

Schwingungen bei Seilbahnen (7. Teil)

Seilfeldschwingungen: Ursachenbekämpfung bzw. Reduktion der Schwingungsintensität

Im aktuellen Teil der Artikelserie „Schwingungen bei Seilbahnen“ wird die im 6. Teil angefangene Untersuchung der Seilfeldschwingungen fortgesetzt.

Änderung der vertikalen Last in einem Seilfeld

In diesem Fall wird die Kraft, die orthogonal zur Seilachse steht und für die Entstehung Schwingung verantwortlich ist, „von außen“ ausgeübt.

Stützenüberfahrt bei Zweiseilpendelbahnen:

Um während der Stützenüberfahrt des Fahrzeuges eine Kollision der Zugseilendbefestigung mit den Rollen zu vermeiden, muss das Zugseil von den Stützenrollen abgehoben werden. Darüber hinaus verursacht der unterschiedliche Verlauf der Seillinie beim Tragseil und beim Zugseil eine zusätzlich zu überwindende Distanz. Die zum Abheben des Seiles notwendige Kraft löst eine Transversalwelle aus (Bild 1).

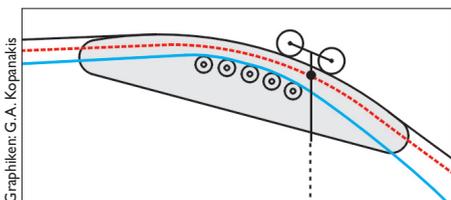


Bild 1: Abheben des Zugseiles während der Stützenüberfahrt (in Rot: Bahn der Zugseilendbefestigung)

Der Betrag dieser Kraft hängt von der Kombination folgender Faktoren ab:

- Abhebehöhe (die Distanz zwischen der Seilposition während Rollenberührung und der höchsten Seilposition nach dem Abheben) und
- Abhebezeit (die Zeit, die zur Überwindung dieser Distanz benötigt wird).

Je größer die Abhebehöhe (bei gegebener Abhebezeit) oder je kürzer die Abhebezeit (bei gegebener Abhebehöhe) sind, desto größer wird die dadurch entstehende orthogonale Kraft. Damit wären die Mittel, die im Sinne einer Ursachenbekämpfung bzw. im konkre-

ten Fall im Sinne einer Reduktion der Intensität der Ursache zur Verfügung stehen, bereits abschließend aufgezählt:

- Die Abhebehöhe hängt von der Größe der Endverbindung ab und kann deswegen praktisch nur während der Konstruktionsphase beeinflusst werden; eine kleine Abhebehöhe kann zwangsläufig nur mittels einer schlanken Endverbindung erreicht werden. Spätere Korrekturen sind hier schwer bzw. nur mit hohen Kosten zu erreichen.

- Die Abhebezeit hängt von der Fahrgeschwindigkeit ab und kann deswegen im Nachhinein sehr wohl beeinflusst werden, indem die Fahrgeschwindigkeit bei der Stützenüberfahrt reduziert wird; dies hat jedoch, wie bereits an anderen Stellen erwähnt, eine Reduktion der Förderleistung zur Folge.

Wenn es schließlich nicht möglich sein sollte, die Ursachen der Schwingung zu beseitigen oder deren Intensität in genügendem Ausmaß zu reduzieren und aus diesem Grund die entstehende Seilfeldschwingung weiterhin störend bleibt, ist die „Symptombekämpfung“ das einzige noch verfügbare Werkzeug. Aus den uns zur Verfügung stehenden Mitteln (siehe ISR 2/2010, S. 34, „Zur Bekämpfung von Schwingungen“) ist im vorliegenden Fall nur die Dämpfung wirksam. An dieser Stelle ist es wichtig zu unterstreichen, dass die Frequenz dieser Schwingung ständig zu-, wogegen die Schwingungsamplitude entsprechend abnimmt (siehe ISR 6/2010, S. 24, „Änderung der vertikalen Last in einem Seilfeld – Stützenüberfahrt bei Zweiseilpendelbahnen“). Aus diesem Grund ist die Wahl der Dämpfercharakteristik nicht einfach und sollte deswegen einem Spezialisten überlassen werden; durch die Wahl z. B. einer zu starken Dämpfung würde ein „Knoten“ entstehen, infolge dessen das Seil an dieser Stelle schnell einen Ermüdungsschaden erleiden würde. Andererseits würde eine zu schwache Dämpfung eine ungenügende Wirkung zeigen. Seilbereiche, die zur Dämpfung „greifbar“ wären, sind jeweils die Enden des Seilfeldes, das durch das Fahrzeug und die nächste Stütze oder die jeweilige Station definiert ist.

