

Prof. O. Zweifel und die Seilbahnbauer: Beitrag zur Geschichte der starren Tragseilverankerung

Autor(en): **Schönholzer, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **94 (1976)**

Heft 30

PDF erstellt am: **05.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73135>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

In den Figuren, welche Zweifel für die Darstellung der Verluste in Funktion von ψ verwendet, werden die Verluste auf die Austrittsenergie bezogen oder durch die Gleitzahl ε ausgedrückt. Der Verlust i je Masseneinheit

$$i = \zeta \frac{w_2^2}{2}$$

oder, wie man aus den Formeln des Artikels von Zweifel ableitet

$$(3) \quad i = \varepsilon \frac{\Delta w_t}{w_n} w_\infty^2$$

Die Kennzahlen ζ und ε sind zwar geeignet, um die relative Güte von Gittern verschiedener Teilungen zu beurteilen; für die absolute Güte sind sie kein Mass. Beispielsweise ist ζ für ein stark umlenkendes, gutgeformtes Gitter ein Mehrfaches des ζ für schwache Ablenkung. Von ε gilt dies in geringerem Masse ebenfalls. Daher hat man später in Fortsetzung der Zweifelischen Gedankengänge geeignete Kennzahlen für die Erfassung der Verluste gesucht. Eine solche ist die «mittlere Gleitzahl $\bar{\varepsilon}$ ». Sie wird durch eine Integration von Teilablenkungen gewonnen und liefert

$$(4) \quad i = \bar{\varepsilon} \frac{\Delta w_t}{w_n} \left[w_\infty^2 + \frac{1}{12} (\Delta w_t)^2 \right]$$

Die mittlere Gleitzahl ist seit vielen Jahren bei Brown Boveri in Gebrauch. Da anderswo wenig beachtet, wurde sie in einer kürzlichen Abhandlung in Erinnerung gerufen und begründet [2]. Es ist ohne Gegenstand, zu prüfen, ob die mittlere Gleitzahl richtig oder falsch sei. Sie ist die zulässige, freie Wahl einer Kennzahl und kann, wenn man mit konsistenten Mittelwerten rechnet [3] auf jederlei Gitter angewendet werden. Richtig oder falsch ist nur die Behauptung, sie sei ein bequemes Mass für die Beurteilung der Güte von Gittern mit sehr verschiedenen Strömungswinkeln. Der Ausdruck (4) unterscheidet sich vom Ausdruck (3) durch das 2. Glied in der Klammer. Bei schwacher Umlenkung kann dieser vernachlässigt werden. Im Falle des Bildes 1 ist aber bereits $\Delta w_t/w_\infty = 3$ und das Glied von Gewicht.

Literaturverzeichnis

- [1] O. Zweifel: Die Frage der optimalen Schaufelteilungen von Turbomaschinen, insbesondere bei grosser Umlenkung in der Schaufel. «Brown Boveri-Mitteilungen» 1945, S. 436.
- [2] C. Seippel: Über den Reaktionsgrad der Turbinen. «Brown Boveri-Mitteilungen» 1975, S. 92.
- [3] L. S. Dzung: Konsistente Mittelwerte in der Theorie der Turbomaschinen für kompressible Medien. «Brown Boveri-Mitteilungen» 1971, S. 485.

Adresse des Verfassers: Dr. Ing. Claude Seippel, Arterstrasse 28, 8032 Zürich.

Prof. O. Zweifel und die Seilbahnbauer

Beitrag zur Geschichte der starren Tragseilverankerung

Von A. Schönholzer, Thun

DK 92:625.97

Es war einfacher, den ehrenvollen Auftrag zur Abfassung eines Beitrages für diese Sonderausgabe anzunehmen, als das gegebene Versprechen rechtzeitig einzulösen. Schön wäre es, die Verdienste Prof. Zweifel auf dem Gebiete des Seilbahnbaues in einer anspruchsvollen und auf seinen Forschungen fussenden Arbeit zu würdigen, doch war dies in der vorgegebenen Zeit einfach nicht möglich. Näher lag daher, den Ausweg in Form einer Berichterstattung über die praktischen Auswirkungen seiner theoretischen Untersuchungen auf dem Gebiet der Seilstatik zu suchen. Aber es fiel mir schwer, zu diesem Thema die gebotene Distanz zu wahren, und das eigene Engagement gebührend in den Hintergrund zu drängen. Dafür erlauben die freie Gestaltung des Beitrages und mein ungefähr gleicher Jahrgang einen herzhaften Blick rückwärts in die Vorgeschichte und die Reminiszenzen.

