

## Grenzen des Einsatzbereiches von Expansionsschlingen

Jörg Brutscher  
Dresden, 27.3.2013

Als Sicherungsmittel beim Klettern im sächsischen und böhmischen Sandstein sind nur Knotenschlingen zugelassen. Die wesentlichste Einschränkung gegenüber Sicherungsmitteln aus Metall ist, das sich nur schwach verengende Risse oder gar parallele Risse damit nicht absichern lassen.

Um einen parallelen Riss absichern zu können, muß man ausreichend Druck auf die Seitenwände erzeugen. Dazu braucht man eine Konstruktion, die sich verdickt, wenn man daran zieht. In schwachen Maß erfüllt der Achterknoten diese Anforderung [1], allerdings nicht ausreichend, um in einem parallelem Riss zu halten; auch bei sich nur schwach verengenden Rissen wird der Achterknoten aufgerieben, bevor er halten kann [2].

Nun sind Schlingenkonstruktionen auf den Markt gekommen, die die Forderung in sehr kontrollierter Form erfüllen. Die Funktion dieser Schlingenkonstruktionen und die Grenzen ihrer Anwendbarkeit soll hier diskutiert werden.

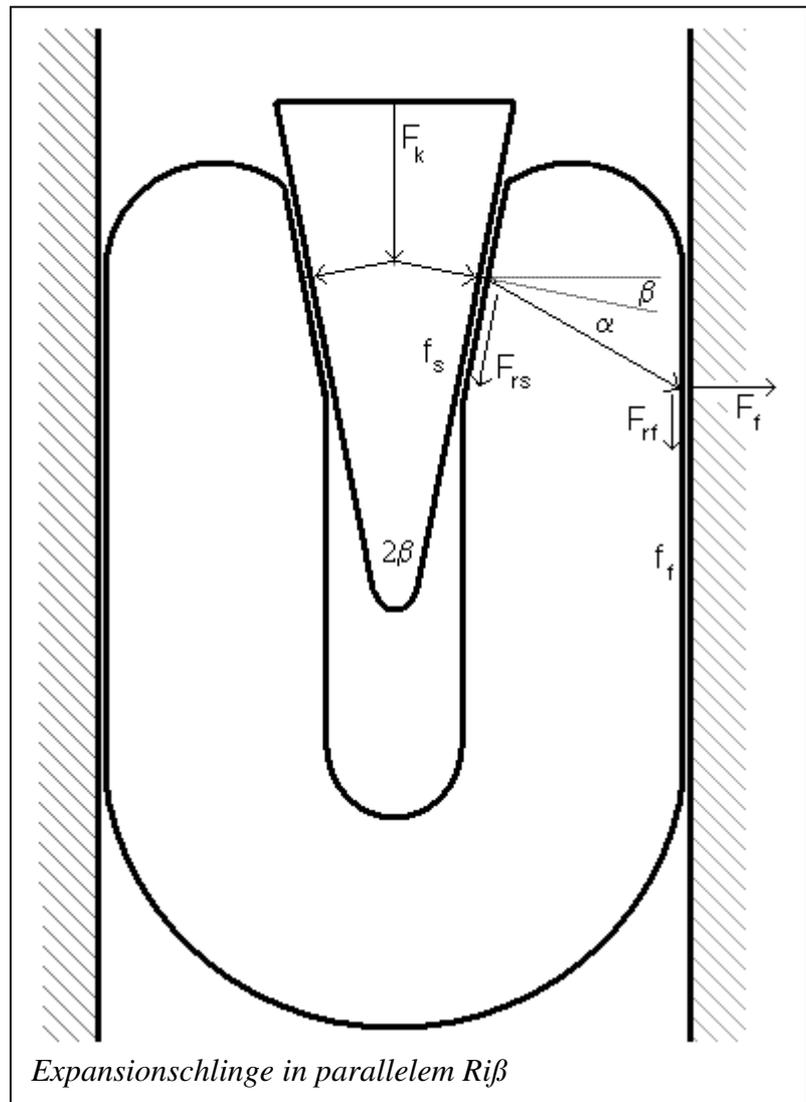
Das Prinzip der Expansionsschlinge ist das ein aus Gurtbandmaterial zusammengenähter Keil in eine etwa gleich dicke Tasche aus Gurtmaterial hineingezogen

wird. Der Keil nimmt dabei die Last auf; die Tasche ist nur lose mit dem Keil verbunden. Mit dieser Konstruktion hat man eine Schlinge, die in ihrer Dicke um bis fast Faktor 2 verstellbar und damit vielseitig einsetzbar ist. Zugleich erreicht man Dicken, für die man sonst Schiffstauwerk benötigt, und das aber bei wesentlich geringeren Gewicht.

