

Das Seil in einer Seilbahn heute



Georg A. Kopanakis referierte an den 4. Stuttgarter Seiltagen über den Einfluss der Entwicklung des Seilbahnbaus in den letzten Jahrzehnten auf das Teilsystem Seil.

Dipl.-Ing. (ETH) GEORG A. KOPANAKIS
Beratung in Seil- und Seilbahnfragen

EINLEITUNG

Seilbahnen (seilgezogene und/oder seilgetragene Transportmittel) sind wahrlich keine Erfindung des 21. Jahrhunderts. Dennoch ist es nicht falsch zu behaupten, dass ihre Entwicklungsgeschwindigkeit und nicht zuletzt die Ausweitung ihres Einsatzgebietes, insbesondere in den letzten zehn Jahren, stets zugenommen haben und auch noch weiter zunehmen werden.

Für uns Seilbahntechniker, die ja nach wie vor behaupten, dass es kein anderes Element bzw. Teilsystem gibt, das alle Funktionen eines Seiles adäquat übernehmen kann, ist dies natürlich eine sehr erfreuliche Entwicklung. Bei jeder Neu- oder Weiterentwicklung dürfen wir jedoch nicht versäumen, stets auch ein Auge auf vermeintliche Details zu richten.

Diese Anforderung, d. h. bei einzelnen Änderungen oder bei umfangreichen Entwicklungen stets und genau den Einfluss einer Änderung auf alle Systemkomponenten genau zu überprüfen, ist im Bereich der Technik an sich trivial und wird auch weitgehend konsequent eingehalten. Wird hingegen diese Anforderung einmal ignoriert, kann dies vom System prompt mit einem unerwarteten Problem quittiert werden. Dennoch wird diese Anforderung in Bezug auf das Seil nicht immer konsequent erfüllt.

Dies liegt keinesfalls daran, dass Seilbahningenieure weniger zuverlässig als andere Ingenieure arbeiten! Vielmehr steckt die Ursache dieser Untugend im Seil selbst: Einer der wesentlichen Vorteile eines Seiles liegt in der Tatsache, dass es ein „gutmütiges“ Teilsystem ist. Das heißt, dass das Seil einen kommenden Schaden frühzeitig „ankündigt“. Des Weiteren bedeutet dies aber (immer vorausgesetzt, dass die Verantwortlichen seine Warnsignale wahrnehmen und auch verstehen können), dass das Seil nicht sofort und nicht immer gleich „erbozt“ auf unsere gelegentlichen „miesen Taten“ reagiert. Dies führt dazu, dass häufig die Kausalität zwischen der

Ursache und der entsprechenden Reaktion nicht trivial herzustellen ist. Demnach ist es evident, dass die Gefahr einen Einfluss zu übersehen sehr groß ist, insbesondere bei Änderungen, die aus kleinen Schritten bestehen und über längere Jahre schleichend stattfinden.

Auch die Entwicklung der Seilbahnen folgt verständlicherweise den Regeln unseres Wirtschaftssystems (größer, schneller, leichter, effizienter etc.); unter diesem Aspekt wird im Folgenden versucht in drei Beispielen aufzuzeigen, was die Auswirkungen dieser Änderungen auf einzelne Elemente im Seil bedeuten können.

BELASTUNGEN IM SEILINNEREN

Um den Einfluss der sich global ändernden Seilkräfte auf die einzelnen Elemente des Seiles abschätzen zu können, wird an einem Seil, das unter der maximal zulässigen Zugkraft belastet ist, die radiale Linienlast, mit der eine Litze auf die Seileinlage drückt, betrachtet.

Aus den dazu durchgeführten Berechnungen ergeben sich für den Einfluss der Drahtfestigkeit, des Seildurchmessers und des Schlaglängenfaktors auf die radiale Linienlast folgende Erkenntnisse:

Einfluss der Drahtfestigkeit:

- Die radiale Linienlast steigt linear mit der Drahtfestigkeit an (Abb. 1).
- Die maximale Hertzsche Pressung zwischen einer Litze und der Einlage ist proportional zur Quadratwurzel der Drahtfestigkeit (Abb. 2).

Einfluss des Seildurchmessers:

- Die radiale Linienlast steigt linear mit dem Seildurchmesser an (Abb. 3).
- Die maximale Hertzsche Pressung zwischen einer Litze und der Einlage ist unabhängig vom Seildurchmesser (Abb. 4).

