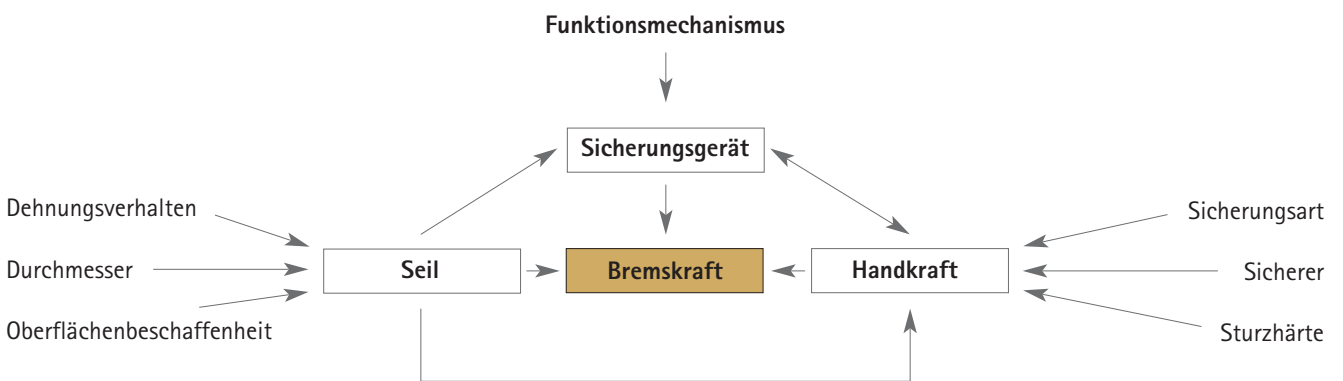




die bremskraftverstärker



Einflussfaktoren auf die Bremskraft von Sicherungsgeräten

Bremskräfte gängiger Sicherungsgeräte in Abhängigkeit unterschiedlicher Seildurchmesser

von Andreas Thomann und Chris Semmel

In den letzten Jahren brachten die Seilhersteller immer dünnere Seile auf den Bergsportmarkt. Seildurchmesser zwischen 9,0 und 9,5 mm sind die Regel und sogar die magische 9,0-mm-Grenze für Einfachseile wurde von der Firma Mammut mit ihrem Modell "Serenity" unterschritten.

Diese Seilgeneration stellt die Sicherungskette vor neue Anforderungen: Da sich die Bremskraft eines Sicherungsgeräts aus den drei Hauptfaktoren Handkraft des Sichernden, Seildurchmesser und Funktionsweise des Sicherungsgeräts zusammensetzt, stellt sich die Frage, inwieweit sich die geringen Seildurchmesser in Abhängigkeit der Handkräfte auf die Funktionsweise (Bremswirkung) der Sicherungsgeräte auswirken. Um nun die Bremskräfte von Sicherungsgeräten in Abhängigkeit vom Seildurchmesser sinnvoll vergleichen zu können, muss der Einflussfaktor "Handkraft" bestimmt und kontrolliert werden.



Die "Simulated Hand" (SIH)

Seildurchmesser	8.9 mm	10.5 mm	13 mm (alt)	2 x 8.0 mm	10.5 mm (linke Hand)
max. Handkraft statisch	237 N	284 N	329 N	328 N	283 N
Abweichung	-	+20 %	+38 %	+38 %	+19 %
max. Handkraft dynamisch	414 N	489 N	520 N	561 N	493 N
Abweichung	-	+18 %	+26 %	+35 %	+19 %

Tabelle 1. Vergleich der max. Handkraftwerte bei verschiedenen Seildurchmessern mit prozentualen Abweichungen

Untersuchung der Handkräfte

Zur Bestimmung der realistischen Handkräfte auf Kletterseile erfolgte vorausgehend eine Testreihe mit 60 Versuchspersonen, bestehend aus 4 Versuchsgruppen (Anfänger-Fortgeschrittene, männlich-weiblich).

