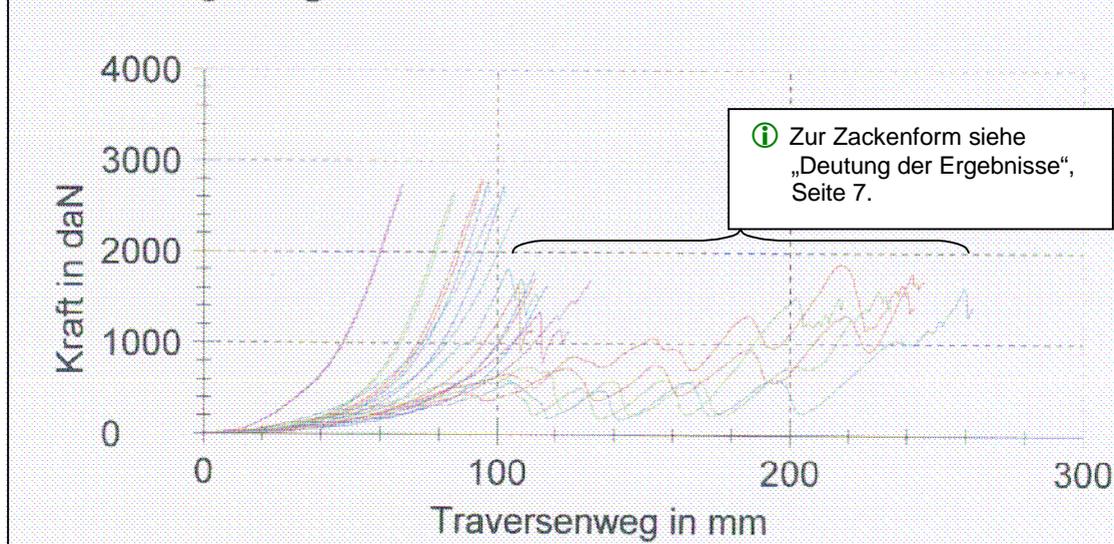


Grafik 1: Kraft-Weg-Diagramm des Zerreistests mit 19mm-Polyamid-Schlinge, Quelle: Edelrid

## Ergebnisse: 11mm Dyneema-Rundschlinge vernäht

Aufbau/ Legende	Nr	Bemerkungen	Höchstzugkraft daN
A	1	11 mm Dyn.-Schlinge neu	2794
A	2	11 mm Dyn.-Schlinge neu	2788
B	3	11 mm Dyn.-Schlinge nass 2 Tage	2618
B	4	11 mm Dyn.-Schlinge nass 2 Tage	2647
C	5	11 mm Dyn.-Schlinge 1 Tag gew. / 1 Tag -20°C	2733
C	6	11 mm Dyn.-Schlinge 1 Tag gew. / 1 Tag -20°C	2782
D	7	11 mm Dyn.-Schlinge gealtert 2 * 500 Zykl.	2535
D	8	11 mm Dyn.-Schlinge gealtert 2 * 500 Zykl.	2511
E	9	11 mm Dyn.-Schlinge 1800 Zykl. 225 daN	2755
E	10	11 mm Dyn.-Schlinge 1800 Zykl. 225 daN	2644
F	11	11 mm Dyn.-Schlinge neu Knoten Vers. 1	1717
F	12	11 mm Dyn.-Schlinge neu Knoten Vers. 1	1637
G	13	11 mm Dyn.-Schlinge neu Knoten Vers. 2	1581
G	14	11 mm Dyn.-Schlinge neu Knoten Vers. 2	1499
H	15	11 mm Dyn.-Schlinge 2 Tage gew. Knoten Vers. 1	1792
H	16	11 mm Dyn.-Schlinge 2 Tage gew. Knoten Vers. 1	1628
I	17	11 mm Dyn.-Schlinge 2 Tage gew. Knoten Vers. 2	1608
I	18	11 mm Dyn.-Schlinge 2 Tage gew. Knoten Vers. 2	1806
J	19	11 mm Dyn.-Schlinge 1 Tag gew. / 1 Tag -20°C Knoten Vers. 1	1339
J	20	11 mm Dyn.-Schlinge 1 Tag gew. / 1 Tag -20°C Knoten Vers. 1	1709
K	21	11 mm Dyn.-Schlinge 1 Tag gew. / 1 Tag -20°C Knoten Vers. 2	1879
K	22	11 mm Dyn.-Schlinge 1 Tag gew. / 1 Tag -20°C Knoten Vers. 2	1770

