



Thomas Hochrein ist Diplom-Physiker und F&E-Geschäftsfeldleiter Messtechnik am Kunststoff-Zentrum SKZ in Würzburg, Bergführeranwärter und Mitglied in der Kommission Sicherheitsforschung des DAV.



# Alte Schlingen & Reepschnüre

Eine bekannte Situation: Draußen am Fels findet man bereits vorhandene Schlingen vor – als fixe Expressschlinge, Abseilstände oder Sanduhrschlinge. Dieses Material ist häufig über viele Jahre Wind und Wetter ausgesetzt und in der Regel lässt sich kaum abschätzen, welche Festigkeitswerte noch zu erwarten sind. Unfälle in Sportkletterrouten mit fix belassenen Expressschlingen sind eine Konsequenz der geschilderten Problematik. Dieser Beitrag stellt witterungsbedingte Einflussfaktoren auf synthetische Materialien vor und liefert Hinweise für den Umgang mit ihnen.



von **Thomas Hochrein, Stefan Dürrbeck**  
und **Florian Hellberg**

Die bis dato größte Rückrufaktion im Bergsportbereich (Stichwort Klettersteigsets) war primär auf eine beschleunigte Alterung infolge mechanischen Verschleißes zurückzuführen. Kürzlich wurde auch von der versteckten Gefahr durch fix belassene Expressschlingen in Sportkletterrouten berichtet [1]. Rund 20 % der Schlingen, die bis zu neun Jahre am Schleierwasserfall im Freien exponiert waren, wiesen bei einer Untersuchung der DAV-Sicherheitsforschung nur noch eine Zugfestigkeit von teilweise deutlich unter 12 kN auf und lagen damit weit unter der Mindestanforderung im Neuzustand (22 kN). An Schlingen mit besonders niedrigen Restfestigkeiten fiel neben Scheuerstellen v.a. auch die ausgebleichene Farbe auf. Es stellt sich somit die Frage, welchen Anteil die Bewitterung, insbesondere ultraviolette (UV) Strahlung, an der Festigkeitsreduzierung hat.

Die im Bergsport gebräuchlichen Seile und Schlingen bestehen aus Kunststoffen. Neben der chemischen Grundstruktur dieser Moleküle ist für die finalen Materialeigenschaften auch die Verarbeitung von großer Bedeutung. Bei der Exposition im Außeneinsatz führen Witterungseinflüsse (Temperatur und Temperaturwechsel, Feuchte, Strahlung und weitere Umwelteinflüsse) zu einer Veränderung dieser Materialeigenschaften. Für die persönliche Ausrüstung ist das von vergleichsweise geringer Bedeutung, da die Expositionszeiten gegenüber der gesamten Gebrauchsdauer meist kurz sind und die Lebensdauer eher durch mechanische Abnutzung bestimmt wird. Ist das Material jedoch über lange Zeiträume Witterungseinflüssen ausgesetzt, so verändern diese die Materialeigenschaften maßgeblich. Über die praxisrelevante Größe dieser Einflüsse konnten bislang jedoch lediglich Vermutungen geäußert werden [3,4].



## Wichtige Witterungseinflüsse

Beim Outdoor-Einsatz werden Materialien vielfältigen Witterungseinflüssen ausgesetzt. Für polymere Materialien sind die folgenden Faktoren von besonderer Bedeutung:

### ■ Ultraviolette Strahlung

Die UV-Strahlung ist eine sehr energiereiche elektromagnetische Strahlung, die von der Sonne ausgestrahlt wird. Die hohe Energie dieser Strahlung ist u.a. dafür verantwortlich, dass sie einen starken Einfluss auf biologische Systeme (zB Sonnenbrand, Erbgutveränderung), aber auch auf Werkstoffe (zB Alterung von Kunststoffen) hat. UV-Strahlung vermag chemische Bindungen und damit auch Polymere zu zerstören. Das Resultat einer Schädigung





**Abb. 1 Kunststoffe im Bergsportbereich und deren Eigenschaften.** Zur Beurteilung der Wirkung von UV-Strahlung ist die Kombination der Eindringtiefe und Schädigungswirkung relevant.

