



TECHNIK

Schwingungen bei Seilbahnen (5. Teil)

Seilfeldschwingungen: mögliche Schwingungserreger



Foto: J. Nejez

**Dipl.-Ing. (ETH)
Reto Canale**
Direktor IKSS

In der Artikelserie „Schwingungen bei Seilbahnen“ wird nun auf die Schwingungen von Seilen eingegangen, welche in Seilfeldern auftreten; im vorliegenden 5. Teil werden die möglichen Erreger dieser Schwingungen betrachtet.

Auch Seilfeldschwingungen können nur durch sich ändernde Kräfte entstehen, welche auf das Seil einwirken (siehe auch 1. Teil, „Schwingungen bei Seilbahnen“, ISR 2/2010, S. 32). Nachfolgend die Ursachen, welche diese Kraftänderungen bewirken:

- Plötzliche Änderung der Seilspannkraft (Beschleunigung oder Verzögerung, Änderung der Zugwirkung des Fahrzeuges bei der Stützenüberfahrt),
- Änderung der vertikalen Last in einem Seilfeld,
- Änderung der Lastverteilung auf der Strecke,
- Einwirkung von außen.

Plötzliche Änderung der Seilspannkraft

Beschleunigung oder Verzögerung: Bei allen Bahnen treten beim Anfahren und Bremsen Änderungen der Seilspannkraft auf. Die Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge führen im Zusammenspiel mit den bewegten Massen zu Schwingungen, welche von den Elastizitäten und den Durchhängen der Seilfelder des Systems abhängig sind.

Die Geschwindigkeitsänderungen am Antrieb haben eine Veränderung der Seilspannkraft zur Folge; das heißt, auf der einen Seite erhöht sich die Seilspannkraft und auf der anderen nimmt sie ab beziehungsweise auf der einen Seite nimmt der Durchhang ab, wogegen er auf der anderen zunimmt. Dadurch wird in den Seilfeldern primär die transversa-

le Grundschwingung in der senkrechten Ebene angeregt (Bild 1).

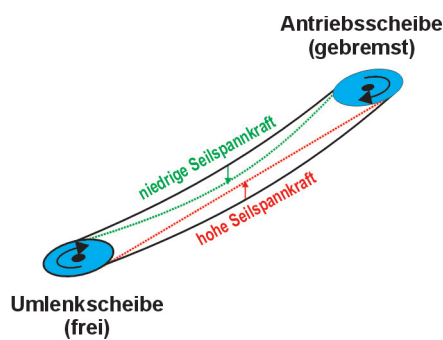


Bild 1: Geschwindigkeitsänderungen am Antrieb versetzen die Seilfelder in vertikale Schwingungen.

Änderung der Zugwirkung des Fahrzeuges bei der Stützenüberfahrt: Bei der Überfahrt der Fahrzeuge über die Stützen ändert sich die Seilneigung am Laufwerk bzw. an der Klemme und damit die Zugwirkung des Fahrzeuges, was eine Änderung der Seilspannkraft zur Folge hat. Bei Zweiseilpendelbahnen kann dies bei Talfahrt des voll beladenen Fahrzeuges über Stützen mit großem Neigungsunterschied der zwei benachbarten Seilfelder zu einem erheblichen Hochschwingen des Zugseiles im oberen Seilfeld führen (nicht bei Doppeltrageseilen und auf Zugseilreitern geführten Zugseilen) (Bild 2).

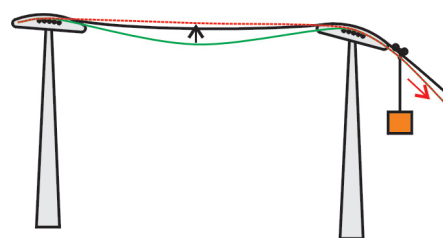
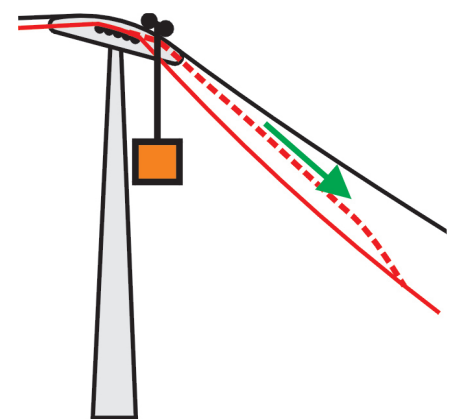