Wer sind sie überhaupt, diese Seilbahnbauer, die ich mit Prof. O. Zweifel und seinem Lehrstuhl an der ETH in Beziehung setzen möchte? Die Frage mag befremdlich anmuten, sie ist aber durchaus berechtigt, denn die Gilde der Seilbahnbauer bestand früher und besteht zum Teil auch heute noch aus sehr unterschiedlich gearteten und voneinander weit entfernten Zweigen. Man konnte etwa vereinfacht von Theoretikern und Praktikern sprechen, doch wurde diese Definition der tatsächlichen Situation nie gerecht.

Rückblickend darf gesagt werden, dass vor 30 Jahren eigentlich nur die Konstrukteure von grossen oder industriellen Transportanlagen als zünftige Seilbahnbauer galten, obwohl erst wenige Anlagen gebaut waren. Daneben, sozusagen auf der minderen Seite, befanden sich die Handwerker, die reinen Praktiker, eben die berufsmässigen Seilbahnbauer. Ihre Tätigkeit war, im Gegensatz zu derjenigen der Zünftigen, von Vorschriften und technischen Normen kaum gehemmt; kantonale Reglemente schränkten ihre Tätigkeit nur unwesentlich

ein, einzig die Bundesverordnung über den gewerbmässigen Personentransport in Kabinen mit mehr als 4 Personen Fassung setzte eine Grenze.

Zwischen diesen beiden Zweigen des Faches gab es keine Verbindung, es gab keine gemeinsamen Grundlagen, so wenig wie die Fakultät der Seilbahnbauer an der ETH vertreten waren. Während die Zünftigen da und dort viel bewunderte Bahnen schufen, geprüft und abgenommen durch das Eidg. Post- und Eisenbahndepartement, bauten die Minderen ihre Bahnen zu Dutzenden in der Stille. Sie hatten ihre eigene Technologie entwickelt, sie transportierten Lasten bis zu 3 t (entsprechend 40 Personen bei den Zünftigen), und mit zum Teil beachtlichen und höchst zweckmässig ausgebildeten Einzelteilen. Vielerorts kam ein erstaunliches Gefühl für richtige und harmonische Konstruktionen zum Ausdruck.

Intuitiv und augenfällig schön ausgebildete Teile sind ja meistens, ich wage dies zu behaupten, gut konstruiert, selbst wenn sich das Gefühl für Harmonie nur in zierlich geschmiedeten Gestängen manifestierte.

Sie erschlossen mit ihren Bahnen auf denkbar wirtschaftliche Art abgelegene Siedlungen und unzugängliche Waldungen, und trugen wesentlich dazu bei, dem heute für unseren Landschaftscharakter als notwendig erkannten Bergbauernstand das Ausharren auf den abgelegenen Höfen zu erleichtern. Aber, da eine anerkannte technische Aufsicht fehlte, haftete diesen sogenannten «kantonalen Bahnen» der Geruch der Gefährlichkeit, des Unzuverlässigen an. Vor ihrer Benutzung wurde regelrecht gewarnt, nicht immer ganz zu Unrecht. Aber die liebevolle Pflege durch die Besitzerfamilien überbrückte da und dort technische Mängel.

