

| Eigenschaften von Dyneema   | Nachteil  | Vorteil   |
|---|---|---|
| <b>hohe Bruchkraft</b><br>(Garnfestigkeit ca. 28-38 CN/dtex)          | -/-   | auch als Zwischensicherung u. ä. verwendbar   |
| <b>geringes Gewicht</b><br>(ca. 0.96 kg/dm <sup>3</sup> )             | -/-   | Energieersparnis beim Tragen  |
| <b>geringes Volumen</b>   | Handling und Festhalten mit der Hand schwieriger  | kleinerer Rucksack  |
| <b>geringer Reibungsfaktor</b>  | Handling schwieriger, mehr Bremswirkung/Umlenkungen beim Abseilen nötig, Verbindungsknoten bzw. Nähte problematischer | höhere Kantenfestigkeit, geringere Reibungsabnutzung, Mastwurf kann „dynamisch“ wirken, weniger Wärmeentwicklung durch Reibung auf anderem Material |
| <b>geringe Hitzebeständigkeit</b><br>(Schmelzpunkt ca. 150°C)         | heiße (Abseil-)Geräte bzw. Hitze poliert das Material schneller   | -/-   |
| <b>geringe Wasseraufnahme</b><br>(0 %, schwimmend)                    | -/-   | keine Gewichtszunahme wenn feucht/nass  |
| <b>vollstatisch</b><br>(Bruchdehnung ca. 3,8 %, Arbeitsdehnung < 1 %) | kann keine Energie aufnehmen  | direkte Übertragung der Kräfte (Flaschenzug), kein Jojo-Effekt  |
| <b>hohe UV-Beständigkeit</b>  | -/-   | im Gebirge/bei hoher Strahlung widerstandsfähiger   |

**Abb. 1 Eigenschaften von Dyneema** Die angeführten Nach- und Vorteile können für das Bergsteigen teilweise positiv oder negativ verwendet werden. Die Dyneemafaser ist auf die Masse bezogen ca. 15-mal zugfester als Stahl, fast 5-mal zugfester als Polyamid oder Polyester und fast doppelt so zugfest als Aramidfasern. Von der Dyneemafaser gibt es verschiedene Fasertypen (SK60 bis SK78), welche unterschiedliche Zugfestigkeiten aufweisen (die Angaben in der Tab. in Klammer beziehen sich auf Dyneema SK75 und variieren nach Fasertyp).

# Statisches Dyneema vs dynamisches Seil

Dyneema ist der Markenname für eine Faser aus Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene, kurz UHMwPE. Interessant, aber nicht wirklich hilfreich, möchten wir mehr über die Eigenschaften dieser Faser wissen. Die Idee dieses Beitrages ist es, genau über sie zu informieren und die Frage zu beantworten, ob diese Faser für uns Bergsteiger tatsächlich interessant sein kann. Vorab: die Antwort des Autors darauf lautet „Ja“. Wenig überraschend, denn bereits in bergundsteigen 3/12 ist Chris Semmel in seinem Beitrag „FAQs-Dyneema“ zum selben Ergebnis gekommen. Doch immer noch gibt es kritische Stimmen dazu, aber auch neue Erkenntnisse, v. a. was den Einsatz von Dyneema am Gletscher betrifft.

**V**

von Peter Popall

Dyneema ist leicht, hat im Vergleich zum Volumen eine hohe (Bruch-)Festigkeit, ist wenig empfindlich auf Reibung, hat eine große Kantenfestigkeit und nimmt kein Wasser auf. Außerdem ist Dyneema eine voll statische Faser und hat eine geringere Wärmefestigkeit also Nylon. Eigenschaften, die für Alpinisten großteils gut klingen, denn Gewicht und Volumen sowie Wasserempfindlichkeit spielen bei unserem Treiben eine wichtige Rolle (Abb. 1). Trotzdem wird – immer noch – regelmäßig und leidenschaftlich über Sinn und Unsinn, über Vorteile und Gefahren von Dyneema diskutiert. Der Hinweis auf die Nachteile und Probleme, die diese Faser mit sich bringen kann, kommt meiner Meinung nach u. a. auch daher, weil nicht deutlich zwischen den statischen und den dynamischen Anforderungen im Bergsport unterschieden wird.

