

Mountain

M manual



Jakob[®]
Rope Systems

Einleitung

Das Drahtseil wurde in seiner modernen Form im Jahre 1834 von Oberberggrat Julius Albert in Clausthal-Zellerfeld etabliert. In den vergangenen fast 185 Jahren wurde es zuerst meist auf Erfahrungsbasis, später auch durch rechnerische Auslegung und sogar Simulation immer weiter verfeinert, so dass wir heute eine grosse Vielfalt an Litzen- und Spiralseilen z.B. für das Baugewerbe, industrielle Förderanlagen und Verkehrsmittel zum Personentransport vorfinden.

In einer Seilbahn stellt das Drahtseil dabei ein im wahrsten Sinne des Wortes tragendes Element dar. Es hat direkten Einfluss auf die Sicherheit, Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit einer Seilbahnanlage. Die Investition für ein Drahtseil entspricht immerhin ca. 5 % – 10 % der Neubaukosten einer modernen Seilbahn. Wenn man sich bewusstmacht, dass man Seile über Kilometer frei im Gelände spannen kann, dass der hochfeste Draht mit Festigkeiten weit über denen von konventionellen Schrauben hunderttausendfach über Scheiben gebogen werden kann und dass manche Drahtseile 50 Jahre und mehr im Einsatz sind, lässt sich vielleicht die Faszination erklären, die von diesem Konstruktionselement ausgeht.

Diese Broschüre soll neuen Mitarbeitern im Seilbahnbusiness zum Erlernen von Basiswissen und des richtigen Umgangs mit Drahtseilen dienen. Sie soll aber auch erfahrenen Seilbahnern sowohl zum Auffrischen und Ergänzen von gesammeltem Erfahrungswissen als auch zum Nachschlagen nützlich sein. Jakob Rope Systems stellt seit über 100 Jahren Seile her, von denen viele Produkte auf Bergbahnen im Einsatz sind. Wir möchten in den folgenden Kapiteln Praxisinformationen aus unserem Erfahrungswissen und Auszüge aus der Fachliteratur mit Seilbahnern teilen und den Leser animieren, sein Seil kritisch und mit Sorgfalt zu betrachten, Fragen zu stellen und Problemen nachzugehen.

Sollten wir Sie seitens Jakob Rope Systems bei Fragen zum Inhalt oder anderweitigen Seilfragen unterstützen können, stehen wir Ihnen gerne mit Rat und Tat zur Seite.

Zur Entstehung dieser Broschüre haben einige Institutionen und Personen beigetragen, denen wir hiermit unseren Dank aussprechen möchten:

- dem Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) der Universität Stuttgart für die zur Verfügung gestellten der Bilder
- Sven Winter von der Fa. ROTEC GmbH für das Korrekturlesen
- Urs Schneider und den Kollegen von Jakob Rope Systems für Ihre Hilfe und Geduld bei der Erstellung der Broschüre
- Micha Lips für die grafische Gestaltung

Dr.-Ing. Konstantin Kühner



Ostfildern & Trubschachen, im März 2019

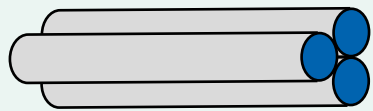


Dr. Ing. Konstantin Kühner war von 2009 bis 2017 als Sachverständiger für Drahtseile und Seilbahnen am IFT Stuttgart tätig. Seit 2017 arbeitet er für Jakob Rope Systems.

Seilkonstruktionen und Besonderheiten

■ Benennung der Seile

Für Umlaufbahnen mit festen Fahrzeugklemmen werden bevorzugt Seilkonstruktionen eingesetzt, die mit dicken Aussendrähten ausreichend Widerstand gegen die Belastungen der Klemmen bieten können. Die einfachste Konstruktion ist das dabei das Seil vom Typ 6×7, bei dem die sechs Litzen aus sieben Drähten bzw. jeweils einem Kerndraht bestehen, der von sechs nahezu gleichgrossen Drähten umwunden ist. Da man Seildrähte nicht unendlich dick ausführen kann, nimmt man etwa ab 16 mm Seildurchmesser die Seale Litze, welche mit zwei Drahtlagen um den Kerndraht geschlagen ausgeführt ist. Es gibt die Ausführung 6×15, 6×17 und 6×19 Seale, je nachdem, aus wie vielen Drähten die Litze aufgebaut ist. Man spricht hier von einer sogenannten Parallelverseilung, denn die äusseren Drähte liegen sanft in den Zwischenräumen der inneren Drahtlagen. Durch diese Linienberührung werden Pressungen und Querkräfte im Seil besser verteilt und die Lebensdauer des Seils verbessert.



Linienberührung von parallelverseilten Drähten

Die Wertigkeit und Funktionalität eines Seils steigt mehr oder weniger mit der Komplexität seines Aufbaus. Ein Seil vom Typ 6×7 besteht demnach aus 42 Drähten, die nahezu gleichen Durchmesser aufweisen. Ein 6×19 Seale dagegen besteht schon aus 114 Drähten, die jedoch zum Teil stark unterschiedliche Durchmesser haben. Ein schweres Seil einer kuppelbaren Umlaufbahn vom Typ 6×36 Warrington Seale bietet 216 Einzeldrähte, die in 5 unterschiedlichen Durchmessern im Seilquerschnitt verbaut sind. Die Litze ist wegen ihres grossen Durchmessers aus einem Kerndraht mit drei Drahtlagen aufgebaut. Ziel ist es, das Seil möglichst gut mit Draht auszufüllen, um eine hohe Bruchkraft zu erzielen. Dabei sollten die Litzen möglichst rund und gleichzeitig stabil gegen Querdrücke sein. Aus diese Anforderungen haben sich die klassischen Konstruktionen Seale, Filler, Warrington und Warrington-Seale entwickelt.

Einfacher und günstiger sind untergeordnete Seile wie Abspann-Struppen, Telefon- oder Steuerseile ausgeführt. Da diese nicht über Scheiben laufen und nur pulsieren z.B. durch Wind und Eis belastet werden, genügen hier einfache Litzen vom Typ 1×19 oder einfache Litzenseile vom Typ 6×7 mit Stahleinlage.

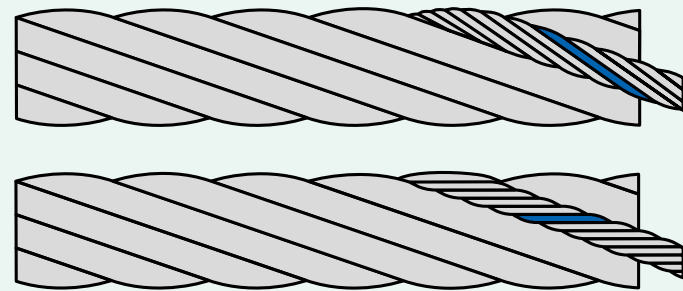
Seilbahnseile werden überwiegend in Gleichschlag ausgeführt, das bedeutet, dass die Drehrichtung der Drähte in den Litzen und der Litzen im Seil gleich ist. Das Gleichschlagseil reagiert besonders milde auf den Kontakt zu Scheiben, denn die Aussendrähte zeigen eine grosse Berührungslänge zum Scheibenfutter. Dadurch bleiben Seilbahnseile bevorzugt aussen intakt. Das Seilinnere muss jedoch auf Seilbahnen magnetinduktiv geprüft werden. Zudem lassen sich Gleichschlagseile besser Spleissen.

Der Aussendraht eines Kreuzschlagseils hingegen liegt nur kurz in der Scheibe auf, wodurch diese Drähte verstärkt aussen brechen. Das ist Absicht, denn Kreuzschlagseile in Kranen und Aufzügen werden meist nur sichtgeprüft und müssen ihren Verschleiss sicher aussen anzeigen.

Die Schlaglänge eines Seils beschreibt die Windungslänge einer Litze, ähnlich der Gewindesteigung einer Schraube. Üblicherweise liegt die Nennschlaglänge eines Seilbahnseils bei etwa dem Siebenfachen des Seilennendurchmessers. Je nach Hersteller und Einsatzzweck kann diese aber etwa zwischen 6,5 und 7,5×d liegen. Wichtig ist, zu überwachen, ob sich die Schlaglänge eines Seils im Betrieb verändert – und an welcher Stelle dies geschieht. Dies kann Systembedingt durch die Seilbahn verursacht werden oder aber ein Anzeichen für Anzeichen für Verschleiss, Drall oder andere technische Probleme sein.

Als Seele, Herz oder Kern des Seils dient die Fasereinlage, welche selbst meistens als ein eigenständiges Seil aus Chemiefasern ausgeführt ist. Sie sorgt für eine sanfte Stützung des Seilverbands und kann sogar Schmiermittel als Speicher aufnehmen. Massivpolymereinlagen hingegen sind ein solider Kunststoffstab. Das schafft Steifigkeit, aber das Seil längt sich entsprechend weniger und kann weniger Schmierstoff bevorraten. Längung mag zwar wegen der Kürzungsarbeiten unerwünscht sein, sie erlaubt aber, Spleißknoten regelmäßig zu ersetzen und zu sanieren. Wenn das Seil nicht mehr gekürzt werden kann, kann ein defekter Spleiß zur Ablegereife eines Seils führen, obwohl die freie Seilstrecke noch betriebs-sicher ist.

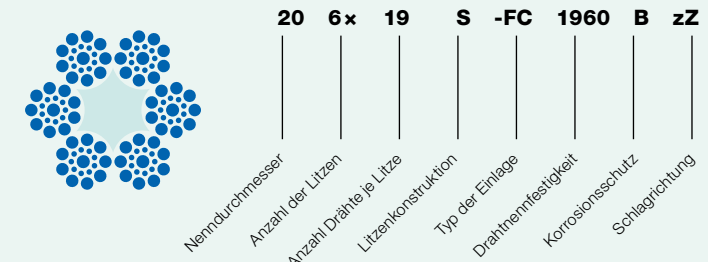
In anderen Seilanwendungen werden auch sogenannte Stahleinlagen eingesetzt, dann wird als Seilkern meist ein eigenständiges Drahtseil mit verseilt. Dadurch wird das Seil steif und bietet eine höhere Bruchkraft, jedoch bei einem größeren Eigengewicht. Für Seilbahnen sind Stahleinlagen nicht ideal: die Litzen und die Stahleinlage berühren sich z.B. im Seilinnern eher zufällig und nur punktuell. Dadurch würden in der Belastungssituation einer Seilbahn zu schnell Drahtbrüche entstehen und die hohen Lebensdauern von vielen Betriebsjahren könnten nicht erreicht werden. Das größere Seilgewicht wirkt sich ebenfalls negativ auf die Gestaltungsmöglichkeiten von Spannungsfeldern und Stützenstandorten aus. Einzig bei Standseilbahnen werden gerne Einlagen aus Weichmetall wie z.B. Kupfer mit verseilt. Hier ist ein hohes Eigengewicht des Seils ausdrücklich gewollt, damit das Seil beim Anfahren und Bremsen auch wirklich in der Schiene liegen bleibt und nicht aus den Streckenrollen nach oben abhebt.



Grosse sichtbare Länge eines Aussendrahts am Gleichschlagseil
Kleinere sichtbare Länge eines Aussendrahts am Kreuzschlagseil

■ Benennung der Seile

Die Seile werden entsprechend ihres Aufbaus exakt benannt. Bei einem Seil mit der Bezeichnung **20 6×19S -FC1960B zZ** handelt es sich zum Beispiel um ein sechs-litziges Seil (6×) der Konstruktion Seale (S) mit 19 Drähten je Litze mit Nenndurchmesser 20mm. Die Einlage ist aus Kunstfasern hergestellt (FC). Das Seil hat eine Nennfestigkeit von 1960 N/mm², man beachte, dass eine Schraube vom Typ 8.8 nur 800 N/mm² Bruchfestigkeit bei einer Streckgrenze von 80%, also 640 N/mm² bietet.



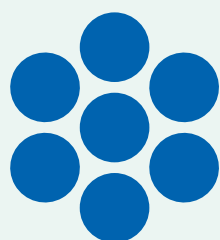
Die Drahtnennfestigkeit wirkt auf den ersten Blick, als hätte sie einzig Einfluss auf die Bruchkraft des Seils. Bevor man sich aber für möglichst hochfeste Seile mit der vermeintlich höchsten Sicherheit und Wirtschaftlichkeit entscheidet, sollte man sich jedoch bewusstmachen, dass der Seildraht mit steigender Festigkeit ein immer spröderes Verhalten zeigt und empfindlich gegen Querbelastungen wird. Wie andere gerichtete Materialien auch, z.B. bei Holz, Blech oder Fleisch, weist der Seildraht eine Faserrichtung entlang seiner Achse mit besten Eigenschaften auf. Quer zur Faser jedoch wird er bei Belastung geschwächt. Ein hochfestes Seil reagiert somit empfindlicher auf spontane Einwirkungen und Querbelastungen.

