



## TECHNIK

# Schwingungen bei Seilbahnen (6. Teil)

### Seilfeldschwingungen: Ursachenbekämpfung bzw. Reduktion der Schwingungsintensität

**Im 5. Teil der Artikelserie** „Schwingungen bei Seilbahnen“ wurden die Seilfeldschwingungen und deren Erreger dargestellt. Im vorliegenden Artikel soll nun darauf eingegangen werden, wie mit diesen Seilfeldschwingungen umgegangen werden kann. Auch bei der Bekämpfung von Seilfeldschwingungen muss mit Hilfe einer der im 1. Teil („Zur Bekämpfung von Schwingungen“, ISR 2/2010, S. 32) aufgezählten und kommentierten Methoden der Schwingungserreger lokalisiert werden. Im Gegensatz zu den Strukturschwingungen sind jedoch die Ursachen von Seilfeldschwingungen meist einfach erkennbar. Im vorliegenden Beitrag wird daher nicht gesondert auf die Ermittlung des jeweiligen Schwingungserregers eingegangen, sondern direkt die Beseitigung im Sinne einer „Ursachenbekämpfung“ behandelt. Natürlich müssen, wie bei den Strukturschwingungen, auch hier Mittel und Wege gesucht werden, welche die Schwingungsintensität soweit reduzieren, dass unzulässige Störungen verhindert werden können, insofern die Beseitigung des Erregers nicht möglich ist (s. auch 1. Teil, „Zur Bekämpfung von Schwingungen“, ISR 2/2010, S. 34).

#### Plötzliche Änderung der Seilspannkraft

Änderungen in der Seilspannkraft werden hauptsächlich durch Geschwindigkeitsänderungen am Antrieb sowie Belastungsänderungen auf der Strecke verursacht und bewirken, dass sich in den Seilfeldern – während dieser Vorgänge – neue Gleichgewichtslagen der Seile mit neuen Durchhängen ergeben. Durch die so entstehende orthogonale Kraft wird das Seil in Richtung der neuen Gleichgewichtslage beschleunigt und führt um diese herum eine harmonische transversale Schwingung aus. Diese Bewegung wird auch Grundschiwingung genannt.

Vereinfacht kann der oben erwähnte Prozess wie folgt erklärt werden: Wenn die Änderung der Seilspannkraft sehr langsam verlaufen würde, hätte das Seilfeld Zeit, die neue

Gleichgewichtslage einzunehmen, ohne dass signifikante Trägheitskräfte entstehen würden. Erfolgt dagegen die Änderung der Seilspannkraft schnell, kann das Seil infolge seiner Massenträgheit die neue Gleichgewichtslage nicht sofort einnehmen, was zur Entstehung der orthogonalen Kraft und demzufolge zur Entstehung der Transversalschwingung führt. Es ist somit offensichtlich, dass für die Entstehung der orthogonalen Kraft und in deren Folge für die Entstehung der Schwingung selbst sowie für deren Intensität der zeitliche Verlauf der Seilspannkraft direkt verantwortlich ist. Wenn also die Entstehung der zum Seil orthogonal stehenden Kraft, wie es meistens der Fall ist, nicht vermieden werden kann, ist die Beeinflussung ihres Verlaufs das einzige probate Mittel zur Reduktion der Amplitude der stehenden Transversalwelle.

Wie in Bild 1 dargestellt (vergleiche ISR 2/2010, S. 33, Abb. 5), können stehende Wellen nur bestimmte Wellenlängen bzw. Perioden und Frequenzen aufweisen; diese konkreten Werte der jeweils möglichen Wellenlänge bzw. Periode sind insbesondere durch die Seilspannkraft, die Feldlänge und die Seilmasse bestimmt:

$$f = \frac{1}{2 \cdot l} \sqrt{\frac{S}{q}}$$

f: Frequenz der Grundschiwingung [Hz]

l: Feldlänge [m]

S: Seilspannkraft [N]

q: Seilmasse pro Länge [kg/m]

Schließlich gilt es zu berücksichtigen, dass Seilfeldschwingungen sehr lange erhalten bleiben können. Dies ist darauf zurückzuführen, dass diese Schwingungen nicht durch die gesamte Reibung der Anlage gedämpft werden, sondern nur durch die sehr kleine Änderung der Rollreibung in Funktion der sich ebenfalls nur wenig ändernden Geschwindigkeit nach Abschluss des Vorganges sowie von der inneren Seilreibung, die jedoch ohne wesentliche Biegungen ebenfalls sehr klein ist.

