Schwingungen bei Seilbahnen

Schwingungsvorgänge an Seilbahnen führen immer wieder zu Betriebsstörungen oder sogar Schadensfällen. Die ISR wird sich in einigen Ausgaben des Jahres 2010 ausführlich mit diesem Thema auseinandersetzen.

Weil **dynamische Probleme** an Seilbahnen mathematisch wesentlich komplexer sind als die Behandlung von statischen Systemen, beschränkt man sich im Seilbahnbau häufig auf eine quasistatische Betrachtungsweise. Im Seilbahnbetrieb allerdings lässt sich die Physik nicht überlisten – da treten dann dynamischen Erscheinungen in Form von Schwingungen verschiedener Art auf.

Im Laufe der Zeit hat es an den einschlägigen Hochschul- bzw. Universitätsinstituten immer wieder Forschungsarbeiten zum Thema „Schwingungsprobleme bei Seilbahnen" gegeben. Diesen Titel trug beispielsweise eine Grundsatzarbeit, die Prof. Otto Zweifel, Ordinarius des ehemaligen Instituts für Bau- und Transportmaschinen der ETH Zürich, im Jahr 1972 in der ISR publiziert hat. In der Zusammenfassung seiner Arbeit schrieb er damals: „In diesem Einführungsreferat soll vorerst an einige elementare Zusammenhänge der Schwingungstheorie erinnert werden, die der Ingenieur zwar während seiner Ausbildung mehr oder weniger ausführlich gehört hat, die ihm jedoch in der Regel nicht mehr gegenwärtig sind. Sodann soll auf einige spezielle Schwingungserscheinungen hingewiesen werden, wie sie bei Seilbahnen auftreten."

In Fortführung dieses Forschungsschwerpunktes am genannten Institut – mittlerweile umbenannt in Institut für Leichtbau und Seilbahntechnik – wurden in den 80er und 90er Jahren von Prof. Gabor Oplatka und seinem damaligen Team (Reto Canale, Georg Kopanakis, Gabor Kovacs, Willi Müller und Thomas Richter) eine Reihe von Schwingungsvorgängen aus dem Bereich der Seilbahnen wissenschaftlich aufgearbeitet.

Das Thema Schwingungen hat auch im heutigen Seilbahnbetrieb nichts an Aktualität verloren. Reto Canale und Georg Kopanakis haben sich bereit erklärt, den ISR-Lesern ganz im Sinne der oben erwähnten Einführung von Prof. Zweifel in einer Artikelserie das Basiswissen über Schwingungsvorgänge bei Seilbahnen zu vermitteln und Lösungsmöglichkeiten für Schwingungsprobleme aufzuzeigen. Es werden dabei wichtige Beispiele aus dem Seilbahnbetrieb behandelt (Seilschwingungen, Auswirkungen auf Stützen und Stationen, winderregte Schwingungen sowie Schwingungen durch Stützenüberfahrt, Anfahren und Bremsen, Lastabwurf und Lösen von Eisbehang).

Die allgemeinen Grundlagen der Schwingungslehre sind im oben genannten Artikel von Prof. Zweifel so klar formuliert, dass wir uns entschlossen haben, sie wortwörtlich zu übernehmen:

Grundlagen

Damit Schwingungen auftreten können, muss ein Schwingungssystem vorhanden sein. Ein einfaches Schwingungssystem ist beispielsweise ein Pendel, das im Schwerefeld Schwingungen ausführen kann. Auch die Kabinen und Seile der Seilbahnen können wie Pendel im Schwerefeld Schwingungsbewegungen ausführen. Ein anderes einfaches Schwingungssystem ist eine federnd aufgehängte Masse. Wie diese kann auch eine an einem Tragseil hängende Kabine auf- und abwärts schwingen. Die Gesamtanlage einer Seilbahn, die aus den verschiedensten elastischen Gliedern und Massenteilen besteht, ist ein außerordentlich kompliziertes Schwingungssystem, das in einer kaum übersehbaren Mannigfaltigkeit Schwingungen ausführen kann.

Das bloße Vorhandensein eines Schwingungssystems bedeutet allerdings noch nicht, dass es wirklich zu Schwingungen kommt. Hierfür ist eine Anregung nötig; es muss Schwingungsenergie in das System eingeleitet werden. Dieses Anregen hat sogar in einer ganz bestimmten Art und Weise zu geschehen, damit die Schwingungen wirklich angefacht werden. Dies soll am Beispiel der an einer Spiralfeder aufgehängten Masse gezeigt werden.

Bewegt man das obere Ende dieser Feder außerordentlich rasch auf und ab, so bleibt die Masse stehen. Hebt und senkt man das Ende übertrieben langsam, folgt die Masse der Handbewegung, ohne in zusätzliche Schwingungen zu geraten. Nun gib es aber eine Frequenz, mit der die Masse von selbst schwingen will, die so genannte Eigenfrequenz. Erfolgt die Anregung in diesem Takt, so entsteht auch bei kleinen Bewegungen des Federendes eine sehr starke Schwingung, Dies ist der Fall der Resonanz.

In Abb. 1 ist dieses Problem für ein gefedertes Fahrzeug dargestellt, das über Bodenwellen mit der Amplitude a_0 fährt. Die Amplitude der Fahrzeugschwingung ist a, die Fahrgeschwindigkeit v. Im Diagramm ist das Amplitudenverhältnis a/a_0 als Ordinate über dem Geschwindigkeitsverhältnis v/v_k aufgetragen, wobei v_k die kritische Fahrgeschwindigkeit ist, bei der die Bodenwellen genau im Takt der Eigenfrequenz des Fahrzeuges auf die Räder schlagen. Im Diagramm sieht man in der Tat, dass die Ausschläge für den Resonanzfall ($v/v_k = 1$) sehr groß werden. Es sind Kurven mit verschieden großer Dämpfung (D = 0 keine Dämpfung, D = ∞ unendlich große Dämpfung) angegeben.

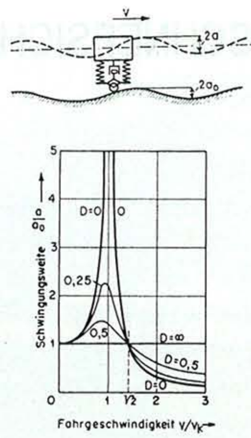

Abb. 1: Resonanzschwingung eines über Bodenwellen fahrenden Fahrzeuges. Schlagen die Bodenwellen im Takt der Eigenfrequenz auf die Räder, so wird der Schwingungsausschlag sehr groß.

Wegen der Resonanzerscheinungen ist die Kenntnis der Eigenfrequenz eines Schwingungssystems besonders wichtig. So ist beispielsweise bei den Seilbahnen von grundlegender Bedeutung, die Eigenfrequenzen transversal und longitudinal schwingender Seile mit oder ohne mitschwingende Massen zu kennen. Hinzu kommen die Eigenfrequenzen der Stützen, der Kabinen, der Antriebe, der Spanngewichte usw.

Quelle: O. Zweifel: „Schwingungsprobleme bei Seilbahnen", ISR 3/1972, S. 159

JN