Einfluss des Schlaglängenfaktors:

- Die radiale Linienlast ist umgekehrt proportional zum Quadrat des Schlaglängenfaktors (Abb. 5).
- Die maximale Hertzsche Pressung zwischen einer Litze und der Einlage ist umgekehrt proportional zum Schlaglängenfaktor (Abb. 6).

Auswirkungen:

- Die primär infolge der höher werdenden Drahtfestigkeit höher werdende Pressung auf die Seileinlage hat – insofern ihr nicht mit geeigneten Maßnahmen begegnet wird – zur Folge, dass die Einlage ihre Funktion über die Zeit nicht adäquat erfüllen kann. Deswegen kann es früher zur Litzenberührung und somit zu Drahtbrüchen kommen. Aus dem gleichen Grund wird auch das Einhalten der gewünschten möglichst kleinen bleibenden Dehnung entsprechend schwieriger.
- Die Variation der radialen Linienlast und der Pressung als Folge der Variation der Schlaglänge ist hauptsächlich im Zusammenhang mit der zur Reduktion der litzeninduzierten Vibrationen notwendige Anpassung des Verhältnisses Rollenabstand/Litzenabstand zu sehen. Es ist wichtig zu unterstreichen, dass unter Berücksichtigung der Funktion des Spleißes das Schlaglängenverhältnis nicht zu groß werden darf, da die für die Funktion des Spleißes notwendige radiale Linienlast gegebenenfalls zu klein werden kann, wodurch die Funktion des Spleißes beeinträchtigt wäre.

BELASTUNGEN AN DEN ENDBEFESTIGUNGEN (TROMMELVERANKERUNG)

Die Trommelverankerung (Poller) wird im Bereich der Seilbahnen in der Regel als Endbefestigung von Tragseilen eingesetzt. Die radiale Linienlast des Seiles auf den Poller hängt von der Drahtfestigkeit, dem Seildurchmesser und dem Durchmesserverhältnis (Pollerdurchmesser/Seildurchmesser) wie folgt ab:

Einfluss der Drahtfestigkeit:

- Die maximale radiale Linienlast steigt linear mit der Drahtfestigkeit an.

- Die maximale Hertzsche Pressung ist proportional zur Quadratwurzel der Drahtfestigkeit.

Einfluss des Seildurchmessers:

- Die maximale radiale Linienlast steigt linear mit dem Seildurchmesser an.
- Die maximale Hertzsche Pressung ist unabhängig vom Seildurchmesser.

Einfluss des Durchmesserverhältnisses:

- Die maximale radiale Linienlast ist umgekehrt proportional zum Durchmesserverhältnis.
- Die maximale Hertzsche Pressung ist umgekehrt proportional zur Quadratwurzel des Durchmesserverhältnisses.

Auswirkungen:

Die Auswirkungen der im Laufe der letzten 40 Jahre schleichend stattgefundenen Änderung bzw. Kombination von Änderungen der genannten Parameter wird in Abb. 7 illustriert.

In der Praxis bedeutet dies, dass die vorherrschenden Lasten häufig die Druckfestigkeit der Pollereinlage überschreiten und/oder die durch die nicht vorgesehene Durchmesserabnahme des Pollers verursachte Seilbewegung unter den hohen Drücken zur Schädigung des Seiles selbst führen kann.

In diesem Kontext sind folgende Schritte notwendig, um die oben erwähnten Probleme zu vermeiden:

- die Wahl einer Pollereinlage mit genügend hoher Druckfestigkeit sowie
- die Rillierung der Einlage, zumindest in dem Bereich, in welchem das Seil auf den Poller aufläuft, um hiermit den lokalen Druck zu reduzieren.

