

Dem Seildrall auf der Spur



Am Institut für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart (IFT) wurde ein neues Gerät zur laufenden Messung des Dralls von Zug- und Förderseilen entwickelt.

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.
KARL-HEINZ WEHKING,
Leiter IFT Universität Stuttgart



Dipl.-Ing. Sven WINTER,
Leiter Abteilung Seiltechnologie

Zug- und Förderseile von Seilbahnen drehen sich während einer Umfahrt um ihre eigene Achse. Dies kann vielfältige Ursachen haben, von denen die beiden folgenden am meisten bekannt sein dürften:

- die Drehung des Seils durch die wachsende Höhen- spannung während der Fahrt zu Berg. Gleichzeitig steigt das innere Drehmoment des Seils, es dehnt und verdreht sich.
- die Drehung des schraubenförmigen Litzenseils, während es mit leichten Reibungsverlusten – mit- unter auch nicht ganz sauber fluchtend – in die mit Gummi gefütterte Rolle einläuft. [Literatur: Engel, „Der Seildrall“, ISR 2/1966, Oplatka, „Drall in Zug- und Förderseilen“, ISR 5/2004]

Eine Drehung des Seils ist grundsätzlich unvermeid- bar. In vielen Fällen führt sie zu keiner markanten Verschlechterung der Seillebensdauer, und trotzdem verändert sich die Seilstruktur in der Art, dass die ge- fertigte Schlaglänge des Seils wächst oder gemindert wird. Mit der Schlaglänge ändern sich neben dem Vib- rationsverhalten des Seils auch die innere Lastvertei- lung, die Spannungen in den Drähten und der Abstand der Litzen. In der Praxis verkürzt sich meist bei Zug- seilen die Schlaglänge zum Teil bis zur ungewollten Litzenberührung, bei der sich erst der Zinkmantel der

Drähte in der Berührzone abreibt, nachfolgend eine Kerbung in Verbindung mit Korrosion entsteht und schließlich beschleunigt Drahtbrüche in der Litzen- gasse entstehen.

Drehung kann im Seil gespeichert und bis zur Endbe- festigung hin gewalkt werden, so dass hier eine blei- bende Verdrehung entsteht. Dieser feste Punkt kann eine Gehängeklemme oder insbesondere der Verguss eines Zugseils sein. Oft kann man an Zweiseil-Pendel- bahn- oder Standseilbahn-Zugseilen kurz vor den Fahrzeugen Anzeichen von Verdrehung ohne techni- sche Hilfsmittel erkennen, wenn das Seilstück die Sta- tion oder eine Stütze erreicht.

SCHÄDIGUNGEN DURCH SEILDRALL

Zum Teil sind Seile in verschiedenen Abschnitten un- terschiedlich stark geschädigt, ohne dass man dies auf die Bahngeometrie oder Scheibenanordnung der An- lage übertragen könnte. Dies lässt vermuten, dass hier unter anderem eine Verdrehung aufgrund verschiede- ner kombinierter Umgebungsfaktoren in unterschied- lichen Stadien gespeichert wird. Dadurch kann in vor- erst willkürlich erscheinenden Seilabschnitten die Drahtbruchentstehung im Vergleich zum restlichen Seil beschleunigt werden. In der Realität kommt dieser Fall von ungewöhnlicher Drahtbruchverteilung nicht