Ein anderer Trick, viel Bruchkraft auf einem möglichst kleinen Seildurchmesser zu erreichen, ist die Verdichtung der Litzen, auch «Kompaktierung» genannt. Hier wird die Litze am Ende des Fertigungsprozesses vor dem Verseilen unter hohen Druckkräften auf einen kleineren Durchmesser zusammengepresst. Dies kann durch Rollenkompaktierer oder Zieheisen geschehen. Die runden Drahtoberflächen der Litzen werden gestaucht, so dass die Litze einen nahezu kreisrunden Querschnitt fast wie ein Stab erhält. Der Zugewinn ist enorm: ein Seil gleicher Festigkeit erhält durch Litzenverdichtung bei gleichem Nenndurchmesser des fertigen Seils eine um ca. 10% höhere Mindestbruchkraft. Der Mehraufwand wirkt sich zwar auf den Seilpreis aus, dafür dürfen aber die Scheibendurchmesser, Ablenkwinkel oder auch Motordrehmomente geringer bleiben als bei einem dickeren Seil. Auch die Querpressung auf einzelne Drähte in einer Seilbahnklemme kann durch Kompaktieren reduziert werden. Kompaktierte Litzen erfreuen sich einer grossen Beliebtheit und werden seit Jahrzehnten erfolgreich eingesetzt. Ein schädlicher Einfluss des mechanischen Verdichtungsprozesses auf die Lebensdauer des Drahtes ist bisher nicht bekannt. Lediglich die Inspizierbarkeit des Seils leidet nachweislich unter dieser Technik, da gebrochene Drähte oftmals durch die Verdichtung geklemmt werden und die Bruchlücke sich nur wenig öffnet. Die Drahtbrüche sind dann schlechter mit dem Auge zu erkennen und können unter Umständen bei der magnetinduktiven Seilprüfung nur kleine Signalspitzen auslösen.

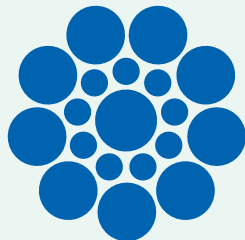
Die Drähte sind als Korrosionsschutz verzinkt (B). Das Seil ist rechtsgängig in Gleichschlag ausgeführt: dies verraten die Schenkel der beiden Buchstaben Z – ein kleiner für die Litzen, ein grosser für das Seil. Die rechtsgängige Schlagrichtung ist in der konventionellen Fahrtrichtung von Umlaufbahnen begründet: gegen den Uhrzeigersinn oder rechts auf. In Kombination mit der korrekten Schlagrichtung entwickelt sich nur minimaler Drall und der Spleiss hält erfahrungsgemäss länger. Eine Anlage mit umgekehrten Drehsinn im Uhrzeigersinn (links auf) sollte daher mit einem linksgängigen Gleichschlagseil versehen werden.



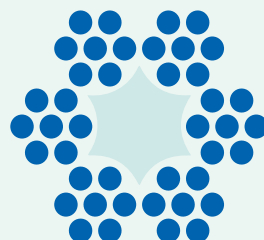
Beispiel **kurze Bruchlücke** im verdichteten Seil [Quelle: IFT Uni Stuttgart]



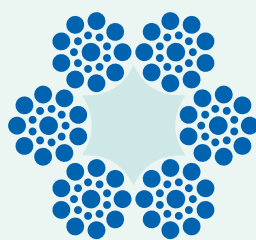
Litze 1 + 6 eines Seils Typ 6×7



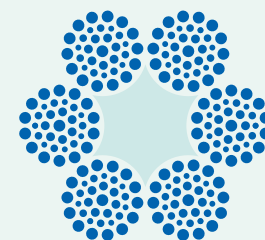
Seale Litze 1 + 9 + 9 eines Seils Typ 6×19S



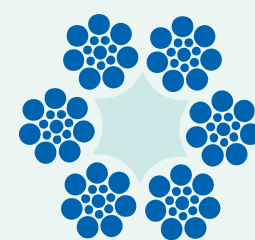
Seilquerschnitt Typ 6×7 «Standard»



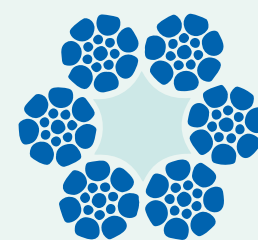
Seilquerschnitt Typ 6×19 Seale



Seilquerschnitt Typ 6×36 Warrington-Seale



Unverdichtetes Seil 6×15 Seale



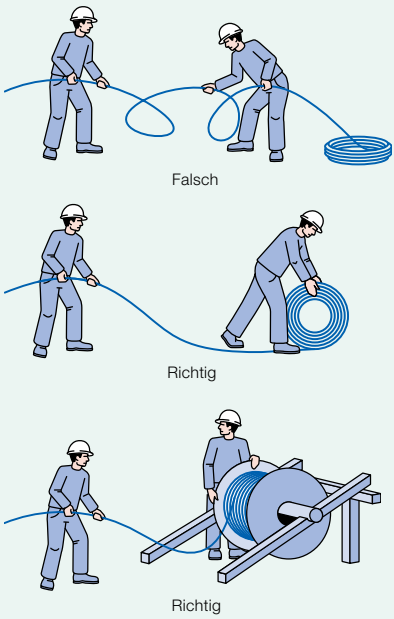
Verdichtetes Seil 6×15 Seale

Transport, Lagerung und Montage

Das Seil muss auf dem Weg von der Produktion bis zum Betrieb auf der Anlage besonders behandelt und geschützt werden. Viele Regelwerke wie die EN 12927 beschäftigen sich bereits detailliert damit, deshalb sollen hier nur die wichtigsten Grundregeln genannt werden, wie das Seil zu behandeln ist:

- Das Seil ist vor Feuchtigkeit wie direkter Beregnung, Staunässe und Kondenswasser zu schützen. Es muss nicht nur dicht verpackt sein, sondern muss im Zweifelsfall auch ablüften und trocknen können.
- Das Seil ist insbesondere bei längerer Lagerung fachgerecht mit geeigneten Schmiermitteln zu konservieren.
- Der Lagerort muss trocken, wettergeschützt und gut belüftet sein.
- Das Seil ist vor Schmutzeintrag wie z.B. Staub, Sand und Erreich zu schützen.
- Das Seil darf während des Handlings nicht geknickt, verdreht oder durch erhöhte Spannung überlastet werden.

Jakob Rope Systems koordiniert und montiert zusammen mit erfahrenen Industriepartnern Bergbahnseile und führt Endverbindungen wie Spleisse, Vergüsse oder Keilendklemmen mit Zertifikat vor Ort aus.

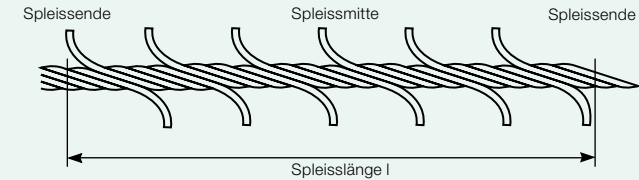


Klassische Beispiele für falsches und korrektes Abwickeln des Seils

Der Langspleiss

Um eine umlaufende Seilschleife für einen Skilift oder eine Sesselbahn herzustellen, müssen die zwei Enden eines Seils ringförmig verbunden werden. Ein Spleiss ist eine rein reibschlüssige Seilverbindung, die nur unter Zugkraft halten kann, denn dann zieht sie sich immer fester zusammen. Ziehstrümpfe bei der Montage von Erdkabeln oder chinesische Fingerfallen funktionieren nach dem gleichen Prinzip. Der Reibschluss darf nicht entlastet werden, weshalb ein Spleiss nach Norm üblicher Weise nicht unterhalb einer Seilzugkraft von 1/15 der Mindestbruchkraft des Seils betrieben werden darf. Wird er extra lang ausgeführt, darf das Seil im Betrieb bis auf Sicherheitsfaktor 20 entlastet werden.

Beim Spleissen werden die beiden Seilenden überlappend nebeneinandergelegt und jeweils eine der sechs Litzen des linken Endes zu einer Litze des rechten Endes zugeordnet. In festgelegten Abständen werden nun Knoten gebildet, an denen sich die beiden gegenüberstehenden Litzen kreuzen.



Spleiss mit vorbereiteten Kreuzungsstellen vor dem Einstecken der Litzenenden

Das freie Litzenende wird geradegerichtet und direkt an der Kreuzungsstelle ins Seilinnere gesteckt, stattdessen wird die Seele herausgenommen. Da die Einstecklitze dünner als die Seele ist, wird sie mit einem geeigneten, weichen Material umwickelt. Im Seilinnern endet also am sogenannten Stoss eine ganze Litze. Folgt entlang des Spleisses ein weiterer Knoten, beginnt an dieser Stelle die nächste eingesteckte Litze. Von aussen betrachtet umschlingen wieder 6 Litzen das Einsteck-Ende und halten dieses unter Zugkraft fest. Damit dies sicher funktioniert, muss der Spleiss entsprechend lang sein: der Gesamtspleiss muss mindestens eine Länge vom 1200-fachen Seildurchmesser aufweisen, die eingesteckten Litzen müssen mindestens 60 × d lang sein.



Spleissprotokoll

Prüfungsprotokoll Auftragsnr.		Ort		Datum																
		Anlage		Seilhersteller																
		Teilnehmer		Wetter / Temp.																
Seildaten / Seilfestigkeit	Seilart			Seil N enn -Ø [mm]		ungespannt:		Altes Seil		gespannt: neues Seil										
	Seilkonstruktion			Seil Ist - Ø				bergseitig:		talseitig:										
	Welligkeit			freie Seilstreck e [mm]				Seilkraft:												
	Nennfestigkeit			Spannschlittenstand nach Beendigung [m]																
Schlaglänge																				
Spleiß Nr.		E1	K1	E1'	E2	K2	E2'	E3	K3	E3'	E4	K4	E4'	E5	K5	E5'	E6	K6	E6'	
Durchmesser [mm]	min	X		X	X		X	X		X	X		X	X		X	X		X	
	max	X		X	X		X	X		X	X		X	X		X	X		X	
Visuelle Überprüfung			X			X			X			X			X			X		
Abmessungen in Meter																				
← Zugrichtung																				

Bemerkungen:

Stempel/Unterschrift

Je nachdem, in welcher Art sich die Litzen kreuzen, spricht man von einem Parallelknoten oder Kreuzknoten. Der Parallelknoten baut vergleichsweise dick auf und stellt eher eine ältere, aber schonende Knotentechnik dar, die bei fest geklemmten Umlaufbahnen auch heute noch angewendet wird. Für automatische kuppelbare Anlagen ist er nicht geeignet, da die Knotenstelle nicht in die Klemme passen würde. Hier nimmt man einen Kreuzknoten, der bei guter Pflege ebenfalls lange Standzeiten erreichen kann und durch seine schlanke Bauform auch in Fahrzeugklemmen eingelegt werden kann. Auch wenn ein korrekt ausgeführter Spleiss im Zugversuch hervorragende Werte oberhalb der Mindestbruchkraft des Seils erzielt, so stellt er im Betrieb doch eine Schwachstelle für das Seil dar, die gegenüber der freien Seilstecke schneller Schäden entwickeln kann, siehe Kapitel «Verschleissverhalten».

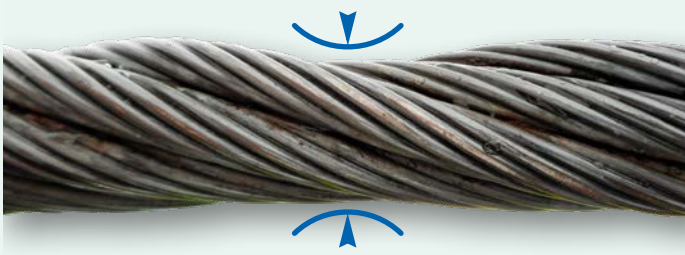
Auch die Stösse arbeiten sich mit der Zeit ein und können dünner werden. Hier ist grösste Vorsicht geboten und bei der Sichtkontrolle genau nach Drahtbrüchen an den Berührstellen in der Litzengasse zu schauen, denn die magnetinduktive Prüfung wird durch die grossen Litzen-Enden im Innern des Seils gestört und verliert ausgerechnet an diesem Punkt ihre Sensibilität.



Parallelknoten der «alten» Schule für fixgeklemmte Anlagen



Schlanker Kreuzknoten, der auch von Fahrzeugen bekuppelt werden kann



Eingefallener Stoss im Spleiss



■ Vergusskegel und Klemmköpfe

Der metallische Verguss ist eine typische Endverbindung für Tragseile, Spannseile und Zugseile von Zweiseilpendelbahnen. Er ist extrem leistungsfähig, denn auf einer Länge von nur fünf Mal Seilnennendurchmesser kann er 100 % der Seilbruchkraft übertragen. Das Seil wird vor dem Vergiessen in seine Einzeldrähte zum sogenannten Besen aufgelöst. Die Drähte werden beim Vergiessen unter ca. 350° Temperatur mit dem Material nahezu verlötet. Unter Belastung zieht sich der Kegel zudem in die Hülse ein, so dass eine Keilwirkung entsteht und die Drähte zusätzlich vom Vergussmaterial eingeklemmt werden. Der Klemmkopf ist eine Schweizer Variante der kegeligen Endverbindung, die mit einfachen Werkzeugen ohne gefährliche Verarbeitungsschritte auskommt und nahezu gleiche Eigenschaften bietet. Das Setzmass eines Kegels ist eine wichtige Beobachtungsgrösse, denn wenn der Kegel kriecht und sich immer weiter hinausbewegt, ist er nicht korrekt verarbeitet worden. Die Geschwindigkeit der Kriechbewegung beträgt dabei etwa wenige Millimeter je Woche.

Empfindlich ist der Kegel jedoch gegen Bewegung und Schwingungen am Seilaustritt, der Wurzel des Kegels. Um hier eine schleichende Zerstörung durch Schwingungen zu vermeiden, werden die Kegel von Zugseilen regelmässig abgeschnitten und erneuert.