### Kraft/Weg-Diagramm



Grafik 2: Kraft-Weg-Diagramm des Zerreißttests mit 11mm-Dyneema-Schlinge, Quelle: Edelrid

## Deutung der Ergebnisse

Mit unseren Versuchen konnten wir keine Faktoren ausmachen, die zusätzlich, zu den bekannten Faktoren, starken Einfluss auf die Festigkeit einer Bandschlinge haben. Wir konnten keine Belege dafür finden, warum eine, in gutem Zustand befindliche, Bandschlinge bei geringen Kräften reißen sollte.

Die hier dargelegten Ergebnisse können allenfalls als Tendenzen gedeutet werden. Um allgemeingültige Aussagen treffen zu können, müsste eine größere Stichprobengröße und auch Materialien verschiedener Hersteller getestet werden. Folgende Tendenzen lassen sich jedoch ablesen:

- Die Bruchkraft einer neuen Bandschlinge, die nicht verändert wurde (siehe Versuchsbedingungen wie Knoten, Abrieb, Nässe), kann sehr viel höher liegen, als wie von der Bergsport-Norm gefordert. Die Schlingen im Test hielten mit etwa 2800 daN deutlich mehr, als den in der Norm geforderten Wert von 2200 daN.
- Knoten (Version 1 und Version 2) vermindern die Bruchkraft von Schlingen sehr stark.
- ① - Wird ein Knoten in Tropfenform geknüpft und dann einer Ringbelastung ausgesetzt (Knoten Version 2), so zieht er sich allmählich auf (vgl. Versuchsaufbau G., I., K.: zackenförmiges Kraft/Weg-Diagramm).
- Mechanische Beanspruchung (z.B. Abrieb) führt zu einer deutlich erkennbaren Festigkeitsreduktion von Schlingenmaterial (Polyamid unterliegt einem stärkeren Abrieb als Dyneema).
- Wasser oder Frost führen zur Veränderung der Rutsch- und Schlupfeigenschaften des Schlingenmaterials. Es ist nur eine geringe Festigkeitsabnahme zu erkennen.
- Die im Test vorgenommenen Dauerbelastungen (1800 Belastungen mit 225 daN) führen zu keiner nennenswerten Festigkeitsreduktion beim Schlingenmaterial – jedoch wäre es interessant, die Auswirkungen von noch längeren Belastungszyklen zu testen.

Für die Benutzung von Bandschlingen (Bergsportbereich EN 566, UIAA-104) im Seilgarten lässt sich zusammenfassend schlussfolgern, dass Knoten im Schlingenmaterial zu den größten Festigkeitsreduktion von bis zu über 50% führen können. Abrieb und Alterung stellen danach den größten Einflussfaktor auf die Festigkeit dar (vgl. auch Literaturrecherche von Seite 1). Dauerbelastungen (häufiges be- und entlasten) wie sie im Testverfahren angewendet wurden, führten nicht zu einer bedeutenden Verminderung der Bruchlast. Feuchtigkeit und Frost beeinflussen die Bruchkraft der geprüften Schlingen in geringem Maße.

Genaue Werte könnte nur eine Feldstudie liefern.