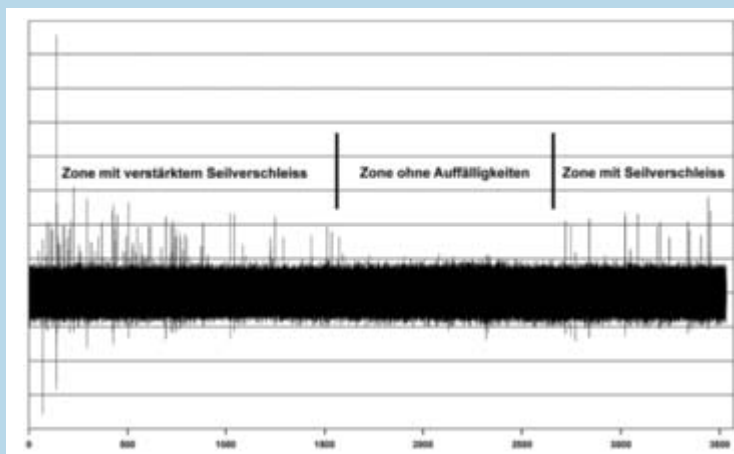


Abb. 1: Magnetinduktives Prüfegergebnis eines Zugseils mit ungleichem Verschleiß



Abb. 2: Applizierter Sensor



Dipl.-Ing. Konstantin KÜHNER,
Mitarbeiter Abteilung Seiltechnologie

selten vor. Bei magnetinduktiven Seilprüfungen wird das Phänomen besonders deutlich – ein Beispiel dafür gibt Abb. 1. Es zeigt das magnetinduktive Prüfergebnis eines über 3 km langen Zugseils mit sichtbar ungleicher Drahtbruchverteilung (die Spitzen über dem Grundsignal des Seils werden – vereinfacht erklärt – als Drahtbrüche gewertet).

BISHERIGE MESSMÖGLICHKEITEN

In eindeutigen Fällen lokaler Schäden hat man bisher mit Hilfe von Klebebandfähnchen, einem aufgetragenen Faden oder einem Farbstrich entlang des Seils gemessen, wie oft das Seil sich während der Fahrt dreht. Doch dies war immer nur dort möglich, wo man das Seil auch sehen kann, z. B. in der Station, auf einer Stütze oder nahe dem Fahrzeug. Das Verhalten auf der freien Strecke hingegen ist nur aufwändig messbar und daher eher unbekannt. Die Aufteilung der Drehung in den unvermeidbaren Anteil, der aus der Anlage und ihrer Topografie kommt, und in einen möglichen vermeidbaren Anteil, ist daher bis zum heutigen Tage nicht detailliert untersucht worden. Schließlich existiert noch kein Bezug zwischen dem Schädigungsverhalten von realen Seilbahnseilen und der eindeutig daran beteiligten Drehung dieser Seile. Seildrehung wurde und wird in der Theorie bis hin zum Labor un-

tersucht, eine systematische Untersuchung der Seilbahn-Praxis mit ihren vielzähligen Umgebungseinflüssen existiert jedoch bis heute nicht.

NEUER SEILDREHSENSOR

Am Institut für Fördertechnik und Logistik der Universität Stuttgart wurde daher die Idee entwickelt, die Drehung eines Seils auf einfache Art und an einer beliebigen Stelle digital zu messen. In Zeiten, in denen Mobiltelefone Schritte zählen und Computer-Spielkonsolen jegliche Bewegung des Nutzers erfassen können, konnte ein kleiner, kostengünstiger und ausreichend genauer Sensor entwickelt werden, der den Drehungsgrad des Seils gegenüber der Erdbeschleunigung aufzeichnen kann. Die Messplatine befindet sich in einem stabilen, kleinen Gehäuse, das – ähnlich einer Gehängeklemme – mit Einlaufschrägen versehen ist und somit auch bei voller Fahrt leicht über Rollen auf- und ablaufen kann, ohne dass der Sensor, die Rollen oder gar die Seillageüberwachung beschädigt werden (Abb. 2 und 3). Das System ist bewusst einfach und günstig ausgeführt, um neue Messideen zu fördern und nicht den Einsatz durch wirtschaftliche Faktoren zu bremsen.

MESSUNGEN AN BESTANDANLAGEN

Laufende Messprojekte auf aktuellen Anlagen dürfen an dieser Stelle leider noch nicht veröffentlicht werden. Daher werden im Folgenden Messungen auf drei Bestandanlagen älteren Jahrgangs gezeigt:

- die Standseilbahn zum Waldfriedhof in Stuttgart (*1929, Abb. 4), Messung auf dem Zugseil ca. 5 m bergwärts des Wagens;
- die Pendelbahn zum Predigtstuhl in Bad Reichenhall (*1928, Abb. 5), Messung auf dem Gegenseil ca. 20 m talseitig der Kabine;
- die kuppelbare Einseilumlaufbahn zum Jenner am Königssee, 2. Sektion (*1953, Abb. 6), Messung des Leerseils der 2. Sektion während einer Bergfahrt.