Bei den regelmässigen Prüfungen kann man die Wurzel auf lockere Drähte kontrollieren, indem man die äusseren Drähte mit einem kleinen Hammer (z.B. einem Fliesenhammer) rund herum abklopft. Ein gesunder Draht klingt unter Spannung hell (*ping*), ein gebrochener Draht führt keine Spannung mehr scheppert mit einem dumpfen Geräusch gegen seine Umgebung (*pock*). Die Wurzel sollte regelmässig mit Fett geschmiert werden, damit sich hier kein Wasser ansammeln kann.



Schweizer Alternative – **der Klemmkopf**

min 5d

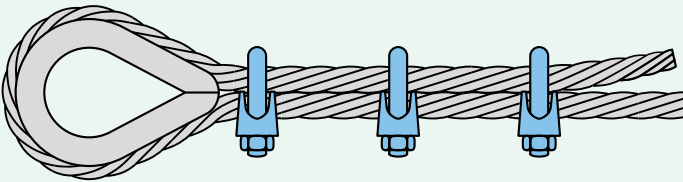
0,25 – 0,5d

5° – 9°

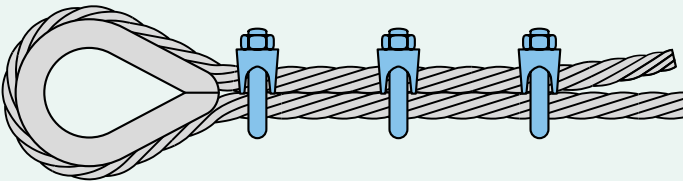
■ Keilschlösser und Seilklemmen

Wenn Seile in der Länge verstellt oder häufig nachgespannt werden müssen, werden bei Zugseilen von Kleiseilbahnen oft Keilschlösser oder bei untergeordneten Seilanwendungen auch Bügelklemmen eingesetzt. Werden diese fachgerecht und vor allem in der richtigen Richtung montiert, können die Seile mit bis zu 90 % der Mindestbruchkraft verankert und regelmässig nachgespannt werden. Bei asymmetrischen Keilschlössern muss der Laststrang gerade in die Hülse einlaufen, die Sicherungsklemme darf nur auf dem schräg herausgeführten Totende montiert werden. Bei Bügelklemmen ist es vor allem wichtig, dass der breite, schonende Sattel auf dem Laststrang montiert wird. Der vergleichsweise scharfe Bügel darf nur auf das Totende gesetzt werden. Ein Merkspruch dazu lautet:

«Saddle nie ein totes Pferd.»



Richtig



Falsch

Klassische Seilendverbindungen in der Bergbahntechnik müssen bei -40 °C eine ausreichende Materialzähigkeit gewährleisten. Symmetrische und asymmetrische Keilschlösser sind nach den Normen EN 13411-6 und -7 jedoch nur für -20 °C beschrieben, so dass viele konventionelle Keilschlösser vor allem in Bestandsanlagen im Einsatz sind. Die Habegger Maschinenfabrik AG und Job Rope Systems haben daher Stahlkeilschlösser aus alternativen Werkstoffen mit optimierten Tieftemperatureigenschaften im Schwingversuch nach EN 13411 erfolgreich getestet und zugelassen.

1,1 – 1,3d

Verschleissverhalten an Spleiss, Klemmen und der freien Strecke

Wenn man äussere Einflüsse wie Blitzschlag oder Windbruch ausser Acht lässt, verschleiss ein Seilbahnseil langsam über einen grossen Zeitraum hinweg durch Ermüdung. Der Stationsdurchlauf hat dabei die grössten Einflüsse auf die Ermüdung, denn hier wird das Seil um die Scheibe gebogen und es treten besondere Wechselwirkungen mit den Fahrzeugen auf.

■ Ermüdung am Spleiss

Am Spleiss wird der gleichmässige Seilverband durch die Knoten und eingesteckten Litzen zum Teil verformt und versteift. Wenn diese Bereiche auf die Scheiben laufen, entstehen erhöhte Pressungen an den Litzenkreuzungen, dazu werden die Drähte an den Knoten etwas mehr daran gehindert, sich gegeneinander zu verschieben und die Biegung des Seils ein wenig auszugleichen. Die Knoten arbeiten somit beim Lauf über Scheiben, während sich Litzen und Drähte an den Kreuzungsstellen mit jedem Scheibenkontakt weiter eingraben, so dass erst Kerben, Korrosion und abschliessend Drahtbrüche entstehen.

Der Spleiss entwickelt dadurch gegenüber der restlichen Seillänge etwas früher Schäden und sollte regelmässig geschmiert werden. Zudem empfiehlt es sich als Faustformel, nach etwa 100 000 Scheibenumläufen eine Sanierung einzuplanen. Dabei wird der Spleiss geöffnet und die Knoten ein Stück versetzt, so dass wieder frische, unbeeinträchtigte Abschnitte in die Knotenstelle gelangen.



Druckspuren an einem Kreuzknoten nach längerem Betrieb

■ Ermüdung unter den Klemmen

Die Fahrzeugklemmen heben an der Scheibe das Seil minimal ab, da das Klemmenmaul im Futter der Scheibe mitgeführt werden muss. Das Seil wird dabei am Klemmenrand fast ein wenig geknickt und erfährt hier hohe Pressungen. Wenige benachbarte Drähte müssen hier den hohen Druck der Klemme in der Scheibe aufnehmen, weshalb man die Klemme regelmässig gegen die Fahrtrichtung der Seilbahn versetzen muss, um erneut unversehrte Drahtabschnitte dem Einfluss des Klemmenbereichs auszusetzen. Nach Norm ist das Versetzintervall t wie folgt zu bestimmen:

$$t = K \times L / V$$

Dabei ist:

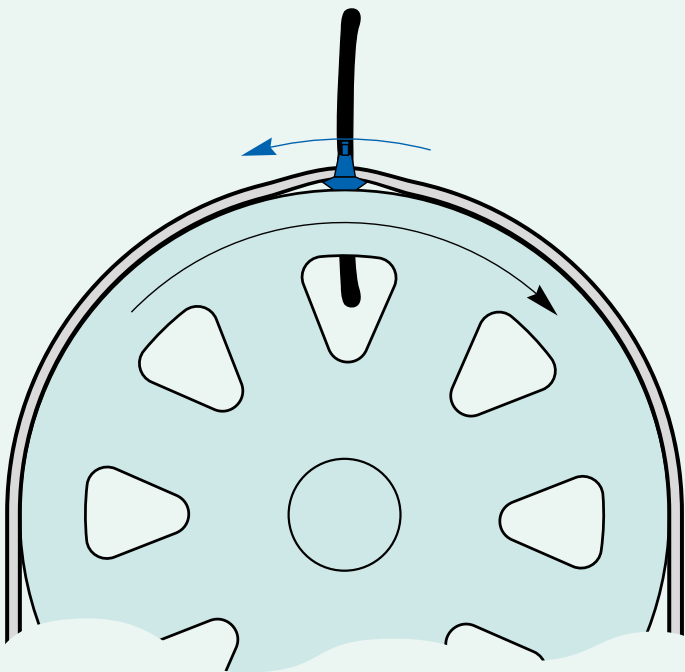
- L Länge der Seilbahn [m]
- V die Geschwindigkeit der Seilbahn [m/s]
- K ein Koeffizient, für Gleichschlageile $K = 0,8$

Die folgende Tabelle erleichtert die Rechnung durch einige Beispiele:

Bahnlänge	Fahrgeschwindigkeit			
	1,5 m/s	2,0 m/s	2,5 m/s	3,0 m/s
300 m	160 h	120 h	96 h	80 h
500 m	266 h	200 h	160 h	133 h
800 m	426 h	320 h	256 h	213 h
1000 m	533 h	400 h	320 h	266 h
1200 m	640 h	480 h	384 h	320 h

Oft merkt man sich das Versetzintervall in Betriebstagen statt in Stunden. Dabei ist es wichtig zu beachten, dass eine ganzjährig betriebene Anlage unter Umständen im Sommer täglich etwas länger fährt als bei früherem Sonnenuntergang im Winter. Dadurch kann der Abstand in Tagen im Sommer kürzer ausfallen als im Winter. Dies kann vor allem bei der Nutzung eines Skilifts durch Downhillbiker vorkommen.

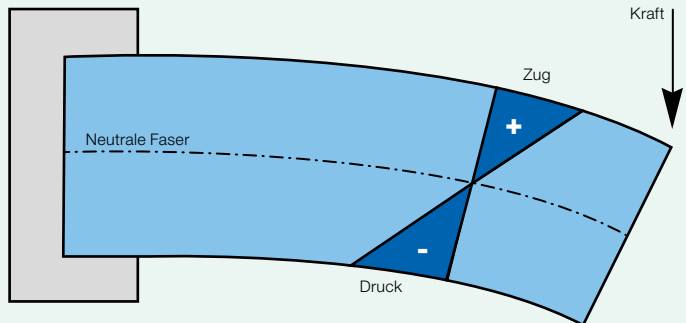
Wird die Klemme nicht ordnungsgemäss versetzt, ist dies eine Garantie für Drahtbruchhäufungen. Bei einem 6×7 genügen zwei Drahtbrüche unter der Klemme, um die höchste Alarmstufe auszulösen – ein Draht mehr, und das Seil ist nach Norm ablegereif.



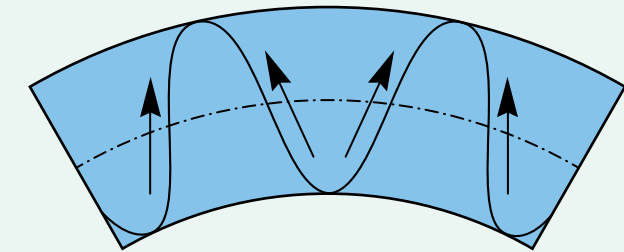
Beim Lauf über die Scheibe hebt die Klemme das Seil ab und kann minimal rückwärts wandern - daher müssen die Gehänge regelmässig ebenfalls gegen die Fahrtrichtung der Seilbahn versetzt werden

■ Ermüdung auf der freien Strecke

Wenn man eine massive Stange biegt, dann entsteht auf der Aussen-seite eine Zugzone und auf der Innenseite eine Druckzone. Dazwischen verläuft nur eine «neutrale» Faser im Material, die sich der Theorie nach nicht verformen muss. Da die Litzen und Drähte eines Seils über eine Schlaglänge hinweg sich im Seilverband verschieben können, kann das Seil einen Teil der Biegespannung ausgleichen. Dadurch wird ein Seil bedeutend biegsamer als ein Vollmaterial.

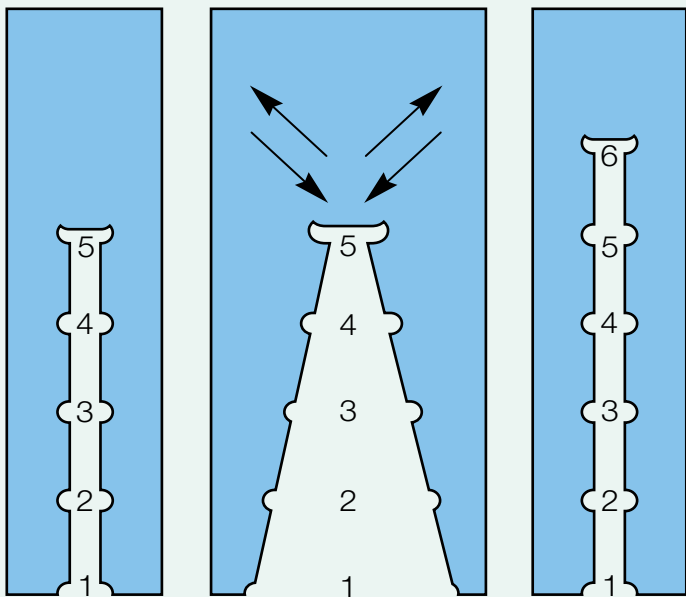


Biegung eines starren Materials mit Zugzone, Druckzone und neutraler Faser



Verschiebung der Drähte eines gebogenen Seils

Die Draht- und Litzenverschiebungen im Seil geschehen unter Reibung. Dadurch wird das Aneinander-Vorbeigleiten der Drähte zu einem Verschleissvorgang. Ausserdem bleibt ein Teil der Biegung für den Draht bzw. die Litze erhalten, da die Bewegung durch die Reibung ein Stück weit ausgebremsst wird. Der Umlauf des Seils über Scheiben sorgt also für eine Verschiebung und Biegung des Seilverbandes, je kleiner die Scheibe gegenüber dem Seildurchmesser ausgeführt ist, desto stärker muss das Seil nachgeben. Dies hat direkten Einfluss auf die Lebensdauer der Drähte und des Seils. Daher sind für Seilbahnen feste Grössenordnungen für den Scheibendurchmesser vorgegeben: dieser muss bei den meisten bewegten Seilen mindestens beim 80-fachen Seildurchmesser liegen.