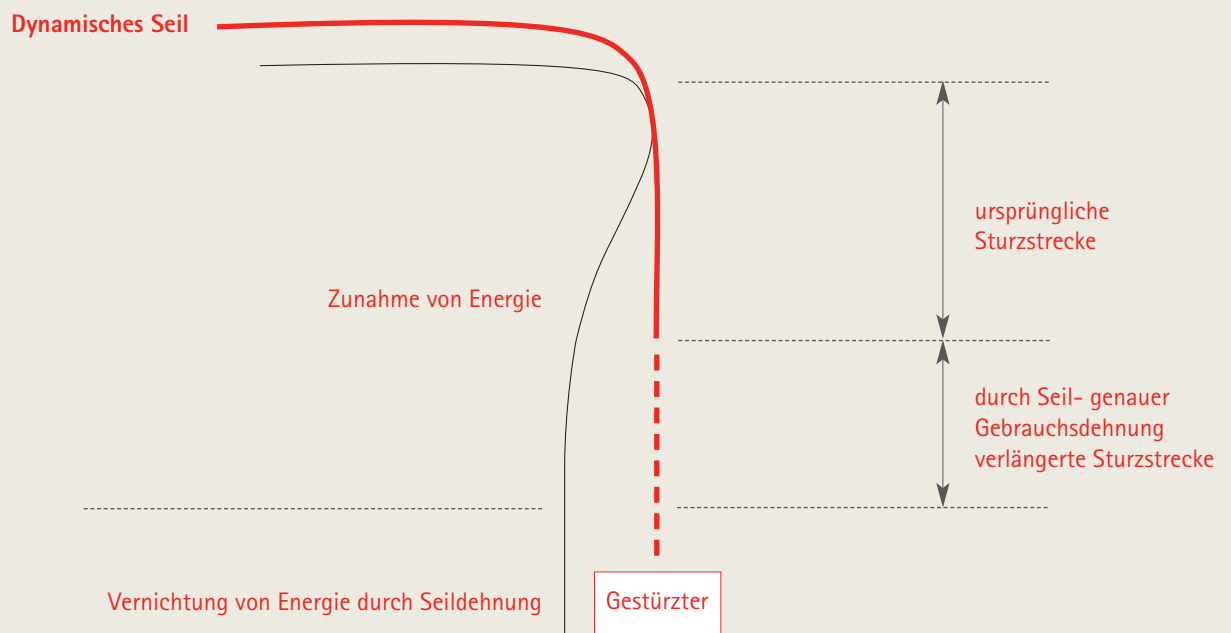
**S**

Statische und dynamische Eigenschaften

Hersteller und Anwender halten sich gerne und sehr eng an die Normungstests und werden dadurch leicht zu falschen Schlüssen für die praktische Anwendung geführt. Wir sollten uns immer daran erinnern, dass Normungstests für den Vergleich von messbaren Referenzwerten gedacht sind, dass sie aber nur selten eine Darstellung der Realität sind – besonders im Bergsport.

So sind auch die vergleichenden Tests von Bruchlasten zwischen Dyneema- und Nylon-Schlingen (Nylon ist der Markenname für eine Faser aus Polyamid, daneben gibt es im Bergsport auch noch Band- und Schlingenmaterial aus Polyester) nicht von großem Interesse für uns Anwender: alle diese gemessenen Bruchkräfte sind in jedem Fall höher als die Bruchkräfte, die wir beim Bergsteigen tatsächlich erfahren könnten; sie sind höher als die Belastungen, die der menschliche Körper aushält. Provokant gefragt: Ist es besser, durch eine hohe Belastung getötet in einer intakten Schlinge zu hängen oder aber weiter auf den Boden abzustürzen, weil auch die Schlinge gerissen ist? Den meisten von uns wird das dann relativ egal sein. Viel wichtiger: Wir sollten alle wissen, dass man in eine Schlinge nicht direkt hineinfallen

**Abb. 2 Dynamisches Seil versus hyperstatische Dyneema-Leine beim Spaltensturz** Beim dynamischen Seil wird die ursprüngliche Sturzhöhe durch die Seildehnung verlängert; durch diese Seildehnung wird die auftretende Energie, der Fangstoß, reduziert.



darf - egal, aus welchem Material sie gefertigt ist. Mit dem richtigen Verständnis und der Erfahrung der letzten Jahre können wir uns mit der Dyneema-Faser bei unseren bergsteigerischen Aktivitäten aber einiges erleichtern, unsere Möglichkeiten erweitern und somit unsere Erlebnisse vergrößern.