Bild 2: Zugseilschwingung bei Stützenüberfahrt zufolge Änderung der Zugwirkung der Fahrzeuge

Änderung der vertikalen Last in einem Seilfeld

Stützenüberfahrt bei Zweiseilpendelbahnen: Durch das Abheben des Zugseiles von den Stützenrollen während der Stützenüberfahrt des Fahrzeuges wirkt auf das Zugseil kurzfris-

tig eine vertikale Kraft, welche eine Transversalwelle auslöst (Bild 3).



Grafiken: G. A. Kopanakis

Bild 3: Abheben des Zugseils bei Stützenüberfahrt

Diese Welle wird jeweils am anderen Ende des Seilfeldes und am Fahrzeug immer wieder reflektiert (Bild 4).

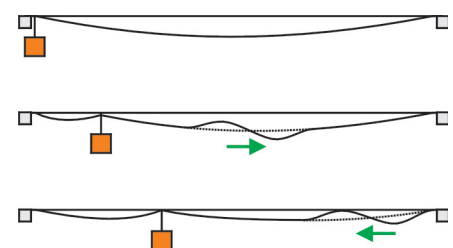


Bild 4: Ausbreitung der Zugseilschwingung zwischen Fahrzeug und dem anderen Ende des Seilfeldes

Indem das Fahrzeug sich dem Ende des Seilfeldes nähert, konzentriert sich die in der Zugseilwelle enthaltene Energie auf einen immer kleineren Seilabschnitt. Dabei nimmt die Frequenz ständig zu, wogegen die Schwingungsamplitude entsprechend abnimmt (Bild 5).

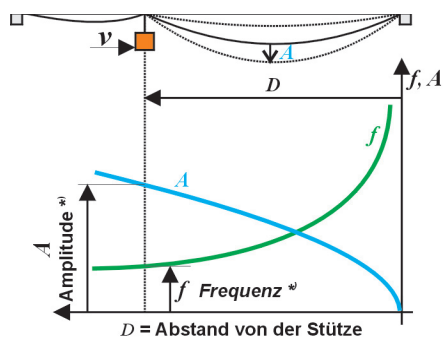
Lastabwurf: Wird von einem Fahrzeug auf der Strecke Last abgeworfen, ergibt sich eine neue Gleichgewichtslage für den Durchhang des entsprechenden Seilfeldes (Bild 6).

Da diese Laständerung meist in sehr kurzer Zeit erfolgt, führt dies zu einer Transversalwelle des Seiles um die neue Gleichgewichtslage (Bild 7).





TECHNIK



*) Amplitude und Frequenz der Feldschwingung, wenn sich das Fahrzeug an der Position "D" befindet

Bild 5: Nähert sich das Fahrzeug dem Ende des Seilfeldes, nimmt die Frequenz der Seilschwingung zu, während die Amplitude abnimmt.

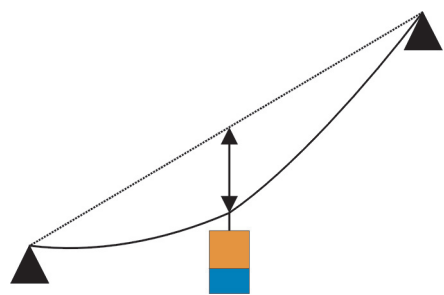


Bild 6: Durchhang, abhängig von der Last im Seilfeld

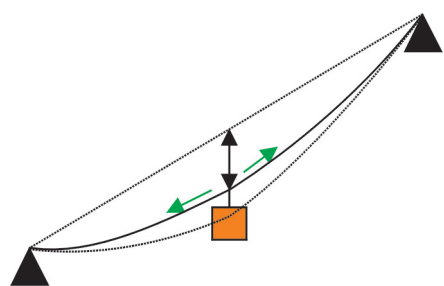


Bild 7: Schwingung des Seilfeldes nach Lastabwurf

Laständerungen können nicht nur durch Lastabwurf oder Beladung eines Fahrzeuges erfolgen. Auch das Abfallen von Schnee oder Eis von Seilen oder Fahrzeugen kann zu bedeutenden Kraftänderungen führen, welche entsprechende Schwingungen zur Folge haben.