Interessant wird es, wenn man das Verhalten in einem parallelem Riß betrachtet und überlegt, unter welchen Bedingungen er dort halten kann.

Damit ein Objekt in einer kraftschlüssigen Verbindung an seiner Stelle bleibt, darf die Zugkraft (hier  $F_k$ ) die maximal mögliche Reibungskraft nicht überschreiten.

Die maximal mögliche Reibungskraft (tangential zur Oberfläche) kann man ausrechnen in dem man die Kraft normal zur Oberfläche und dem Reibungskoeffizienten  $f$  miteinander multipliziert.



Man kann es auch anders ausdrücken: Der Winkel, in dem eine Kraft auf ein Objekt trifft, darf den Arcustangens des Reibungskoeffizienten nicht überschreiten, damit das Objekt auf der Stelle bleibt.

Bei dem Fall der Expansionsschlinge hat man zwei Stellen, an denen Reibung von Bedeutung ist: Einmal natürlich die Kontaktstelle Schlinge-Fels, aber auch die Reibung an der Kontaktstelle Schlinge-Schlinge, wo der Keil die Tasche berührt, ist nicht zu vernachlässigen. Ohne Reibung an dieser Stelle würde der Winkel, in dem die Kraft wirkt, exakt durch den Keilwinkel  $2\beta$ . Die Reibung Schlinge-Schlinge bewirkt nun eine zusätzliche tangentielle Kraft  $F_{rs}$  in Zugrichtung, der Winkel, in dem die Kraft nun auf den Fels geleitet wird, erhöht sich um  $\alpha = \arctan(f_s)$  mit dem Gleitreibungskoeffizienten Schlinge-Schlinge  $f_s$ .

Man kann also schreiben:

$$\arctan(f_f) > \beta + \alpha$$

Aufgelöst nach dem Reibungskoeffizienten Fels-Schlinge  $f_f$  ist dies:

$$f_f > \tan(\beta + \arctan(f_s))$$

Als erstes kann man hier erkennen, daß wenn der Reibungskoeffizient zwischen Schlinge und Fels kleiner ist als zwischen Schlinge und Schlinge, dann kann der Keilwinkel noch so klein sein, es wird niemals halten.

Um Eindruck zu bekommen, wo jetzt wirklich die Grenzen sind, schaut man sich am besten ein paar reale Winkel und Reibungskoeffizienten an:

Wenn man den Keilwinkel bei den Obrworks-Konstruktionen nachmisst, kommt man für  $2\beta$  bei den Größen 1-3 auf Werte von  $22^\circ$ ,  $20^\circ$ , und  $23^\circ$ . Im Mittel kann man also für  $\beta$   $11^\circ$  annehmen.

Um Reibungskoeffizienten nachzumessen, wurde ein 10kg Bleiziegel und eine Federwaage verwendet. Genauer als 5% sind Reibungskoeffizienten weder messbar noch reproduzierbar. Wenn das Material Unregelmäßigkeiten aufweist, wie z.B. bei vernähtem Gurtmaterial, sind die Ungenauigkeiten eher noch größer.

#### Gemessene Reibungskoeffizienten für Schlingenmaterial

Material	Reibungskoeffizient f	arctan(f)
Schlinge (Gurtmaterial)	0,3...0,35...0,42	
Schlinge (Gleitreibung)	0.35	$19.3^\circ$
Holz	0.3	$16.7^\circ$
Bodenfliese	0.29	$16.5^\circ$
Beton	0.54	$28.4^\circ$
Betonstufe	0.49	$26.1^\circ$
Sandpapier 60	0.73 ...0.83	$\sim 38^\circ$
Sandpapier 40	0.93...0.98	$\sim 43.7^\circ$

Jetzt kann man abschätzen, welcher Reibungskoeffizient mindestens gebraucht wird, damit eine Expansionsschlinge im parallelen Riss hält:

$$f_f > \tan(\beta + \arctan(f_s))$$

Für  $\beta$  wird  $11^\circ$  eingesetzt, für die Gleitreibung der Schlinge die gemessenen 0.35:

$$f_f > \tan(11^\circ + 19.3^\circ)$$

bzw.

$$f_f > 0.58$$

Im Klartext: Wenn der Reibungskoeffizient zwischen Schlinge und Fels  $>0.6$  ist, dann hält die hier berechnete Expansionsschlinge. Geht man davon aus, das Sandstein und grobes Sandpapier verhält, dann hält dort die Schlinge. Bei dem eher mit Beton vergleichbaren Kalk und noch glatteren Gesteinen hält sie nicht.