Kunststoffgruppe	Aliphatische Polyamide		Aromatische Polyamide (Aramid)	Polyethylen
Kunststofftyp	Polyamid 6	Polyamid 6.6	Poly-p-henylenterephthalamide	ultrahochmolekulares Polyethylen
Kurzzeichen	PA 6	PA 6.6	PPTA	PE-UHMW
Handelsname (Beispiele)	Perlon	Nylon	Twaron, Kevlar	Dyneema, Spectra
Einsatzbereich	v. a. Kletterseile, Schlingen, Reepschnüre	v. a. Statikseile, Schlingen	Reepschnüre	Schlingen, Reepschnüre
Einfluss Wasseraufnahme	hoch	hoch	hoch	gering
Schädigung durch UV-Strahlung	hoch	hoch	hoch	mittel
Eindringtiefe UV-Strahlung	gering	gering	gering	hoch

durch UV-Strahlung kann zB Trübung, Versprödung oder kompletter Materialabbau (Zerfall) sein. Bei einem Bindungsbruch im Molekül können sogenannte freie Radikale entstehen, welche weitere Abbaureaktionen initiieren und damit zur weiteren Verschlechterung der Gebrauchseigenschaften führen.

**Feuchtigkeit**

Viele Kunststoffe können Wasser in vergleichsweise großen Mengen aufnehmen: Polyamide in Seil- und Schlingenmaterialien können durch direkte Wassereinlagerung ins Polymergefüge bis zu 10 % ihres Eigengewichts aufnehmen. Dabei handelt es sich um einen reversiblen Prozess, der die mechanischen Kennwerte in der Größenordnung mehrerer 10 % signifikant beeinflusst. Beispielsweise ist Polyamid mit hohem Feuchtegehalt sehr zäh und besitzt eine hohe Reißdehnung und hohes Energieaufnahmevermögen. Hingegen ist trockenes Polyamid vergleichsweise spröde, besitzt jedoch eine höhere Reißfestigkeit. In der Praxis dürfte dies aufgrund ausreichender Sicherheitsreserven kaum von Belang sein – jedoch wesentlich für vergleichende Untersuchungen oder Normprüfungen, weshalb bei Tests im industriellen Umfeld stets der Konditionierzustand (Wassergehalt) definiert bzw. bestimmt wird. Wasser kann außerdem zur irreversiblen Auswaschung von Pigmenten und Stabilisatoren führen, die bei der Herstellung beigemischt werden, um das Material vor UV-Strahlen zu schützen. Durch Radikalbildung oder Hydrolyse kann Wasser aber auch direkt zum Materialabbau beitragen. Zusätzlich können sich im Wasser gelöste Schadstoffe (zB saurer Regen) negativ auf die Materialeigenschaften auswirken.

**Temperatur**

Die üblicherweise im Außeneinsatz vorherrschenden Temperaturen reichen in der Regel nicht aus, um Kunststoffe direkt zu

schädigen. Allerdings können die Alterungsprozesse bei hohen Temperaturen wesentlich beschleunigt ablaufen. Zudem spielt die Temperatur eine große Rolle bei der potentiellen Wasseraufnahme.

**g**

**Gebräuchliche Kunststoffe**

Mittlerweile werden im Bergsportbereich unterschiedliche Kunststoffe eingesetzt. Eine pauschale Betrachtung ist aufgrund ihrer sehr unterschiedlichen Eigenschaften nicht möglich. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die relevanten Kunststoffe und deren witterungsrelevanten Eigenschaften.

