

SEILE UND SEILKONSTRUKTIONEN

BARTHEL, THOMAS; SCHEUNEMANN, WOLFGANG; VOGEL, WOLFRAM

Bei „Stahldrahtseile für Treibscheibenaufzüge“ handelt es sich um eine sechsteilige Artikelreihe zu Fragen, die in den letzten Jahren zwischen Anwendern und Seilhersteller diskutiert wurden. Sie soll dabei behilflich sein, häufige Fragestellungen zu beantworten und bei der Ursachenforschung im Falle eines unerwarteten Verhaltens der Kombination Aufzug/Seil zu unterstützen. Viele Antworten sind das Ergebnis von Forschungsprojekten oder der gemeinsamen Ursachenermittlung mit den Betreibern der Anlagen.

An dieser Stelle möchten sich die Autoren bei allen Gesprächspartnern für deren Offenheit bedanken.

Der Seildurchmesser

Welche Seildurchmesser finden im Aufzugsbereich Verwendung?

Untenstehende Tabelle zeigt die in Europa, den USA und Japan (Ostasien) gebräuchlichen Seildurchmesser. Für einige europäische Länder sind die jeweils am häufigsten verwendeten Tragseildurchmesser zusätzlich markiert. Darüber hinausgehend werden im High-Rise Bereich auch 24-mm-Seile eingesetzt. Obwohl Seildurchmesser kleiner 8 mm in der aktuellen Fassung von EN 81-1 nicht erfasst werden, existieren bereits Aufzugsanlagen mit 6,5 mm und mit 6 mm. Zukünftig

Seil-Durchmesser		Europa			USA		Japan
mm	inch	Treibscheiben-Tragseil	Ind.-hydraul. Tragseil	Reglerseil	Tragseil	Reglerseil	Tragseil
6		X ¹⁾		X			
6,5		X ¹⁾		X ²⁾			
8		X ³⁾	X	X			X
9		X					X
	3/8				(X)	X	
10		X ³⁾	X	X			X ⁷⁾
11	7/16	X ⁴⁾	X		X		
12		X					X ⁶⁾
	1/2				X ⁵⁾	X	X
13		X ³⁾	X	(X)			
14		X					X
15		X					
15,5		X					
16	5/8	X			X		X
	11/16				X		
18		X					X
	3/4				X		
20		X					X
	13/16				X		
22	7/8				X		X

1) Kleingüteraufzüge
 2) häufigstes in Deutschland
 3) häufigstes in Frankreich
 4) häufigstes in UK
 5) häufigstes in USA
 6) häufigstes in Japan
 7) offizielles Minimum in Japan

können Anlagen mit Tragseilen von 5 mm und 4 mm (Drako STX-Serie), die aufgrund einer separaten Baumusterprüfbescheinigung einer benannten Stelle betrieben werden dürfen, realisiert werden. Die Entwicklung derart kleiner Seildurchmesser wird durch den Trend zum triebwerksraumlosen Aufzug mit kleinen, schnell laufenden Antriebsmaschinen und dem Wunsch nach kleinen Antriebsmomenten getrieben.

Wie wird der Durchmesser von Aufzugsseilen gemessen?

Der Seildurchmesser ist innerhalb einer Ebene und um 90° versetzt zu messen. Bei gerader Anzahl der Außenlitzen muss über zwei gegenüberliegende Litzen gemessen werden, bei ungerader Litzenanzahl über eine Litze und die gegenüberliegende Litzenlücke. Aus beiden Durchmessern ist der Mittelwert zu bilden.

Welche Seildurchmesser-Toleranzen sind zulässig?

Aufzugsseile, insbesondere Tragseile für Treibscheibenantriebe, müssen zur Gewährleistung einer verschleißarmen Kraftübertragung zwischen Treibscheibe und Seil enger toleriert werden als andere Drahtseile. Nach DIN EN 12 385-5 betragen die Grenzabmaße bei Treibscheibenantrieben bezüglich des Nenndurchmessers

- für Tragseile mit Fasereinlage 0 bis +5% und
- für Vollstahl-Tragseile 0 bis +2%.