Beim Sichern und Abseilen können unterschiedliche Belastungen auf die am Bremsseil befindliche Hand auftreten. Gilt es einen Sturz des Vorsteigers zu halten, muss die Bremshand einer ruckartigen Belastung (Impuls) widerstehen. Hingegen entspricht das Halten eines Kletterers, das Ablassen oder das Abseilen einer gleich bleibenden Haltekraft. Je nach Belastungsart unterscheiden sich die maximalen Handkräfte ein und desselben Sichernden. Eine Einteilung in statische und dynamische Handkräfte auf Kletterseile ist daher sinnvoll. Deshalb wurden die Handkräfte auf verschiedene Seildicken bei statischen (Halten des Seils) und dynamischen (Sturz-)Belastungen ermittelt. Durch den Vergleich von Handkraft-Zeit-Kurven bei Vorversuchen konnte ein Versuchsdesign entwickelt werden, das der dynamischen Handkraftbelastung in der realen Sicherungssituation am Standplatz entspricht. Bei diesem Laborversuch für Handkräfte wurde mit steigenden Fallgewichten gearbeitet um die maximalen Handkräfte festzustellen. Sowohl beim statischen als auch beim dynamischen Handkrafttest fand eine das Sicherungsgerät simulierende Lochplatte Verwendung, die eine einheitliche Haltung der Bremshand garantierte.

Ergebnisse der Handkraftversuche

Die durchschnittlichen maximalen Handkräfte der Versuchspersonen auf die verschiedenen Seildurchmesser unterscheiden sich, wie angenommen, deutlich. Aus den Werten der Tabelle 1 wird ersichtlich, dass die Handkraftwerte bei steigendem Seildurchmesser ebenfalls größer werden. Absolut gesehen steigen die statischen Handkraftwerte von 237 N (8,9 mm) über 284 N

(10,5 mm) auf 329 N (13 mm). Das Seil mit dem Seildurchmesser 10,5 mm konnten die Versuchspersonen um 20 % besser festhalten, als das 8,9 mm Seil. Beim 13 mm und beim Doppelseil liegt dieser Wert sogar bei 38 %! Ähnlich verhalten sich die dynamischen Werte.

Der Vergleich von rechter und linker Hand zeigt, dass hier kein merklicher Unterschied vorhanden ist.

Die Streuungen der Maximalkräfte sind sowohl bei den statischen als auch bei den dynamischen Versuchen erheblich. Dies verdeutlicht, wie breit verteilt die Handkräfte in der Bevölkerung sind. Die statischen Werte liegen zwischen 125 N und 500 N (\varnothing 8,9 mm) bzw. 200 N und 625 N (\varnothing 13 mm). Bei den dynamischen Versuchen werden Werte von 230 N bis 656 N (\varnothing 8,9 mm) und 305 N bis 937 N (\varnothing 2x8,0 mm) erreicht.

Des Weiteren kann man folgende Schlussfolgerungen aus der Untersuchung ziehen: die Handkraft wird nur vom Faktor Geschlecht, nicht aber von Klettererfahrung (Anfänger-Fortgeschrittener), Gewicht oder Rotpunktniveau der Versuchsperson beeinflusst. Frauen verfügen im Schnitt über 20 % weniger Handkraft als Männer.

Kletterer mit großer Handkraft bevorzugen schwach bremsende Geräte, wohingegen Personen mit geringeren Handkräften bevorzugt mit der HMS arbeiten. Zudem besitzen die Kletterer eine relativ gute Selbsteinschätzung bezüglich ihrer Handkraft. Ihre geschätzte Handkraft, eingeteilt in gering (<250 N), mittel (>250 und <325 N) und groß (>325 N) stimmte mit den ermittelten Handkraftwerten größtenteils überein.

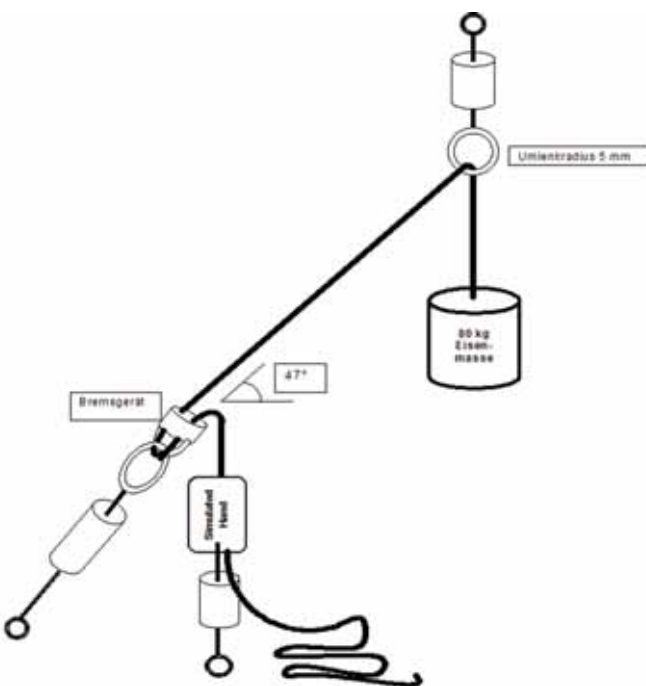
"Simulated Hand"