Schwingungen von kurzen Feldern: Die kurzen Seilfelder, die sich meist in den Stationen befinden, können gegebenenfalls von den Teilsystemen „Seil – Rolle“ oder „Seil – Scheibe“ (siehe auch 2. Teil, „Schwingungen bei Seilbahnen“, ISR 3/2010, S. 10) zu einer Transversalschwingung angeregt werden. Derartige Feldschwingungen entstehen dadurch, dass die Eigenfrequenz des jeweiligen Feldes mit der des potentiellen Erregers am jeweiligen Feldende übereinstimmt. Hier sind am häufigsten Seilwelligkeit oder Poly-

gonalität einer Scheibe ursächlich. Solche Feldschwingungen können starke Lärmentwicklung („Brummen“) sowie Materialermüdung zur Folge haben.

Änderung der Lastverteilung auf der Strecke

Mit der Entwicklung hin zu größeren Geschwindigkeiten und längeren Seilfeldern entstanden Anlagen, welche zu nicht vernachlässigbaren Schwingungen neigen. Diese Feldschwingungen zeichnen sich dadurch aus, dass benachbarte Felder Seillänge austauschen, und werden auch „Pumpschwingungen“ genannt.

Damit solche Feldschwingungen entstehen können, müssen folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein:

- a) zwei benachbarte Felder mit der gleichen Resonanzfrequenz,
- b) ein Erreger,
- c) kleine Dämpfung.

Zu a): Zwei benachbarte Felder, die näherungsweise mit der gleichen Seilspannkraft gespannt und gleich belastet sind, haben in etwa die gleiche Resonanzfrequenz, wenn sie gleich lang sind.

Zu b) befindet sich ein Fahrzeug auf einer Stütze, wirkt sein Gewicht direkt auf die Stütze und das Feld ist dadurch entlastet. Fährt dieses Fahrzeug weiter, bewirkt sein Gewicht eine Zunahme der Vertikalkraft und somit eine Zunahme des Durchhanges im Feld, welcher mit der Annäherung an die nächste Stütze wieder abnimmt. Dieser Vorgang wiederholt sich in regelmäßigen Abständen, da die Fahrzeugabstände im Allgemeinen ebenfalls regelmäßig sind.

Zu c): Da die Dämpfung, die hier zur Wirkung kommt, nur einem kleinen Teil der Rollreibung auf den Stützen entspricht, haben wir es hier mit einem praktisch ungedämpften System zu tun (Bild 8).

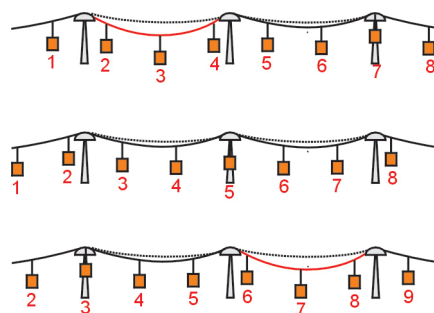


Bild 8: Regelmäßige Bewegung der Fahrzeuge durch die Seilfelder kann zu „Pumpschwingungen“ führen, insbesondere dann, wenn die benachbarten Felder vergleichbare Längen aufweisen.

Einwirkung von außen

Herabstürzende Gegenstände: Kollisionen von systemfremden Gegenständen mit dem Seil (umstürzende Bäume, Motorfahrzeuge usw.) können nicht nur zur Überbelastung der diversen Komponenten der Anlage führen, sondern bewirken auf Grund der entstehenden, großen und plötzlichen Kräfteänderungen oft auch massive Seilschwingungen.

Windeinflüsse: Bei der Einwirkung des Windes wird oftmals nur die mehr oder weniger konstante horizontale Kraft auf das Seil beachtet oder es wird auf die vom Wind erzeugten, teilweise intensiven Fahrzeugschwingungen fokussiert; die Einwirkung des Windes auf das Schwingungsverhalten der Seilfelder wird jedoch oft unterschätzt. Hier sind die „Kármánschen Wirbel“ und das „Galloping“ die bekanntesten Ursachen für Feldschwingungen.