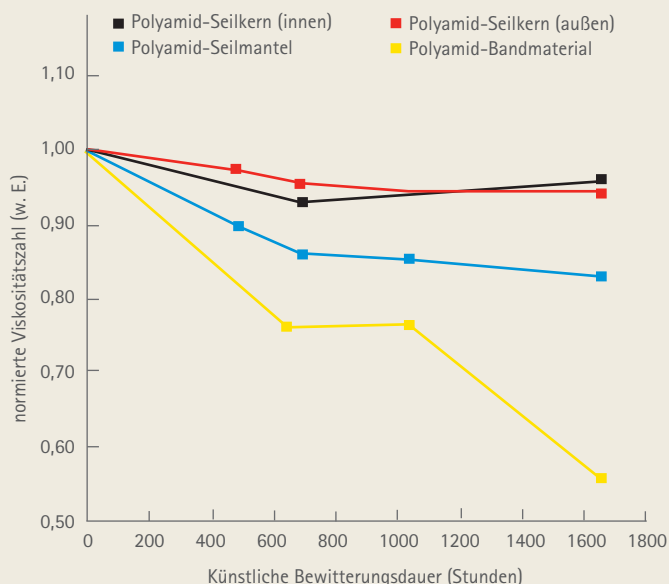
**Aliphatisches Polyamid**

Polyamid 6 und 6.6 (Abb. 1) zeichnen sich durch hohe Elastizität, Temperaturbeständigkeit sowie gute Reiß- und Verschleißfestigkeiten aus. Ein Nachteil von Polyamid ist das hohe Wasseraufnahmevermögen, was zu einer starken Beeinflussung der mechanischen Kennwerte führt. Außerdem altern aliphatische Polyamide in der Regel schnell unter UV-Strahlung.

Am Kunststoff-Zentrum SKZ in Würzburg wurde in Zusammenarbeit mit der DAV-Sicherheitsforschung dieser Einfluss unter künstlicher Bewitterung untersucht. Die künstliche Bewitterung beschleunigt die Alterungsvorgänge im Vergleich zu einer realen Freiluftexposition. Der Beschleunigungsfaktor wird auch Zeitfaktor genannt und hängt vom verwendeten Bewitterungsverfahren, dem zu testenden Material und von realen Vergleichsklimaszenarien ab. Für die hier vorgenommenen Untersuchungen kann von



**Abb. 2** Normierte Viskositätszahl als Maß für die Molekülkettenlänge in Abhängigkeit der künstlichen Bewitterungszeit unterschiedlicher Schlingenmaterialien aus Polyamid sowie Ort der Probenentnahme. Eine Verringerung der Viskositätszahl entspricht einer Verkürzung der Molekülkettenlänge und damit einer Verminderung der mechanischen Festigkeit.



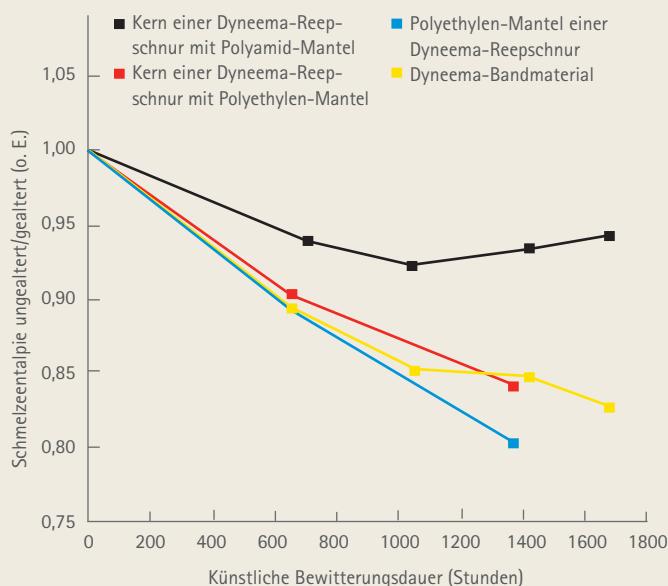
einem Zeitfaktor in der Größenordnung von zehn ausgegangen werden. Die sogenannte Viskositätszahl kann für Polyamid 6 oder 6.6 als Indikator für die Kunststoffdegradation und daraus resultierende Festigkeitsabnahme herangezogen werden.