Um die Handkräfte bei den Messungen konstant zu halten, wurde die 2002 von Chris Semmel und Volker Kron (vgl. Panorama 4/2002: Die Handbremse) konstruierte Simulated Hand (SIH) einer Validierung unterzogen. Die SIH selber ist eine Eisenkonstruktion mit zwei Edelstahlrollen und einem Verstellmecha-



4 Die getesteten Sicherungsgeräte: ATC ("Air Traffic Controller") und ATC-XP von Black Diamond, Fuse von Mammut, HMS-Belaymaster von DMM und Achter von Mammut.

nismus. Das zu prüfende Seilstück wird durch den Körper der SIH und zwischen den Rollen geführt. Sie verfügen über eine gegengleiche Seitenwange, um ein Verrutschen des Seils zu verhindern. Eine Rolle ist fixiert, mit der anderen lässt sich mit Hilfe der Spannvorrichtung der Druck auf das Seil erhöhen. Belastet man Versuchspersonen und die SIH (die eingestellte Kraft entspricht der statischen Handkraft der Versuchspersonen) mit der gleichen Sturzbelastung, erhält man vergleichbare dynamische Werte. Zusätzliche Vergleiche der Handkraftzeitkurven (von Versuchspersonen und der SIH) ergaben eine hohe Ähnlichkeit der SIH mit der menschlichen Hand. Mit der validierten SIH als kontrollierendes System für Handkräfte wurden im Folgenden Bremskräfte gemessen.



3 Versuchsaufbau Chris Semmel (2002)

Durchführung der Bremskraftuntersuchung

Die Bremskraftuntersuchungen wurden mit Unterstützung des TÜV-Süd in München durchgeführt. Die verwendeten Seile stellte die Firma Mammut zur Verfügung. Um die von Semmel (2002) ermittelten Werte vergleichen zu können, wurde der gleiche Versuchsaufbau validiert und verwendet (Abb. 3). Auf die Kraftmessdose in der Umlenkung wurde verzichtet. Der Sturfaktor betrug 0,4 bei 325 cm ausgegebenem Seil und einer Sturzhöhe von 130 cm. Gemessen wurden die Kräfte in Achsrichtung am Sicherungsgerät und an der SIH über Kraftmessdosen. Hier wurden die Kraft-Zeitverläufe aufgezeichnet.

Ergebnisse der Bremskraftuntersuchung

In Folge wurden die Bremskräfte bei den abgebildeten Sicherungsgeräten (Abb. 4) bezüglich unterschiedlicher Handkräfte (100 N, 250 N und 400 N) und unterschiedlich dicken Seilen (8,9 mm, 9,5 mm und 10,5 mm) ermittelt. Ein Hinweis vorweg: Die Ergebnisse entsprechen der Situation am Standplatz! Eine Verallgemeinerung auf die Körpersicherung ist nicht direkt



Tabelle 2. Maximale Bremskräfte mit Seildurchlauf.

Seildurchmesser	Handkraft	8,9 mm			9,5 mm			10,5 mm		
		100 N	250 N	400 N	100 N	250 N	400 N	100 N	250 N	400 N
HMS	max. Bremskraft	1,8 kN	2,4 kN	2,6 kN	1,7 kN	2,2 kN	2,4 kN	1,7 kN	2,1 kN	2,4 kN
	Seildurchlauf	61 cm	17 cm	12 cm	71 cm	30 cm	13 cm	79 cm	34 cm	15 cm
8er	max. Bremskraft	1,3 kN	1,7 kN	2,2 kN	1,5 kN	1,9 kN	2,3 kN	1,5 kN	1,9 kN	2,3 kN
	Seildurchlauf	180 cm	60 cm	20 cm	160 cm	44 cm	13 cm	163 cm	42 cm	18 cm
Tube	max. Bremskraft	1,5 kN	2,0 kN	2,2 kN	1,6 kN	1,7 kN	2,2 kN	1,7 kN	1,7 kN	2,1 kN
	Seildurchlauf	107 cm	44 cm	18 cm	182 cm	51 cm	22 cm	118 cm	50 cm	30 cm

zulässig. Die Ergebnisse (Tab. 2) lassen erkennen, dass sich die Bremskraft bei Verwendung der HMS umgekehrt proportional zum Seildurchmesser verhält. Wird der Seildurchmesser kleiner, steigt die Bremskraft an. Beim Achter hingegen sinkt die Bremskraft mit dünner werdendem Seildurchmesser. Diese Ergebnisse gelten für alle eingestellten Handkräfte.