Kármánsche Wirbel: Als Kármánsche Wirbelstrasse bezeichnet man ein Phänomen in der Strömungsmechanik, bei dem sich hinter einem umströmten Körper mit kreisrundem Querschnitt gegenläufige Wirbel ausbilden. Dieses Phänomen wurde erstmals 1911 von Theodore Kármán nachgewiesen und berechnet (Bild 9).



Bild 9: Kármánsche Wirbel hinter einem Körper mit kreisförmigem Querschnitt

Diese Wirbel erzeugen eine Kraft, die vertikal zur Ebene steht, die durch die Windrichtung und das Seil definiert ist. Diese Kraft ändert infolge der Kármánschen Wirbel ihren Sinn periodisch und zwingt dadurch das Seil zu einer Transversalschwingung (Bild 10).

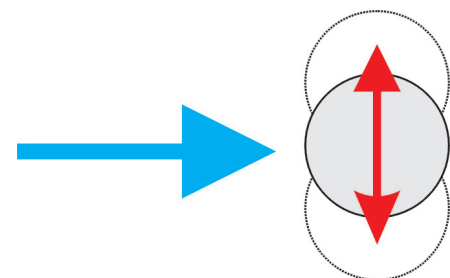


Bild 10: Seilschwingungen infolge der Kármánschen Wirbel

Infolge der Kármánschen Wirbel können gegebenenfalls die Kabinen einer Einseilumlaufbahn, die eine kreisrunde Form aufwei-



TECHNIK

sen, zu einer Querschwingung angeregt werden. Dies kann bei völliger Windstille stattfinden; dazu reicht der Fahrtwind aus.

Galopping: Wenn Luft entlang eines Profils mit einem eher länglichen Querschnitt strömt und es aus irgendwelchen Gründen zu einer leichten Rotation des Profils kommt (weg von der zum Luftstrom symmetrischen Position), bringt der „Luftdruck“ das Profil dazu, sich bis zu dem Punkt weiter zu drehen, an dem das dadurch aufgebaute Rückstellmoment so groß wird, dass das Profil zurückspringt, wodurch eine Rotationschwingung entsteht. Diese Schwingung wird als Galopping bezeichnet.

Bei vereisten Seilen kann ein ähnlich flaches Profil entstehen, welches bei entsprechender Anströmung eine Verdrehung des Seiles bewirken und schließlich zum Galopping führen kann (Bild 11).

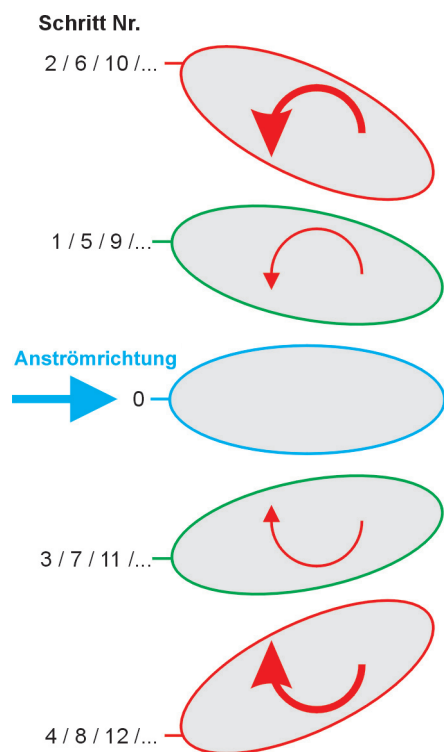


Bild 11: Galopping: periodische Rotationsbewegung des Seiles

Im nächsten Teil der Artikelserie „Schwingungen bei Seilbahnen“ werden Möglichkeiten zur Beseitigung oder Reduktion der Feldschwingungen besprochen.

