



Foto: DAV Illustrationen: Sojer George

Schlingen & Stand

Der Einsatz von Bandschlingen aus Dyneema und Mischgewebe sowie von Reepschnüren aus Kevlar und Dyneema wird kontrovers diskutiert. Vor allem, wenn es um den Standplatzbau geht, scheiden sich die Geister, was Aufbau und geeignete Materialien betrifft.



von **Chris Semmel, Florian Hellberg und Björn Ernst**

Dieser Beitrag stellt aktuelle Forschungsergebnisse der DAV-Sicherheitsforschung zu den textilen Materialien und dem Standplatzbau vor und beleuchtet die Konsequenzen für die Praxis. Für Sicherheitsbetrachtungen im Bergsport müssen immer mehrere Komponenten berücksichtigt werden: Die Grenzen des Materials, die Handhabung, die Fehleranfälligkeit und die Vermittelbarkeit spielen eine Rolle. So kann eine Empfehlung meist nicht pauschal gegeben werden, vielmehr muss eine Bewertung in Bezug zum Einsatzbereich und der Situation stattfinden.

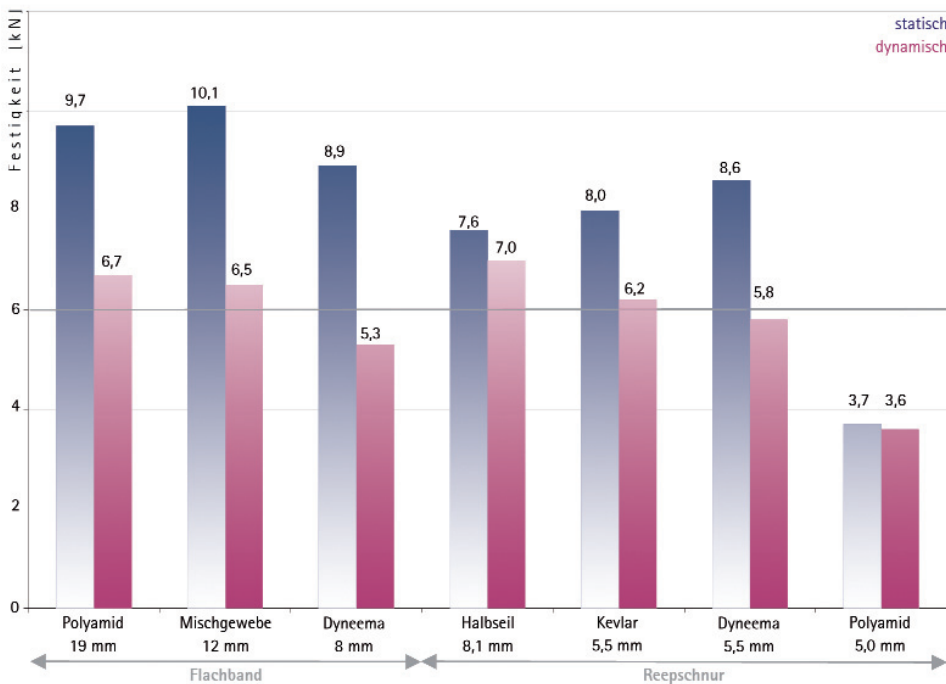


Vorüberlegungen

Realistische Kräfte in der Sicherungskette

In Sturzversuchen (vgl. Panorama 5/2002, Sicherungsmethoden, sowie eine Untersuchung zum Sturzmassenvergleich von Mensch/Eisen, Sommer 2008) hat sich gezeigt, dass die Kräfte an Zwischensicherungen bei dynamischer Sicherung in der Praxis zwischen 3 und 6 kN liegen; abhängig vom Sicherungsgerät (Tuber, HMS) und der Handkraft des Sichernden. Bei statischer Sicherung (Grigri am Fixpunkt) können die Kräfte Werte zwischen 7 und 9 kN erreichen. Im Falle eines Sturzes in den Standplatz treten selbst bei statischer Sicherung (Grigri am Stand) Belastungen bis zu 6 kN auf. Der Wert ist niedriger, da

Abb. 1 Festigkeit Mastwurf im Einzelstrang – statisch und dynamisch im Vergleich. Die Versuche wurden am Institut für Fördertechnik der Universität Stuttgart durchgeführt. Bolzendurchmesser am Mastwurf 12 mm; statische Festigkeiten im Mittel aus 2 Versuchen; dynamische Festigkeit an der Fallanlage mit 80 kg Fallmasse und 5 m Fallhöhe im Mittelwert aus 3 Versuchen



sich Sturzzug und Fangstoß nicht wie an der Zwischensicherung addieren. Bei den später beschriebenen Standplatzmessungen hat sich gezeigt, dass bei dynamischer Sicherung (HMS) 6 kN auch beim Ausbruch eines Fixpunktes und dem daraus resultierenden „Absacken“ des Standes (Ausgleichsverankerung) nicht überschritten wurden.