Als Folge der Tatsache,

- dass der Seilbereich in der Nähe des Fahrzeuges sich relativ zum Fahrzeug in Ruhe befindet sowie

- dass der Seilbereich in der Nähe der Stütze sich relativ zur Stütze oder zur Station in Bewegung befindet,

ergeben sich unterschiedliche Zugriffsmöglichkeiten auf das zu dämpfende Seil:

- Das Seil in der Nähe des Fahrzeuges kann mit einer korrekt gestalteten Klemmvorrichtung fest geklemmt und über ein entsprechendes Dämpferelement gedämpft werden.

- In der Nähe der Stütze kann das Seil nicht fest geklemmt werden, da es sich in Bewegung befindet. Aus diesem Grund kann der Kontakt nur mittels einer Rolle, über die das Seil frei laufen kann, erfolgen; es ist in diesem Fall jedoch wichtig sicher zu stellen, dass sich das Seil in ständigem Kontakt mit der Rolle befindet. Auch in diesem Fall wird die Rolle über ein entsprechendes Dämpferelement gedämpft.

Bei beiden oben beschriebenen Möglichkeiten gilt es, die Distanz des Zugriffspunktes vom jeweiligen Seilfeldende „korrekt“ zu wählen, da die Dämpfung der Schwingung nur bei Schwingungen mit nicht zu kleiner Amplitude wirkungsvoll ist (siehe ISR 2/2010, S. 34, „Zur Bekämpfung von Schwingungen“). Wenn man dieser Tatsache Rechnung tragen möchte, müsste der Zugriffspunkt weit vom Feldende gewählt werden, da mit steigender Entfernung des Zugriffspunktes vom Feldende auch der Weg, den der Punkt beschreibt, größer wird; demnach gilt es auch hier einen Kompromiss derart zu finden, dass die gewünschte Dämpfungswirkung erreicht wird, ohne dass die notwendige Vorrichtung zu groß wird (Bild 2).

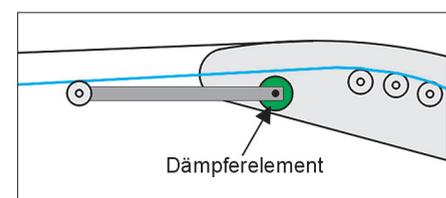


Bild 2: Beispiel eines Dämpferelements am Ende eines Feldes

Lastabwurf: Grundsätzlich ist der Lastabwurf, anders als bei einer Materialeiseilbahn, kein regulärer Betriebszustand bei einer Personenseilbahn. Diese Schwingung kann dennoch außerbetrieblich entstehen, wenn z. B. der eventuell entstandene Eisbehang vom Seil abfällt. Die so entstehende Seilfeldschwingung ist zwar nicht von langer Dauer, kann jedoch je nach der Masse des abfallenden Eisbehangs sehr hohe Amplituden annehmen und deswegen zu einem Seilüberschlag und/oder einer Entgleisung führen. Hier gilt es vorzugsweise die Ursache zu beseitigen, d. h. die Ausbildung von größerem Eisbehang wenn möglich zu verhindern. Dies wäre am besten während der Planungsphase zu berücksichtigen, indem man darauf achtet, dass die Bahntrasse möglichst nicht in einem Bereich errichtet wird, in dem die vorherrschenden klimatischen Bedingungen die Entstehung des Eisbehangs fördern. Ansonsten ist das häufige Fahren (auch außerhalb des regulären Betriebs) das einzige probate Mittel, um die Ausbildung von größerem Eisbehang zu verhindern; eine Heizung des Seiles, die den Eisbehang verhindern würde, scheitert letztendlich unter anderem auch daran, dass die benötigte Energie zu hoch wäre.