Für Tragseile indirekt hydraulischer Aufzüge gilt das Toleranzfenster 0 bis +5%. Für kleine Seildurchmesser werden z.T. um 1% größere Toleranzfenster einge-räumt.

Seilendbefestigungen

Bei Seilendverbindungen werden lösbare und unlösbare Endverbindungen unter-

schieden, von denen aber regelmäßig nur die in Bild 23 dargestellten im Aufzugsbau eingesetzt werden. Die Endverbindungen erfüllen die Bedingung von EN 81-1/1998 Abschnitt 9.2.3.

Eine Endverbindung mit Drahtseilklemmen nach DIN 1142 bzw. EN 13 411-5 ist nicht aufgeführt und kann für den sicherheitsrelevanten Einsatz nicht empfohlen werden. Für alle Endverbindungen von Aufzugsseilen gilt, dass sie nach dem Einbau gegen Verdrehen gesichert werden müssen.

Was ist ein Verguss?

In Deutschland stirbt der Verguss als Endbefestigung für Aufzugsseile aus, während in den USA [9] und in Fernost noch häufig Seile so befestigt werden. Der Verguss ist sehr stark abweichend von EN 13 411 Teil 4 [10] und nur bei den kleinen Seilkräften im Aufzug überhaupt sicher. Der Vorteil des Vergusses liegt in der relativ schlanken Bauweise, Bild 23. Alternativ kann auch ein Kunststoffverguss verwendet werden.

Was ist eine Aluminium-Pressklemmenverbindung?

Die Aluminium-Pressklemmenverbindung wird nach EN 13 411 Teil 3 [12] (früher DIN 3093 [11]) in Europa sehr häufig eingesetzt. Sie ist im Aufzugsbau meist in Verbindung mit Kausche [14] und Ösenstange zu finden, Bild 23. Üblich ist die Anwendung in Kombination mit einem Seil-schloss am anderen Seilende. Die Aluminium-Pressklemme wird ab Werk vorkonfektioniert. Die Verpressung kann nicht bei der Seilmontage angebracht werden. Die Verpressung ist eine sehr sichere Verbindung, die von wenigen Ausnahmen wie z. B. in USA abgesehen, eine breite Akzeptanz besitzt. Umso bedauerlich ist, dass z. B. in USA der Aluminiumverpressung ein gewisses Misstrauen entgegengebracht wird.

Was ist eine Bolzenverpressung?

Die Bolzenverpressung hat eine sehr schlanke Form und lässt zahlreiche Anschlussmöglichkeiten zu. Bei den Bolzenverpressungen werden die Stahlhülsen und die Seile durch die Umformverfahren Pressen oder Walzen dauerhaft miteinander verbunden. Durch die elegante Bauweise werden diese Seilendverbindungen sehr gerne in offenen Repräsentativanlagen, wie z. B. in Hotels, eingesetzt. Sie fin-