Verwenden wir beim Bergsteigen eine bestimmte Seil- oder Sicherungstechnik, gilt es sich zu überlegen, welcher (Ausrüstungs-)Teil bei unserer favorisierten Lösung eine statische Funktion und welcher Teil eine dynamische Funktion erfüllen muss. Wir benötigen immer beide, da wir ja irgendwo fixiert sein müssen (Fixpunkt = statisch) und da wir Energie beim Halten eines Sturzes absorbieren bzw. umwandeln müssen (Dynamik).

Die statische Komponente ist leicht zu verstehen: Sie besteht aus Fixpunkten, wie Haken, Klemmkeilen, Bäumen, Eisschrauben, usw., sowie all dem, was wir benötigen, um uns bzw. das Seil mit ihnen zu verbinden, also Expressschlingen, Karabiner, Sanduhrschlingen, usw. All das hat und benötigt prinzipiell keine Fähigkeit, Energie zu absorbieren. Der dynamische Teil ist schon etwas komplexer: Beim Klettern dient das Seil in den meisten „Fällen“ als dynamische Komponente. Wenn wir in ein dynamisches Seil eingebunden sind, dürfen wir stürzen, denn das Seil verfügt über das Vermögen, Energie aufzunehmen. Ebenso kann unsere Sturzhöhe maximal das Doppelte des ausgegeben Seiles betragen - das wäre dann ein Sturz in den Standplatz, also Sturzfaktor 2. Anders sieht es am Klettersteig aus: Dort rutschen bei einem Sturz die eingehängten Karabiner dem Stahlseil entlang hinunter, bis sie bei einem Anker hängen bleiben. D. h. unsere Sturzhöhe kann bald höher werden, als die „doppelte, zur Verfügung stehende Seillänge“ sein kann (z. B. wenn wir mit einem 1m langen Seil eingebunden sind, aber 4 m nach unten rutschen; das wäre Sturzfaktor 4). Deshalb verwenden wir dort zusätzlich Energie-Aufnahme-Systeme, eben die Fangstoßdämpfer des Klettersteig-Sets.

## S Dyneema am Standplatz

Kommen wir nun zu Dyneema. Vorab und um Verwirrungen zu vermeiden: Im Bergsport wird diese Faser in Form von fix vernähten Bandschlingen (meist als Mischgewebe) verwendet oder aber als Kern von Reepschnüren, deren Mantel aus Polyamid oder Polyester besteht (dann wird von Dyneema-Reepschnur gesprochen). Eine Leine aus purem Dyneema, d. h. ohne Mantel, findet nur in der Bergrettung (Tau bei Helibergung u. Ä.) Verwendung und ist für Bergsteiger uninteressant, da nicht mehr knot-, sondern nur noch spleißbar. Sprechen wir im Folgenden von einer Dyneema-Leine, meinen wir damit eine Konstruktion aus einem Dyneema-Kern mit einem Mantel aus Polyamid, Polyester o. Ä., welcher gleich lang ist wie ein Seil. Egal, ob nun Schlinge oder Reepschnur - Dyneema wird bei uns immer als statische Komponente verwendet. Fast immer, denn mit entsprechender Erfahrung und Können kann Dyneema in speziellen Situationen auch „dynamisch“ verwendet werden, zB wenn ich meinen Standplatz „schützen“ möchte: Dann könnte ich mit einer langen Dyneema-Schlinge mein Kräftedreieck bzw. meinen Universal- (Abseil-)stand mit Mastwürfen in den Karabinern fixieren und dabei jeweils etwas Restschlinge überstehen lassen. Dank des geringen Reibungsfaktors der glatten Dyneema-Schlinge beginnen die Mastwürfe bei Belastung zu rutschen und wirken als wunderbare Stoßdämpfer. Im Labortest werden bei vergleichbaren Sturzenergien die Fangstöße bis zu 60 % gesenkt. Doch zurück zur Absorption von Energie: Neben dem dynamischen Seil und rutschenden Knoten gibt es noch weitere Lösungen, um Energie zu „vernichten“: Sicherungsgeräte, aufreißende Nähte, Verformung, allgemeine Reibungseffekte, usw. Auch die Trägheit der „haltenden Masse“, wie zum Beispiel der Körper des Sichernden oder auch der mitlaufende Partner am Gletscher sind wunderbare Energievernichter.