Zum Vergleich: Einem Friend ist typischerweise ein Winkel von  $13.75^\circ$  eingepägt [3], dies entspricht einem minimal notwendigen Haftreibungskoeffizienten von 0.24. Damit werden so gut wie alle Gesteine erfasst.

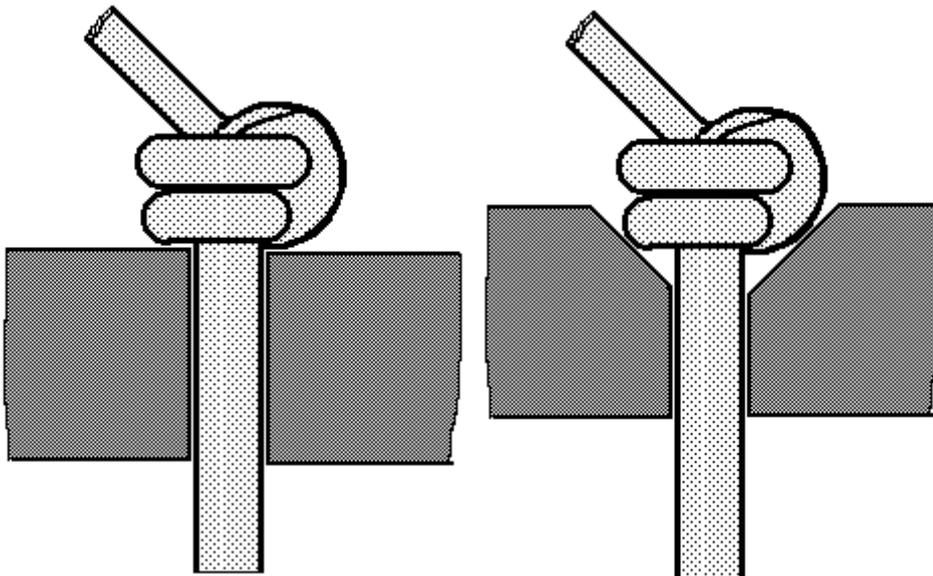
### Seitliche Kräfte

Die seitlich wirkende Kraft bei einer Klemmkonstruktion entspricht dem reziproken des minimal notwendigen Reibungskoeffizienten. D.h. bei einem minimal notwendigen Reibungskoeffizienten von 0.6 entsprechen die seitlich wirkenden Kräfte dem

$$\frac{1}{0.6} = 1.66 \text{ fachen der Zugkraft.}$$

Bei einem Friend zum Vergleich hat man sogar gut das vierfache der Zugkraft auf die Seitenwände wirken!

Bei einer einfachen Knotenschlinge hängen die seitlichen Kräfte stark von der Verengung ab.



Ist diese fast rechtwinklig, so sind seitlichen Kräfte marginal. Bei einem Trichter kommen die seitlichen Kräfte schnell in die Größenordnung der Zugkraft. Die maximal mögliche seitliche Kräfte eine Schlinge in einer ganz schwachen Verengung ist wiederum auch durch den Reibungskoeffizienten gegeben. Nimmt man hier 0.8 für Schlinge-Sandstein an, so ist die seitliche Kraft maximal das 1.25-fache der Zugkraft.

## **Zusammenfassung**

Expansionsschlingen sind nur im Sandstein für parallele Risse zu gebrauchen. Limitierend ist hier hauptsächlich die Reibung zwischen den Schlingenteilen. Dafür sind die seitlich wirkenden Kräfte aber auch deutlich kleiner als bei Klemmgeräten aus Metall.

[1] Jörg Brutscher, Was halten Knotenschlingen, SBB Mitteilungsblatt 1997,

<http://www.joergbrutscher.homepage.t-online.de/knoten.htm>

[2] Experimente im Steinbruch Liebetal August 2010, Ergebnisse nicht veröffentlicht.

[3] The cam book, 2002, Steve Foster, Wild Country,

[http://www.wildcountry.co.uk/download/files/2010-](http://www.wildcountry.co.uk/download/files/2010-11_Catalogues/V1146_Wild_Cam_book_v602.pdf)

[11\\_Catalogues/V1146\\_Wild\\_Cam\\_book\\_v602.pdf](http://www.wildcountry.co.uk/download/files/2010-11_Catalogues/V1146_Wild_Cam_book_v602.pdf) abgerufen 23.3.2013