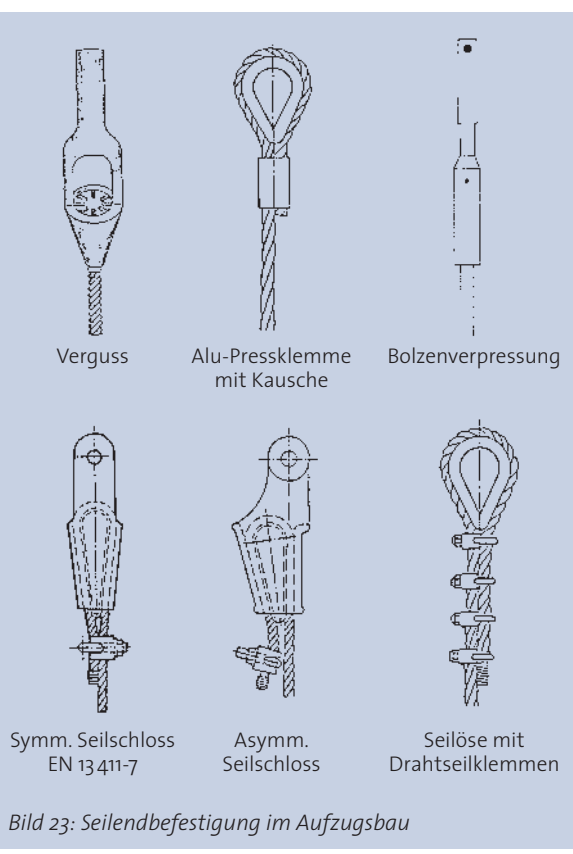


Bild 23: Seilendbefestigung im Aufzugsbau

den aber auch Verwendung bei engen Platzverhältnissen wie z. B. bei einer Kabinenanordnung mit Rucksackaufhängung. Allgemein gilt, dass auch die Bolzenverpressungen gegen Verdrehen gesichert werden müssen. Die Einstecktiefe des Seils in die Presshülse und damit die Presslänge ist für die sichere Funktion entscheidend. Anhand einer Kontrollbohrung, die in der Presshülse am Ende der Einsteckstrecke angebracht ist, soll nachgeprüft werden, ob das Seilende genügend weit in der Hülse steckt.

Für solche nicht genormten Endverbindungen muss nach EN 81 bei der Aufzugsanwendung durch eine Baumusterprüfbescheinigung bei einer „benannten Stelle“ nachgewiesen werden, dass es sich in Kombination mit den vorgesehenen Seilen um ein „System gleicher Sicherheit“ wie bei regelten Endverbindungen handelt.

Was ist ein symmetrisches Seilverschluss für Aufzüge?

Das symmetrische Seilverschluss nach EN 13411 Teil 7 [16] (früher DIN 15315 [15]) ist sehr häufig in Deutschland, England, Italien und auch in Japan anzutreffen, Bild 23. Als Drahtseilklemme zur Sicherung des Seiles bei Schlaffseil darf nur eine Klemme nach EN 13411 Teil 5 [18] (früher DIN 1142 [17]), eingesetzt werden.

Was ist ein asymmetrisches Seilverschluss?

Das asymmetrische Seilverschluss nach EN 13411 Teil 6 [19] (Bild 23), hat hinsichtlich der Seilführung Vorteile, ist aber in

seiner konstruktiven Gestaltung relativ sperrig. Diesem Umstand kann man in der Regel nur durch Verwendung gestaffelt langer Augenschrauben begegnen. Bei Schlaffseilbildung ist Vorsicht geboten. Der Keil kann im Gegensatz zum symmetrischen Seilverschluss herausfallen. Eine Sicherung des Totseilendes mit einer Drahtseilklemme nach EN 13411-5 (früher DIN 1142) ist notwendig. Eine Sicherung über beide Seilstränge (belasteter Seilstrang und totes Seilende) ist bei diesem Seilverschlussstyp nicht zulässig.

Was ist eine Drahtseilklemme?

Die Europäische Aufzugnorm DIN EN 81 gestattet die Seilendbefestigung mit „3 geeigneten“ Drahtseilklemmen. Der Einsatz von Drahtseilklemmen in der sicherheitsrelevanten Anwendung Aufzug ist abzulehnen. Die EN 81-1 sollte in diesem Punkt möglichst rasch

überarbeitet werden. Dies ist umso wichtiger, da in England, dem einzigen Land, das diese Endverbindung für Aufzüge in breitem Maß angewendet hat, sie inzwischen für Neuanlagen nicht mehr erlaubt. Noch schwerer wiegt, dass nach DIN 1142 bzw. EN 13411 Teil 5 für die Seildurchmesser, die den Aufzugsbauer interessieren, mindestens 4 Klemmen vorgesehen sind.