Bei der statischen Dyneema-Leine gibt es keine Seildehnung und Reduktion des Fangstoßes.



## g Dyneema am Gletscher

Noch ein anderes Beispiel zur Verwendung von Dyneema, das aber wiederum - wie bei jeder anspruchsvolleren bergsteigerischen Tätigkeit - die notwendigen Kenntnisse und Erfahrung in der Anwendung erfordert: Mit dem Petzl-Team haben wir 5,5 mm dünne statische Dyneema-Leinen (Dyneema-Kern mit PA-Mantel) mit 7,7 mm dünnen dynamischen Seilen beim simultanen Gehen auf dem Gletscher und den damit verbundenen Spaltenstürzen verglichen. Hier die Zusammenfassung:

Wir sind davon ausgegangen, dass Alpinisten ständig versuchen, das Gewicht und Volumen ihrer Ausrüstung zu minimieren. In der Praxis wird am Gletscher unter anderem an Gewicht gespart, indem möglichst dünne dynamische Seile verwendet werden. Um hier noch mehr Gewicht zu sparen, werden seit Jahren vereinzelt auch hyperstatische Seile, v. a. aus Dyneema, verwendet. Der Vorteil einer z. B. 5,5 mm dünnen Dyneema-Leine ist eine Gewichtsreduktion von ca. 50 % und eine Volumensreduktion - je nach Packart - von mindestens 30 - 50 % im Vergleich zu einem 7,7 mm Dynamikseil.

Schön und gut, doch stellt sich die Frage, welche Auswirkung nun die Verwendung eines solchen hyperstatischen Seils beim Halten eines Spaltensturzes haben kann. Dazu haben wir eine Vergleichsstudie bei realen Spaltenstürzen durchgeführt. Unsere Beobachtungen zeigten dass die Haupteinflüsse für das Halten eines Spaltensturzes das Einschneiden in den Spaltenrand und die Trägheit der Masse des Gegengewichts (d. h. des Menschen, der den Sturz halten muss) sind. Beim Einschneiden in die Spaltenlippe zeigte sich, dass die „Rauigkeit“ der Manteloberfläche eine große Rolle spielt. Betreffend der Massen stellten wir interessante Unterschiede fest, je nachdem ob das „Gegengewicht

Mensch“, also der „Sichernde“, den Sturz sofort halten konnte, oder sich Richtung Spalte bewegen musste, um den Sturz abzufangen.

Um diese Vorgänge zu verstehen haben wir den Spaltensturz in zwei Phasen unterteilt:

- den Aufbau der Seilspannung
- das Halten des Sturzes

Warum diese Unterscheidung? Ganz einfach: der Aufbau der Spannung am Seil ist der Moment, in dem der Körper des Sichernden beschleunigt wird und wo dessen Trägheit bei der Absorption der Fallenergie des Stürzenden eine Rolle spielt. Während unseren Versuchen haben wir auch die Beschleunigungen und Kräfte gemessen, aber in erster Linie einfach zwischen „gehalten“ und „nicht gehalten“ unterschieden. Wir verglichen am Einfachstrang ein dynamisches 7,7 mm Halbseil (Petzl Paso) und eine hyperstatische 5,5 mm Leine (Dyneema Kern mit Mantel) und kamen zu folgenden Ergebnissen:

