

## Knotenfestigkeit bei Schlingen und Reepschnüren

[ Teil 2 ]

Polyamid

Kevlar

Dyneema

Nachdem im letzten DAV Panorama die unterschiedlichen Schlingen- und Reepschnurmaterialien vorgestellt wurden, werden nun die Knotenfestigkeiten bei diesen Materialien in Abhängigkeit der verschiedenen Knotenarten verglichen.

▷ VON CHRIS SEMMEL

# Drum prüfe, wer sich bindet...

Immer wieder der gleiche Fehler: eine durchgebrannte 7 mm dicke Reepschnur, die als Umlenkung „missbraucht“ wurde. Eine Ablasshöhe von wenigen Metern reicht aus, und das Seil „brennt“ und „sägt“ die Reepschnur durch (siehe Abb. 1). Weit weniger bekannt und zum Glück auch weniger brisant ist die Knotenproblematik bei Dyneema und Kevlar-Material, die im Folgenden erläutert werden soll.

### Meterware, Vernähung und Knoten

Eine Vernähung ist immer besser als verknotetes Material. Ausnahmen sind na-

türlich Knotenschlingen, wie sie im Elbsandstein genutzt werden. Hier wird der Knoten als Klemmkörper verwendet. Während Klemmkeile oder Klemmgeräte den weichen Fels sprengen würden, verteilen weiche Schlingen den Druck wesentlich besser und bieten somit mehr Sicherheit – ein echter Vorteil.

Die Vernähungen bei Schlingen (Bandschlingen wie Expressschlingen) sind genormt. Als Schlinge zwischen zwei Karabinern belastet, müssen diese 22 kN aufweisen. Bereits die beiden Karabiner reduzieren die Materialfestigkeit erheblich. Da eine Schlinge in der Praxis beim Bergsteigen jedoch immer irgend-



Abb. 1: Als Umlenkung verwendete durchgebrannte Unfallschlinge

wo eingehängt werden muss, sind diese Werte realistischer als die Festigkeit im Einzelstrang.

Jede Umlenkung oder jeder „Knick“ reduziert die Festigkeiten des Materials. Je enger der Biegeradius, um so größer die Reduktion der Festigkeit. Damit wird auch erklärbar, weshalb Bandmaterialien prozentual mehr an Festigkeit im Knoten einbüßen als Kernmantelmaterialien.

**Knotenfestigkeiten von Reepschnüren (Faustformel)**

Pauschal gilt die Regel, dass Knoten bei Polyamid-Reepschnüren und bei Seilen die Festigkeit um bis zu 50 Prozent reduzieren (siehe Abb. 2). Bezugsgröße ist hier die theoretische Festigkeit im Einzelstrang. Wer nun die Festigkeit einer 8 mm-Reepschnur wissen möchte, kann nach der Formel  $\text{Durchmesser}^2 \times 0,2 = \text{kN}$  die genormte Mindestfestigkeit berechnen ( $8 \times 8 \times 0,2 = 12,8 \text{ kN}$ ). Wird die Reepschnur nun mittels Sackstich verknotet, hält die Schlinge im Ring also noch 12,8 kN ( $2 \times 12,8 - 50\% = 12,8 \text{ kN}$ ).

**Knotenfestigkeiten für Bandmaterial (Faustformel)**

Für Polyamid-Bandschlingen gilt eine Reduzierung der Knotenfestigkeit um bis zu 60 Prozent. Die Formel zur Bestimmung der Festigkeit bei nach Bergsportnorm zugelassenen Bändern lautet:  $\text{Breite} \times \text{Dicke} \times 0,3 = \text{kN}$ . Ein Band mit den Abmessungen  $19 \times 3 \text{ mm}$  muss also mindestens ( $19 \times 3 \times 0,3 =$ ) 17,1 kN halten.

**Zusammenfassung Teil 2**

1. Kevlar und Dyneema-Reepschnüre verlieren durch Knoten bis zu 75% ihrer Festigkeit.
2. Achtung: die Art des Knotens ist entscheidend für die Festigkeit.
3. Dyneema Bandschlingen sind so glatt, dass Knoten bereits bei geringen Kräften zu laufen beginnen.
4. Bandschlingen aus Polyamid besser mit gestecktem Achter anstatt dem „Bandschlingenknoten“ (gestecktem Sackstich) verbinden.