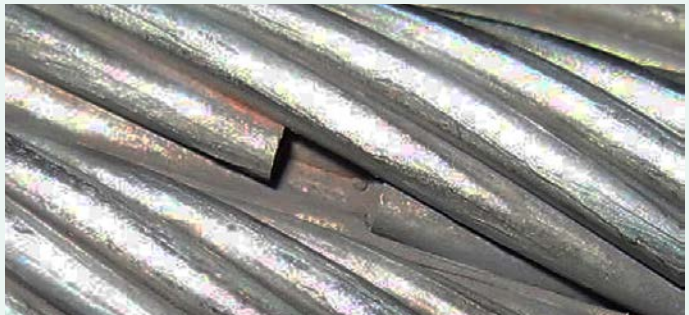


Rissentstehung je Biegezyklus

Je geschmeidiger das Seil ist, desto schonender läuft dieser Vorgang ab. Ist ein Seil hingegen trocken oder sogar schon korrodiert, wird die Gleitbewegung aufgehalten. Die Drahtspannung steigt beim Biegen und das Seil verschleiss umso schneller. Unter Ermüdung versteht man eine schleichende Verfestigung des Materials insbesondere an der Oberfläche. Mit der Zeit beginnt die harte Oberfläche auf mikroskopischer Ebene einzureissen. Mit jeder Biegung wächst dieser Riss nun in das Material hinein – bis der Draht bricht. Man kann an der Bruchfläche eines Drahtes erkennen, wie der Riss in den Draht hineingewachsen ist. Ähnlich den Jahresringen eines Baums zeigt sich ein ebener Anteil Bruchfläche, die sich senkrecht – wie geschnitten – zur Drahtachse entwickelt hat. Der geschwächte Restquerschnitt des Drahtes versagt als Gewaltbruch, dieser Bruchflächenanteil ist chaotisch geformt.



Detail eines Ermüdungsbruchs mit ebener Bruchfläche im Seilbahnseil



Klassisches Erscheinungsbild im Seilbahnseil

Wie sich die Ermüdung durch wiederholte Biegung auf Drahtbrüche und die Lebensdauer des Seils auswirken kann, wird im folgenden Kapitel beschrieben.

Lebenszyklus eines Seils

Nach der Montage setzt und dehnt sich ein Seil und muss in den meisten Fällen nach einer kurzen Betriebszeit nochmals gekürzt werden. Verschiedene Literaturen geben dabei für Litzenseile mit Massivpolymereinlage eine bleibende Dehnung oder Längung von ca. 1,5m/km an, für Seile mit konventionellen Kunstfasereinlagen liegt die bleibende Dehnung etwa zwischen 2 und 3,5 m pro Kilometer Seillänge.

Wenn Seile mit dem laufenden Betrieb ermüden, dann entwickeln sie mit der Zeit immer schneller Drahtbrüche. Man kann den Ermüdungsprozess der Drähte im Seil mit der Erschöpfung von Läufern bei einem Marathonlauf vergleichen. Alle Läufer erleben eine anspruchsvolle, kräftezehrende Wegstrecke und je näher sie dem Ziel kommen, desto mehr Teilnehmer geben aufgrund der grossen Anstrengung auf. Die vielen Drähte im Seil ermüden und brechen umso schneller, je länger das Seil durch fortwährende Biegung belastet wurde und je kürzer es vor dem Ende seiner Einsatzdauer steht.



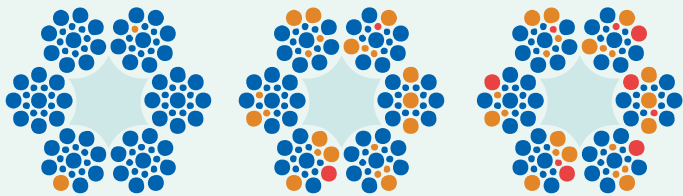
Beispiel Marathonlauf – kurz vor dem Ziel sind die meisten Läufer der Erschöpfung nahe

Dass gegen Ende der Seileinsatzdauer bzw. Seillebensdauer immer schneller immer mehr Drähte versagen, nennt man eine exponentielle Entwicklung. Die Fortentwicklung lässt sich sogar sehr gut vorhersagen, wenn man bereits einige magnetinduktive Seilprüfungen und die jeweilige Anzahl der Drahtbrüche vorliegen hat. Wenn man eine Kurve hindurchlegt, wird das Seil in den meisten Fällen dieser Kurve auch in Zukunft folgen.

Beispielhafte Ermüdung der Drähte im Seilquerschnitt über die Einsatzdauer des Seils

Orange: Drähte mit fortgeschrittener Ermüdung

Rot: gebrochene Drähte

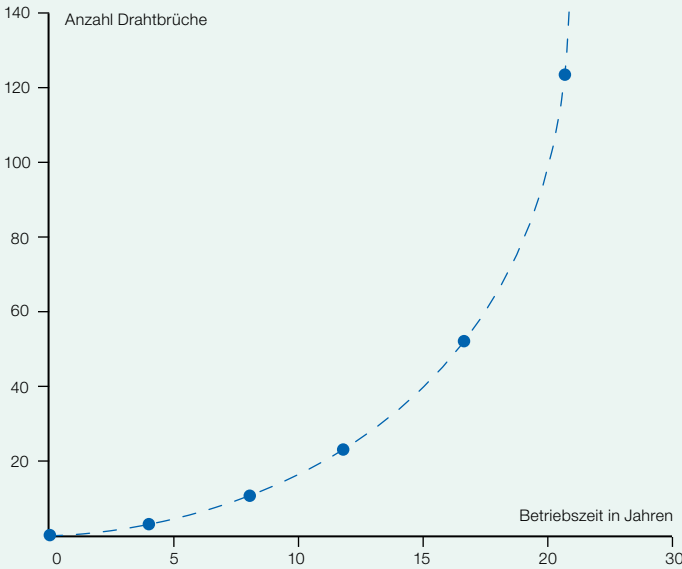


Start: 0 h

Mitte: ca. 25.000h

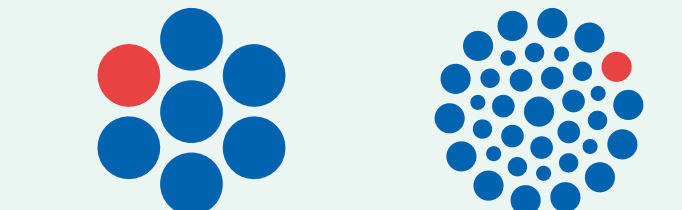
Ende: ca. 50.000h

Dieser Trend ist ein wichtiges Kriterium, um den Termin für die nächste Seilprüfung festzulegen. Wenn man zu lange mit der nächsten Prüfung wartet, können aus 200 Drahtbrüchen im Seil innerhalb von drei Jahren leicht über 1000 werden. Es hängt vor allem von der Dimensionierung der Seilbahnanlage, ihrer Länge und Anzahl der Scheiben in den Stationen und von ihren Betriebszeiten ab.



Beispiel für die exponentielle Entwicklung von Drahtbrüchen in einem Seilbahnseil

Hinzu kommt, dass ein Drahtbruch nicht für jede Seilkonstruktion gleichbedeutend ist. Wenn man sich die Querschnitte eines Skiliftseils mit nur sieben Drähten je Litze und eines Förderseils einer grossen Kabinenbahn mit 36 Drähten je Litze ansieht, dann ist der Anteil eines gebrochenen Drahtes unterschiedlich gross.

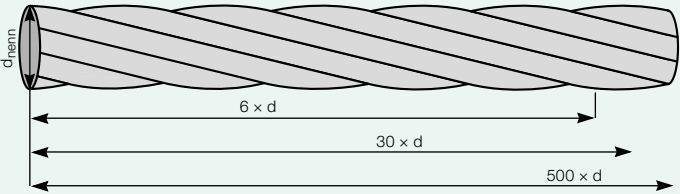


Vergleich der Querschnittsfläche eines Drahtes in einer 7-drähtigen Litze zu einer Warrington-Seale Litze mit 36 Drähten

In der Norm sind die Beurteilungskriterien nicht in der Anzahl der Drahtbrüche, sondern in Prozent des «theoretischen Querschnittsverlusts» angegeben. Beim Zählen von Drahtbrüchen und der Bewertung eines Seils ist es also sehr wichtig zu wissen, wieviel Prozent am Gesamten Seilquerschnitt ein gebrochener Aussendraht dieser speziellen Seilkonstruktion ausmacht. Im Folgenden sind diese prozentualen Anteile angegeben.

Seilkonstruktion		Querschnittsanteil je gebrochenem Aussendraht
6×7-FC		2,38 %
6×17S-FC		1,52 %
6×19S-FC		1,27 %
6×36WS-FC		0,60 %

Dazu werden die Drahtbrüche auf einer bestimmten Bezugslänge bestimmt:

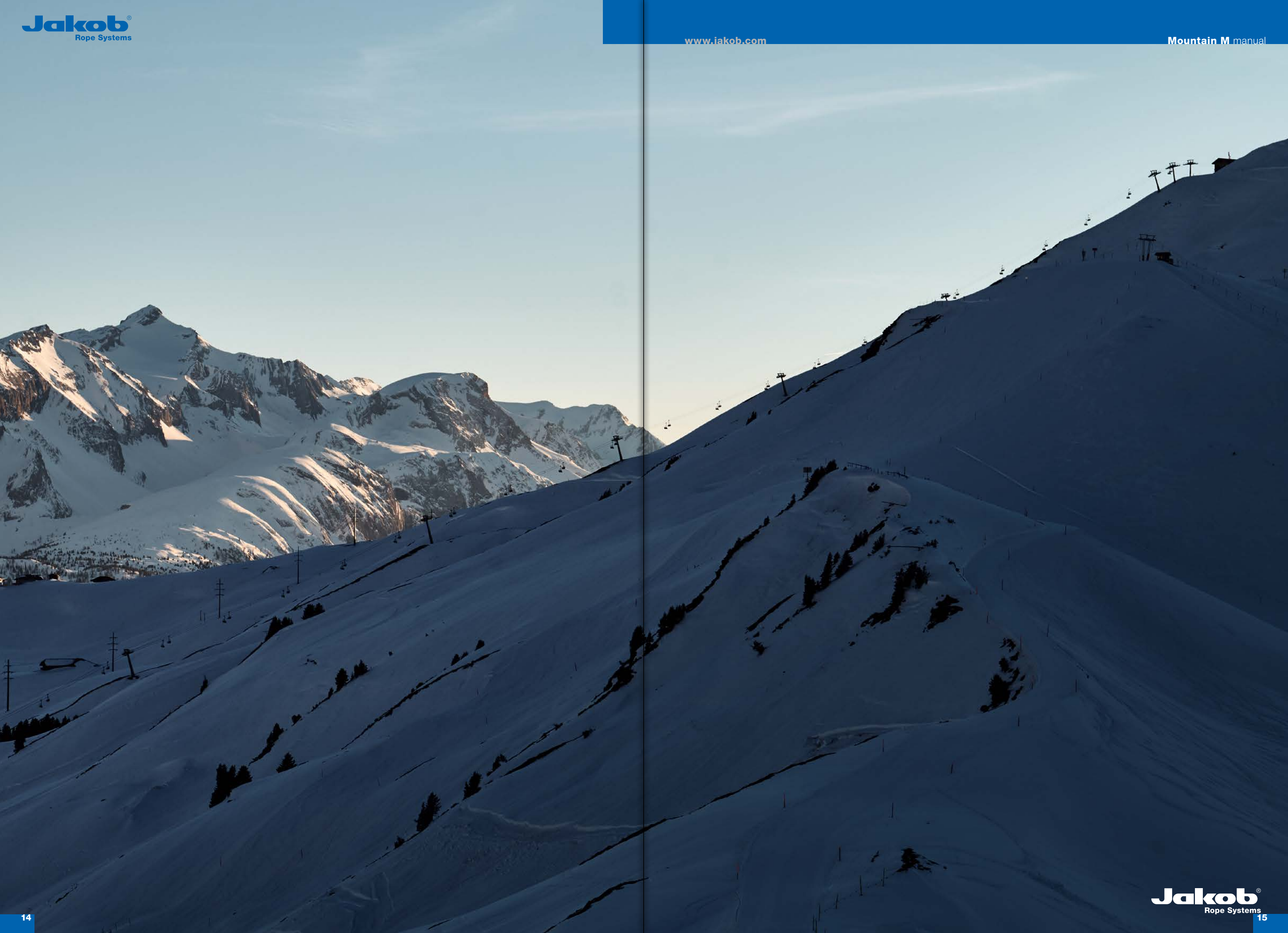


Die kurze Bezugslänge von nur sechsmal Seilnenndurchmesser (6×d) ist vor allem für lokale, äussere Einflüsse bestimmt. Dies können Entgleisungen, gerutschte oder nicht versetzte Fahrzeugklemmen, Blitzschläge oder Schäden durch umgestürzte Bäume sein.

Die mittlere Bezugslänge (z. B. 30×d) behandelt den durchschnittlichen Bruchkraftverlust des Seils durch Drahtbrüche und Korrosion. Der hier ermittelte Querschnittsverlust entspricht am ehesten der real noch verfügbaren Tragkraft des Seils – sofern nicht eine stärkere Schwächung auf 6×d existiert.

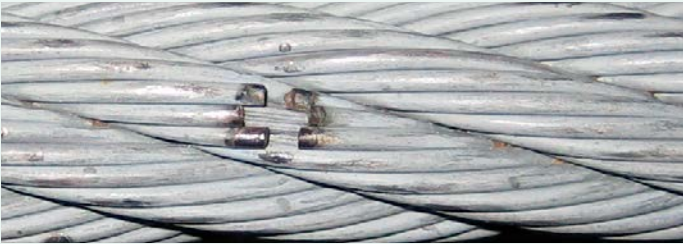
Die grosse Bezugslänge (500×d) ist ein Mass für die Entwicklungsrate der Drahtbrüche. Hier erlaubt die Norm bisher einen theoretischen Tragkraftverlust von bis zu 25%. Dies entspricht nicht einem realen Wert, sondern dient nur der Zählung von Drahtbrüchen und der Prognose ihrer Weiterentwicklung. In Wirklichkeit sind die Drahtbrüche über 500×d so weit verteilt, dass nicht alle Drahtbrüche gleichzeitig wirken können.