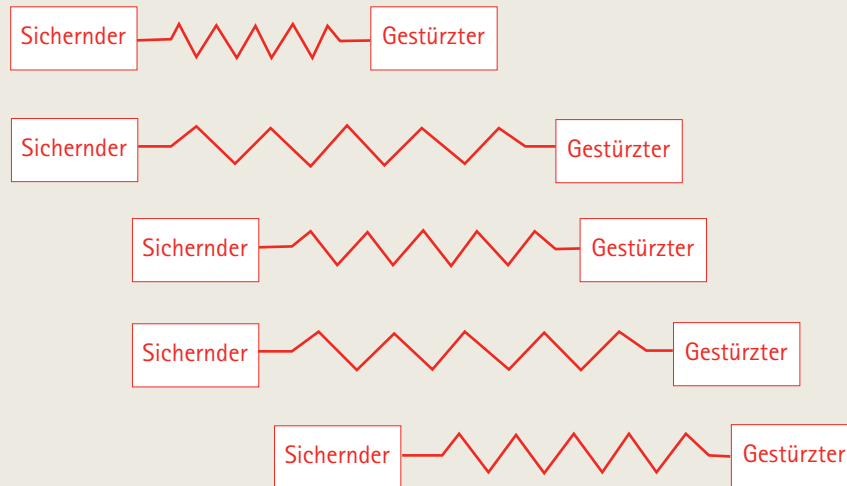
### Zum Aufbau der Seilspannung

- Beim dynamischen Seil beobachteten wir einen verzögerten Spannungsaufbau (angenehm) und danach unregelmäßige Spannungen („Jojo-Effekt“, unangenehm) aufgrund der Variationen während des Einschneidens in die Spaltenlippe.
- Beim hyperstatischen Seil gab es einen abrupten Spannungsaufbau (überraschend aber gut haltbar) und danach eine konstante Spannung (angenehm).

### Zum Halten bzw. Bremsen des Sturzes

- Beim dynamischen Seil war das Halten des Sturzes einfach, wenn der Sichernde darauf gefasst war und sich nicht „in Bewegung“ befand. Erfolgte der Sturz hingegen unerwartet, konnte er meistens nicht sofort gehalten werden. Der Sichernde musste sich zumindest mit einigen schnellen Schritten Richtung Spalte

**Abb. 3 Jojo-Effekt ohne und mit Spaltenlippe** Ist der Gletscher bzw. der Spaltenrand aber gibt es keine Spaltenlippen, in die sich das Seil bei einem Sturz einschneiden kann – ein Sturz wäre dann kaum haltbar, weder mit einer hyperstatischen Leine noch mit einem dynamischen Seil; allerdings fallen Bergsteiger bei solchen Verhältnissen auch selten in Spalten. Links abgebildet der Feder- oder Jojo-Effekt eines dynamischen Seils beim Sturz in eine solche Spalte: Bei maximaler Seildehnung hat der Sichernde, das Gefühl den Sturz gehalten zu haben – nur um plötzlich wie von einer Feder erneut Richtung Spalte gezogen zu werden.



bewegen und dann war der Sturz aufgrund des Jojo-Effekts schwieriger zu halten.

■ Beim hyperstatischen Seil bekam der „Sichernde“, der sich nicht in Bewegung befand und auf den Sturz gefasst war, einen harten, schockartigen Zug, was es schwieriger machte, den Sturz zu halten. Musste sich der „Sichernde“ hingegen Richtung Spalte bewegen, um den unerwarteten Sturzzug abzufangen, war der Sturz dank der konstanten Seilspannung leichter zu halten. Das bedeutet: Je nachdem ob wir von einer sofort blockierenden oder einer in Bewegung geratenen Masse ausgehen – also ob der Sichernde sofort reagieren und den Sturz halten kann oder nicht – hat ein dynamisches bzw. hyperstatisches Seil seine Vor- und Nachteile (Abb. 2). Jetzt stellt sich die Frage, was in der Praxis die Regel sein wird. Ich glaube, dass es am wahrscheinlichsten und häufigsten ist, durch den Sturzzug „in Bewegung gesetzt zu werden“. Das begründen ich damit, dass Menschen beim Gehen auf dem Gletscher nicht permanent aufmerksam sind, dass die „sichernde“ Person mit einer 50%igen Wahrscheinlichkeit gerade ihr Vorderbein belastet während der Sturzzug eintritt, und dass die Masse des Stürzenden durchaus höher sein kann als die des Sichernden.