Das Problem der Befestigung mit Drahtseilklemmen liegt in erster Linie in dem in Intervallen nötigen Nachziehen der Klemmenschrauben. Außerdem ist nicht auszuschließen, dass es bei starken Seilanschlägen an der ersten Klemme zur freien Seillänge zu verborgenen Seilschäden kommt. Vor einer vorübergehenden Seilkürzung mittels Drahtseilklemme ist ausdrücklich zu warnen. Laufen die Seilstellen, an denen vorher die Drahtseilklemme gesessen hat, später über Scheiben, so wird das Seil mit hoher Wahrscheinlichkeit vorzeitig an dieser Stelle brechen. Auch wenn für Montagezwecke irgendwelche Seilklemmen am Seil befestigt werden, so darf dies ausschließlich in solchen Seilbereichen erfolgen, die später nicht über Seilscheiben laufen.

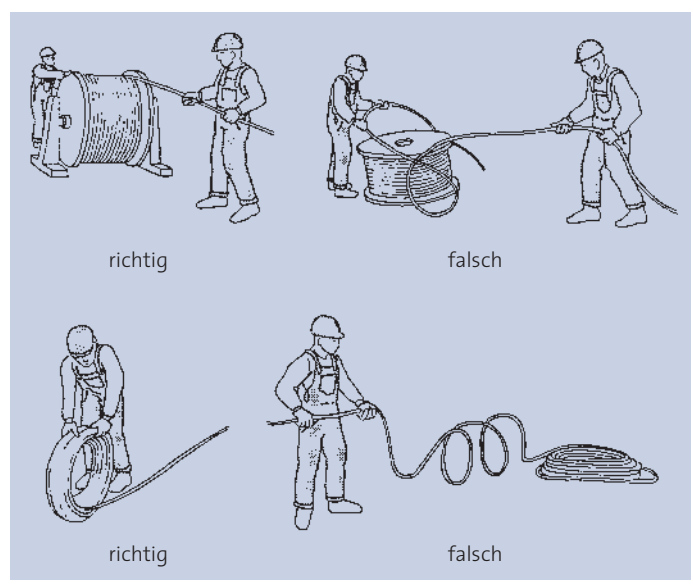
Aufzugsseile im Betrieb

Wie sollen Seile gelagert werden?

Aufzugsseile bestehen aus blanken, nicht gegen Korrosion geschützten Drähten. Sie werden zum Erreichen eines rutschfreien Einsatzes im Aufzug relativ schwach gefettet. Aus diesem Grund sind die Seile bei einer längeren Lagerung bis zum Einbau gegen Korrosion zu schützen. Empfehlenswert ist eine trockene, frostfreie Lagerung in einem staubfreien Raum. Insbesondere der Kontakt mit Zementstaub oder Sand ist zu vermeiden. Bei einer (Schutz-)Abdeckung der Seile ist auf eine ausreichende Belüftung zu achten, um die Bildung von Kondenswasser bei z. B. schwankenden Temperaturen zu vermeiden.

Wie können Seile zum Einbau abgerollt werden?

Unbedingt beachtet werden müssen die Grundregeln der Seilmontage. Durch seitliches Abnehmen über den Haspelflansch oder aus dem Ringverband wird das Seil je nach Schlagrichtung auf- oder zuge dreht. Diese Verdrehung verursacht eine Veränderung des Seilgefüges, die sich nicht mehr korrigieren lässt. Bei Seilen mit Stahleinlage entstehen durch diese Zwangsdrehungen ungleiche Litzenlängen. Die Folge ist eine ungleiche Lastverteilung im Seilverband und ein Heraustreten von Litzen, die eine Überlänge erfahren haben.



Wodurch entstehen Klanken und wie können sie behoben werden?

Durch Unachtsamkeiten z. B. beim Abrollen entsteht häufig ein inneres Drehmoment im Seil (Drall). Wird ein Seil durch diesen Effekt zu einem Zopf (linkes Bild), so ist dieser nur durch Drehen am Seilende zu beseitigen. Ein gewaltsames Drehen am Zopf selbst oder Ziehen am Seil führt fast immer zu einer Klanke. Das Seil



ist damit zerstört und muss ausgewechselt werden.

Warum drehen Seile auf?