Materialfestigkeiten von Schlingen

Die Festigkeitsangaben für Schlingen und Reepschnüre nach Norm sind in erster Linie auf Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit ausgelegt. In der Praxis kommen aber Einflussfaktoren zum Tragen (Knoten, Nässe, dynamische Belastung, Alterung), die in der Normprüfung nicht berücksichtigt werden, für die Praxis jedoch von Bedeutung sind. Kritisch wird es dann, wenn mehrere der folgenden Einflussfaktoren zusammen auftreten:

- Nässe und Alterung reduzieren die Festigkeit der Schlingen. Gewebtes Schlingenmaterial ist hier für Witterungseinflüsse anfälliger als Kernmantelmaterialien.
- Bei der Verwendung von Knoten im Einfachstrang nimmt die Festigkeit teilweise bis in kritische Bereiche ab. Die absolute Festigkeit der Schlinge (und somit die Sicherheit) ist hier stark vom Material und dem verwendeten Knoten abhängig.
- Textile Materialien weisen bei dynamischer Belastung geringere Bruchkräfte auf als bei statischer Belastung.

Dynamische Belastung

Ein Sturz bedeutet immer eine dynamische Belastung für das Material. Die Angabe der Festigkeit nach Norm bezieht sich jedoch auf die statische Festigkeit im Neuzustand ohne Knoten. Da einige Schlingen- und Bandrisse zunächst nicht plausibel erklärbar waren, führte die DAV-Sicherheitsforschung umfangreiche Versuchsreihen zum Unterschied zwischen statischer und dynamischer Festigkeit durch (Abb. 1).

Die Annahme, „eine ruckartige Belastung, wie sie in der Praxis auftritt (Fangstoß), ist bei gleicher Krafthöhe (Kraftspitze) für das Material weniger (!) kritisch als eine quasi statische“ (Pit Schubert in bergundsteigen 2/08), hat sich in der 2008 durchgeführten Versuchsreihe zur dynamischen Knotenfestigkeit von textilen Materialien nicht bestätigt.

Dass Kunststoff bei einer hohen Belastungsgeschwindigkeit eine höhere Festigkeit aufweist, trifft nur für den reinen Werkstoff zu. Bei Webstrukturen und besonders unter dem Einfluss von Umlenkstrahlen (Knoten) trifft dies nicht zu. Einige Materialien weisen mit Knoten im Einzelstrang eine als grenzwertig zu beurteilende Festigkeit auf (Abb. 2).

Einsatz von Kevlar

Wird eine ausreichend dicke Kevlar-Reepschnur (mindestens 4,5 mm) verwendet und verteilt sich die Belastung auf den Doppelstrang, dann reicht der Sackstich in Tropfenform als Verbindungsknoten aus. Sollte die Belastung nur auf einen der beiden



Abb. 2 Spezifische Materialeigenschaften der Kunststoffe

++ = sehr gut, + = gut, o = mittel, - = empfindlich, -- = sehr empfindlich
() = UV-Beständigkeit hängt von Intensität und Dauer ab

| | Zugfestigkeit | Dichte | Schmelzpunkt | UV-Beständigkeit | Schnittfestigkeit |
|-----------------|------------------------|------------------------|--------------|------------------|-------------------|
| PA 6.6 | 912 N/mm ² | 1,14 g/cm ³ | 260 °C | (+) | - |
| PE (Dyneema) | 3395 N/mm ² | 0,97 g/cm ³ | 144 °C | (+) | o |
| Aramid (Kevlar) | 3045 N/mm ² | 1,45 g/cm ³ | 400 °C | - | + |
| Stahl | 540 N/mm ² | 7,86 g/cm ³ | 1500 °C | ++ | ++ |

Stränge wirken (Selbstsicherungsschlinge, Knotenschlinge am Einfachstrang, Reihenschaltung, etc.) und kommt es zu einer dynamischen Belastung, so erreicht die Festigkeit schnell einen grenzwertigen Bereich. Bei Aramid-Materialien (Kevlar) geben die Hersteller allgemein eine „höhere Festigkeitsabnahme“ bei häufiger Wechselbiegebelastung an als für Polyamid.