Fortsetzung nächste Seite ->

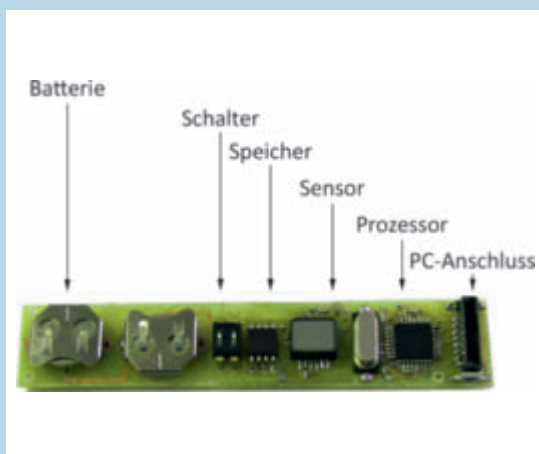


Abb. 3: Schematischer Aufbau



Abb. 4: Stuttgarter Standseilbahn



Abb. 5: Predigtstuhlbahn



Abb. 6: Jennerbahn

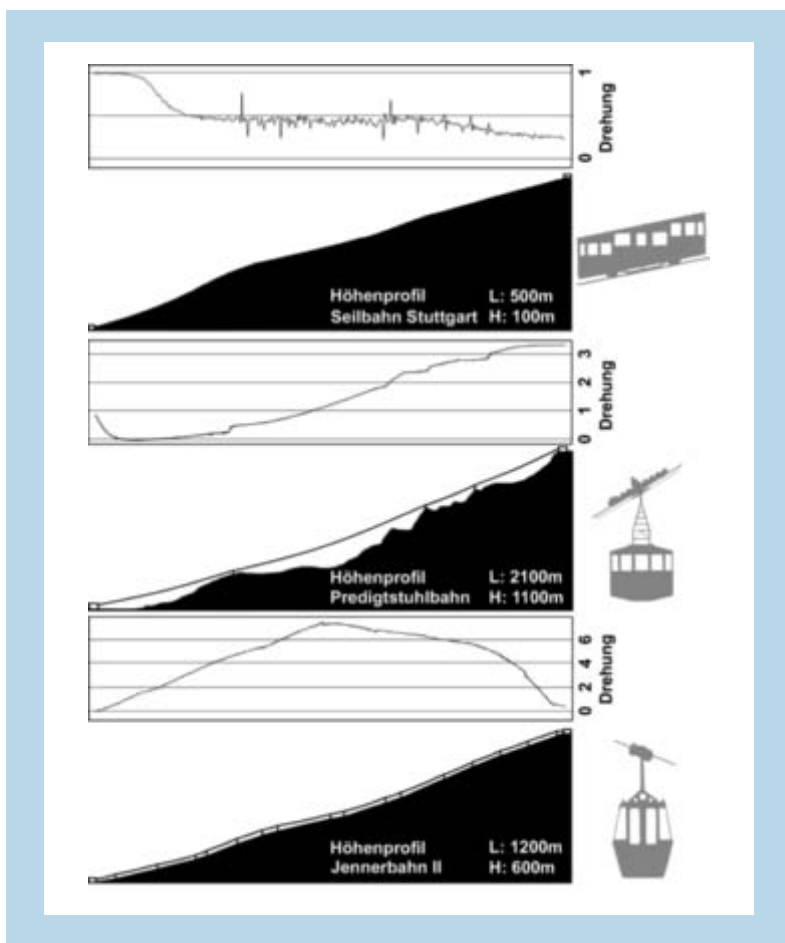


Abb. 7: Drehmessung und Streckenprofile der Stuttgarter Standseilbahn, Predigtstuhlbahn und Jennerbahn, Sektion II

In Abb. 7 sind die Ergebnisse der Drehmessung über dem jeweiligen Streckenprofil aufgezeichnet. Bereits ohne eine detaillierte Untersuchung sind Zusammenhänge zwischen Streckenprofil und Drehung sichtbar.