Bei großen Seillängen dreht sich ein Seil bereits unter seinem Eigengewicht auf, wenn es frei und ohne gegen Verdrehen gesichert zu sein, im Schacht hängt. Der gleiche Effekt tritt auf, wenn das Seil an einem dünnen Hilfsseil in die Höhe gezogen wird. Besonders empfindlich sind in diesem Zusammenhang Gleichschlageile, Seile mit Stahlseileinlage und insbesondere doppelparallele Seile. Diese reagieren sehr empfindlich, wenn sie in diesem Zustand in Betrieb genommen werden. Das aufglockerte Seil kann nicht wie in der Konstruktion geplant auf alle Seilelemente verteilt Lasten aufnehmen und kann bereits bei den ersten Lastspielen zerstört werden. Aus diesem Grund werden die oben genannten Seile mit einer Mantellinie versehen, die eine Verdrehung erkennbar macht und bei der Montage eine Möglichkeit bietet, die Seile wieder auszurichten.

Welche Gefahren „lauern“ bei der Installation von Seilen?

Scharfe Beton- und Stahlkanten stellen für Seile eine große Gefahr dar. Werden die Seile unter Last über diese Kanten gezogen – teilweise ist bereits das Eigengewicht der Seile ausreichend – werden die Seile nachhaltig beschädigt. Eine Schädigung zeigt sich bei einem entlasteten Seil durch eine kornenzieherartige Deformation der Seile. Diese ist im gespannten Zustand fast nicht zu erkennen. Zur Vermeidung sollten Rollen oder zumindest abgerundete Holzbalken zur Umlenkung verwendet werden.

Sandige oder staubige Untergründe sind für die Seile sehr schädlich. Das Schmiermittel an der Seiloberfläche verklebt mit den losen Schmutzpartikeln und bildet eine raue Schicht. Diese beschädigt im Betrieb das Seil und die Scheiben. Darüber hinaus ist mit einem unruhigen Lauf zu rechnen, da insbesondere die größeren Schmutzpartikel für ein ungleichmäßiges Ablaufen der Seile von den Umlenkrollen und der Treibscheibe sorgen, was zu Seilschwingungen führt.

Manche Schäden, die auf eine ungeeignete Montage zurückzuführen sind, zeigen sich bereits nach einer relativ kurzen Betriebszeit. Die Seile weisen parallel zueinander horizontale Verschleißlinien auf, während die übrigen Seilbereiche nahezu unversehrt sind. Eine Ursache hierfür ist das Spannen der Seile mit einer ungeeigneten Vorrichtung, um z. B. die Gewichte von Kabine oder Gegengewicht zu messen. Die hierbei erfolgte Deformation der Seile, ggf. werden die Seile auch noch zusätzlich geknickt, führen zu lokalen Schädigungen in Form von Drahtbruchnestern, die ein unmittelbares Ablegen der Seile erforderlich machen.

Welchen Einfluss hat die Anordnung des Antriebs auf die Seile?

Nur ein Beispiel: Aus unterschiedlichsten Gründen wird der Antrieb des Aufzugs nach Bild 24 angeordnet. Der reduzierte Platzbedarf wird erkaufte durch eine Gegenbiegung der Seile. Diese ist verantwortlich für eine deutliche Reduktion der Seillebensdauer.

Ein weiteres Problem bei dieser Anordnung stellen die horizontal verlaufenden Seile dar, die zu Schwingungen neigen. Die Schwingungsenergie bündelt sich an den Auflaufpunkten der Seile mit den Scheiben und erhöht dort die mechanischen Spannungen in den Seilen. Diese zusätzliche Belastung führt zu einer früheren Ermüdung der eingesetzten Drähte. Drahtbrüche sind die Folge. Die Schwingungen im horizontalen Seilbereich führen nach der Umlenkung zu einer vertikalen Schwingung der Kabine und des Gegengewichts. Der Einfluss auf den Fahrkomfort ist offensichtlich.