Als Kennzeichnung der Mindestfestigkeit werden meist Kennfäden eingewebt. Pro Kennfaden hält ein Band 5 kN. Das oben beschriebene Schlauchband würde also mit drei Kennfäden versehen werden.

Unsere Bandschlinge müsste im Ring geknotet einer Belastung von:  $17,1 \times 2 \times 40\% = 13,68 \text{ kN}$  aushalten. Eine vernähte Schlinge hingegen garantiert 22 kN. Zudem wird hierbei – wie oben bereits erwähnt – die Festigkeitsreduzierung durch die Karabiner außer Acht gelassen. Diese Faustregeln gelten nur für Polyamid-Material! Mit den anderen Materialien (Dyneema und Kevlar) sieht es wiederum ganz anders aus.

**Materialunterschiede**

Die Materialien (PE, PA und Ar) zeigen deutlich unterschiedliche Festigkeitsabnahmen. Dies ist besonders heikel, da

der Laie von außen fast nicht erkennen kann, um welches Material es sich handelt. Schließlich sind die Mäntel der Reepschnüre alle aus Polyamid. Nur im Kern steckt der Unterschied (siehe großes Bild)! Bei der Dyneema- und der Kevlar-Reepschnur neigt der Kern dazu, aus dem Mantel zu rutschen. Zum einen, da beide Materialien sehr glatt sind, zum anderen, weil sich Kevlar und Dyneema im Verhältnis zum Polyamidmantel wesentlich weniger dehnen.

Schließlich hat auch die Knotenform einen entscheidenden Einfluss auf die Festigkeitsreduzierung (siehe Tabelle).

In der Tabelle haben wir neben den absoluten Bruchwerten auch die prozentuale Festigkeitsabnahme im Verhältnis zur „Schlingenfestigkeit“ angegeben, so als ob in der Schlinge kein Knoten vorhanden wäre bzw. als ob diese vernäht wäre.



Abb. 2: Faustformel zur Abnahme der Schlingen-Festigkeiten durch Knoten

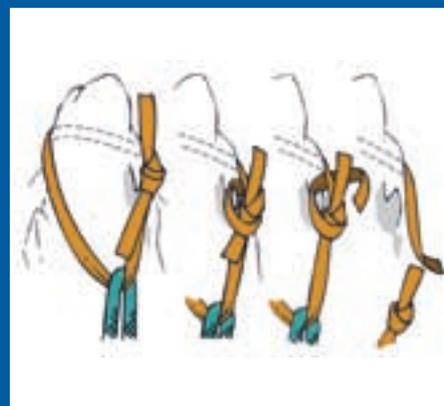


Abb. 3: An einer kleinen Felszacke aufgezogene Bandschlinge



Abb. 4: Zwei Knoten – kleiner Unterschied, große Wirkung

## Knotenfestigkeiten bei Dyneema- und Kevlar-Material

Würde man nun eine Dyneema-Bandschlinge mit einem Sackstich verbinden, so würde dieser bei einer Belastung von etwa 2 kN zu rollen beginnen und sich schließlich in „Nichts“ auflösen. Daher sind Dyneema-Bandschlingen (in Reinform sowie als Mischgewebe) nicht als Meterware erhältlich. Abgeknotet verwendete Bandschlingen sollten daher nicht aus reinem Dyneema bestehen.

Bei Kevlar- und Dyneema-Reepschnüren beträgt die Reduktion je nach Knotenform bis zu 75 Prozent (Sackstich in Tropfenform und einfacher Spierenstich)! Als sinnvoller Knoten kann hier der doppelte Spierenstich, ggf. noch der Achter in Ringform geknüpft werden. Wer die Enden schnell, ohne aufwändiges Stecken verknoten möchte, sollte den „Paketknoten“ als Alternative zum gelegten Sackstich in seinem Repertoire

haben (siehe hierzu die Abbildungsreihe in Abb. 5).

### Tipps für die Praxis

Knoten stellen immer eine Schwächung des Materials dar. Meterware ist lediglich zum Fädeln von Sanduhren im Einfachstrang, als Knotenschlingen oder als Prusikschnellen und als Rückzugsmaterial sinnvoll. Expressschnellen und Bandschlingen sollten vernäht sein.