Ich möchte an dieser Stelle den Herren Prof. Dipl.-Ing. Dr. Josef Nejez und Dipl.-Ing. ETH Georg A. Kopanakis nicht nur für die kritische Durchsicht dieses Artikels und die wertvollen Anregungen, sondern auch für die langjährige, interessante und konstruktive Zusammenarbeit danken, die weit über diese Artikelserie hinausgeht.

Reto Canale

SEILBAHNLEHRE



Dipl.-VW Dr.
Helmut Lamprecht

Wichtiger denn je: Fachausbildung des Seilbahnpersonals – Lehrlinge als Seilbahner der Zukunft!

Jahr für Jahr investiert die Seilbahnwirtschaft Milliarden in die „Hardware“, sprich Anlagen, technische Beschneigung, Info-Systeme etc. Doch wie steht es mit der – profan ausgedrückt – „Software“, dem Personal, das diese zum Teil technisch hoch komplizierte Infrastruktur zu bedienen hat?

Der Schweizer Seilbahnverband

verfolgt schon seit vielen Jahren zielstrebig die fachliche Ausbildung des Kaderpersonals in verschiedensten Bereichen. Er hat ab 2006 in Meiringen ein „Seilbahn-Kompetenz-Zentrum“ – weitgehend auf seine eigenen Kosten – auf die Beine gestellt.

Begonnen wurde mit einer 4-jährigen Seilbahnlehre zum Seilbahn-Mechatroniker mit eidgenössischem Fähigkeitszeugnis (EFZ), der im Jahr 2009 die 2-jährige Grundausbildung zum Seilbahner mit eidgenössischem Berufsattest (EBA) folgte. Am 7. Juli 2010 wurden die ersten Seilbahn-Mechatroniker ausgezeichnet.

Von Deutschland und Südtirol – um im deutschen Sprachraum zu bleiben – ist nichts Ähnliches zu vermelden. Und aus Österreich, dem Land mit den meisten Seilbahnen?

Es hatte lange viel Überzeugungskraft seitens einiger Proponenten bedurft, bis auf Verbandsebene der Durchbruch erreicht werden konnte. In der Folge mussten mit viel „Krampf“ und Interventionen erst die Stolpersteine auf Ebene der Arbeiterkammer, der Schulbehörden – wegen Aussprengelung, föderalistischer Kleingeisterei u. ä. – aber auch innerhalb der Wirtschaftskammer-Organisation beseitigt werden, bevor engagierte Praktiker Berufsprofil, Berufsbild und Prüfungsinhalte für eine 3-jährige Lehrzeit durchsetzen konnten. Schließlich wurde der Lehrberuf „Seilbahnfachmann/

Seilbahnfachfrau“ am 27. 3. 2008 zwar gesetzlich verordnet, mit der Landesberufsschule Hallein auch ein sehr zentral gelegener Ausbildungs-Standort gefunden, doch dies alles trägt derzeit den Makel eines so genannten „Schulversuches“ mit dem Ablaufdatum 31. 12. 2012.

Dessen ungeachtet waren nach zögerlichem Beginn im Schuljahr 2009/10 bereits 83 Schüler in Ausbildung und für 2010/2011 wird die Schülerzahl auf rund 170 – inklusive Kandidaten des 2. Bildungsweges – steigen. 2011 werden die ersten Absolventen mit seilbahnspezifischer Ausbildung ihren Abschluss feiern können. Also die „Karriere am Berg“ doch ein Erfolg auf allen Ebenen, dank eines engagierten Teams sowie dank der Industrie durch die kostenlose Bereitstellung von Lehrmaterialien!

Deshalb sollte, zwar mit allfälligen Nuancen, aber ohne große Diskussionen, dieses „Provisorium“ rasch beseitigt und der Weg für die Landesberufsschule Hallein als künftiges Seilbahn-Kompetenz-Zentrum frei gegeben werden. Das Land Salzburg und die Schuldirektion mit ihrem Lehrerteam stehen in den Startlöchern, um mit einem breit gefächerten Aus- und Weiterbildungsangebot eine der Kernaufgaben der Seilbahnunternehmen und Seilbahnverbände zu erfüllen – die Schweiz als Musterbeispiel, Österreich im Aufholprozess, die anderen Länder noch beim Nachdenken?

Dr. Helmut Lamprecht