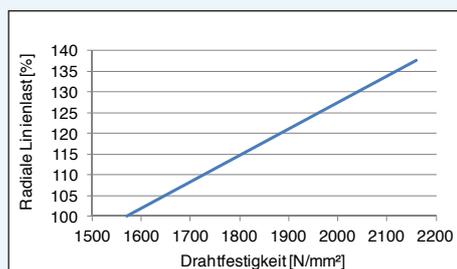


Abb. 1: Radiale Linienlast als Funktion der Drahtfestigkeit

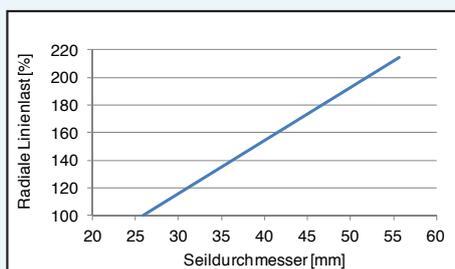


Abb. 3: Radiale Linienlast als Funktion des Seildurchmessers

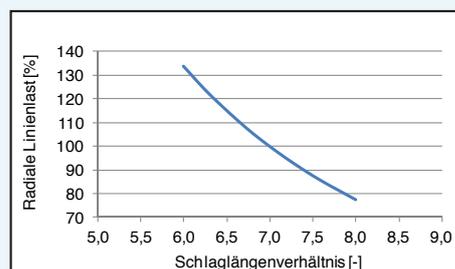


Abb. 5: Radiale Linienlast als Funktion der Schlaglänge

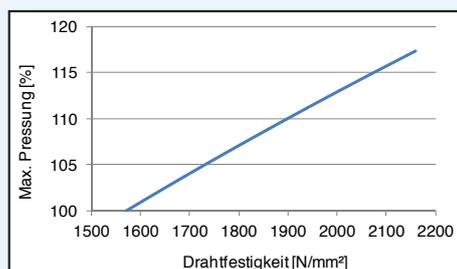


Abb. 2: Maximale Pressung als Funktion der Drahtfestigkeit

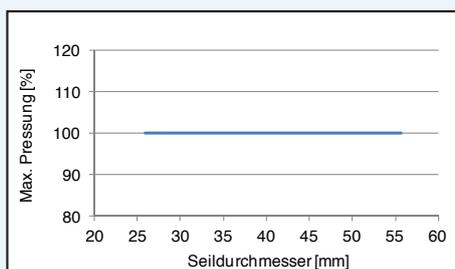


Abb. 4: Maximale Pressung als Funktion des Seildurchmessers

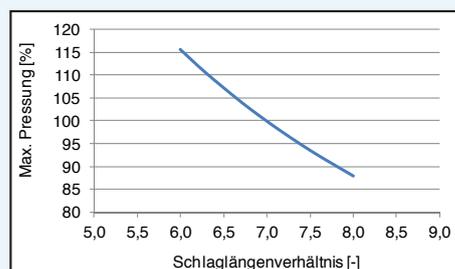


Abb. 6: Maximale Pressung als Funktion der Schlaglänge

			Bahn 1 (1970)	Bahn 2 (1974)	Bahn 3 (1985)	Bahn 4 (1995)	Bahn 5 (2008)	Bahn 6 (2010)
Pollerdurchmesser	D	[mm]	3600	3600	3600	3650	5000	6000
Seildurchmesser	d	[mm]	47,2	48	50	53,8	70	90
Durchmesser Verhältnis D / d		[-]	76,27	75,00	72,00	67,84	71,43	66,67
Vergleich		[%]	100,00	98,33	94,40	88,95	93,65	87,41
Bruchlast	MBK	[kN]	2354	2384	2619	3131	5513	9000
Seilzug	S	[kN]	640	735	780	920	1745	2860
Statische Sicherheit SF		[-]	3,68	3,24	3,36	3,40	3,16	3,15
Vergleich		[%]	100,00	88,18	91,29	92,53	85,89	85,56
Maximale Linienlast q_{max}		[N/mm]	351	403	427	497	688	939
Vergleich		[%]	100,00	114,82	121,78	141,55	196,14	267,63

Abb. 7: Linienlast eines um einen Poller gewickelten Seiles

ARBEITSZYKLEN (ANZAHL SEILUMLÄUFE)

Ein Seil im Einsatz ist ein zeitfestes Teilsystem, da es stets einem Ermüdungsprozess ausgesetzt ist. Andererseits gehören zur Ermüdung bekanntlich ein Anriss bzw. eine Diskontinuität, eine schwellende Belastung und schließlich bei einer gegebenen Belastungsart eine bestimmte Anzahl von Zyklen bis zum Bruch.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Biegebeanspruchung eines um eine Scheibe laufenden Seiles die dominante Beanspruchungsart darstellt und deswegen die Anzahl solcher Biegungen für die Seil Lebensdauer bestimmend sind, ist es wichtig, die Entwicklung der Biegewechselzahlen über die Jahrzehnte zu analysieren.