Als Sanduhrschlingen oder auch als Standschlingen machen Kevlar-Reepschnüre wegen der hohen Schnittfestigkeit sowie dem hohen Schmelzpunkt Sinn. Wegen der geringeren Biege-wechselfestigkeit und der UV-Empfindlichkeit sollte das Material bei häufigem Gebrauch bzw. permanenter Exposition spätestens alle fünf Jahre erneuert werden.

Einsatz von Dyneema

Auch gegen die Verwendung von Dyneema-Materialien im Bergsport spricht prinzipiell nichts. Die Annahme, bei einer mittels Mastwurf aufgebauten Reihenschaltung führt das Laufen des Mastwurfes zum „Durchbrennen“ der Schlinge, ist unbegründet. Beim Mastwurf läuft - wie beim Halbmastwurf - immer „neues Material“ aufeinander. Dadurch kommt es zwar zu erkennbaren „Brandspuren“, nicht aber zum Durchbrennen. Ein Durchbrennen droht dann, wenn Reibung auf einer sich nicht bewegenden Schlinge entsteht, beispielsweise, wenn das Seil beim Ablassen oder bei einem Sturz über die Schlinge läuft. In so einem Fall kommen zwei Faktoren zusammen:

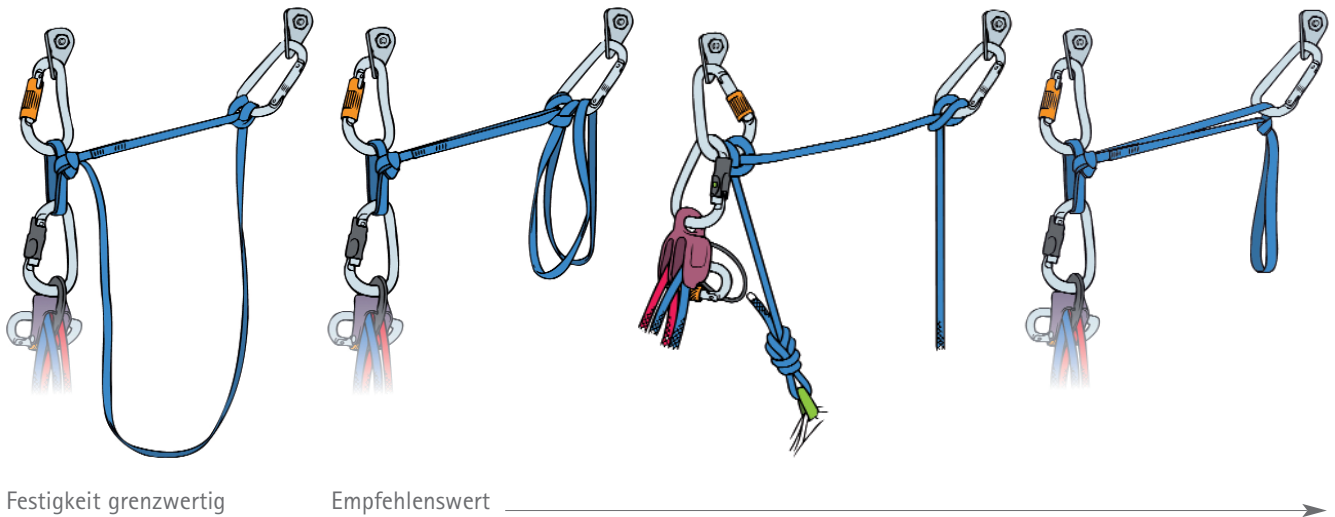
- der niedrige Schmelzpunkt von Dyneema (144°C)
- der geringe Querschnitt des Schlingenmaterials

Positiv hingegen wirkt die glatte Oberfläche von Dyneema, wodurch die Reibung reduziert wird. Insgesamt scheinen sich diese Einflussfaktoren gegenseitig zu neutralisieren, so dass bei einem Versuch kein deutlich schnelleres Durchbrennen einer 8 mm Dyneema gegenüber einer 19 mm Polyamid-Bandschlinge beobachtet werden konnte. Beim Knoten von Dyneema muss das Aufziehen der Knoten durch die glatte Oberfläche und die starke Festigkeitsreduzierung durch Knoten beachtet werden.