Worin unterschieden sich denn diese beiden Traditionen eigentlich, die der zünftigen Seilbahnindustrie und die der Seilbahnbauer? In die Augen springend war jedenfalls die

Grösse der Transportbehälter. Auf der einen Seite imposante Kabinen für 20, 30 und mehr Personen, und auf der anderen Seite die mehr oder weniger elegant überdachten «Schiffli» für 4 Personen. Doch das ist nicht entscheidend. Es gibt ein ganz anderes Merkmal, dem Laien fällt es gar nicht auf, und mit dem wir uns hier näher beschäftigen müssen.

Auf eine einfache Formel gebracht möchte ich sagen, – dass der Seilbahnbauer seine Seile kräftig anspannte, im Gegensatz zur – Industrie, die sie auflegte und einseitig ein Gewicht daran hängte.

Der Unterschied scheint gering, hat aber bedeutende Auswirkungen. Die Handwerker wählten und spannten ihre Seile intuitiv und ohne Berechnung. Man muss es gesehen haben, diese Spannerei, womöglich noch mit dem Waldteufel, jenem prähistorischen Habegger-Zug. Sachkundig wurde ans Seil geklopft, die Tonlage verriet dem Meister die von ihm als richtig erachtete Vorspannung; von der Temperatur und dem Sicherheitskoeffizienten war da nicht die Rede. Mit anderen Worten, die Seilbahnbauer verwendeten wegen der viel einfacheren Konstruktion ausnahmslos starr abgespannte, also an beiden Seiten verankerte Tragseile, während die Industrie ebenso ausschliesslich durch Gewicht vorgespannte Seile bevorzugte. Diese sind der Berechnung viel zugänglicher, oder es scheint wenigstens so zu sein.

An dieser Stelle möchte ich mein eigenes «Aha»-Erlebnis einflechten: Ich hatte um 1950 den Auftrag, für eine permanente Bauseilbahn für Material- und Personentransport, die Grösse der Nutzlast lag bei 2 t, die Stützenkonstruktionen zu entwerfen und zu berechnen.

Die notwendigen Angaben über Seilkräfte und Seilwinkel wurden mir von der Maschinenindustrie geliefert, mit Angaben weit in die Komma-Stellen. Das Tragseil durfte nicht anders als aufgelegt und talseitig mit einem Gewicht gespannt werden. Schon bei der Ermittlung der Stützenkräfte zeigte sich, dass die Aufaddierung der zu erwartenden Reibungskräfte zum Spannungszug ungefähr zu einer Verdoppelung der Seilspannung führte, und dass bei der Umkehrung der Reibungskräfte die theoretische Tragseilspannung beim vierten Masten schon in die Nähe von Null rutschte. Das konnte ja nicht stimmen, und bestätigte sich dann bei den Fahrversuchen in dem Sinn, dass das Gewicht auch in den extremsten Betriebsfällen und trotz Spannweiten von über 1000 m eisern an seiner Stelle sitzen blieb. Die offizielle Berechnung erwies sich als eine Utopie, der teure Spannungsschacht im Granitfelsen als unnütze Ausgabe; aber der Theorie und der Vorschrift war Genüge getan. Für mich ist jenes Erlebnis noch mit zwei anderen Erinnerungen verbunden:

– Dank der Vorwarnung durch die merkwürdige Seilberechnung hatte ich die Sattelaufgabe-Bogen lang genug gewählt, um auch bei grösster Sommerwärme und erschlafftem Seil die anlaufende Vollast noch aufzunehmen
– andererseits hatte jene Lieferfirma die Zugseilbefestigung an der Kabine so weit gewählt, dass auch das leere Fahrwerk bei infolge grösster Kälte straff gespanntem Seil noch durchschlüpfte.

Wir hatten alle Glück gehabt.