Ein gebrochener Draht trägt in etwa in einem Abstand von 2-3 Schlaglängen (etwa 20×d) zur Bruchstelle wieder, da ihn die Reibung im Seil sichert und der Draht wieder Spannung aufnehmen kann. Daher kann auf grossen Längen keine Überlagerung der Wirkung von Drahtbrüchen stattfinden. Übertrieben ausgedrückt kann in einem Seil jeder Draht mindestens einmal oder sogar mehrmals gebrochen sein. Solange die Drahtbrüche gleichmässig verteilt sind, kann das Seil unter Umständen noch kurzfristig betriebssicher sein. Bei einer hohen Drahtbruchzahl sollten jedoch alle Alarmglocken klingeln – das Ziel des Marathonlaufs, der Lebensdauer-Ende des Seils, ist nahezu erreicht.



Lebenszyklus eines Seils

Seilbahnseile müssen nach EN-Norm durchschnittlich alle 3 Jahre magnetinduktiv geprüft werden. Die MRT-Methode nutzt ein physikalisches Prinzip: das Seil wird einem starken Magnetfeld ausgesetzt, das von groben Störungen und gebrochenen Drähten abgelenkt und in die Luft gestreut wird. Diese Streufelder können in einer Kupferspule mit hoher Sicherheit einen induktiven Spannungsimpuls auslösen, wenn sie mit dem Seil durch das Messgerät bewegt werden. Alternativ kann das Streufeld auch durch Hall-Effekt-Sensoren erfasst werden. Die Spitzen im Messsignal bzw. Drahtbruchsignale sind von den zugelassenen MRT Prüfsystemen sicher messbar und reproduzierbar.



Häufung von Drahtbrüchen – kann sehr gut magnetinduktiv erkannt werden



Abrieb auf der Drahtoberfläche – für den Magnet nicht auffindbar

Der Magnet erfasst grundsätzlich gröbere, ausgeprägte Schäden. Kleinere Defekte, Korrosion, Kratzer, Blitzschläge und Drahtverformungen können dieser Methode unter bestimmten Bedingungen entgehen. Gerade diese Schadensarten erlauben aber ein Handeln, bevor ein Schaden sich zu Drahtbrüchen entwickeln kann. Schäden, die in der Sichtprüfung erkannt werden, können oft durch Ausschleifen, Nachschmieren, Ausbrechen von losen Drahtenden oder ähnlichem beruhigt oder ausgebessert werden.

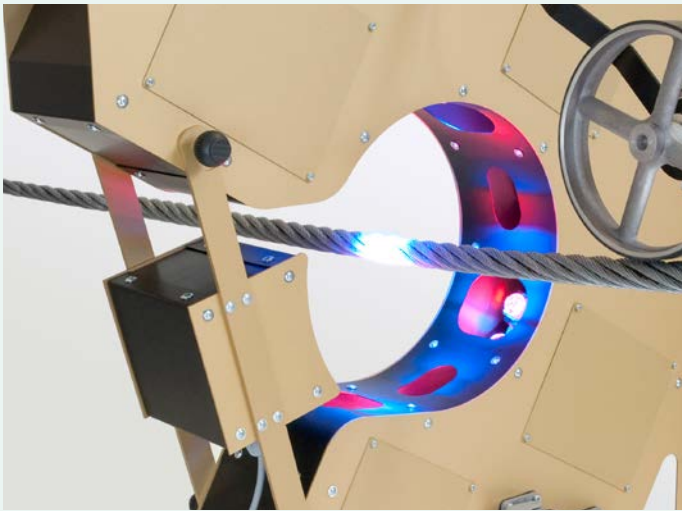


Blitzschlag – die Oberflächenverfärbungen neben den Drahtbrüchen lassen sich unter Umständen noch retten [Quelle: IFT Uni Stuttgart]



Reibmartensit durch Rutschen einer Klemme – durch Abschleifen können hier Drahtbrüche verhindert werden [Quelle: IFT Uni Stuttgart]

Daher ist die Sichtprüfung als Ergänzung und Verifizierung des magnetinduktiven Prüfergebnisses sinnvoll und vorgeschrieben. Inzwischen existieren sogar digital-optische Systeme, mit denen die Prüfung unterstützt werden kann und umfangreiche Bild- und Geometriedaten des gesamten Seils erzeugt werden können.



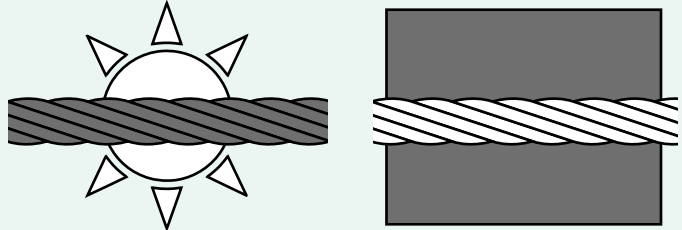
Digitaloptisches Gerät zur Unterstützung der Seilprüfung [Quelle: Winspect GmbH]

Über die notwendige Häufigkeit und korrekte Seilgeschwindigkeit der Sichtprüfung wird auf internationaler Ebene viel diskutiert. Die Entwurfssfassung der neuen EN 12927 wird hier nach aktuellem Stand ein neues System vorstellen, wie eine Seilbahn individuell eingestuft werden kann. Der Prüfaufwand wird dann nicht mehr pauschal ermittelt, sondern fair und anlagenbezogen.

In einem Forschungsprojekt der Internationalen Organisation für das Seilbahnwesen (O.I.T.A.F.), der Stiftung für Unterstützung und Forschung im Bereich Seilbahnen (SUSF) und des Schweizer Bundesamts für Verkehr (BAV) zur Effizienz der Sichtprüfung wurden wichtige Informationen gewonnen, welche Bedingungen besonderen Einfluss auf die Treffsicherheit der augenscheinlichen Seilkontrolle haben.

Der Bericht ist öffentlich auf der Homepage des BAV zugänglich. Hier sollen nur die beiden wichtigsten Ergebnisse kurz aufgeführt werden:

- Ein sicherer, bequemer Stand oder Sitz des Prüfpersonals ist von immenser Wichtigkeit für die Prüfqualität. Wer Positionen ausgleichen muss oder Unsicherheit beim Aufenthalt in der sich bewegenden Anlage verspürt, kann nicht konzentriert prüfen. Leitern sollten unbedingt fest gesichert werden und bequeme Sitzmöglichkeiten geschaffen werden
- Gute Lichtverhältnisse und ein ruhiger, dunkler Prüfhintergrund sind sehr wichtig. Wer unter Gegenlicht, gegen eine Plakatwerbung oder gar bei flackernden Lichtverhältnisse z.B. von Speichen einer sich drehenden Seilscheibe prüfen muss, kann Details auf dem Seil leicht übersehen. Der Prüfplatz ist gut zu beleuchten, starke Sonneneinstrahlung sollte jedoch abgeschirmt werden. Durch Anbringen z.B. eines dunklen Hintergrundes hinter dem Seil kann man sich hervorragend auf die Seiloberfläche konzentrieren.



Verbesserungspotential: Gegenlicht kann durch eine graue Pappe ausgeschaltet werden

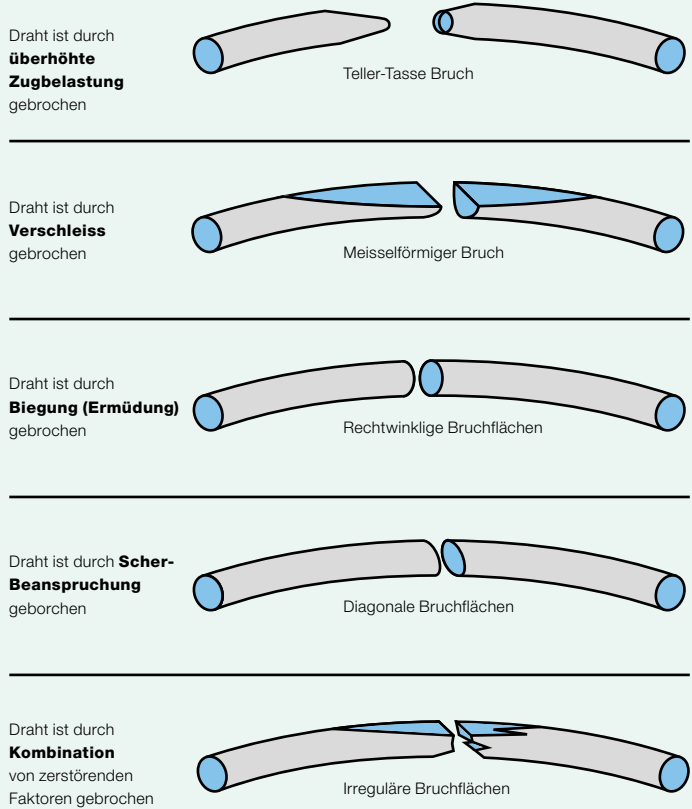
Aus dem Projekt heraus wurde ein einfaches Bewertungssystem entwickelt, mit dem man die Güte seiner Eigenen Prüfsituation für jeden Arbeitsplatz bepunkten kann. Man sieht sofort anhand der Bewertung, an welcher Stelle mit einfachen Hilfsmitteln nachgebessert werden kann, sollte die Bewertung einmal nicht zufriedenstellend ausfallen.

Wird ein Schaden entdeckt, sollten der Ort, das Entdeckungsdatum und die Art des Schadens unbedingt notiert werden. Ein Foto mit dem Handy kann zudem bei Rückfragen des Betriebsleiters oder der verantwortlichen Prüfstelle hilfreich sein:

v	Position [ab Spleiss]	Typ	Foto
1/2017	38 m	Drahtbruch	0001.jpg
2/2017	139 m	2 Drahtbrüche	---
1/1997	456 m	Klemme gerutscht	---
...	...	...	...

Beispiel für die **Protokollierung der Sichtkontrolle**

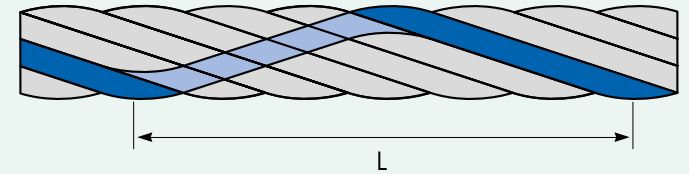
Am Aussehen eines Drahtbruchs kann man gewisse Rückschlüsse ziehen, was dem Seil widerfahren ist. Der Ermüdungsbruch wurde bereits ausführlich behandelt. Die nachfolgende Übersicht zeigt einige Beispiele für charakteristische Bruchflächenformen und ihre Bedeutung. Auf welche Weise man auf bestimmte Schäden reagieren kann, wird im nächsten Kapitel erklärt.



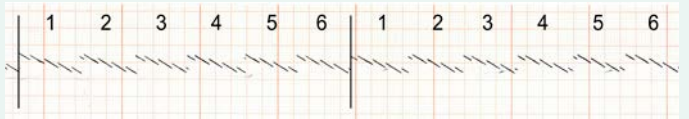
Beispiele für charakteristische **Bruchflächenformen und ihre Bedeutung**

Schlaglängenmessung

Die Schlaglänge ist gemäss EN12927 regelmässig auf der freien Strecke und in der Nähe der Endverbindungen zu messen und zu dokumentieren. Die Messung sollte über mindestens 2-3 Schlaglängen erfolgen, um Ablesefehler zu minimieren.



Schlaglänge des Seils



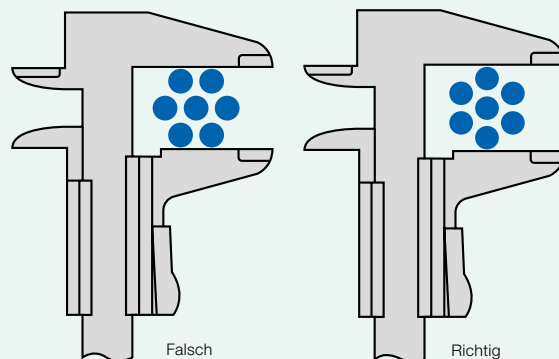
Durchpausen der Schlaglänge mit Millimeterpapier und Bleistiftmine

Dazu können ein klassischer Meterstab und ein wasserfester Filzstift (Edding) verwendet werden, um die zu messende Litze wiederholt entlang dem Seil zu markieren. Andere Techniken sind das Durchpausen der Seiloberfläche mit einer Bleistiftmine auf Millimeterpapier oder die Messung mit elektronischen oder mechanischen Lehren.

Vergleichende Messungen des IFT Universität Stuttgart haben gezeigt, dass bei gewissenhafter Ausführung der Messung zwar unterschiedliche Wiederholgenauigkeiten erreicht werden, die durchschnittlichen Messunterschiede zwischen den Methoden aber für den Seilbahnbetrieb vernachlässigbar sind. Bei Abweichungen in der Grössenordnung +/- 15 % der Nennschlaglänge ist eine fachkundige Person hinzuzuziehen und der Grund für die Abweichung ausfindig zu machen.

Durchmessermessung

Während der Durchmessermessung sollte auf ein korrektes Ansetzen des Messmittels geachtet werden. Der Seildurchmesser ist gemäss EN 12927 regelmässig auf der freien Strecke und in der Nähe der Endverbindungen zu messen und zu dokumentieren. Bei Langspleissen in Zug- und Förderseilen, insbesondere von kuppelbaren Umlaufbahnen, sind zudem die Knoten und Einsteckenden auf schleichende Veränderungen und unzulässige Massabweichungen zu prüfen.