Zu erwarten ist, dass sich die gemessenen Seile tendenziell während ihrer Fahrt zu Berg in eine Richtung drehen, da die Änderung der Höhenspannung ΔS_h mit der Formel

$$\Delta S_h = \Delta h \cdot q$$

Δh ... Zunahme der Höhe im Seilfeld

q ... spezifisches Längengewicht des Seils

das innere Drehmoment M_t um den Betrag

$$\Delta M_t = \mu \cdot \Delta S = \mu \cdot \Delta h \cdot q$$

μ ... Verdrehungskonstante des Seils

ansteigen lässt. Mit Hilfe der Drehsteifigkeit D der Seilkonstruktion lässt sich der theoretische Drehwinkel nach [Engel, „Der Seildrall“, ISR 2/1966] für das fest eingespannte Zugseil einer Pendelbahn sowie für das eher frei drehbare Förderseil einer Umlaufbahn berechnen.

ERKENNTNISSE AUS DEN MESSUNGEN

Die Messungen lassen nun folgendes erkennen: Die Zugseile der pendelnden Bahnsysteme mit fester Ein-

spannung folgen in der Nähe der Fahrzeuge wie erwartet einem gleichbleibenden Drehsinn, während Überlagerungen aus den Stützen bzw. der Ausweiche erkennbar sind. Die Steilheit des Drehungsanstiegs scheint sogar den Steigungsabschnitten der Höhenprofile qualitativ zu folgen. Am Beginn und Ende der Messkurven sind Einflüsse aus dem Kraftanstieg beim Anfahren und dem Ein- und Ablauf in die Stationsumlenkungen zu berücksichtigen. Da bei diesen beiden Pendelbahnanlagen keine Verdrehungsprobleme bekannt sind, gilt es nun zu erforschen, wie sich eine Anlage mit vermuteten Problemen verhält, wie und vor allem wo die Kurve vom erwartbaren Weg abdriftet.

Das fahrzeugfreie Förderseil der Umlaufbahn ist ohne feste Einspannung und kann sich somit leichter drehen. Hier haben einzelne Felder, die Spur, Nieder- und Hochhaltstützen sowie deren Ablenkwinkel einen sichtbaren Einfluss auf das Drehbestreben. Wie groß der jeweilige Einfluss ist, gilt es noch herauszufinden. Während die Seile der Pendelbahnen am Berg und im Tal einen jeweils unterschiedlichen Zustand anstreben und halten, strebt das Seil dieser Umlaufbahn sogar nach anfänglichem Drehen in eine Richtung trotz stetig steigender Höhenspannung vor der Bergstation wieder zurück – fast ideal bis auf den Ausgangszustand. Es stellt sich die Frage, ob ein solcher Effekt wünschenswert ist und eventuell bei der Planung einer Anlage bereits konstruktiv berücksichtigt werden kann.

ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend bleibt zu sagen: Mit dem neuen Drehsensor kann nun erstmalig eine Bahn vollständig vermessen und die Drehung in Bezug auf die Anlage an einem beliebigen Ort bestimmt werden. Durch Messung an mehreren Seilabschnitten kann das Drehverhalten einer Anlage regelrecht kartografiert werden. In der laufenden Forschung sollen die neuartigen Messdaten mit dem Anlagenprofil, mit der magnetinduktiven Prüfgeschichte eines Seils und den berechenbaren Seilspannungen in der Anlage kombiniert werden. In Zukunft ermöglicht dies, schädigende Drehung und ihre Ursachen zu erkennen. Die Seilsicherheit und Seillebensdauer können damit entscheidend verbessert werden.

Als positiver Nebeneffekt ist mit dem System die Spurmessung von Neu- und Bestandanlagen auf dem Leerseil möglich, da das Seil bei unzureichender Fluchtung wie oben beschrieben zu drehen beginnt.

Impulse von außen können die Erforschung der Seildrehung nur bereichern. Erste Seil- und Seilbahnhersteller zeigen in Gesprächen bereits Interesse an den neuen Messmöglichkeiten. Zudem steht das IFT der Universität Stuttgart interessierten Bahnbetreibern, Sachverständigen oder Fachfirmen gerne bei Fragen zum Drehsensor Rede und Antwort.

Karl-Heinz Wehking
Sven Winter
Konstantin Kühner

FOTOS: K. KÜHNER