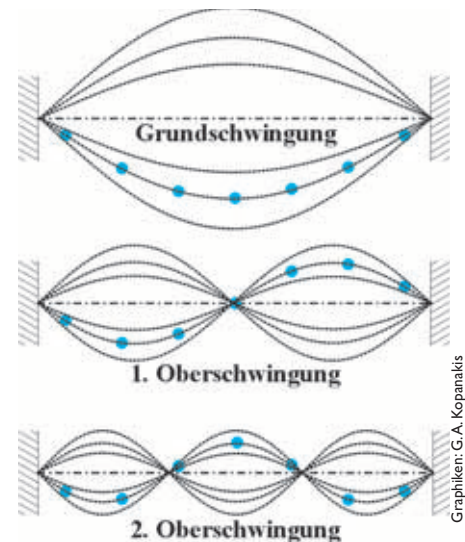


Bild 1: Stehende Welle: Grundschiwingung sowie 1. und 2. Oberschwingung

Graphiken: G.A. Kopanakis

**Beschleunigung und Verzögerung:** Die Grundproblematik der Entstehung von Seilfeldschwingungen infolge des Beschleunigens und Verzögerens soll hier am Beispiel einer sehr einfachen Anlage (Bild 2) behandelt werden, welche nur aus einer Antriebs- und einer Umlenkscheibe sowie einem einzigen Feld besteht und keine Fahrzeuge beinhaltet.

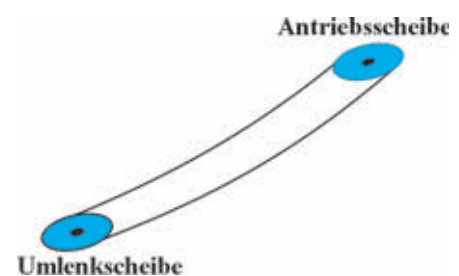


Bild 2: Modell einer einfachen Anlage

Wir nehmen an, dass die Anlage mit konstanter Geschwindigkeit läuft; damit eine Geschwindigkeitsänderung erfolgen kann, muss am Seil eine zusätzliche Kraft wirken. Sie wird durch den Antrieb mittels der Antriebs- und Umlenkscheibe eingeführt. Dabei wird die Seilspannkraft auf der einen Seite der Antriebs- und Umlenkscheibe erhöht, während sie auf der anderen Seite entsprechend reduziert wird.



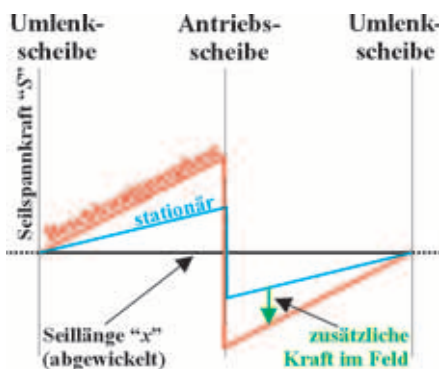


Bild 3: Verlauf der Seilspannkraft im stationären Fall  $S_{st}(x)$  (konstante Geschwindigkeit) und während der Beschleunigungsphase  $S_{Be}(x)$

Wie oben erwähnt, erfahren beide Seilfelder auf Grund der veränderten Seilspannkraft und der entsprechenden neuen Gleichgewichtslagen eine zur Seilachse orthogonal stehende Kraft  $F_V$  ( $F_V$  = die Resultierende aller Teilkräfte, die an jedem Seilmassenpunkt angreifen), die sie in der vertikalen Ebene beschleunigt (Bild 4a) bzw. in Schwingung versetzt (Bild 4b).

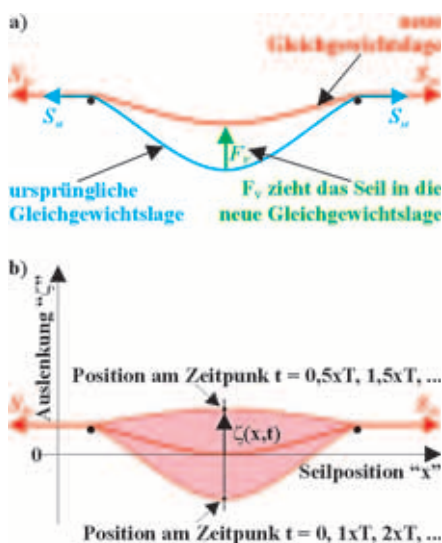
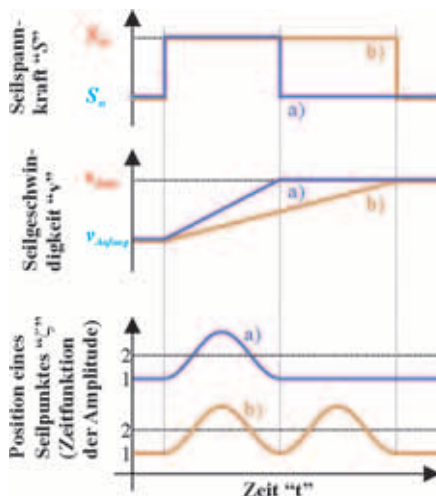