Korrektes Ansetzen des Messschiebers am Seil

In jedem zu messenden Bereich ist der Durchmesser zweifach zu messen und der Mittelwert zu bilden. Dazu kann der Messschieber geringfügig entlang dem Seil versetzt und um ca. 90° gedreht werden. Die Messung kann dabei leicht um wenige Zehntelmillimeter abweichen, je nachdem, wer die Messung durchführt und wie stark auf den Messschieber gedrückt wird. Daher sollten nicht zu viele verschiedene Personen mit den Messungen betraut werden. Im Zweifelsfall können die zuständigen Mitarbeiter/innen eine Messung gemeinsam durchführen und die Vorgehensweise und Ergebnisse vergleichen.



Messschieber mit breiten Backen für Seile

Mit fortlaufender Einsatzdauer wird der Seildurchmesser durch Verschleiss von Drähten und Einlage kleiner werden. Ist der Durchmesser um mehr als 10 % des Nenndurchmessers reduziert, ist das Seil abzulegen. Einfacher lässt sich das Seil mit einem speziellen Messschieber für Drahtseile prüfen. Dieser hat extra breite Backen, so dass man sicher den umschreibenden Seildurchmesser trifft und das Messmittel exakt rechtwinklig zum Seil hält.

Wartung und Pflege

«Sichtbare Mängel sind schnellstmöglich zu beseitigen. Ihr Bestehenbleiben zeugt nur von mangelhafter Wartung.»

Dieser Satz stammt zwar aus einer einhundert Jahre alten Bedienungsanweisung für eine kleine Generatoren-Anlage, sollte aber auch heute noch für Seile und Seilbahnanlagen gelten.

Für Seile und die angrenzenden technischen Bauelemente bedeutet dies vor allem ein guter Reinigungs- und Schmierzustand. Schmutzige Seile mit schwarz verklebten Litzengassen wirken nicht nur auf den Fahrgast, als wären Sie ausser Acht gelassen, sondern sie erlauben auch keine sorgfältige Sichtprüfung und können somit Schäden unter den Schmutzschichten verbergen. Zudem kann sich Schmutz unter bestimmten (Witterungs-)Bedingungen an Rollen und Scheiben lösen und sorgt hier für eine empfindliche Verschmutzung der Seilbahnanlage.

Ist ein Seil jedoch vollkommen trocken und wird im Betrieb nicht nachgeschmiert, so kann es Korrosion in den Draht- Litzengassen entwickeln, die als kontinuierliche rote Streifen sichtbar wird und in letzter Konsequenz zu Drahtbrüchen an schlecht einsehbaren Stellen führen kann. In den folgenden Abschnitten werden einige Möglichkeiten genannt, wie man das Seil fachgerecht pflegen kann.

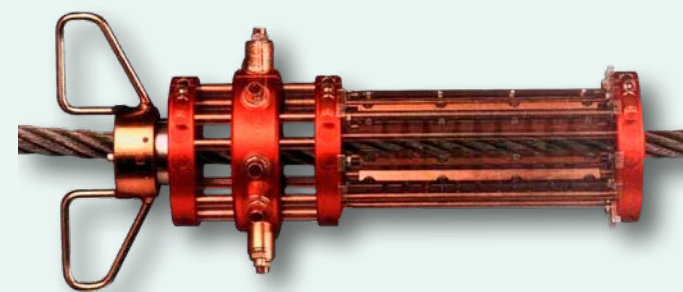


Korrosion in der Litzengasse fällt nicht nur von weitem ins Auge, sondern kann auch zu schwer erkennbaren Drahtbrüchen führen [Quelle: IFT Uni Stuttgart]

Reinigung

Zur Reinigung von Seilen sollte unbedingt auf aggressive Mittel wie Bremsenreiniger, Waschbenzin oder Azeton verzichtet werden, da vor allem die innere Schmierung, die Fasereinlage und Rolleneinlagen davon beschädigt werden können. Reinigungsmittel sollten niemals direkt auf das Seil gesprüht, gepinselt oder gar geschüttet werden. Stattdessen ist ein Putzlappen mässig damit zu tränken und dann das Seil damit abzuwischen. Fettthaltige Verschmutzungen lassen sich entweder bei warmen Temperaturen im zähflüssigen Zustand auch ohne Hilfsmittel abwischen, oder man geht gezielt den anderen Weg und bricht die Verunreinigungen mit Hilfe von Trockeneis im gefrorenen Zustand ab.

Eine oft angewandte Methode ist der sogenannte Seiligel, der mithilfe von Bürsten die Litzengasse reinigt. Solche oder im Wirkprinzip ähnliche Systeme bieten diverse Dienstleister für Seilreinigungen an oder verleihen diese.



Seiligel zur Reinigung bis in die Litzengasse [Quelle: Fatzer AG Wire Ropes]

Schmierung

Die O.I.T.A.F. hat mit dem Heft Nr. 28 einige Empfehlungen zur Schmierung von Seilen veröffentlicht. Die wichtigsten Grundsätze daraus, mit wenigen Ergänzungen von Jakob Rope Systems, sind dabei:

- Gesamte Seillänge: Die Nachschmierhäufigkeit sollte unter Berücksichtigung der Fahrtenhäufigkeit (Anzahl der Biegezyklen über Scheiben in den Stationen) und der Umwelt festgelegt werden.
- Im Allgemeinen sollte mindestens jährlich nachgeschmiert werden.
- Wenn man ein Seil einmal nachgeschmiert hat, sollte es immer konsequent weiter nachgeschmiert werden.

Bei Spannseilen wird empfohlen, dass der Seilbereich, der um die Spannscheibe gebogen wird, mindestens monatlich z.B. nach der regulären visuellen Inspektion nachgeschmiert wird.

Im Spleissbereich sind die Knoten und Stösse bei den regelmässigen Sichtprüfungen im Anschluss mit einem geeigneten Schmiermittel nachzuschmieren. Spleissknoten und Stösse von Bergbahnseilen der Jakob Rope Systems dürfen mit dem Schmiermittel Typ Elaskon Unolit Spray Oil durch Besprühen oder mittels eines Pinsels nachgeschmiert werden. Dabei sind die Stellen nur dünn zu überziehen und gegebenenfalls nach einer kurzen Einwirkzeit abzuwischen. Der Spleissbereich darf nicht in Schmiermittel getränkt werden.

Die Schmierung der gesamten Seilstrecke sollte idealerweise mit einem passenden, dünnflüssigen Öl durchgeführt werden, das sparsam, aber kontinuierlich aufgetragen wird. Dadurch bewahrt das Seil eine saubere Oberfläche, es entstehen wenig Ablagerungen und die Rollengummis werden nicht mit Öl getränkt. Auf vielen Anlagen bestehen einfache Hilfsmittel zum Auftragen von Schmiermittel wie Tropföler, Kleinstmengen-Pumpen und Schmierpinsel. Inzwischen sind auch automatische Systeme zur Unterstützung bei der fachgerechten Schmierung auf dem Markt erhältlich.

Alternativ können bei Dienstleistern auch einmalige Nachschmierungen der gesamten Seilstrecke mit technischen Hilfsmitteln beauftragt werden.



Sprühlanze zur Nachschmierung von Seilen



Schmierung mittels Geschwindigkeitssensor und automatischer Dosierung [Quelle: Elaskon / ROTEC GmbH]

■ Wartung und Instandsetzung

Werden bei der Sichtprüfung Schäden entdeckt, können diese in einigen Fällen nachbehandelt werden, um die Weiterentwicklung von Drahtbrüchen zu vermeiden. Was mitunter auf den ersten Blick unprofessionell wirken kann, schützt benachbarte Drähte vor Kerben oder verhindert ein Risswachstum an beschädigten Drahtoberflächen.

Abstehende gebrochene Drähte können sich beim weiteren Lauf über Rollen und Scheiben umbiegen und quer über benachbarte gesunde Drähte legen. Dies kann zu empfindlichen Kerben an vielen Drähten an derselben Stelle führen, so dass das Seil beschleunigt die Ablegereife auf $6 \times d$ erreichen kann. Solche absteigen Drahtenden sollten daher unbedingt durch Hin- und Herbiegen am Eintritt ins Seilinnere herausgebrochen werden. Bei besonders dicken, hochfesten Drähten können zum Umbiegen Schraubenzieher und Hammer verwendet werden, diese sind jedoch mit Vorsicht einzusetzen! Die Nachbardrähte sollten bei den Arbeiten nicht gekerbt werden.

Werden bei der Sichtprüfung Drahtoberflächen entdeckt, die durch gerutschte Klemmen, Anstreifer oder Blitzschläge beansprucht oder verfärbt wurden, so sollten diese unbedingt leicht ausgeschliffen werden. Dazu kann man am besten Finger- bzw. Schlüsselfeilen verwenden, da man mit diesen gezielt nur einen Draht erreichen kann. Dies verhindert ein Risswachstum durch Beruhigung der Drahtoberfläche. Die spröden Schichten werden dadurch entfernt. Anschliessend kann man die Drähte mit etwas Fett oder Öl bestreichen, so dass die blanke Stelle nicht gleich zu korrodieren beginnt. Im Betrieb bleibt die Oberfläche durch den ständigen Rollenkontakt blank.

Besondere Schadstellen am Seil müssen regelmässig kontrolliert werden. Daher ist es üblich, diese für ein schnelleres Auffinden z.B. mit Lackfarbe zu markieren. Wichtig ist jedoch, nicht direkt auf die Stelle zu sprühen, sondern etwa handbreit vor und nach der Schadstelle zu markieren. Vermeiden Sie dabei Farben wie Rot oder Orange, da diese auch vom Fahrgast als Warnung verstanden werden können. Neutrale Farben erleichtern die Auffindbarkeit und erzeugen bei Dritten keine Zweifel an der Beschaffenheit des Seils.

Wenn sich an einer Litze oder in einem Seilabschnitt nichts mehr retten lässt, kann unter Umständen eine Reparaturlitze oder ein Reparaturstück (Repstück) eingespleisst werden. Dazu sollte man eventuelle Restlängen nach dem Einziehen eines Neuseils unbedingt aufheben. Für Seilbahnen mit einer hohen geforderten Verfügbarkeit, z.B. im ÖPNV, kann es sich lohnen, eine gezielt dimensionierte Überlänge zu ordern und vorrätig zu halten, so dass im Ernstfall schnell ein Repstück eingesetzt werden kann, welches die Zeit bis zur Fertigung eines komplett neuen Seils überbrücken kann.



Abstehender Draht, der seine Nachbarn kreuzt [Quelle: IFT Uni Stuttgart]



Gleiche Stelle nach Herausbrechen des Drahtes [Quelle: IFT Uni Stuttgart]



Kerben an der Seiloberfläche, wenn ein Drahtende nicht rechtzeitig entfernt wird
[Quelle: IFT Uni Stuttgart]



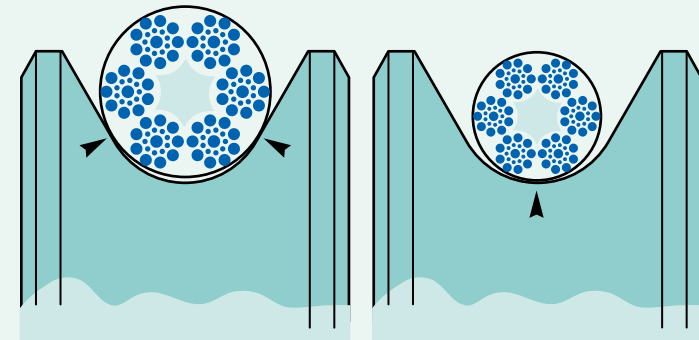
Durch **Blitzschlag** beschädigte Drähte [Quelle: IFT Uni Stuttgart]



Sanierte Stelle nach dem Ausschleifen [Quelle: IFT Uni Stuttgart]

Beim Seilwechsel sollte zudem unbedingt an die berührenden Stützelemente wie Rollen- und Scheibeneinlagen gedacht werden. Der Rillenradius kann sich mit dem alten Seil eingearbeitet haben, so dass ein neues Seil, dessen Durchmesser noch etwas über dem Nenndurchmesser liegt, in den Rillen klemmen kann. Zwar arbeitet sich dieser Zustand mit der Zeit heraus, dies führt jedoch zu hohen Pressungen für das Seil – und zu Drall. Fast ebenso verhält es sich bei zu grossen Rillen: das Seil ovalisiert und taumelt mangels Seitenführung in der Rille hin und her, so dass meist erhöhter Drall festgestellt werden kann. Ovalisierung bedeutet zudem, dass das Seil in der Rille zusammenfällt und Verformungsarbeit leisten muss. Diese kann sich zur schädlichen Reibung zwischen Drähten und Litzen auswirken. Die Rillen sollten daher ideal nach Norm passen: der optimale Rillenradius liegt bei $r = 0,53 \times d_{\text{Nenn}}$, dies entspricht einem Übermass des Rillendurchmessers von 6 %.

Auch die korrekte, hochgenaue Fluchtung von Rollen und Scheiben zur Seilachse ist wichtig. Wenn das Seil unter Schrägzug den Rillengrund erst entlang der Flanke erreichen muss, entsteht schon bei kleinen Fehlern viel Drall.