Zusammenfassung

- Die Last bei Schlingen sollte immer auf zwei Stränge verteilt werden. Dieser Grundsatz gilt für alle Bereiche: Zwischensicherungen, Umlenkungen, Selbstsicherungsschlingen und Seilrutschenaufhängungen.
- Bei Bandschlingen sollte grundsätzlich nur vernähtes Material verwendet werden. Wenn Bandmaterial dauerhaft verknotet werden soll, so ist der in Ringform gesteckte Achter zu verwenden. Der Bandschlingenknoten kann sich aufziehen.
- Für dauerhaft mit Knoten verbundene Reepschnüre aus Polyamid oder Kevlar ist der doppelte Spierenstich der geeignetste.
- Dyneema-Reepschnüre sollen laut Hersteller nur mit dem dreifachen bzw. vierfachen Spierenstich verbunden werden! Der Paketknoten oder der doppelte Spierenstich sind für Dyneema-Reepschnüre (Mantel aus PA, Kern aus PE) von der absoluten Festigkeit her noch vertretbar. Der Sackstich ist grenzwertig!

Abb. 3 Die Reihenschaltung, das Standardmodell für Standplätze mit mindestens einem soliden Fixpunkt. Der Aufbau mit Bandschlinge im Doppelstrang oder mit Kletterseil garantiert ausreichende Festigkeitswerte.



■ Für aus der Kletterstellung geknüpft Knoten auf Polyamid- bzw. Kevlar-Reepschnüre muss der Sicherheitsgewinn im Verhältnis zum Aufwand betrachtet werden. Wer in der Wand stehend, einhändig eine Sanduhrschlinge verknoten muss, wird dies mit dem Sackstich in Tropfenform erledigen. Sind die Enden lang genug und der Knoten festgezogen, kann man von einer ausreichenden Knotenfestigkeit im Doppelstrang für einen Vorstiegssturz ausgehen. Eine mögliche Alternative stellt der Paketknoten dar. (vgl. Panorama 4/2007, Tabelle Knotenfestigkeiten)

■ Allgemein sind Kunststofffasern Alterung unterworfen. Die maximale Verwendungsdauer von Schlingen, Seilen und Gurten liegt zwischen 5 und 10 Jahren. Bei häufigem Gebrauch und Abnutzung (Schlingen in Kletterhallen) kann sich die Gebrauchsdauer auf wenige Wochen reduzieren!

S Standplatzbau

Der Stand ist in der Sicherungskette von zentraler Bedeutung. Doch er muss nicht nur sicher, sondern auch schnell zu bauen und übersichtlich sein. Im Detail stellen sich folgende Anforderungen:

- Bei einem Sturz in den Stand (Seilzug nach unten), durch den Vorsteiger oder Nachsteiger, muss ausreichend Sicherheit gewährleistet werden.
- Falls der Vorsteiger in eine Zwischensicherung stürzt, muss

die Sicherung bei Seilzug nach oben ohne Einschränkungen funktionieren (kein Umschlagen des Ausgleichs und kein Gegenzie-Wand-Reißen des Sichernden).

- Der Stand muss eine gute Seilhandhabung erlauben.
- Der Aufbau muss schnell, praktikabel und übersichtlich funktionieren.

Es gibt verschiedene Grundmodelle zum Standplatzbau. Abhängig von der vorgefundenen Absicherung und den Möglichkeiten des Geländes muss man die günstigste auswählen.