Der Anstoss war gegeben und die Gelegenheit günstig, das aufgeworfene Problem weiter zu verfolgen. Messbare Seilverschiebungen auf den Stützen liessen Rückschlüsse zu auf das Kräftespiel in den einzelnen Feldern, und die erste je gebaute permanente Hängestütze (1945) zwischen zwei grossen Feldern (400 und 1000 m) ermöglichte reibungsfreie Verschiebungsmessungen, so dass das Problem bald einmal, wenigstens für meine Begriffe, lösbar schien. Die Nutzenanwendung der Erkenntnisse folgte sofort, so z.B. beim Entwurf der ersten Bahn nach der Riederalp mit ihren 13 Stützen. Wenn das

Eidg. Amt für Verkehr der festen Seilabspannung damals seine Zustimmung gab für eine Bahn mit einer Nutzlast von immerhin 16 Personen je Kabine, und entgegen allen geschriebenen Vorschriften, so war dies weniger meinen damals nur angenäherten Berechnungen zu verdanken, als der Erkenntnis, dass das Spannungsgewicht spätestens nach 3 Stützen seine Wirkung verliere, und damit de facto doch eine feste Abspannung bestehe.

Als ein anderes Beispiel seien die ersten Schwerlastbahnen für 13 t Nutzlast im Tessin erwähnt, die sich weisungsgemäss nicht aus der Kastanienselva erheben durften. Dadurch waren die vielen Stützen bedingt, und hier wurde bewusst zum ersten Mal die theoretische Sicherheit auf Bruch unter extremen Bedingungen nicht mehr eingehalten (extreme Kälte plus maximale Last). Überhaupt wurde auch für die damals anlaufende Tätigkeit der meinem Büro übertragenen Kontrollstelle des Seilbahnkonkordates grundsätzlich die Bruchsicherheit des starr abgespannten Seiles als Risiko 2. Ordnung gewertet. Mit anderen Worten, eine Unterschreitung des Sicherheitskoeffizienten unter extremen Bedingungen ist für den Betrieb viel harmloser als zum Beispiel windempfindliche Zugeilführungen. Wie sagte doch jener Seilbahnbauer minderen Ranges, dem ich einmal seinen wirklich zu geringen Sicherheitskoeffizienten vorhielt: Am Zuviel der Zugspannung geht kein Seil zugrunde, wohl aber am Zuwenig (nämlich dann, wenn die Durchbiegung unter den Rollen massgeblich wird).

Viele Jahre verwendeten wir unsere langsam verfeinerten Berechnungsmethoden, die aber immer nur Annäherungen im Rahmen der zulässigen Vereinfachungen blieben. Von den Aufsichtsbehörden sind sie kommentarlos akzeptiert worden, was hier dankbar registriert sei.

Soweit der Rückblick auf die Zeit vor 1960. Im Januar jenes Jahres veröffentlichte Prof. O. Zweifel an dieser Stelle seine Untersuchung über die Berechnung von starr abgespannten Tragseilen ein- und mehrfeldriger Luftseilbahnen, und gab uns damit eine mathematisch einwandfreie rechnerische Grundlage zur Erfassung der vielfältigen Spannungszustände in den Tragseilen. Mit dieser Publikation, Frucht langjähriger Untersuchungen, trat er selber in den Kreis der Seilbahnbauer und gab der im zweifelhaften Ruf stehenden starren Abspannung der Seile die theoretisch gesicherte Grundlage.

Die bisher angewandten Methoden erwiesen sich als überholt und umständlicher, als das von ihm angewendete Vorgehen. Der Seilbahnbau wurde mit diesem Schritt zu einem an der Hochschule gelehrteten Fach erhoben, mit Forschungsinstitut und allem, was dazu gehört, wofür wir ihm von Herzen dankbar sind.

Mit diesen Feststellungen könnte ich den Bericht eigentlich abschliessen, aber es scheint mir doch richtig, noch etwas über die weitere Entwicklung zu berichten. Vorerst möchte ich für die nicht fachorientierten Leser die Auswirkungen der beiden Spannsysteme zusammenfassen.