Abbildung 2 zeigt zwar eine deutliche Verringerung der Viskositätszahl mit zunehmender Bewitterungsdauer – allerdings nur für die äußersten Schichten (Mantel). Die Ursache ist die geringe Eindringtiefe von UV-Strahlung in Polyamide. Festigkeitsmessungen bestätigten die Ergebnisse. Für eine Reepschnur mit einem Durchmesser von 5 mm ergab sich zunächst eine vergleichsweise geringe Festigkeitsreduzierung, die sich nach einer künstlichen Bewitterungsdauer von ca. 700 Stunden (entspricht etwa einem knappen Jahr Freibewitterung) kaum mehr veränderte. Für das Bandmaterial ergab sich aufgrund der größeren Oberfläche im Verhältnis zum Gesamtquerschnitt eine stärkere Reißfestigkeitsreduzierung um 27 % nach 1655 Stunden künstlicher Bewitterung (entspricht etwa einer Freibewitterung von knapp zwei Jahren).

### ■ Aromatische Polyamide

Aramide zeichnen sich durch eine sehr gute Reiß- und Schnittfestigkeit sowie sehr hohe Temperaturbeständigkeit aus. Wie aliphatische Polyamide können Aramide ebenfalls Wasser aufnehmen, was zu einer Beeinflussung der mechanischen Kennwerte führt. Aramide absorbieren Sonnenstrahlung in weiten Spektralbereichen, was zu einer starken Empfindlichkeit gegenüber UV-Strahlung führt. Die Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen lassen jedoch analog zu den aliphatischen Polyamiden ebenfalls auf eine geringe Eindringtiefe der UV-Strahlung schließen. Für bewitterte Reepschnüre mit einem Kern aus Aramid und einem Mantel aus aliphatischem Polyamid zeigte sich keine merkliche Festigkeitsreduzierung.

**Abb. 3** Verhältnis der Schmelzenthalpie von ungealterten zu gealterten Proben in Abhängigkeit der künstlichen Bewitterungszeit unterschiedlicher Schlingenmaterialien aus Dyneema. Aus der Verringerung der Verhältniszahl resultiert eine Verminderung der mechanischen Festigkeit.



### ■ Polyethylene

Hochverstrecktes ultrahochmolekulares Polyethylen (Handelsname zB Dyneema) besitzt eine sehr gute Reiß- und Schnittfestigkeit. Reines Polyethylen absorbiert kaum UV-Strahlung. Übliche Strukturfehler im Gefüge des Materials führen aber in der Praxis meist zu einer etwas stärkeren Strahlungsabsorption.

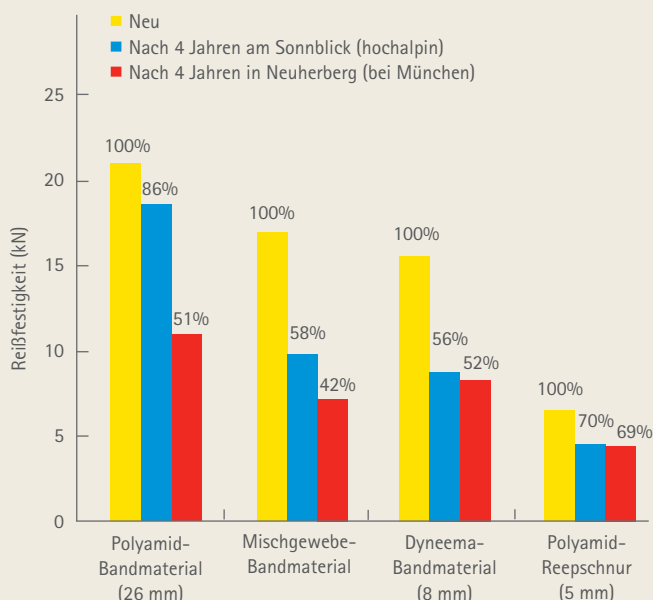
Ein Indikator für die Polymerschädigung bei Polyethylen ist die Schmelzenthalpie. Abbildung 3 zeigt, dass über den gesamten Querschnitt von reinen Dyneema-Reepschnüren eine Abnahme der Schmelzenthalpie und damit eine Zunahme der Polymerschädigung beobachtet werden kann, da Polyethylen sehr durchlässig für UV-Strahlung ist. Bei Proben mit einem Polyamid-Mantel zeigte sich durch dessen Schutzwirkung hingegen ein geringerer Einfluss und es ergaben sich keine messbaren Festigkeitsreduzierungen. Polyethylen-Bandmaterial zeigte hingegen einen deutlichen Reißfestigkeitsverlust mit zunehmender Bewitterungsdauer in der Größenordnung von 34 % nach 1655 Stunden künstlicher Bewitterung (entspricht knapp zwei Jahren Freibewitterung).