Standplätze mit guten Fixpunkten

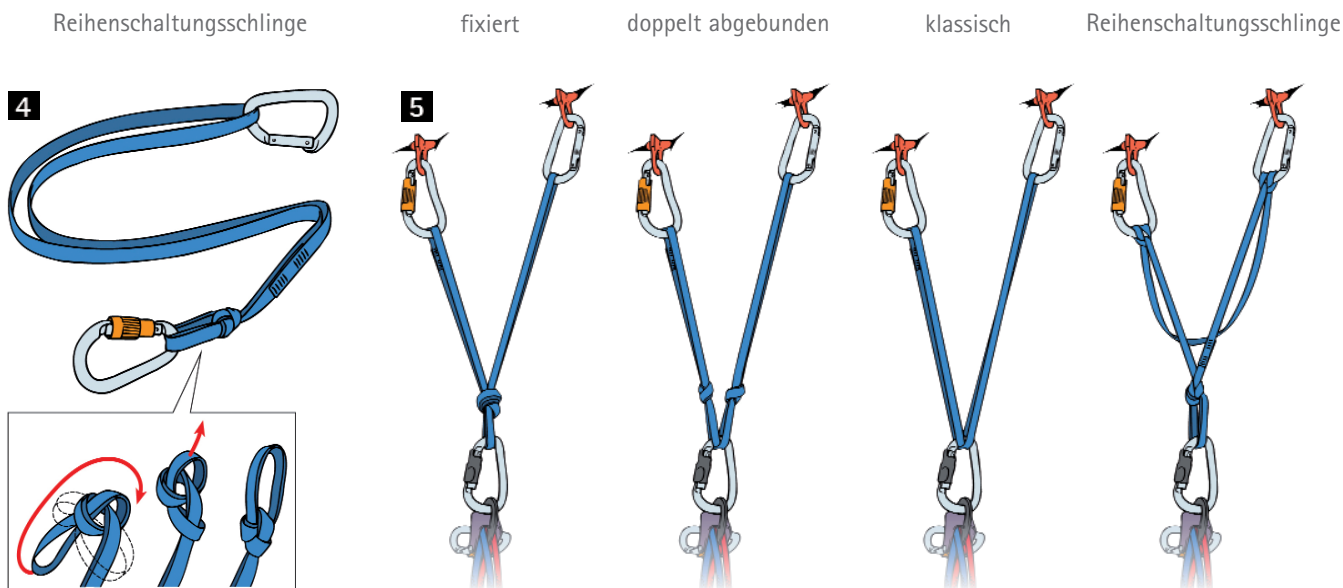
In den letzten Jahren hat sich in Deutschland, aber auch in Österreich, der Schweiz und Frankreich die Reihenschaltung stark verbreitet. Hintergrund für diese Entwicklung und die Abkehr vom althergebrachten Kräftriedeck (Fachbegriff: Ausgleichsverankerung) sind die vermehrt anzutreffenden Bohrhaken an den Standplätzen. Sobald mindestens ein solider Fixpunkt am Standplatz vorhanden ist, lassen sich mit der Reihenschaltung die oben formulierten Ziele am besten vereinen. In Bezug auf das Sichern bei Seilzug nach oben und beim Seilhandling bietet die Reihenschaltung gegenüber dem Kräftriedeck deutliche Vorteile.

Im Panorama 5/2002 wurden die Probleme der bis 2002 praktizierten „Zentralpunktsicherung“ dargestellt. Die weiter oben dargestellten dynamischen Festigkeitswerte der Bandmaterialien legen nahe, dass der Aufbau einer klassischen Reihenschaltung mittels Bandschlinge nicht am Einfachstrang, sondern besser am



Abb. 4 Die Reihenschaltungsschlinge mit doppeltem Bulinknoten (und seit neuestem auch mit vernähtem Auge erhältlich).

Abb. 5 Mögliche Konstruktionen zur Kräfteverteilung (von links nach rechts): Fixiertes Kräftedreieck, doppelt abgebundenes Kräftedreieck, klassisches Kräftedreieck, Kräfteverteilung mit Reihenschaltungsschlinge.



Doppelstrang mittels Mastwurf oder Sackstich hergestellt werden sollte. Beim Klettern in Wechselführung ist die Reihenschaltung mit dem Kletterseil (Mastwurf in jedem Fixpunkt) die optimalste Lösung; die Festigkeit im Einzelstrang reicht auch bei Halbseilen aus (siehe Abb. 1). Für Zwillingseile empfehlen wir die Verwendung im Doppelstrang. In der Führungssituation oder bei gleichbleibendem Vorsteiger bietet die Reihenschaltungsschlinge (Abb. 4) Vorteile. Das Zentralpunktauge ist klar ersichtlich und flexibel. Der Standplatzwechsel ist einfach und übersichtlich.

Standplätze an fraglichen Fixpunkten

Komplizierter wird es beim Standplatzbau an fraglichen Fixpunkten wie Normalhaken oder Klemmgeräten und -keilen. Da diese Fixpunkte nicht eindeutig in ihrer Qualität beurteilt werden können, macht es Sinn, die Belastung auf alle Fixpunkte zu verteilen, um eine möglichst hohe Sicherheit für den „Worst Case“ (den Sturz in den Stand) zu gewinnen. Dabei stellen sich zwei Aufgaben: Zum einen sollten die Kräfte verteilt werden. Andererseits sollte bei Ausbruch eines Fixpunktes das System nicht so weit durchsacken können, dass eine gefährliche zusätzliche Kraftspitze entsteht. Dazu wurden in den letzten Jahren verschiedene Konstruktionen diskutiert (Abb. 5):

- das fixierte Kräftedreieck (Abseilstand),
- das doppelt abgebundene Kräftedreieck,
- das klassische Kräftedreieck (Ausgleichsverankerung),
- die Kräfteverteilung mit der Reihenschaltungsschlinge.