Pressung an den Flanken **bei zu kleiner Rille** – das Seil wird drehen

Ovalisierung und Pressung **bei zu grosser Rille** – das Seil wird taumeln und drehen



Flach ausgefahrenes Rillenprofil, das Seil bzw. die Klemmen haben schon das Leitblech berührt



Fressspuren eines Seils können z.B. in einer zu engen Scheibeneinlage in dieser Form in Erscheinung treten - auch auf beiden Flanken der Rille



Litzen und Drähte haben an den **Berührstellen vor dem Bruch** des Drahtes aneinander gerieben



Spleissarbeiten am Litzenseil – dies kann auch Reparaturzwecken dienen

Kunstfaserseile in Schlepliften

■ Schlepliftförderseil

Schlepliftförderseile aus Polyester sind ähnlich den Drahtseilen für Umlaufbahnen aus Litzen geschlagen (auch Trossenschlag genannt), denn sie werden zum durchgehenden Ring gespleisst. Die Fahrgäste – meist Kinder – können das Seil direkt anfassen und finden durch die grobe, drei- oder vierlitzige Struktur einen sicheren Halt. Dafür muss das Seil einen entsprechenden Durchmesser bieten, meist ca. 16 bis 18 mm. Faserseile sind generell empfindlich gegen Abrieb und Kontakt mit scharfen Gegenständen, deshalb muss das Seil regelmässig auf sein Erscheinungsbild hin kontrolliert und bei entsprechender Fransenbildung, Verformung und Dehnung getauscht werden. Der Spleiss selbst stellt eine empfindliche Stelle dar und kann sich schneller verformen und verschleissen als die freie Seilstrecke, daher ist dieser besonders sorgfältig zu kontrollieren.



18 mm **Schlepliftförderseil** aus Kunstfasern im Trossenschlag

■ Bügelseile

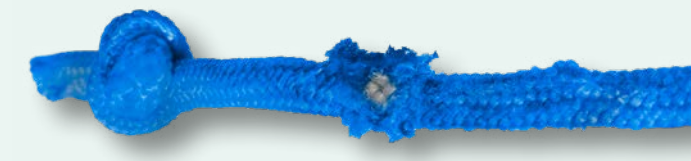
In den Einziehapparaten von Bügelliften werden sogenannte Kern-Mantelseile aus Polyester eingesetzt. Diese sind leicht, weich und sehr biegsam. Die Idee eines Kernmantelseils ist, dass sich im Seilinnern tragende Fasern befinden, die von einem separat geflochtenen Mantel geschützt werden. Für den Bügellift ist die Konstruktion ideal: der Mantel schützt das innere Seil vor Abschürfungen durch die Benutzung oder den Spulapparat und hält zusätzlich UV-Strahlung und Verschmutzungen vom Kernseil fern. Ein defekter Mantel ist somit eine gute und rechtzeitig erkennbare Anzeige, um das Seil noch im sicheren Zustand wechseln zu können. Ist der Kern selbst erst einmal betroffen, besteht das Risiko eines Seilrisses.



Bügelseile in unterschiedlich farbigen Ausführungen

Die Bügelseile dürfen nur in einwandfreiem Zustand verwendet werden und müssen auf allfällige Fehler überprüft werden, dies wird üblicher Weise durch das Ausziehen von Schleppgehängen im Betrieb oder bei der morgendlichen Probefahrt durchgeführt. Typische Schäden sind zum Beispiel:

- Oberflächenfehler wie allgemeiner Verschleiss, lokaler Abrieb oder starke Eindrücke
- Fehler in der Seilstruktur, Verjüngungen, Verdickungen oder lokale Verwindungen



Klassische Scheuerstelle eines Bügelseils am Austritt oberhalb des Knotens

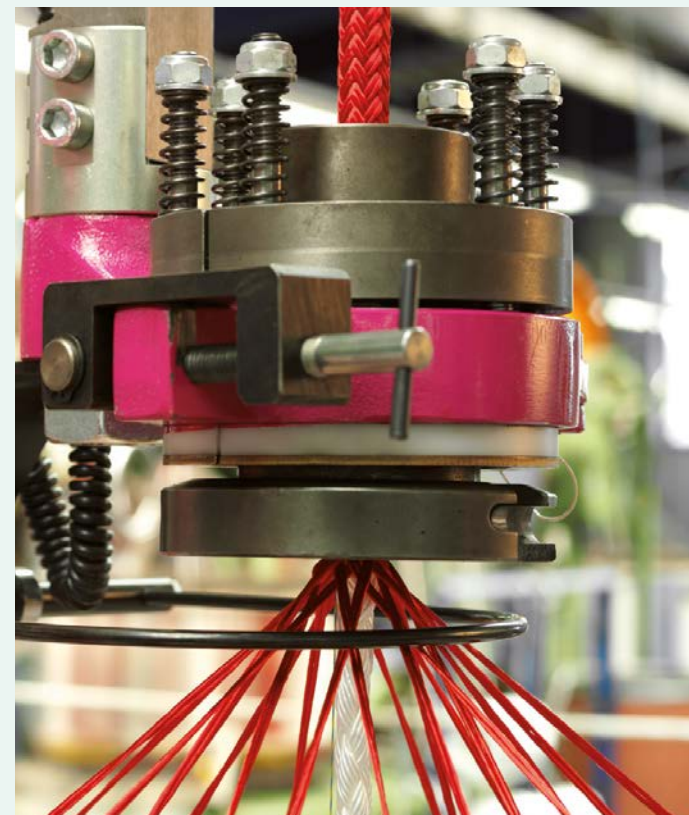
Bei 6 mm Durchmesser haben die Seile im geraden Strang eine übliche Bruchkraft von ca. 700 bis 800kg. Am Bügel werden die Seile geknotet, was eine Tragkraftminderung von bis zu 50% ausmachen kann. Daher ist es besonders wichtig, dass bei den üblichen Kontrollen der Federkraft und der Sichtprüfung der Bügelseile besonders der Knoten inklusive der Austrittsstelle gründlich kontrolliert wird. Im Zweifel ist der Knoten inklusive der beschädigten Austrittsstelle noch vor dem regelmässigen Ersatz abzuschneiden und neu auszuführen.

Beim Zuschneiden der Bügelseile darf das Ende gegen Ausfransen gesichert werden, zum Beispiel durch Verschmelzen der Schnittfläche. Dazu eignet sich hervorragend ein Heiss Schneidmesser, da mit diesem das Ende schon während des Schnittes verschmolzen wird und die Gefahr durch offene Flammen gegenüber dem sonst üblichen Griff zum Feuerzeug gemindert wird. Bügellifthersteller bieten auch sogenannte Schmelzrohre an, mit denen sich das geschmolzene Seilende perfekt formen lässt. Versuchen Sie jedoch nicht, einen defekten Mantel auf der freien Seilstrecke provisorisch zu sichern. Durch Verschmelzen, Knoten oder Umwickeln kann die Funktion oder Tragkraft des Schleppgehänges empfindlich gemindert werden. Sichtbar beschädigte Seile sind daher umgehend auszutauschen.

Im Zweifelsfall ist ein Bügelseil besser zu tauschen. Die Kosten sind gegenüber der Aufbereitung eines Unfalls vergleichsweise gering.



Heiss Schneidmesser

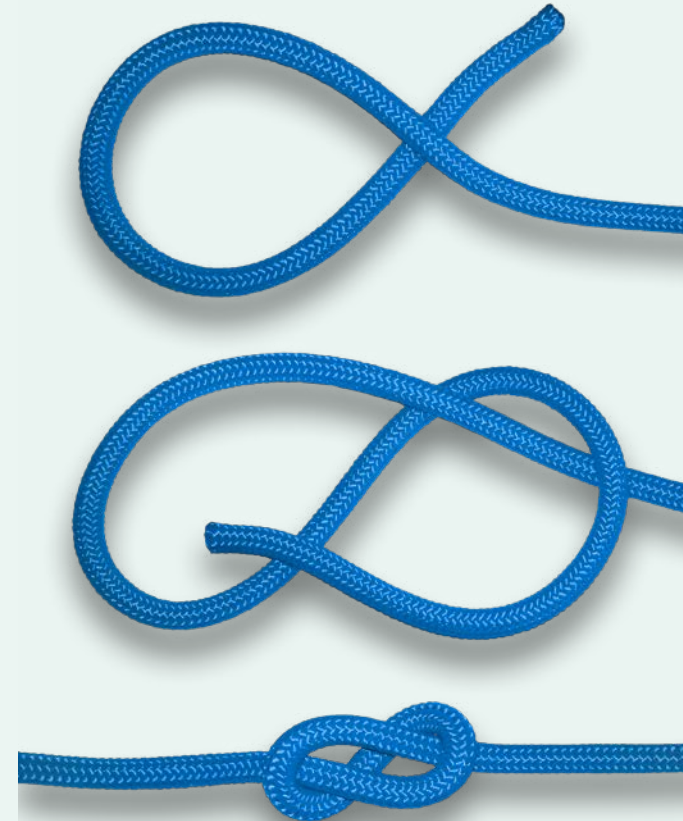


Herstellung eines Kernmantelseils auf einer Flechtmaschine [Quelle: LIROS GmbH]

Doppelter Überhandknoten (Spiereinstich)



Achterknoten



Bügelseile der Einziehvorrückungen werden am Bügel meist mit einem doppelten Überhandknoten oder einem Achterknoten befestigt



FAQ

■ Seile sind gutmütig, verzeihen viel und entwickeln Schäden unter normalen Umständen nur langsam.

Trotzdem ist ein fachgerechter, sorgsamer Umgang von immenser Wichtigkeit, um diese Vorteile ausnutzen zu können. Seile sind nicht dauerhaft und nicht wartungsfrei. Für eine Vernachlässigung sind sie sicher zu kostbar und zu aufwändig in der Herstellung. Wer daher mit ein wenig Verständnis für die Materie an das Produkt herangeht und eine sorgfältige Auswahl an Inspektions- und Pflegeaufwand tätigt, kann an einem Seil je nach Einsatzgebiet jahrzehntelang Freude haben. In dieser Broschüre wurden Informationen, Hilfsgrößen und Anleitungen sowohl für Erstanwender als auch für erfahrene Nutzer zusammengetragen. Wir hoffen, dass diese Seiten gelegentlich zu Rate gezogen werden können und Ihnen hilfreich sind. Bei allen Fragen über die kompakten Infos dieser Broschüre hinaus steht Ihnen das Team der Jakob AG gerne zur Verfügung!

Wie lange dauert es, ein Ersatzseil zu bekommen?

Dies hängt von der Grösse bzw. Tonnage des Seils, der Lieferzeit der Drähte und der Auslastung der Verseilmaschinen beim Hersteller ab. Die Lieferzeit kann daher zwischen ca. 6 Wochen und einigen Monaten variieren.

Was kostet ein Seil?

Dies hängt vom geforderten Liefertermin, der benötigten Materialmenge, der Komplexität der Seilkonstruktion, der Grösse der benötigten Maschine, den Rüstzeiten, der geforderten Abnahme und besonders auch vom Transport ab. In der Branche kursierende Faustformeln wie «XX € oder CHF pro kg» sind daher mit Vorsicht zu geniessen.

Womit darf ich ein Seil schmieren?

Das Schmiermittel muss mit der Grundschmierung des Seils und mit den Materialien der Rollen- und Scheibeneinlagen verträglich sein. Fragen Sie zuerst den Seilhersteller nach dem Grundschmiermittel und den Pflegeempfehlungen. Hilfe können auch der Hersteller des Grundschmiermittels und der Lieferant der Scheibeneinlagen leisten.

Das Seil knackt in der Station, woran kann das liegen?

Dies kann unter anderem an extremer Trockenheit des Seils, an starkem Drall oder an der Passform der Scheibeneinlagen liegen. Auch Drahtbrüche können knackende Geräusche verursachen. Führen Sie in diesem Fall eine sorgfältige Inspektion der Station und des Seils durch und kontaktieren Sie im Zweifelsfall Ihre zuständige Sachverständigenstelle oder Ihren Seilhersteller.

In den Litzengassen und auf den Rollen hat sich Material abgelagert. Woran kann das liegen?

Nach einem Seilwechsel können die Rolleneinlagen Untermass haben und sich mit dem neuen Seil aufarbeiten, so dass Abrieb entsteht. Besonders in Verbindung mit warmen Wetter können die Gummis erweichen und das Seilschmiermittel an die Oberfläche gedrängt werden, so dass sich dieser Effekt verstärkt. Prüfen sie die Einlagen, drehen Sie diese bei Bedarf nach und reinigen Sie das Seil fachgerecht. Unter Umständen muss der Prozess mehrfach wiederholt werden, er wird sich jedoch beruhigen.

Ein Baum ist in das Seil gestürzt.

Können wir damit noch fahren?

Solch ein Ereignis ist meldepflichtig. Kontaktieren Sie den Seilhersteller und Ihre zuständige Sachverständigenstelle und lassen Sie den Schaden begutachten. Gemeinsam können dann Lösungen für Sanierungen, den temporären Weiterbetrieb o.ä. gefunden werden.

Ein Gehänge ist bei Wind hängengeblieben und die Klemme ist gerutscht. Können wir damit noch fahren?

Solch ein Ereignis ist meldepflichtig. Kontaktieren Sie den Seilhersteller und Ihre zuständige Sachverständigenstelle und lassen Sie den Schaden begutachten. Gemeinsam können dann Lösungen für Sanierungen, den temporären Weiterbetrieb o.ä. gefunden werden.

Der Prüfer hat das Intervall für die MRT Prüfung gekürzt. Müssen wir ein neues Seil kaufen?