Bild 4: a) Entstehung der zur Seilachse resultierenden orthogonalen Kraft  $F_V$  und b) Transversalschwingung des Seilfeldes um die neue Gleichgewichtslage infolge der geänderten Seilspannkraft. Die Lage des jeweiligen Seilpunktes "x" zu jedem Zeitpunkt "t" wird durch die Funktion  $\zeta(x,t)$  beschrieben (ist für jedes konstante "x" eine harmonische Schwingung, ISR 2/2010, S. 32).

Meist erfolgt die Geschwindigkeitsänderung linear, d. h. mit einer konstanten Beschleunigung. Würde nun genau nach einer vollen Schwingung der Wert der Beschleunigung wieder Null werden, würde zu diesem Zeitpunkt auch die zusätzliche Seilspannkraft wegfallen, wodurch die ursprüngliche Gleichgewichtslage wieder zum Tragen kommen würde. Da sich das Seilfeld zu diesem Zeitpunkt jedoch gerade in diesem ursprünglichen Gleichgewichtszustand befindet, gibt

es auch keine Kraft, die das Seil in eine andere Gleichgewichtslage bringen möchte. Wir stellen somit fest, dass jeweils nach jeder vollen Periode der harmonischen Schwingung des Seilfeldes eine Konstellation vorliegt, in der man die Beschleunigung ohne verbleibende Feldschwingungen beenden kann (Bild 5).



1: Gleichgewichtslage bei der Kraft  $S_1$   
2: Gleichgewichtslage bei der Kraft  $S_2$

Bild 5: Verlauf der Seilspannkraft "S", der Seilgeschwindigkeit "v" und der Position eines Punktes des Seilfeldes "z", wenn der Beschleunigungsvorgang ein ganzzahliges Mehrfaches der Periode der Grundschwingung des Seilfeldes dauert; im Beispiel a) nach einer und im Beispiel b) nach zwei Perioden.

Aus diesem Grund und, da die zur Vermeidung von Anfahrtschwingungen eingangs erwähnte Methode der sehr langsamen Geschwindigkeitsänderung bzw. der extrem kleinen Beschleunigung nur zum theoretischen Verständnis herangezogen wurde und keine praktische Bedeutung hat, kann als einfache Regel festgehalten werden, dass die Geschwindigkeitsänderung während eines ganzzahligen Vielfachen der Periode der Grundschwingung des Seilfeldes erfolgen muss, wenn man störende Seilfeldschwingungen infolge Beschleunigungs oder Verzögerens vermeiden möchte.

Es muss an dieser Stelle betont werden, dass einzig die Dauer der Geschwindigkeitsänderung bzw. des Beschleunigungsvorgangs für die Entstehung der nach dem Vorgang verbleibenden Seilfeldschwingung relevant ist; weder der Anfangs- und/oder der Endwert der Seilgeschwindigkeit, noch die Höhe der Reibung der Anlage haben darauf einen signifikanten Einfluss.

Die oben dargestellte Möglichkeit kann natürlich bei einer Anlage mit einem Feld, wie zunächst für die Problembetrachtung angenommen, optimal realisiert werden.

Schwieriger wird es jedoch bei einer Anlage mit mehreren, unterschiedlich langen Feldern. Hier gilt es, wie so oft bereits erwähnt, einen Kompromiss zu finden, um die meisten störenden Schwingungen zu reduzieren. Die noch verbleibenden Schwingungen – insofern signifikant – könnten gegebenenfalls mit anderen Maßnahmen, beispielsweise mittels aktiver Schwingungsbekämpfung, behandelt werden. Bei Zweiseilpendelbahnen mit Doppeltragseilen und auf Zugseilreitern geführten Zugseilen können störende Seilfeldschwingungen des Zugseiles infolge Beschleunigung oder Verzögerung dadurch vermieden werden, dass die Zugseilreiter ungleichmäßig verteilt sind; dadurch wird – wegen der unterschiedlichen Eigenfrequenzen – ein synchrones Schwingen der Seilabschnitte zwischen den Zugseilreitern verhindert.