Anders verhält es sich bei der Tuber-Sicherung. Hier hängt die Bremskraft nur indirekt vom Seildurchmesser ab und es lässt sich nur bedingt eine Linearität erkennen. Bei 400 N Handkraft bleibt die Bremskraft unabhängig vom Seildurchmesser gleich. Stellt man 250 N an der SIH ein, bleibt die Bremskraft bei 9,5 mm und 10,5 mm Seilen mit je 1,7 kN gleich, beim Seildurchmesser 8,9 mm steigt der Bremskraftwert aber auf 2,0 kN an. Grund: der dünnere Seildurchmesser bewirkt beim ATC ein Verdrehen und dadurch ein zusätzliches Abklemmen des Bremsseils. Bei 100 N Handkraft scheint die Kraft zu gering zu sein, als dass dieses Phänomen zum Tragen kommen kann. Hier fällt die Bremskraft wieder mit sinkendem Seildurchmesser. Die Seildurchläufe korrelieren mit den Bremskräften. Große Seildurchläufe entsprechen kleinen Handkräften.

Die Bremskraftwerte der verschiedenen Tuberformen variieren stark je nach Geometrie der Geräte (Tab. 3).

Seildurchmesser	8,9 mm	9,5 mm	10,5 mm
Handkraft	250 N	250 N	250 N
ATC	2,0 kN	1,7 kN	1,7 kN
ATC-XP kleine Bremsstufe	2,0 kN	1,7 kN	1,7 kN
ATC-XP große Bremsstufe	2,3 kN	2,2 kN	2,2 kN
Fuse gr. Bremsstufe	1,8 kN	2,0 kN	2,1 kN
Fuse kl. Bremsstufe	1,5 kN	1,6 kN	1,8 kN
HMS	2,4 kN	2,2 kN	2,1 kN

Tabelle 3. Maximale Bremskräfte verschiedener Tuberformen

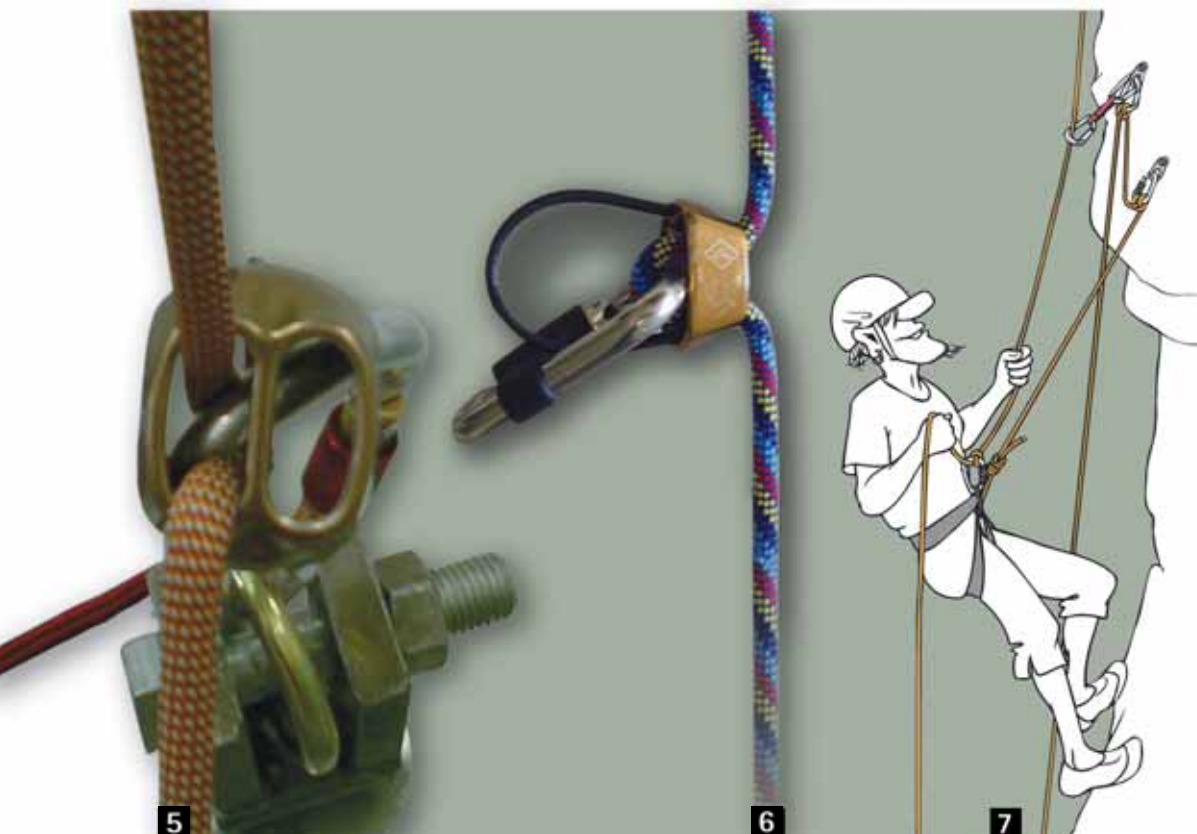
Das ATC-XP, verwendet bei großer Bremsstufe, erbringt zwischen 15 % (Ø 8,9 mm) und 30 % (Ø 9,5 mm und Ø 10,5 mm) mehr Bremskraft als bei geringer Bremsstufe oder gegenüber dem normalen ATC. Wie das Fuse bremst, entscheidet das Einlegen des Seils. Zeigt die breite Seite nach oben, bremst es stärker, zeigt sie nach unten, bremst es weniger stark. Auch hier sind deutliche Bremskraftunterschiede zu erkennen.