### Reale Bewitterung

Um die Erkenntnisse aus den Laborversuchen zu verifizieren, wurden am Bundesamt für Strahlenschutz in Neuherberg (549 m) bei München und dem Sonnblickobservatorium (3100 m) in den Hohen Tauern mehrere Proben über einen Zeitraum von vier Jahren im Freien exponiert und auf ihre Restfestigkeit untersucht. Bei einer Polyamid-Reepschnur (Ø 5 mm) zeigte sich ein deutlicher Festigkeitsrückgang (vgl. Abb. 4). Die Festigkeiten von Band-

**Abb. 4 Absolute Festigkeit ausgewählter Schlingenmaterialien von Neuware und nach vier Jahren realer Bewitterung auf dem Sonnblick-Observatorium in den Hohen Tauern bzw. in Neuherberg bei München. Die Angaben in Prozent beziehen sich auf die relative Festigkeit bezogen auf die Neuware.**



materialien (Polyamid 26 mm, Dyneema 8 mm, Mischgewebe 11 mm) reduzierten sich innerhalb des betrachteten Zeitraums auf weniger als 50 % des Ausgangswertes – unabhängig vom Material. Aus den Daten der künstlichen Bewitterung kann für normale Seile aus Polyamid 6 (Einfachseil, Ø 10 mm) sowie Reepschnüren aus Aramid (Ø 5,5 mm) und Dyneema (Ø 5 mm) – jeweils mit Polyamidmantel – eine Restfestigkeit von 70 bis 90 % des Ausgangswertes für den gleichen Zeitraum einer natürlichen Bewitterung abgeleitet werden.

Es ist auffällig, dass die hochalpin exponierten Proben eine geringere Festigkeitsreduzierung als die aus München erfahren. Obgleich im hochalpinen Milieu von einer höheren UV-Strahlendosis ausgegangen werden kann, dürfte dort die Umgebungstemperatur und -feuchte im Schnitt geringer ausfallen und im Münchner Raum eine höhere Luftschadstoffbelastung vorherrschen. Diese Faktoren beeinflussen erheblich die Alterungsgeschwindigkeit und das Ausmaß der Materialschädigung.

In der alpinen Praxis ist jedoch meist nicht die relative Festigkeitsabnahme, sondern die absolute, verbleibende Festigkeit von Bedeutung. Diese ist in Abbildung 3 im Vergleich zur Neuware aufgetragen. Hier ergibt sich für zB Polyamid-Bandmaterial noch eine Restfestigkeiten von knapp 11 kN. Die anderen dargestellten Materialien liegen zwischen 4 und 10 kN.

## S

### Schlussfolgerung

Bei langen Expositionszeiten spielt vor allem die Eindringtiefe der UV-Strahlung in das Material eine entscheidende Rolle für die

Festigkeitsreduzierung. Bei konventionellen Polyamiden und Aramiden ist die Eindringtiefe sehr gering, weshalb hier die Festigkeitsreduzierung vor allem vom Verhältnis zwischen Umfang und Gesamtquerschnitt abhängig ist. Bei Rundmaterial hat der Mantel eine UV-Schutzwirkung. Polyethylene zeigen eine sehr hohe Eindringtiefe für die UV-Strahlung, was zu einer tieferen Schädigung führt, jedoch durch den Mantel bei Rundmaterial verhindert wird. Bei persönlichem Material spielt UV-Alterung praktisch keine Rolle. Denn die Schwächung durch UV-Strahlung wird erst ab Expositionszeiten relevant, wie sie mit persönlicher Ausrüstung nicht zu erwarten sind.