Bei Aufzügen mit einer 2:1-Aufhängung werden die einzelnen Umlenkrollen um bis zu 90° verdreht. Je nach Ausführung und den daraus resultierenden Ablenkungen neigen die Seile zu Schwingungen und schlagen aneinander. Eine Reduktion der Aufliegezeit der Seile durch dieses Schlagen ist nicht zwingend zu erwarten. Aber die Geräusche sind im Fahrkorb wahrnehmbar. Ein weiteres Problem für die Seile ist in Bild 25 dargestellt. Der Kon-

takt der Seile mit den Umlenkrollen erfolgt nicht mittig, sondern leicht versetzt. Je nach Beschaffenheit der Rillen (Öffnungswinkel, Rauigkeit) werden die Seile hierbei verdreht. Der Aufbau der Seile (Gleichschlag, Kreuzschlag) beeinflusst deren Reaktionsmöglichkeiten. Ein Gleichschlagseil kann unter ungünstigen Fällen aufgedreht werden, wobei auch die Litzen der Drehung keinen Widerstand entgegenzusetzen. Ein Kreuzschlagseil wird im ungünstigsten Fall aufgedreht, bis die Drähte in den Außenlitzen diese Drehung blockieren. Dieser Fall ist zwar im Vergleich der weniger kritische, ist aber ebenfalls zu vermeiden.



Bild 25: Seitliche Ablenkung beim Lauf über eine Seilscheibe (übertriebene Darstellung)

Werden Seile mit einer Stahlseileinlage verwendet, so ist die Bewertung des äußeren Drehmoments ähnlich durchzuführen. Ein Seil mit IWRC wird in jedem Fall entweder durch den Innenteil oder durch den Außenteil dem Drehmoment entgegenwirken. Bei der doppelparallelen Machart (PWRC) kann unter ungünstigen Umständen der Seilverband nachhaltig gestört werden, was bis zu heraustretenden Litzen aus dem Innenteil der Seile führen kann. In diesem Zusammenhang sei auf die zwingende Notwendigkeit hingewiesen, die Seile mit ihren Endverbindungen in einer Aufzugsanlage immer gegen Verdrehungen zu sichern.

Seitliche Anordnung des Antriebs

Die unten seitlich stehende Maschine führt zu einer stärkeren Seileinfederung als bei der oben stehenden Maschine. Bedingt durch die große Seillänge ist ein häufigeres Kürzen zu erwarten. Die hohe erforderliche Anzahl von Seilrollen wirkt sich in der Lebensdauerberechnung negativ aus. Nach EN 81-1 zählen alle Rollen, die von demselben Seilstück überrollt werden, das auch über die Treibscheibe läuft.

Die oben seitlich stehende Maschine reduziert die er-

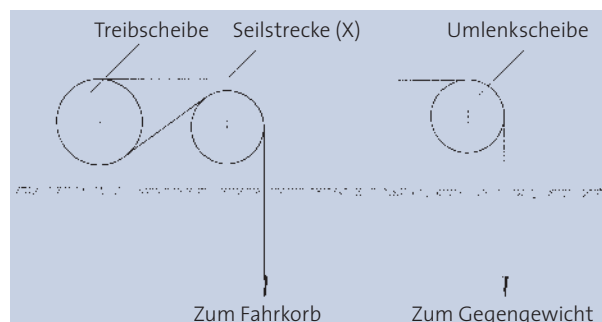


Bild 24: Die seitlich stehende Maschine

forderliche Seillänge im Vergleich zur untenstehenden Maschine. Diesem Vorteil steht die Tatsache gegenüber, dass bei dieser Antriebsanordnung alle Seilrollen in der Lebensdauerberechnung zu berücksichtigen sind.

Bei Anlagen mit besonders „verwinkelter“ Seilführung und entsprechend sehr vielen Seilrollen kann es zu einem Mangel an Treibfähigkeit kommen. Dieser führt zwar nicht zu einer unkontrollierten Fahrkorb-bewegung, wohl aber schon zu einem gelegentlichen Durchdrehen der Treibscheibe unter den Seilen.

Welchen Einfluss hat die Seilspannung auf die Seile?

Bei der Auslegung und Berechnung von Aufzügen wird davon ausgegangen, dass alle Seile anteilig die gleiche Zugkraft übertragen. Dies ist in der Praxis praktisch nie der Fall. Abweichungen der Seilzugkräfte zueinander sind nahezu unvermeidbar.