Die Kürzung des Intervalls ist eine Schutzmassnahme, um eine fortschreitende Schadensentwicklung zu beobachten. Es kann sein, dass das Seil seinem Lebensdauerende entgegengeht, es kann aber auch sein, dass der Seilzustand stagniert und in seltenen Fällen die Kürzung nach zwei bis drei Prüfungen sogar wieder aufgehoben werden kann. Besprechen Sie mit ihrem Prüfer seine Einschätzung und Prognose. Sollte das Intervall empfindlich reduziert werden (halbjährlich und kürzer), ist es ratsam, die Konditionen für ein Ersatzseil einzuholen.

Wir haben noch ein altes Seil mit passendem Durchmesser eingelagert. Können wir das für einen anderen Lift verwenden?

Dies ist eine beliebte Situation, um z.B. einem älteren Skilift noch mal ein paar Betriebsjahre mit geringem Aufwand zu ermöglichen. Beachten Sie, dass nur Sie die Geschichte des alten Seils kennen können. Existieren technische Datenblätter, stimmen diese und war das Seil beim Ablegen wirklich noch betriebssicher? Wurde das Seil fachgerecht gelagert? Ist beim Ablegen und Lagern wirklich nichts passiert? Bedenken Sie dabei, dass sie den Seilzustand erst durch eine magnetinduktive Prüfung nach dem Aufziehen und Spleissen auf der Anlage bestimmen können. Dies kann – muss aber nicht – zu unangenehmen Überraschungen führen. Die Entscheidung liegt bei Ihnen.

Das neue Seil vibriert mehr als das alte.

Woran kann das liegen?

Vibrationen können vor allem durch die Vorspannung, Schlaglänge und den Seildrall entstehen. Unter Umständen reduziert sich der Effekt bereits nach dem nächsten kürzen. Trotzdem sollte die Welligkeit des Seils und die Schlaglänge unbedingt überprüft werden. Ihr Seilhersteller oder die Sachverständigenstelle können dabei helfen. Prüfen Sie auch unbedingt die Anlage auf Drall, vornehmlich auf die korrekte Spur und Profilierung der Einlagen von Rollen und Scheiben. Das Spurbild im Gummi verrät schnell, ob hier hohe Pressungen oder Pendelbewegungen verarbeitet werden müssen.

Darf ich den Drall des Zugseils am Laufwerk rauslassen, wenn wir den Kegel warten?

Ein eventuell schädlicher Effekt ist zwar noch nicht systematisch untersucht worden, jedoch wird die Seillebensdauer in Laborversuchen schlechter, wenn die Schlaglänge grösser wird. Drehen Sie daher das Seil unter keinen Umständen zur langen Schlaglänge hin auf.

Das Seil nähert sich der Ablegereife, wir wollen aber noch eine letzte Saison fahren. Kann ich etwas tun?

Diese verständlicherweise betriebswirtschaftliche Überlegung ist sehr riskant. Wenn das Seil schon im Steilbereich der Drahtbruchentwicklung ist, kann selbst eine sorgfältige Nachschmierung nicht mehr viel erreichen – die überwiegende Zahl der Drähte ist bereits im Stadium der fortgeschrittenen Ermüdung. Rechnen Sie damit, dass auch die beurteilenden Prüfstellen auf Nummer sicher gehen: mindestens der am stärksten vorgeschädigte Bereich wird nun häufig MRT-geprüft werden müssen, zudem werden mit hoher Wahrscheinlichkeit begleitende Sichtprüfungen durch den Betreiber vorgeschrieben. Wenn sich ein Seilwechsel vor der Saison nicht mehr bewerkstelligen lässt, sollten Sie sich vorbereiten: Reparaturstück und zugehörige technische Dokumente kontrollieren und aufbereiten. Behörde, Prüfstelle und Spleissdienstleister über den Plan B informieren und eventuelle Änderungen rechtzeitig einplanen bzw. vorsehen. Und sollte die Anlage nach der Saison weiter betrieben werden, sollten Sie sich bereits jetzt über die Konditionen für ein Ersatzseil informieren.

Warum nehme ich für Seile nicht immer die höchste Festigkeit von 2160 N/mm², ist das nicht besser?

Sicher kann das festere Material die wirkenden Zugspannungen besser ertragen. Jedoch wird der Draht auch spröder, je fester er gezogen wird. Dadurch können hochfeste Drähte auf Querpressungen, Kerben oder Schockbelastungen unter Umständen schlechter reagieren und versagen vielleicht schneller, als es ein weicherer Draht getan hätte. Bei hochbeanspruchten Anlagen und wenn es die Dimensionierung zulässt, werden daher meist Nennfestigkeiten zwischen 1860 und 2060 N/mm² bevorzugt.

Warum sind nicht alle Seile kompaktiert, wenn sie doch eine höhere Bruchkraft haben?

Kompaktieren ist ein Fertigungsschritt, der zusätzliche Kosten verursacht, weshalb man in vielen Fällen darauf verzichtet. Da die Seile bei gleichem Durchmesser gegenüber einem unverdichteten Seil schwerer sind, kann man nicht einfach auf einer Bestandsanlage auf diesen Seiltyp wechseln. Auch wenn die Branche grundsätzlich bisher überdurchschnittlich gute Erfahrungen mit der Verdichtung von Litzen gemacht hat, so haben diese immerhin den Nachteil, dass gebrochen Drähte oft nur kaum sichtbare Drahtbruchlücken ausbilden. Dies erschwert mitunter die Sichtkontrolle des Seils. Auch beim magnetinduktiven Prüfen wird gelegentlich von kleineren Drahtbruchsignalen bei kurzen Bruchlücken gegenüber unverdichteten Seilen berichtet. In vielen Fällen macht der Einsatz eines verdichteten Seils sicher Sinn. Wenn es jedoch nicht zwingend technisch notwendig ist, kann man bedenkenlos darauf verzichten.

Wieso sind die meisten Seile als «Gleichschlag rechts» ausgeführt?

Man versucht mit der Schlagrichtung, dem Drallverhalten der Seile entgegenzuwirken. Die meisten Umlaufbahnen fahren standardmässig in Fahrtrichtung «rechts auf», also gegen den Uhrzeigersinn. Rechtsgeschlagene Seile tendieren dann zum Zudrehen, was prinzipiell für das Seil, dessen Rundheit und Lebensdauer besser ist, als wenn es aufgedreht wird. Bei Anlagen mit der selteneren Fahrtrichtung «links auf» bzw. im Uhrzeigersinn sollte daher ein linksgeschlagenes Seil eingesetzt werden. Der Effekt ist nicht schwerwiegend, kann aber zum Tragen kommen, wenn mehrere drallfördernde Faktoren in einer Anlage zusammenwirken. Dann kann man durch Einsatz der richtigen Schlagrichtung vielleicht etwas bewirken. Bei Pendelbahnen kann man durch den ständigen Wechsel der Fahrtrichtung keine passende Schlaglänge wählen für das Zugseil wählen, daher wird hier meist die Standard-Schlagrichtung rechts verwendet.

■ Richtwerte technische Daten Seilbahnseile mit geschlagener Fasereinlage

Merkmal	6 × 7-FC	6 × 17S-FC	6 × 19S-FC	6 × 36WS-FC
				
Metergewicht [ca.]	0,332 × d²	0,352 × d²		0,360 × d²
ca. Mindestbruchkraft 1770 [kN]	0,593 × d²	0,620 × d²		0,602 × d²
ca. Mindestbruchkraft 1960 [kN]	0,657 × d²	0,686 × d²		0,666 × d²
Querschnittsanteil Aussendraht [%]	2,4 %	1,6 %	1,3 %	0,6 %
Wärmeausdehnung	12 mm pro km und °C			
E-Modul [N/mm²]	60000 – 90000			
Bleibende Setzdehnung [%] [m/km]	2,0 – 3,5			

Literatur- und Bildquellen

DIN 3089-2: Drahtseile aus Stahldrähten. Spleisse. Teil 2: Langspleiss. Deutsche Fassung DIN 3089:1984. Beuth Verlag Berlin 1984

DIN EN 12385-8: Drahtseile aus Stahldraht. Sicherheit. Teil 8: Zug- und Zug-Trag-Litzenseile für Seilbahnen zum Transport von Personen. Deutsche Fassung EN 12385-8:2002. Beuth Verlag Berlin, 2003

prEN 12927:2018: Sicherheitsanforderungen an Seilbahnen für die Personenbeförderung – Seile. Deutsche Fassung prEN 12927:2018. DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF), Kassel 2018

Elaskon: Automatische Seilnachkonservierung. Die Komplettlösung bei laufendem Betrieb. Elaskon Sachsen GmbH / ROTEC GmbH. Dresden 2018

Feyrer, Klaus; Wehking, Karl-Heinz: FEYRER – Drahtseile. Bemessung, Betrieb, Sicherheit. 3. Auflage. Springer-Verlag Berlin, 2018

Harrach, Alexandra: Die Weiterentwicklung des Winspect®-Seilprüfgerätes vom Einsatz bei Seilbahnen bis zur Qualitätssicherung in der Produktion von Seilen. Beitrag in: 6 Stuttgarter Seiltage. Die neue Generation – Material, Anwendung & Prüfung. Tagungsband IFT Universität Stuttgart 2018

Härtel, Marina; Winter, Sven: Abschlussbericht Forschungsprojekt Visuelle Seilinspektion. IFT Universität Stuttgart im Auftrag des BAV und der SUSF (Stiftung für Unterstützung und Forschung im Bereich Seilbahnen), Stuttgart / Bern 2017, abgerufen unter https://www.bav.admin.ch/dam/bav/de/dokumente/verkehrstraeger/abschlussbericht-forschungsprojekt-visuelle-seilinspektion.pdf.download.pdf/Abschlussbericht_Forschungsprojekt_Visuelle_Seilinspektion.pdf

Jakob AG: Katalog Seil- und Hebetechnik (C2). Fördern, Heben, Spannen, Sichern. Jakob AG Trubschachen 2015

Kühner, Konstantin: Beitrag zur Untersuchung der Schädigung von Seilbahnseilen durch Drehung und Verdrehung im Betrieb. Dissertation. IFT Universität Stuttgart 2017

Kühner, Konstantin: VDS Praxis-Seminar Technik und Ausbildung «Wartung, Kontrolle, Instandhaltung» – Seile. IFT Universität Stuttgart / Verband Deutscher Seilbahnen e.V., Präsentation vom 26.04.2016, München 2016

Longatti, Bruno: Langspleiss bei Seilbahnseilen, Teile 1-3. Internationale Seilbahn Rundschau (ISR), Verlag Holzhausen GmbH, Wien 2015

O.I.T.A.F. Technische Empfehlungen Heft 28: Allgemeine Empfehlungen zur Grund- und Nachschmierung von Stahldrahtseilen für Seilbahnanwendungen mit Personentransport. Internationale Organisation für das Seilbahnwesen (O.I.T.A.F.). Rom 2014

O.I.T.A.F. Technische Empfehlungen Heft 3-1: Überblick über die magnetinduktive Seilprüfung an Stahldrahtseilen. Internationale Organisation für das Seilbahnwesen (O.I.T.A.F.). Rom 2015

Oplatka, Gabor: 50 Jahre Entwicklung der Seilbahnseile und der Seilfreundlichkeit der Bahnen. Beitrag in: 50 Jahre Seilbahnen der Schweiz 1957-2007. Vereinigung Technisches Kader Schweizer Seilbahnen (VTK). Thomann Druck AG, Brienz 2007



■ **Schweizer Innovation und Seilhandwerk
seit 1904**

Jakob Rope Systems mit Sitz in Trubschachen (Schweiz) ist ein weltweit erfolgreicher Anbieter von Drahtseilen mit einer breit gefächerten Palette an individuellen Lösungen. Sämtliche Produkte werden nach gültigen Normen und mit einem zertifizierten Qualitätsmanagementsystem hergestellt.

■ **Innovation suisse et artisanat du câble
depuis 1904**

Jakob Rope Systems avec siège à Trubschachen (Suisse) est un fabricant de câbles acier au succès international et qui propose une palette diversifiée de solutions individuelles. Tous les produits sont fabriqués en conformité avec les normes en vigueur et selon un système de management de la qualité certifié.

■ **Swiss innovation and rope craftsmanship
since 1904**

Jakob Rope Systems with headquarters in Trubschachen (Switzerland) is a globally successful provider of wire rope for a vast spectrum of customized solutions. All products are manufactured according to applicable standards under a certified quality management system.

Jakob AG

Dorfstrasse 34
3555 Trubschachen
Switzerland
+41 34 495 10 10
info@jakob.ch

Jakob GmbH

Manfred-Wörner-Strasse 115
73037 Göppingen
Germany
+49 7161 65883 0
info@jakob.eu

Seilerei Wüstner GmbH

Zimmerau 442
6881 Mellau
Austria
+43 5518 2690
office@seil.at

Jakob France SAS

3, Rue de l'Artisanat
67240 Bischwiller
France
+33 1 53 25 05 50
info@jakob.fr

Jakob Inc.

119 S H St
FL 33460 Lake Worth Beach
USA
+1 561 330 6502
+1 866 215 1421
info@jakob-usa.com

jakob.com

Besuchen Sie unsere Website, ■
inspirieren Sie sich durch unsere
weltweit realisierten Anwendungen,
finden Sie die passende Dokumentation
als PDF oder bestellen Sie diese in
gedruckter Form.

Visitez notre site Web, laissez-vous ■
inspirer par les mises en œuvre de nos
produits dans le monde entier et trouvez
la documentation y relative au format
PDF, ou alors commandez-la sous forme
imprimée.

Visit our website to gain inspiration ■
from applications we have developed
all over the world, to find suitable
documentation as downloadable PDF,
or to order printed literature.



Jakob®
Rope Systems