Wenig bekannt sind die von Pit Schubert beschriebenen Unfälle zu aufgezo- genen Bandschlingenknoten. Eindrücklich wird von 19! Unfällen berichtet (in „Sicherheit und Risiko in Fels und Eis“, Band II, S. 136-144). Bereits eine kleine Felszacke an der „richtigen“ Stelle des Knotens und dieser zieht sich mit Handkraft auf (siehe Zeichnung Abb. 3). Wenn schon verknotet, sollten Bandschlingen mittels Achterknoten verbunden werden (siehe Zeichnung Abb. 4). <

## WARNUNG!

### Fehlerhafte Klettersteigbremse verkauft

Als Hochzeitsgeschenk erhielt ein Pärchen jeweils eine Klettersteigbremse von AustriAlpin. Nach den Feierlichkeiten bei Betrachtung der Bremsen fiel beiden auf, dass sich die Bremsen bezüglich ihrer Aufhängeschlingen unterscheiden.

Unsicher, ob dies von Belang sei, fragten sie bei einem Fachübungsleiter des DAV nach. Der entdeckte sofort den Fehler und meldete dies weiter. Nicht auszudenken, wenn die linke der Bremsen auch nur mit Körpergewicht belastet worden wäre!

Wahrscheinlich ist diese Bremse im „Fachhandel“ falsch zusammengesetzt worden. Es wäre möglich, dass weitere dieser „Mutanten“ existieren. Die Firma AustriAlpin wird zur Vermeidung dieser Fehlanwendung zukünftig die Bandschlinge fest in die Bremse einnähen.



Die Klettersteigsets im Vergleich



Der fatale Fehler im Detail



Abb. 5: Paketknoten

## Übersicht Festigkeitsabnahme



7 mm Reepschnur aus Polyamid    5,5 mm Reepschnur aus Dyneema (Polyethylen)    4,5 mm Reepschnur aus Kevlar (Aramid)    19 mm Bandschlinge aus Polyamid    8mm Bandschlinge aus Dyneema

Festigkeit absolut und Abnahme in % zur Schlinge zwischen zwei Karabinern

Materialfestigkeit	Einzelstrang	12,9 kN	19,8 kN	18,1 kN	15,9 kN	16,3 kN
	Schlinge zwischen zwei Karabinern	18,6 kN	28,5 kN	26,0 kN	22,8 kN	23,5 kN
Achter	Tropfenform	>18,6 kN => 0%	13,2 kN => -54%	10,1 kN => -61%	15,4 kN => -32%	Knoten nicht geeignet, ab 6,4 kN Schlupf
	Ringform	>18,6 kN => 0%	13,0 kN => -54%	15,1 kN => -42%	> 26 kN => 0%	nicht als Meterware erhältlich
Sackstich	Tropfenform	13,5 kN => -28%	8,1 kN => -72%	9,9 kN => -62%	13,1 kN => -43%	Knoten nicht geeignet, ab 2,0 kN Schlupf
	Ringform	>18,6 kN => 0%	9,5 kN => -67%	13,9 kN => -47%	22,7 kN => -1%	nicht als Meterware erhältlich
Spierenstich	einfach	13,0 kN => -30%	7,2 kN => -75%	12,0 kN => -54%	Knoten nicht geeignet	Knoten nicht geeignet
	doppelt	>18,6 kN => 0%	15,0 kN => -47%	18,3 kN => -30%	Knoten nicht geeignet	Knoten nicht geeignet
	dreifach	>18,6 kN => 0%	21,2 kN => -26%	19,5 kN => -25%	Knoten nicht geeignet	Knoten nicht geeignet
Mastwurf	auf Einfachstrang <sup>1)</sup>	9,3 kN => -28%	7,5 kN => -62%	8,0 kN => -55%	8,7 kN => -45%	Knoten nicht geeignet, ab 0,8 kN Schlupf
	belastet als Schlinge <sup>2)</sup>	18,0 kN => -3%	24,2 kN => -15%	22,9 kN => -13%	17,2 kN => -25%	17,7 kN => -25%
Ankerstich auf selbes Material		16,7 kN => -11%	24,0 kN => -15%	12,3 kN => -53%	18,5 kN => -19%	12,5 kN => -47%
Paketknoten		>18,6 kN => 0%	18,7 kN => -34%	12,5 kN => -52%	16,0 kN => -30%	Knoten nicht geeignet, ab 6,2 kN Schlupf

<sup>1)</sup> Mastwurf mit Belastung am Einfachstrang; Festigkeitsabnahme in % zur Festigkeit des Materials im Einfachstrang

<sup>2)</sup> Mastwurf mit Belastung auf beiden Strängen; Festigkeitsabnahme in % zur Festigkeit des Materials als Schlinge