**Stützenüberfahrt:** Bei der Stützenüberfahrt ändert sich die Neigung des Tragseiles und in Folge dessen auch die Gewichtskomponente des Fahrzeugs parallel zum Tragseil, die vom Zugseil übernommen wird. Unter der Annahme, dass der Neigungswinkel des Tragseiles am oberen Stützpunkt tangential größer als Null ist, steigt aus dem oben erwähnten Grund bei Talfahrt die Spannkraft des Zugseiles kontinuierlich von dem Moment an, ab dem das Laufwerk auf die Stütze auffährt (Stützenanfang), bis zu dem Zeitpunkt, zu dem es die Stütze verlässt (Stützenende). Diese Änderung der Kraft erfolgt schnell: Z. B. ist bei einer Fahrt mit einer Fahrgeschwindigkeit von 7 m/s über eine Stütze mit 40 m Schuradius und einem Ablenkwinkel von 30° die Überfahrtdauer und somit das Zeitfenster, in dem die Erhöhung der Spannkraft des Zugseiles stattfindet, ca. 3 s. (Bild 6).

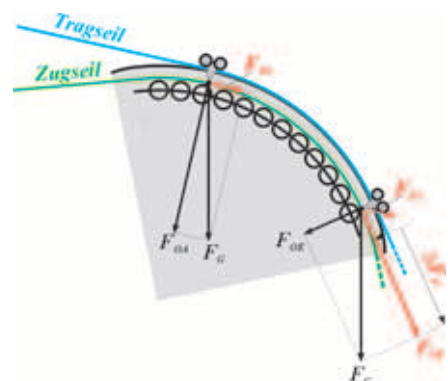


Bild 6: Darstellung der Spannkraft am Zugseil infolge des Kabinen- und Laufwerksgewichts am Anfang und am Ende der Stütze. Die Indizes "P" und "O" stehen für "Parallel" und "Orthogonal" zum Tragseil und "A" und "E" für "Anfang" und "Ende".



## TECHNIK

Es ist evident, dass die Ursache, d. h. die Erhöhung der Seilspannkraft, nicht beseitigt werden kann, da sie systembedingt ist; man kann nur nach Methoden suchen, die die Auswirkungen reduzieren. Insbesondere ist es wichtig, die Amplitude der entstehenden Schwingung klein zu halten, um einen eventuellen Seilüberschlag zu vermeiden. Dies kann bei einer bereits existierenden Bahn, bei der dieser Effekt auftritt, zunächst nur mittels einer Reduktion der Geschwindigkeit während der Stützenüberfahrt bewältigt werden, was jedoch mit einer Förderleistungseinbuße verbunden ist. Eine weitere Möglichkeit der Reduktion der Schwingungsamplitude besteht darin, einen Teil der Schwingung durch eine von der Steuerung erzeugte Verzögerung bzw. Beschleunigung des Zugseiles mittels des Antriebs bereits vor Beginn der Stützenüberfahrt vorwegzunehmen. Hier ist zu erwähnen, dass zur Reduktion der Kabinen-Längspendelung bzw. zur Erhöhung der Fahrkomforts bei Stützenüberfahrt ähnlich vorgegangen wird (Beeinflussung des Geschwindigkeitsprofils) und deswegen darauf geachtet werden sollte, dass beide Eingriffe nicht gegenläufige Wirkung haben; auch hier gilt es somit einen brauchbaren Kompromiss zu finden.

Im Falle einer Zweiseilpendelbahn mit Doppeltragseilen und auf Zugseilreitern geführten Zugseilen ist einerseits der Effekt wegen der kleinen Durchhänge – infolge der kürzeren Zugseilfelder – ohnehin nicht signifikant und andererseits kann er, wenn er dennoch auftreten sollte, mittels Zugseilreitern, die in unregelmäßigen Abständen montiert sind, weiter reduziert oder gar beseitigt werden.

Die Seilfeldschwingungen infolge

- Änderung der vertikalen Last in einem Seilfeld,
  - Änderung der Lastverteilung auf der Strecke und
  - Einwirkung von außen
- werden in den folgenden Teilen der Artikelserie „Schwingungen bei Seilbahnen“ behandelt werden.