Die Lebensdauer von persönlichem Schlingenmaterial ist eher durch mechanische Alterung bestimmt. Hervorzuheben sind hier die dünnen (6 und 8 mm Breite) Polyethylenschlingen. Aktuelle Versuche haben gezeigt, dass bei diesen Schlingen in Bezug auf Alterung Vorsicht geboten ist. Das geringe Gewicht und die kleine Querschnittsfläche geht, im Vergleich zu breiteren Polyethylen-, Mischgewebe- und Polyamidschlingen, auf Kosten der Sicherheitsreserve und Alterungserscheinungen machen sich deutlich schneller bemerkbar. Die Festigkeit dieser Schlingen liegt im Neuzustand nur knapp über der Normanforderung von 22 kN. Nach 3 - 5 Jahren Gebrauch sinkt ihre Bruchfestigkeit zum Teil auf Werte von 13-15kN. Mit einem Knoten in der Schlinge (Festigkeitsreduzierung um 60 %) wird diese Festigkeit grenzwertig. Deshalb sollten sie spätestens nach fünf Jahren ausgetauscht werden, bei häufigem Gebrauch auch früher.

Zusammenfassende Aussagen zur Beurteilung von im Freien belassenem Schlingenmaterial:

Je länger synthetisches Material Bewitterung ausgesetzt ist, desto größer ist die Schwächung.



Abb. 5 Probenstände am Sonnblick-Observatorium in den Hohen Tauern.

## Literatur

<sup>1</sup> Sophia Steinmüller, Sebastian Koller, Florian Hellberg: Schnittstelle Exe. Panorama 5, S. 54 (2013).

<sup>2</sup> David Thomas: Issues surrounding the failure of an energy absorbing lanyard. Specialist Inspector Reports No. 59, Health and Safety Executive: Norwich (Großbritannien), 2001.

<sup>3</sup> Pit Schubert: Starke Fasern. bergundsteigen 2/2008, S. 74.

<sup>4</sup> Chris Semmel, Florian Hellberg, Björn Ernst: Schlingen & Stand. bergundsteigen 1/2009, S. 71.

■ Als Indiz für Schädigung durch UV-Strahlung gelten Verfärbungen (Verblässen) und Steifigkeit.

■ Flachmaterial wird stärker geschädigt als Rundmaterial (wegen der Eindringtiefe). Vorsicht also vor allem bei verblassten Bandschlingen an Ständen!

■ Mäntel aus Polyamid schützen den Kern relativ gut gegen Schädigung durch UV-Strahlung.

■ Fixe und häufig benötigte Stellen sollten mit korrosionsfreiem Stahl witterungsbeständig ausgestattet werden.

Zusätzlich zur UV-Alterung ist auch auf mechanische Verletzungen bei fix am Berg belassenen Schlingen zu achten. Diese treten häufig an der Stelle auf, an welcher das Material unter Belastung aufliegt – also dort, wo wir es oft nicht sehen können (bei gefädelten Sanduhren an der hinteren Innenseite, bei Abseilständen dort, wo die Schlinge durch den Haken gefädelt ist, bei Fixexen im Klettergarten im Schraubglied etc.)

Fix am Berg belassene Schlingen müssen vor der Benutzung überprüft und beurteilt werden. An einem Standplatz sollten hier keine Kompromisse eingegangen werden! An Abseilständen können – soweit keine anderen negativen Einflüsse beachtet werden müssen – kleine Abstriche gemacht werden, da die Belastung des Fixpunkts beim regulären Abseilen üblicherweise geringer ist (auf ungünstige Winkelverhältnisse bzgl. der Kräfteverteilung bei Köpflschlingen achten!). Auf der sicheren Seite ist natürlich derjenige, der stark verwittertes oder verletztes Material gegen neuwertiges austauscht!

Fotos: Peter Plattner, Archiv DAV