Verwendet man dem Seildurchmesser entsprechend die mittleren Handkräfte aus den vorausgegangenen Handkraftversuchen (237 N/8,9 mm, 250 N/9,5 mm und 284 N/10,5 mm), zeigen sich folgende Veränderungen der Bremskraft (Tab. 4):

Seildurchmesser	8,9 mm	9,5 mm	10,5 mm
Handkraft	237 N	250 N	284 N
HMS	2,2 kN	2,2 kN	2,3 kN
8er	1,7 kN	1,9 kN	2,0 kN
Tuber	1,9 kN	1,7 kN	2,1 kN

Tab. 4. Max. Bremskräfte bei seildurchmesserabh. Handkraft

Bei der HMS bleibt sie gleich, beim Achter erfährt das System eine Bremskraftabnahme bei sinkendem Seildurchmesser und bei Verwendung des Tubers tritt wieder das Phänomen der "Tuber-verschiebung" bei einem dünnen Seil auf. Diese Bremskraftwerte lassen sich aus dem Zusammenspiel Handkraft und Sicherungsgerät in Abhängigkeit vom Seildurchmesser erklären. Da dünne Seile in der HMS besser bremsten, aber schlechter vom Sichernden festgehalten werden können, hebt sich die Wirkung auf und keine ausschlaggebenden Bremskraftveränderungen sind zu erkennen. Dagegen sinken die Bremskräfte vom Achter bei geringerem Seildurchmesser markant. Schlechtere Reibungswerte addieren sich hier mit den geringeren Handkräften. Bei der Tuber-Sicherung unterstützt das Abklemmen bei dünnen Seilen die Bremswirkung im Gerät und wirkt so der Abnahme



- 5 Ein verdrehter Tuber mit einem 8,9 mm Seil.
- 6 Ein Tuber mit einem 10,5 mm Seil, nicht verdreht.