Schwingungen von kurzen Feldern: Die Frequenz der Grundschiwingung, die ein Seilfeld ausführen kann, wird mit folgender Gleichung berechnet:

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

(siehe ISR 1/2011, S. 20, „Plötzliche Änderung der Seilspannkraft“).

Wenn man hiermit beispielsweise die Frequenzen der Grundschiwingung zweier Seilfelder mit Längen von einerseits 500 m und andererseits 5 m berechnet – Seildurchmesser 40 mm, Seilmasse 5,62 kg/m, Seilspannkraft 180 kN – erhält man folgende Werte:

$$f_{500} = 0,18 \text{ Hz,}$$

$$f_5 = 17,9 \text{ Hz.}$$

Errechnet man für dieses Beispiel die Erregerfrequenzen infolge der litzeninduzierten Vibration, der Seilwelligkeit und der Rollenzentrizität (Rollendurchmesser 500 mm), bei einer Geschwindigkeit von 5,0 m/s, wie in ISR3/2010 auf Seite 10 und 11 aufgezeigt, erhält man folgende Werte:

$$f_{\text{Litzeninduziert}} = 107,14 \text{ Hz,}$$

$$f_{\text{Welligkeit}} = 17,86 \text{ Hz,}$$

$$f_{\text{Rollenzentrizität}} = 3,18 \text{ Hz.}$$

Aus dem oben berechneten Beispiel wird ersichtlich, dass die von den Strukturschwingungen bekannten Erreger zwar bei den üblichen (langen) Seilfeldern nichts zur Entstehung oder Aufrechterhaltung der Seilfeldschwingung beitragen, wogegen sie die Schwingung von kurzen Seilfeldern sehr wohl signifikant beeinflussen können.

Für die Bekämpfung dieser Schwingungen mittels Erregerbeseitigung gilt das gleiche,

was bei den Strukturschwingungen bereits ausgeführt wurde (siehe ISR 5/2010, S. 24). Darüber hinaus können solche Feldschwingungen dadurch verhindert werden, dass man bereits in der Planungsphase die Feldlänge derart einstellt, dass die Frequenz der Grundschiwingung dieses Feldes oder deren Mehrfaches nicht mit einer der zu erwartenden Erregerfrequenzen übereinstimmt. Wenn dies aus welchem Grund auch immer nicht möglich war, kann im Nachhinein nur durch das Anbringen einer zusätzlichen Rolle die Seilfeldlänge und somit die Frequenz der Grundschiwingung dieses Feldes verändert werden. In diesem Fall sollte darauf geachtet werden, dass die Frequenz zufolge der aus der Zusatzrolle resultierenden Teillängen nicht ein ganzzahliges Vielfaches der ursprünglichen Frequenz ist (Bild 3).

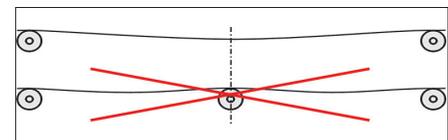


Bild 3: Die Position der Zusatzrolle darf nicht so gewählt werden, dass die ursprüngliche Feldlänge ein ganzzahliges Vielfaches der Teillängen ist.

Im nächsten und zugleich letzten Teil der Artikelserie „Schwingungen bei Seilbahnen“ werden wir uns hauptsächlich mit der Vermeidung bzw. Verringerung von Pumpschwingungen von Seilfeldern befassen.

Georg Kopanakis