## Empfehlungen für die Nutzung von Bandschlingen (aus dem Bergsportbereich EN 566, UIAA-104) im Anwendungsbereich von Hochseilgärten/ Adventure Parks

Unter der Maßgabe, dass Seilgärten als kommerzielle Freizeiteinrichtungen eine besondere Sorgfaltspflicht für ihre Benutzer haben und alles für beste Sicherheit konzeptioniert sein sollte, empfiehlt es sich, die Sicherheitsreserven der verwendeten Materialien ausreichend groß zu bemessen. Die ERCA-Standards empfehlen hier den Faktor 3. Für die Verwendung von Bandschlingen (aus dem Bergsportbereich) ergeben sich daher folgende Empfehlungen:

1. Grundsätzlich nur vom Hersteller vernähte und geprüfte Bandschlingen verwenden und sie so einsetzen, wie es vom Hersteller empfohlen (siehe Gebrauchsanweisung) wurde.

2. Auf zusätzliche Knoten (wie sie z.B. manchmal zum Verkürzen verwendet werden) komplett verzichten. Wenn eine Schlinge nicht mit zusätzlichen Knoten versehen wird, so hat man schon einen der größt möglichen Einflussfaktoren für Festigkeitsreduzierung ausgeschaltet und die Sicherheitsreserve wird gleich sehr viel größer. Auch der Ankerstich ist ein Knoten, der die Bruchkraft stark vermindert, deshalb sollten besser Schlingen verwendet werden, die im Originalzustand die richtige Länge haben, oder die individuell auf die Bedürfnisse im Seilgarten konfektioniert sind (genähte Einhängeösen etc.). Alternativ könnten auch Schlingen mit höheren Bruchlasten -und damit höherer Sicherheitsreserve- zum Einsatz kommen, die z.B. nach dem Knoten noch in der Normvorgabe von 22 kN liegen.
3. Schlingen, die stark beansprucht werden oder die unter großer Last stehen, sollten redundant abgesichert (Verwendung von 2 Schlingen) werden.
4. Bandschlingen vor starkem mechanischem Abrieb z.B. an rauem Holz schützen, da der Abrieb und der Verschleiß eine nicht zu vernachlässigende Wirkung auf die Festigkeitsreduktion haben kann.
5. Bandschlingen müssen, wie alle anderen sicherheitsrelevanten Produkte und Ausrüstungsgegenstände der PSA, in geeigneten Intervallen gründlich durch einen Sachkundigen inspiziert und geprüft werden Die Prüfung erfolgt anhand der Empfehlungen des Herstellers. Je nach Einsatzintensität kann diese detaillierte Inspektion auch schon halbjährlich, monatlich, etc. nötig sein – insbesondere wenn diese dauerhaft installiert sind oder bei täglich beansprucht werden. Eine tägliche Routine-Sichtprüfung vor Anlagenöffnung wird vorausgesetzt.
6. Außerdem sollten Bandschlingen nie über scharfe Kanten laufen.

Andere Einflussfaktoren wie UV-Strahlung, Frost oder Wasser führen nur zu einer relativ geringen Verminderung der Bruchkraft.

### **Herzlicher Dank**

Wir danken der Firma Edelmann + Ridder GmbH & Co. KG (Edelrid) für den aufwendigen Personal- und Materialeinsatz sowie für die professionelle Unterstützung.

### **Literaturverzeichnis**

**KUNIGHAM, K.** (*KUNIGHAM 2006 I*): Spannende Seile (2). In: bergundsteigen, Heft 2/2006, S. 36-40.

**KUNIGHAM, K.** (*KUNIGHAM 2006 II*): Spannende Seile (3). In: bergundsteigen, Heft 3/2006, S. 24-29.

**SCHUBERT, P.:** Alles ist möglich. Untersuchung gebrauchter Schlingen. S.34-35. Sicherheit und Risiko in Fels und Eis. Band III. München: Bergverlag Rother, 2008.

**SEMMELE, C.** (*SEMMELE 2007 I*): Drum prüfe, wer sich bindet ... (Teil 1). In: DAV-Panorama, Heft 3/2007, S.90-92.

**SEMMELE, C.** (*SEMMELE 2007 II*): Drum prüfe, wer sich bindet ... (Teil 2). In: DAV-Panorama, Heft 4/2007, S.76-79.