Bei unseren Untersuchungen ließen wir das „doppelt abgebundene Kräftedreieck“ außer Betracht, da das beidseitige Abknoten in richtiger Länge und das spätere Lösen der Knoten ein enormer Aufwand ist, der in der Praxis nicht mehr praktikabel erscheint; die Sicherheitsanforderungen erfüllt es.

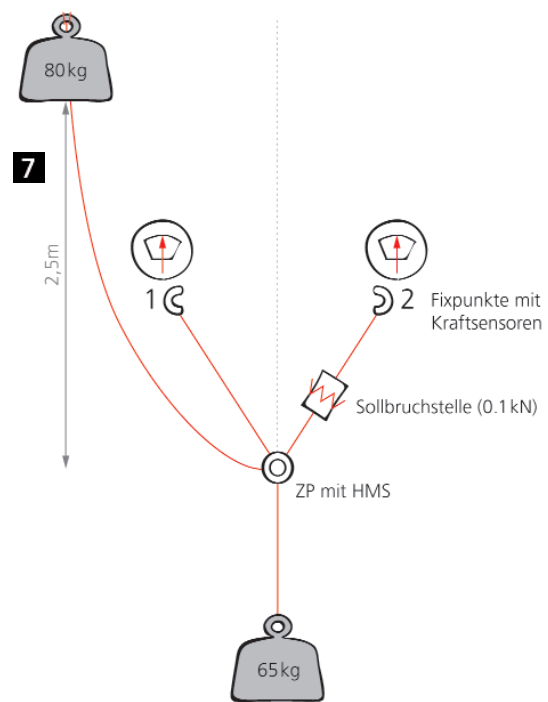
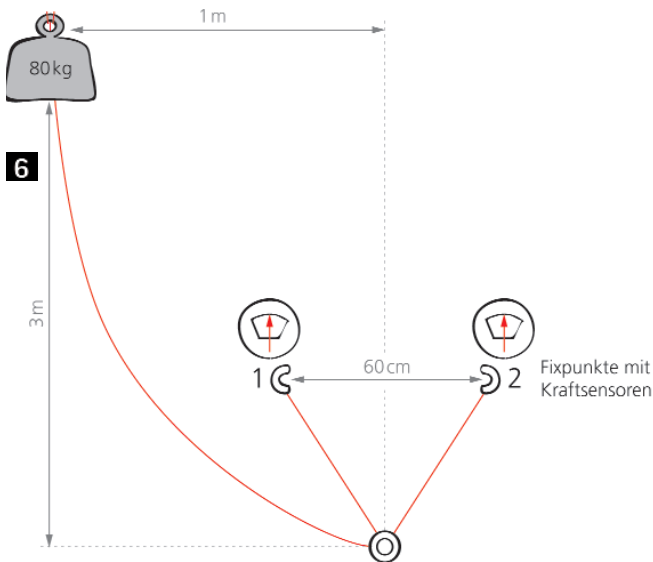
Messungen zur Kräfteverteilung am Stand

Im Sommer 2008 wurden im DAV Kletterzentrum in München mehrere Praxismessreihen durchgeführt. Zunächst wurde die „ausgleichende“ Wirkung des Kräftedreiecks überprüft. Ein 80 kg schwere Sturzdummys wurde aus 3 Metern Höhe (6 Meter Fallhöhe) und mit einem seitlichen Versatz von einem Meter direkt in den Stand fallen gelassen. An jedem der beiden Standhaken wurden die effektiven Kräfte mit angebrachten Kraft-Zeit-Aufnehmern gemessen (Abb. 6).

Ergebnisse

Die Kräfteverteilung auf die beiden Fixpunkte bei der Ausgleichsverankerung (Kräftedreieck) ergab an neuen, glatten Mischgewebeschnellen im Durchschnitt eine Verteilung im Verhältnis 5:4. Für die Reihenschaltung ergab sich ein Kräfteverhältnis im Mittel von 3:2. Das fixierte Kräftedreieck zeigte eine Verteilung im Verhältnis von 2:1. Das bedeutet, wenn 100 kg Masse auf die Standplatzkonstruktionen mit einem Winkel von 30° wirken, erreicht man eine Verteilung von etwa 59:45 kg bei der Ausgleichsverankerung und 62:42 kg bei der Kräfteverteilung mit Reihenschaltungsschlinge. Das fixierte Kräftedreieck (Abseilstand) hätte eine Verteilung von 68:35 kg.