## S Spaltenrand

Hier noch einiges zum Einfluss des Spaltenrandes bzw. der Spaltenlippe. Die wichtigste Frage zu Beginn: Was, wenn der Spaltenrand glatt und aper ist, also keine Lippe vorhanden ist? Unsere Antwort: Dann sehe ich normalerweise die Spalte und falle nicht hinein. Falls doch, wäre das Halten des Spaltensturzes nahezu unmöglich – unabhängig davon, ob das verwendete Seil dynamisch oder hyperstatisch ist. Denn die Spaltenlippe trägt erheb-

lich dazu bei, ob und wie leicht ein Spaltensturz gehalten werden kann. Sie wirkt bremsend, hat dabei aber auch ihre Tücken, da sie manchmal das Seil komplett blockiert, um es dann wieder weiter durchrutschen zu lassen. Geschieht das, so wird dadurch an der Spaltenlippe momentan Energie im dynamischen Seil „aufgeladen“ und dann plötzlich wieder freigegeben (Abb. 3). Dies kann beim Sichernden zur Illusion führen, dass der Sturz nun gehalten wurde, was zu Unaufmerksamkeit bzw. zum Entspannen des Körpers führen kann, um dann unerwartet – wie von einer Steinschleuder nachgeschossen – erneut Richtung Spalte gezogen zu werden (Jojo-Effekt).

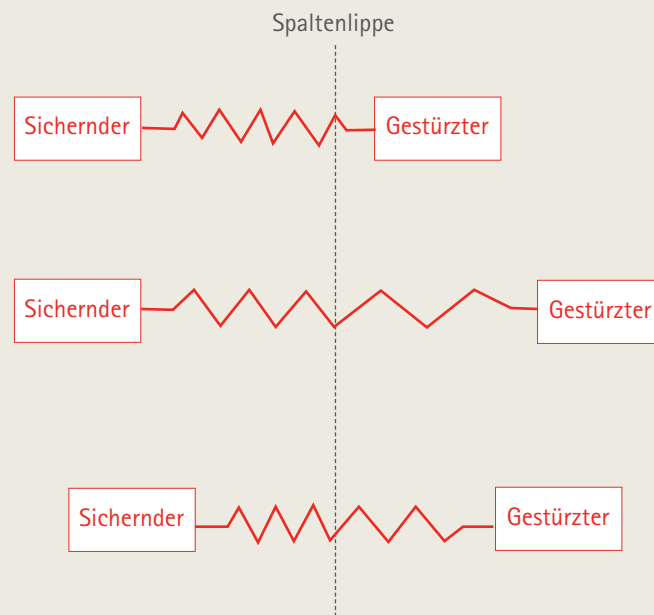
## f Fazit

Unsere Testreihen fanden an neun Tagen zwischen Mai und Oktober 2013 statt, und dabei haben wir mit dem dynamischen Seil 60 % und mit der hyperstatischen Leine 80 % der Stürze gehalten. Wir sind dabei immer direkt in die Spalte gesprungen, teilweise mit bis zu 1,50 m Schlappseil. Unsere Schlussfolgerung daraus lautet: Beim gleichzeitigen Gehen am Gletscher gibt eine hyperstatische Leine zumindest die gleiche Sicherheit wie ein dünnes dynamisches Seil.

## W Weitere Gedanken

Um nun Missverständnisse zu vermeiden möchten ich folgendes klar stellen: Diese Untersuchungen haben in keiner Weise das Ziel, sich gegen die Verwendung von dynamischen Seilen auszusprechen. Ich will nur klarstellen, dass für das simultane Glet-

In der Abbildung unten dieselbe Situation allerdings mit einer Spaltenlippe: Wegen der Reibung dieser Lippe durch das Einschneiden des Seiles in den Schnee steht weniger dynamisches Seil zur „Vernichtung“ der Energie durch Dehnung zur Verfügung; diese Energie wird im Seil „gespeichert“ und dem System zurückgegeben, sobald sich der Sichernde Richtung Spalte bewegt. Bei einer statischen Leine ist der Zug auf den Sichernden immer höher, aber dafür konstant, den Jojo-Effekt gibt es nicht.