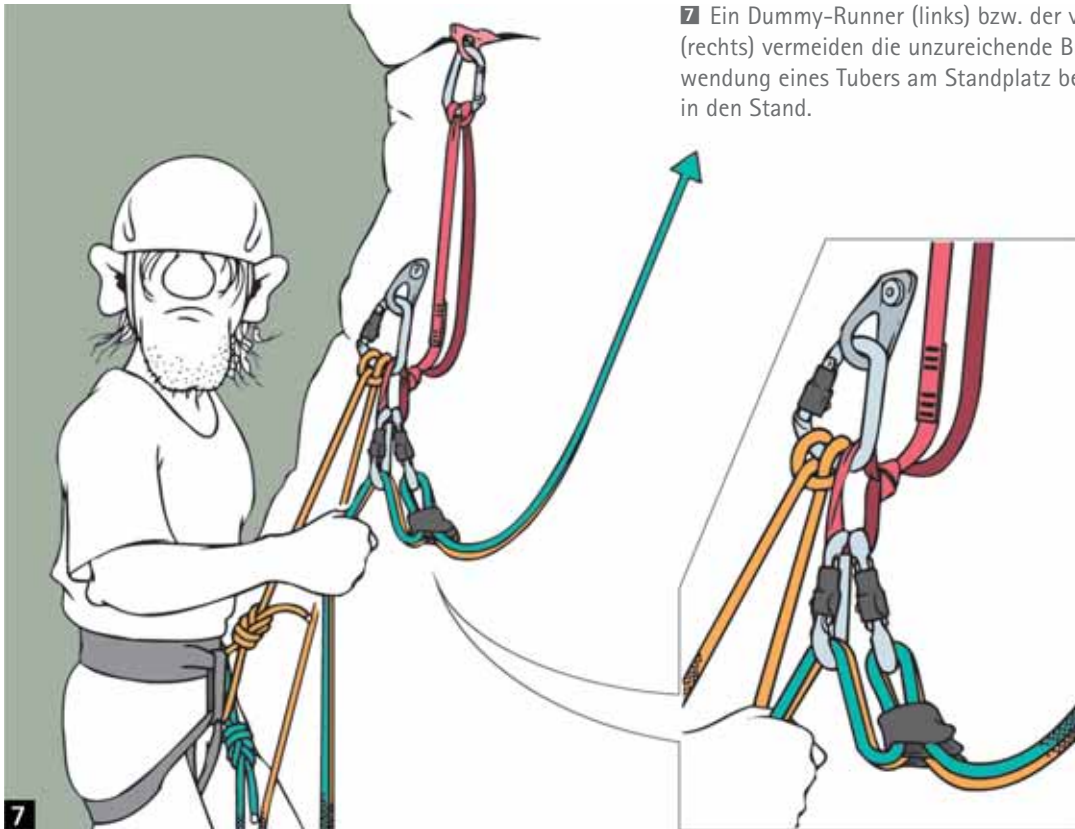
der Bremskraft entgegen. Daher kann die Bremskraft beim \varnothing 8,9 mm Seil größer sein als beim \varnothing 9,5 mm. Somit hat der "Normmensch" bei der HMS fast keinen Bremskraftverlust, beim Achter einen deutlichen und beim ATC einen geringen - je nachdem, inwieweit die Geometrie des Geräts und der Seildurchmesser das Verschiebungsphänomen zulassen.

Tuber am Standplatz

Da der Versuchsaufbau der Situation am Standplatz gleicht, lassen sich folgende Aussagen zur Verwendung von Tubern am Standplatz treffen. Die Vermutung, Tubern hätten zu geringe Bremskräfte, lässt sich nicht bestätigen. Verwendet man das ATC-XP mit hoher Bremsstufe, erreicht man die gleichen Bremskraftwerte wie bei Verwendung der HMS. Personen mit großer Handkraft können das ATC-XP am Standplatz auch bedenkenlos mit normaler Bremsstufe verwenden. Somit ist das ATC-XP das optimale Gerät zur Verwendung mit Doppelseil, da es sowohl die nötige Bremskraft aufbringt, als auch die getrennte Bedienung der Seilstränge ermöglicht. Natürlich darf die Problematik eines Faktor-2-Sturzes nicht außer Acht gelassen werden. Dies kann durch die Verwendung eines Dummy-Runners bzw. eines Zusatzkarabiners vor dem Tuber (Abb. 7) gewährleistet werden. Der vorgeschaltete Karabiner wird wieder ausgehängt, sowie der Vorsteiger eine zuverlässige Zwischensicherung geklinkt hat. Die Bremswirkung bei Tube-Sicherung mit vorgeschaltetem Karabiner liegt über jener der HMS (ca. 3,0-4,0 kN).