Abb. 6 Messung der Kräfte auf die Standhaken (s. S. 70)
 Abb. 7 Messung des Kräfteintrags bei Ausbruch eines Fixpunktes



Fazit

Bezüglich der Verteilung der Kräfte auf beide Fixpunkte ist der Vorteil des Kräfte Dreiecks zu einer Kräfteverteilung mit Reihenschaltungsschlinge nur unwesentlich. Das fixierte Kräfte Dreieck schneidet etwas schlechter ab, da kein ausgleichendes Laufen der Mastwürfe stattfinden kann.

Messungen zum Ausbruch eines Fixpunktes am Standplatz

Ein weiteres Kriterium im Vergleich der Standplatzkonstruktionen an fraglichen Fixpunkten ist die Höhe des zusätzlichen Kräfteintrags, für den Fall, dass ein Fixpunkt ausbricht. Zwar wird der Stürzende durch das Sicherungsgerät dynamisch gebremst, der Sichernde aber fällt statisch in den Mastwurf seiner Selbstsicherung oder gar in seine Selbstsicherungsschlinge. Wie groß kann solch eine Belastung für den letzten verbleibenden Haken werden? Wie verhalten sich die verschiedenen Standplatzaufbauten in diesem Szenario?

Der zusätzliche Energieeintrag, der durch das Absacken des Sichernden bei Ausbruch eines Fixpunktes entsteht, wurde ermittelt. Der Kräfteintrag durch den Sichernden macht sich im praxisnahen Fall (also bei dynamischer Sicherung) enorm bemerkbar, weil er sich mit dem Kräfteintrag durch den Stürzenden überlagert. Im Versuch wurde dies mit einem Standsturz eines 80 kg schweren Vorstiegs-Dummy aus 2,5 Metern Höhe (5 Meter Fallhöhe) und einem Sichernden von 65 kg untersucht (Abb 7). Die Sollbruchstelle wurde bei einer Kraft von 0,1 kN (100 kg) durch den Sturz zerrissen und beide Massen (Sicher-

der und Vorsteiger) stürzten weiter in den verbleibenden Haken. Gesichert wurde dynamisch über HMS.

Ergebnisse

Für eine Ausgleichsverankerung mit einer Schenkellänge von 60 cm ergab sich eine Kraftspitze von 4,3 kN am verbleibenden Haken. Die Reihenschaltung mit Kräfteverteilung zeigte eine Belastung des verbleibenden Hakens von 3 kN. Somit wird deutlich, dass bei Ausbruch eines der Fixpunkte am Stand an der Ausgleichsverankerung im Durchschnitt eine um 40 % größere Kraft im Vergleich zur Reihenschaltung mit Kräfteverteilung wirkt. Der höhere Kräfteintrag ist plausibel, da es bei Ausbruch eines Fixpunktes bei der Reihenschaltung zu einem Absacken kommt, bei der Reihenschaltung mit Kräfteverteilung kommt es nur zu einer Pendelbewegung. Der zusätzliche Kräfteintrag bei der fixierten Ausgleichsverankerung ist vergleichbar mit dem der Reihenschaltung mit Kräfteverteilung.

Fazit

Beim Ausbruch eines Fixpunktes kommt es bei einer klassischen Ausgleichsverankerung zu einem deutlich größeren Kräfteintrag in den verbleibenden Fixpunkten als bei der Kräfteverteilung mit Reihenschaltungsschlinge oder der fixierten Ausgleichsverankerung. Dieser erhöhte Kräfteintrag kann durchaus zum Versagen des letzten Fixpunktes führen.