*Georg A. Kopanakis, Reto Canale*

# Alpine Partner „sehen“ anders aus!

Viele Jahre galten und sahen sich die alpinen Vereine gerne als Partner der Seilbahnwirtschaft, vor allem wenn es um preisgünstige Seilbahnfahrten für ihre Mitglieder ging.

**Deren „Gegenleistung“** konnte aber häufig den „Argumentenebel“ nicht durchdringen. Selbst verbale Unterstützungen für objektiv nachvollziehbare Wohlfandeffekte von Skigebietserschließungen seitens der Seilbahnunternehmen in sonst entscheidungsgefährdeten Alpentälern blieben eher Mangelware.

Seit einiger Zeit macht sich jedoch insbesondere bei den Dachorganisationen der alpinen Vereine ein Dogmatismus, ja Fundamentalismus breit, der Realitätsbewusstsein und jegliche Verhältnismäßigkeit vermissen lässt, nach dem Motto „uns gehören die Berge und deren freier Zutritt“. Unter dem Deckmantel der „Bewahrung alpiner Räume vor der Zerstörung“ und gleichzeitiger Verwendung plakativ überzogener Schlagzeilen – Beispiele dafür würden Seiten füllen – zeigt sich ein nahezu „egoistischer Geist“ in den Führungsgremien. Offenbar sind z. B. die nach dem Tiroler Naturschutzgesetz über 33 % der Tiroler Landesfläche ausgewiesenen Schutzräume und -gebiete, denen lediglich 0,7 % der Landesfläche (!) als organisierter Skiraum (Skipisten und -routen) gegenüberstehen und mit ihren Anlagen gleichzeitig den Eckpfeiler des Wintertourismus bilden, noch immer zu wenig.

Von den heimischen alpinen Räumen wird immer rigider verlangt, dass keine technischen Adaptierungen für den Wintertourismus mehr erfolgen dürften; jedes Projekt wird seit Jahren von vornherein mit einem kategorischen „Nein“ abgelehnt. Es wäre müßig, hier alle diesbezüglichen Fälle der letzten Jahre aufzuzählen. Dass der Winter-(Ski-)tourismus mit seiner hohen Wertschöpfung in den alpinen Regionen – z. B. in Tirol rund 550 Mio. Euro – die Branche mit der breitesten Wohlstandsverteilung darstellt, scheint offenbar für die selbsternannten „Bewahrer“ sehr wenig Stellenwert zu besitzen.

Während vor allem der ÖAV (Österreichischer Alpenverein) einerseits laufend den

sogenannten „sanften Tourismus“, von dem alpine Seitentäler kaum leben könnten, propagiert, wirbt er andererseits in jeder Nummer seiner eigenen Vereinszeitung überwiegend für ausländische, auch in entfernten Kontinenten liegende Ziele mit dorthin organisierten Flugreisen. Das nennt man schlicht und einfach „Wasser predigen, aber Wein trinken“.

Ähnliches lässt sich auch zum Tourenggehen feststellen. Heute bewegen sich schon wesentlich mehr Tourengänger und Mitglieder alpiner Vereine auf den Skipisten als im freien Skiraum; die vielen Gründe, warum das so ist, brauchen hier nicht erwähnt zu werden, sie sind hinlänglich bekannt. Doch deren „Beitrag“ zur dann selbstverständlich benutzten Skipiste (für Unterhalt, Präparierung usw.), Parkplätze etc. hält sich – wenn es überhaupt einen gibt – sehr in Grenzen. Dafür lehnen dann ÖAV-Repräsentanten sowie deren Medien kategorisch oft auch geringfügige Gebiets- und Pistenerweiterungen ab – unlängst geschehen durch den offenbar fern von lokalen Kenntnissen in der Steiermark lebenden ÖAV-Präsidenten beim möglichen, seit Jahren im Großraum Innsbruck geplanten kleinen Zusammenschluss der Mutterer Alm mit der Axamer Lizum mit einer Anlage und einer Piste. Man will sich ja die „Freiräume“ erhalten, obwohl diese Verbindung in der Gegenrichtung schon seit mehr als 50 Jahren besteht!

Den Vogel schoss der ÖAV-Präsident aber ab, als er Anfang November in diversen Medien zum Boykott der Seilbahnunternehmen „aufrief“. Damit haben die ÖAV-Widersprüchlichkeiten wohl den Gipfelpunkt erreicht. Deshalb wäre es an der Zeit, darüber nachzudenken, ob seitens der Seilbahnunternehmen Benefits für Mitglieder alpiner Vereine noch angebracht sind.

*Dr. Helmut Lamprecht*