Bei Anlagen mit großer Förderhöhe reicht die häufig eingesetzte Methode durch Drücken oder Ziehen am Seil nicht mehr aus. Neu entwickelte Seilspannungsmessgeräte helfen hier und bieten die Möglichkeit, die Seilzugkraft auf ein gleichmäßiges Niveau einzustellen. Das Foto zeigt ein Mehrfachmessgerät im Praxiseinsatz. Ungleichmäßige Spannungen bewirken unterschiedliche Flächenpressungen in den Rillen der Treibscheibe mit entsprechend unterschiedlichem Seilschlupf. Dadurch entsteht z. T. übergroßer Verschleiß in den Rillen und bei den Seilen. Alle Seile sollen nach einer ersten Betriebsphase auf gleichmäßiges Tragen geprüft werden. Erfahrungsgemäß ist diese Überprüfung nach 4 – 6 Wochen erforderlich. Ein späterer Zeitpunkt für diese Kontrolle hat in der Vergangenheit vereinzelt bereits zu einem Verschleiß von Seilen und/oder Scheiben geführt.



Welche Seilschwingungen finden im Aufzug statt?

Die Seilschwingungen machen sich durch Geräuschentwicklung im Aufzug und einer möglichen Verkürzung der Auftriegszeit der Seile bemerkbar.

Die transversale Seilschwingung ist mit der nachfolgenden Gleichung [20,21] der schwingenden Saite näherungsweise berechenbar zu

$$f \text{ [Hz]} = \frac{n}{2 \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{F}{q}}$$

mit

f = Schwingungsfrequenz,

n = 1 Grundschiwingung,

n = 2, 3 ... für die Oberschwingungen,

l = Länge [m],

F = Seilkraft [N] und

q = Metergewicht des Seiles [kg/m].

Verursacht wird diese Seilquerschwingung – wie in den Fragen zur Antriebsposition beschrieben – z. B. durch horizontale Seilverläufe oder verschränkte Seilführungen. Im Gegensatz hierzu werden Schwingungen in Richtung der Seilachse verursacht durch Stick-Slip-Bewegungen der Seile auf der Treibscheibe, durch Teilungsfehler im Getriebe oder durch Fehler in der elektrischen Regelung. Durch das Zusammenspiel von Seil- und Rillengeometrie beim Ablauf des Seiles von der Treibscheibe können ebenfalls Schwingungen entstehen.

Können Schwingungen eliminiert bzw. reduziert werden?

Zu Beginn sollte die Anlage hinsichtlich Schmierzustand der Seile sowie deren gleichmäßigen Tragens untersucht und bei Bedarf korrigiert werden. Eine weitere Kontrolle bezieht sich auf die Messung der Laufdurchmesser der Seile an Treib- und Umlenkscheiben. Eine leichte Exzentrizität kann in ungünstiger Kombination bereits zu Eigenschwingungen der Seile in der Anlage führen. Der damit verbundene Verlust an Fahrkomfort ist deutlich spürbar.

Ein schwingendes System kann durch gezielte Maßnahmen „verstimmt“ werden, z. B. durch ein höheres Metergewicht oder eine größere Seilsteifigkeit der verwendeten Seile. Dies ist bereits mehrfach mit Erfolg geschehen, in dem Seile der Konstruktion 8 x 19 mit Fasereinlage durch Seile 6 x 19 mit Fasereinlage ersetzt wurden.

Autoren

Dr.-Ing. Wolfgang Scheunemann ist Technischer Direktor und Leiter des Technical Competence Centers bei Pfeifer DRAKO Drahtseilwerk GmbH & Co. KG

Dr.-Ing. Wolfram Vogel ist Leiter Forschung und Entwicklung bei Pfeifer DRAKO Drahtseilwerk GmbH & Co. KG

Dipl.-Ing. Thomas Barthel ist Versuchsleiter Aufzugtechnik bei Pfeifer DRAKO Drahtseilwerk GmbH & Co. KG