schergehen ein hyperstatisches Seil keinen Nachteil hat, was das Halten des Sturzes betrifft. Das wird alle jene, die in diesem Gelände bereits seit Jahren mit einer solchen Leine unterwegs sind, freuen und bestätigen. Für andere, die sich überlegen, damit – zB auf Skihochtouren – Gewicht und Volumen zu sparen, kann es eine deutliche Entscheidungshilfe sein. Wie in diesem Beitrag bereits mehrmals erwähnt, hängt es beim Bergsteigen immer vom Können und Wissen von uns Anwendern ab, wie sinnvoll und vertretbar es ist, eine Technik oder einen Ausrüstungsgegenstand einzusetzen. So mag das Halten eines Spaltensturzes mit einer dünnen Dyneema-Leine mindestens ebenso gut möglich sein, wie mit einem dickeren und dynamisch wirkenden Seil, doch muss klar sein, dass die ganze folgende Rettungstechnik auf diesen dünnen Seildurchmesser abgestimmt sein muss – mit der 6-mm-Reepschnur und dem klassischen Prusik wird man den Gestürzten dann nicht mehr ans Tageslicht heraufziehen können. Ebenso relevant ist es, sich Gedanken zu machen, was „nach“ dem Gletscher passiert. Oft endet eine Hochtour ja in einer kleinen Steilflanke oder an einem Grataufschwung zum Gipfel. Und dort kann es mit einer Dyneema-Leine schnell kritisch und gefährlich werden. Somit ist die Dyneema-Leine definitiv nichts für Anfänger. Das simultane angeseilte Fortbewegen, das sogenannte „Gehen am kurzen Seil“, ist ein Thema für sich und möchte hier nicht ausführlich diskutiert werden, allerdings sei mir eine kurze Anmerkung dazu erlaubt: Mehrere Untersuchungen haben gezeigt, dass beim gemeinsamen Gehen im Steilhang das Halten eines Sturzes quasi unmöglich ist. Vielen ist aber nicht klar, dass die Aufgabe des Bergführers beim Gehen am kurzen Seil nicht darin besteht, den Sturz seines Klienten abzubremesen oder zu halten. Seine Aufgabe ist es vielmehr, einen solchen Sturz zu vermeiden. Deshalb hält er seinen Klienten so straff am Seil, dass ein Sturz erst gar nicht entstehen kann. Ein Bergführer wird in seiner Ausbildung für diese Seiltechnik speziell trainiert und selber stürzen darf er sowieso nicht. Für eine „private“ Seilschaft würde ich immer empfehlen, sich im entsprechenden Gelände vom Seil

auszubinden und seilfrei weiter zu gehen – auch wenn dies für viele philosophisch nicht akzeptabel ist. Doch ist es immer besser nur einen Verletzten oder Toten zu haben als zwei, und außerdem kann der Nichtverletzte immer noch sehr hilfreich für die Rettung sein. Das gemeinsame Gehen am Felsgrat muss noch genauer untersucht werden, doch auch dort ist meist das Ausseilen zu empfehlen.

### Zusammenfassung

- ▮ Dyneema-Leinen sparen Gewicht und Volumen, sind aber begrenzt in der Anwendung.
- ▮ Dynamische Seile sind universal einsetzbar, aber ca. doppelt so schwer und von doppeltem Volumen.
- ▮ Alle Entscheidungen und Aktionen, die wir beim Bergsteigen setzen, erfordern das entsprechende Wissen und Können.
- ▮ Am Beispiel der Dyneema-Leine: Jeder muss selbst entscheiden, wo seine Prioritäten liegen und welche Vor- und Nachteile die Folge sind. Geht es um Gewicht und Volumen, ist die Dyneema-Leine für manche Einsatzzwecke unschlagbar; geht es um die Vielseitigkeit, ist ein dünnes, dynamisches Seil das Beste. Für die klassische Bergtour wird der Gewichtsvorteil nicht die entscheidende Rolle spielen (falls doch, möge man über seinen konditionellen Zustand nachdenken), aber zB beim Skitourengehen und Freeriden ist uns ein Seil für Notfälle etc. zu schwer, eine Dyneema-Leine aber nicht.
- ▮ Am Beispiel der Dyneema-Bandschlinge: Sie ist für eine statische Verwendung gedacht und hat – gegenüber Polyamid-Schlingen – den großen Vorteil des geringeren Gewichts und Volumens, sowie der höheren Flexibilität und Abriebfestigkeit. Mit entsprechenden Kenntnissen kann man eventuell auch noch Vorteile der Fangstoßreduktion dank des geringen Reibungsfaktors ausnutzen. Der im Vergleich zu Polyamid niedrigere Schmelzpunkt wird durch diesen geringen Reibungsfaktor ebenso ausgeglichen.