Das Gesamtsystem "Sicherung"

Die in den Versuchen ermittelten Bremskraftwerte sind alle auf neue Seile zu beziehen. Je älter ein Seil ist, desto mehr Reibung entwickelt es im Sicherungsgerät und in der Bremshand aufgrund seines veränderten Durchmessers, der Oberflächenbe-



7 Ein Dummy-Runner (links) bzw. der vorgeschaltete Karabiner (rechts) vermeiden die unzureichende Bremswirkung bei Verwendung eines Tubers am Standplatz bei einem Faktor-2-Sturz in den Stand.

schaffenheit und des Dehnverhaltens. Für die Praxis gilt, dass das Gesamtsystem Sicherung funktionieren muss. Dh der Sichernde muss das Zusammenspiel seiner verschiedenen Komponenten aus der Sicherungskette je nach Situation jedesmal neu beurteilen. Sinnvoll ist selbstverständlich, ein gewisses Maß an Sicherheitsreserve einzukalkulieren.

Wirft man nochmals einen Blick auf die Seildurchläufe der Sicherungsgeräte in Tabelle 2, wird die Problematik klarer. Da es bei Seildurchläufen ab 50 cm zu Verbrennungen der Hand kommen kann (vorausgesetzt die Bremshand hält das Seil am Anfang der Sturzbelastung fest umschlossen), sollte dieser Grenzwert nicht überschritten werden.

Anfänger und insbesondere Kletterlehrer sollten auf diese Thematik sensibilisiert sein, um Unfälle zu vermeiden. Aufgrund der breiten Streuung der Handkraftwerte in der Population sind die hier vorgestellten Mittelwerte nur Anhaltspunkte. Es gibt sicherlich Personen, deren Handkräfte noch geringer sind, genauso wie vereinzelt Personen mit extrem großer Handkraft auftreten. Personen mit geringer Handkraft sollten Tuber mit hoher Bremsstufe verwenden. Die HMS bzw. statischen Sicherungsgeräte sind für diese Personen eine Alternative. Kräftige Sicherer haben nach wie vor die Möglichkeit, sich für jedes Sicherungsgerät zu entscheiden. Sie sollten aber die dynamische Sicherungsweise im Sinne eines angenehmen Sturzverhaltens für den Kletternden nicht außer Acht lassen, da in ihren Händen ein dynamisches Sicherungsgerät schnell statisch wirken kann.

Körpersicherung

All diese Aussagen beziehen sich auf eine Fixpunktsicherung und sind nur indirekt auf eine Körpersicherung übertragbar. Grundsätzlich ist bei Körpersicherung die Gefahr, eine zu geringe Handkraft zu haben, kleiner als bei Fixpunktsicherung. Das liegt daran, dass bei der Körpersicherung zunächst die Trägheit der Körpermasse des Sichernden überwunden werden muss, und

dann das weitere "Nach-oben-gezogen-Werden" dynamisch erfolgt. Eine geringe Handkraft zeigt hier also ein geringeres Gefahrenpotential. Die Seildurchläufe bei Körpersicherung mit Tuber lagen bei durchschnittlich 22 cm. Generell ausgeschlossen werden kann diese Gefahr jedoch nicht, insbesondere, wenn der auf den Sichernden einwirkende Kraftimpuls in Relation zu seinem Körpergewicht sehr groß ist.

Fazit

Verallgemeinernd können folgende Aussagen getroffen werden:

- Die Bremswirkung bei HMS bleibt bei dicken wie dünnen Seilen gleich groß.
- Bei Achter-Sicherung nimmt die Bremskraft bei dünner werdenden Seilen deutlich ab.
- Die Tuber-Sicherung zeigt bei dicken (10,5 mm) und dünnen (8,9 mm) Seilen eine höhere Bremswirkung als bei mittleren Seilen (9,5 mm).
- ATC-XP und Fuse zeigen mit hoher Bremsstufe vergleichbare Bremswerte wie bei HMS und können zur Sicherung am Fixpunkt (insbesondere mit Doppelseil) empfohlen werden.
- Die Handkraft bei Kletterern ist abhängig vom Geschlecht, weniger vom Gewicht, der Klettererfahrung oder der Rotpunkt-Leistungsfähigkeit.
- Für Körpersicherung sind Tuber mit zwei Bremsstufen zu empfehlen: Durch die mögliche Bremsstufenwahl kann das Gerät von Personen mit hohen, wie von Personen mit geringen Handkräften verwendet werden. Zudem kann die Bremsstufe der Situation angepasst (Seildicke, Seilreibung, zu erwartende Sturzhärte etc.) gewählt werden.

Fotos: Semmel, Thomann
Illustration: Schorsch himself