Die Faktoren, die die Anzahl der Biegewechsel im Falle eines umlaufenden Seiles bestimmen, sind die Betriebsgeschwindigkeit, die Bahnlänge, die Anzahl der Betriebsstunden pro Tag und die Anzahl Betriebstage pro Jahr. Diese Einflussgrößen wurden im Laufe der letzten 50 Jahre wie folgt verändert:

- Die Fahrgeschwindigkeit der häufigsten Seilbahnart (Umlaufbahn) ist von 3 m/s auf 6 m/s angestiegen.
- Es gibt vermehrt einzelne Bahnen (Zubringer), die eine kurze Länge aufweisen; ansonsten variiert die Länge der Mehrheit der Bahnen in ähnlichen Bereichen.
- Die Anzahl Betriebsstunden pro Tag ist tendenziell gestiegen. Insbesondere bei Bahnen, die bei beleuchteten Pisten einen Nachtbetrieb anbieten. Ansonsten sind Bahnen, die als urbane Verkehrsmittel oder als Verbindungen auf Flughäfen etc. eingesetzt werden, praktisch durchgehend im Betrieb.
- Zunehmend wechseln die Bahnen vom reinen Winterbetrieb zum ganzjährigen Betrieb und die urbanen Bahnen sind bis auf die Wartungs- und Instandhaltungsperioden ohnehin das ganze Jahr im Betrieb.

Abb. 8: Entwicklung der Biegewechselzahlen in den letzten Jahrzehnten

Jahr	Länge [m]	Geschw. [m/s]	Betriebsstunden pro Tag [h/T]	Betriebstage pro Jahr [T/J]	Biegewechsel pro Jahr [BW/J]	Vielfaches des niedrigsten[-]
1953	2390	2,5	7	120	3163	x 1,00
1961	2447	3,5	7	120	4325	x 1,37
1972	2280	4	8	135	6821	x 2,16
1980	2550	4,5	8	130	6607	x 2,09
1987	2035	5	8	210	14860	x 4,70
1999	932	5,5	8	270	45888	x 14,51
2008	2708	6	12	270	25843	x 8,17
2010	805	6	18	365	176288	x 55,73

Auswirkungen:

Die Auswirkungen der erfolgten Änderungen auf die jährliche Anzahl der vom Seil ertragenen Biegewechsel zeigt Abb. 8. Die Daten stammen aus einer Reihe von kuppelbaren Kabinenbahnen, die über eine Antriebs- und eine Umlenkscheibe verfügen.

Ein Biegewechsel entspricht dem Auf- und Ablaufen eines Seilquerschnitts über eine Scheibe.

Auch hier ist offensichtlich, dass die Anzahl Seilumläufe pro Jahr im Laufe der Jahre ständig gewachsen ist und weiter wachsen wird. Ein besonderes Augenmerk gilt hier den immer häufiger anzutreffenden „kurzen“ Bahnen. Da sie ansonsten wie die Bahnen mit üblichen Längen gebaut sind, wird oft vergessen, dass die Anzahl der Biegewechsel umgekehrt proportional zur Bahnlänge wächst.

Es ist schließlich evident, dass bei gleich bleibender Seilqualität die Seillebensdauer – rein zeitlich betrachtet – ständig kürzer wird. Aus diesem Grund muss mit Nachdruck betont werden, dass – insofern weder die Norm, noch der Seil- oder Seilbahnhersteller gesondert darauf hinweisen – es in der Verantwortung des jeweiligen Betreibers liegt, die Planung der Wartung und Instandhaltung so zu gestalten, dass die höhere Anzahl von Arbeitszyklen pro Zeitabschnitt adäquat berücksichtigt wird.

SCHLUSSWORT

Alle oben aufgezeigten Änderungen, die im Laufe der Zeit stattgefunden haben, sowie ihre angedeuteten Konsequenzen dürfen nicht als verdeckte Empfehlung zu einem zukünftigen Stillstand der Entwicklung im Seilbahnbau aufgefasst werden. Vielmehr erscheint es wichtig zu unterstreichen, dass keine unangenehme Überraschung befürchtet werden muss, wenn bei einer Neuentwicklung alle Einflussfaktoren bzw. Parameter bereits im Entwicklungsstadium erkannt, untersucht und entsprechend gewählt werden. Wenn man jedoch eine Änderung vornimmt, indem man nur auf „alten“ Erfahrungen aufbaut und zwar ohne die Zusammenhänge genauer zu kennen, dann besteht die reelle Gefahr, dass kurz- oder langfristig eine Störung oder auch ein Schaden entstehen kann.

Georg A. Kopanakis