Verbinden mehrerer fragwürdiger Fixpunkte

Trifft man auf fragwürdige Fixpunkte, wird meist nach zusätz-

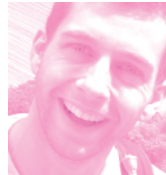
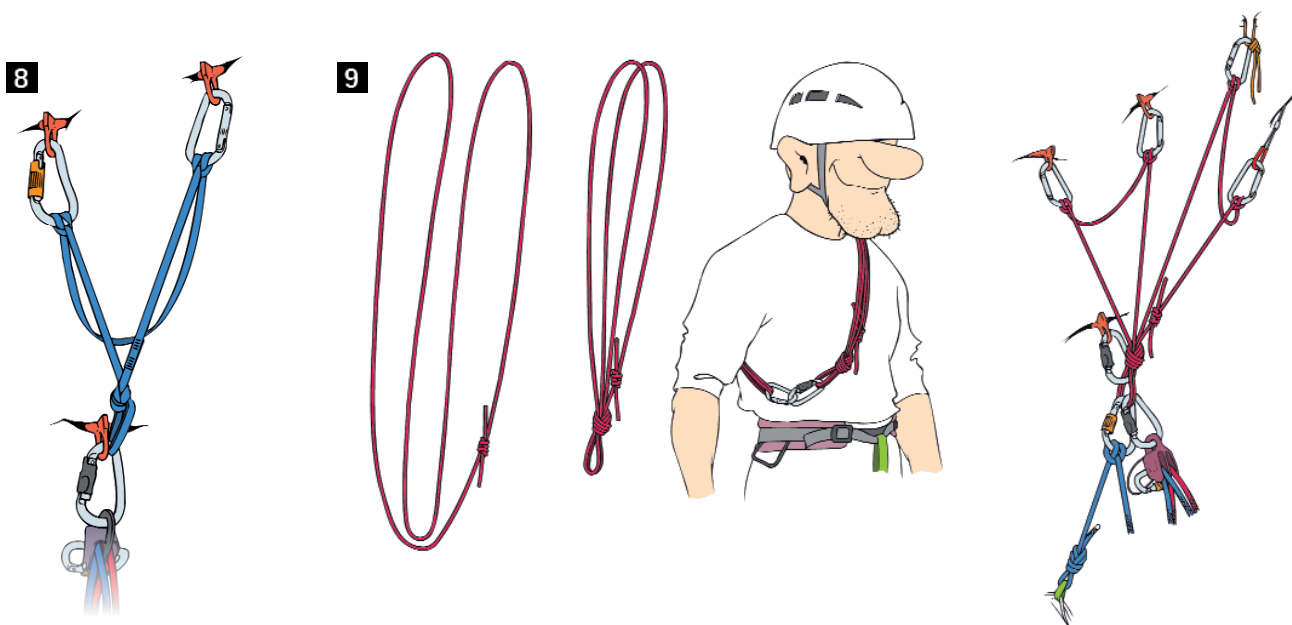


Abb. 8 Reihenschaltung mit Kräfteverteilung

Abb. 9 Die Standplatzkrake zum flexiblen Verbinden von mehreren Fixpunkten



lichen Fixpunktmöglichkeiten gesucht (Schlingen, Keile, Klemmgeräte). Hierfür stellt die Reihenschaltung mit Kräfteverteilung die optimale Möglichkeit zum Verbinden von mehreren Fixpunkten im Baukastenprinzip dar (Abb. 8). So kann zum einen eine ausreichende Kräfteverteilung gewährleistet werden, zum anderen entsteht kein neuer Energieeintrag, sollte einer der Fixpunkte ausbrechen. Das System kann beliebig erweitert werden, wie in Abb. 9 mit der „Standplatzkrake“ zum Verbinden von mehreren fraglichen Fixpunkten dargestellt. Auch ein nachträgliches Zuschalten weiterer Fixpunkte mittels zusätzlicher Schlingen oder mittels Kletterseil des Sichernden ist möglich.

Konsequenzen für den Standplatzbau

- Die Reihenschaltung mit Seil oder mit der Schlinge im Doppelstrang ist die beste Lösung für Stände an soliden Fixpunkten.
- Bei Ständen mit fragwürdigen Fixpunkten stellen die Kräfteverteilung mit Reihenschaltungsschlinge oder das fixierte Kräftedreieck den besten Kompromiss zwischen einer möglichst gleichmäßigen Kräfteverteilung auf die Fixpunkte und dem zusätzlichen Krafteintrag im Fall eines Fixpunktausbruchs dar.
- Bei mehr als zwei Fixpunkten ist die Reihenschaltung mit Kräfteverteilung die optimale Verbindungsmöglichkeit.

| Standaufbau | Kräfteverteilung mit Reihenschaltungsschlinge | Kräftedreieck | Kräftedreieck fixiert |
|-------------------|--|---|---|
| Kräfteverteilung | ca. 2:3 Verteilung | ca. 4:5 Verteilung | ca. 1:2 Verteilung |
| Ausbruch Fixpunkt | nur unwesentlicher Krafteintrag | großer Krafteintrag durch Absacken | nur unwesentlicher Krafteintrag |
| Bewertung | <ul style="list-style-type: none"> ■ guter Kompromiss zwischen Ausgleich und Fixpunktausbruch ■ optimal bei 3 oder mehr Fixpunkten | <ul style="list-style-type: none"> ■ sollte nur abgeknotet eingesetzt werden | <ul style="list-style-type: none"> ■ an 2 Fixpunkten, guter Kompromiss zwischen Ausgleich und Fixpunktausbruch |

Abb. 10 Übersicht zum Standplatzbau an fraglichen Fixpunkten