Das gewichtsgespannte Seil hat an der Spannstelle eine eindeutig bestimmte Zugkraft. Beim Befahren der verschiedenen Felder mit der Wanderlast wird die für den neuen Gleichgewichtszustand benötigte Mehrlänge ohne Spannungszunahme vom Gewicht geliefert, es bewegt sich im Rhythmus der Felddurchfahrten auf und ab. Mit zunehmender Entfernung von der Spannstelle verwischen sich die klaren Verhältnisse durch die in beiden Richtungen auftretenden Stützenreibungen, nach drei bis vier Stützenüberfahrten verliert sich der Einfluss ganz. Die verschiedenen Spannungsfelder wirken gegenseitig fast wie sekundäre, aber unkontrollierbare Spannungsgewichte: die Klarheit des Kräftespiels geht verloren.

Bei der starren Abspannung fehlt auch noch die Kenntnis der Grundspannung. Sie muss durch geeignete Einrichtungen, wie Schwingungsmessung oder geodätische Vermes-

sung des Seilbogens zum Zeitpunkt X bestimmt werden. Dazu müssen die Änderungen der Temperatur berücksichtigt werden. Bei der Durchfahrt der Einzellast bewirkt die Spannungszunahme von Anfang an den Nachzug aus benachbarten Feldern, sie wirken wie gedämpfte Sekundärgewichte. Der theoretisch zu erwartende Spannungsanstieg wird beträchtlich gemildert. Als typisches Beispiel dieser Art sei die Gamsen-Mund-Bahn im Wallis erwähnt, mit Kabinen für 20 Personen. Sie weist zwei grössere symmetrische Aussenfelder und einige kleinere Zwischenfelder auf. Die beiden grossen Felder wirken gegenseitig als Gewichte, die Reibung auf den dazwischen liegenden Stützen sorgt für die Dämpfung der Bewegungen.

Obschon heute der überwiegende Teil der kantonal konzessionierten Bahnen (seit einigen Jahren bis 8 Personen/Kabine) mit starr verankerten Trageseilen ausgerüstet werden, hat diese Methode nicht nur Vorteile. Es sind auch lange nicht alle Längenprofile, die sich dafür eignen, was gelegentlich aus falscher Sparsamkeit oder mangelnder Berechnung übersehen wird. Der Gewinn aus der starren Verankerung liegt im allgemeinen weniger in der Konstruktion als in den Bauten und im Unterhalt. Als besonders heikel erwiesen sich Zwitterbahnen, deren Trageseile starr verankert sind, deren Zugseile aber auch aus Vorsichtsgründen (z.B. SUVA) Gegengewichte aufweisen müssen. Die Seile folgen dann vollständig verschiedenen Regimes, und in grossen Feldern können sich in gewissen Betriebsfällen ihre Sicherheitskoeffizienten stark nähern. Der Sicherheitskoeffizient eines Seiles bestimmt ja in

erster Linie die Seilkurve, mit anderen Worten, Zug- und Trage-seile kommen nahe zusammen und neigen zu Kontakten, und bei der heute starken Verbreitung der elektrischen Seilüberwachung, zu Kurzschlüssen und Überschlügen. Man kann sich etwa helfen, indem man das Zugseilspanngewicht in optimaler Lage einfach festklemmt und nur für den Temperatureausgleich zwischen Sommer und Winter, oder zur Kompensation der natürlichen Dehnung von Zeit zu Zeit nachreguliert.

Auch die Seile grosser Luftseilbahnen unter der Ägide des Eidg. Amtes für Verkehr werden, sofern sich das Profil dafür eignet, nach der Methode von Prof. Zweifel gerechnet und fest verankert. Erwähnt seien unter anderem Reusch-Oldenegg bei Gstaad (stützenfrei), Lenk-Metsch (stützenfrei) und Jakobsbad-Kronberg (vielfeldrig).

Abschliessend möchte ich mit Genugtuung feststellen, dass nicht zuletzt dank Prof. Zweifels Lehrstuhl an der ETH die beiden Zweige der Seilbahnbauer heute zu einer Einheit, zu einer Fakultät zusammenwachsen. Die einstigen Handwerker haben sich in der Zwischenzeit zu grossen Unternehmern entwickelt, sie lernten sich der Theorie zu bedienen und auch ihre ältere Generation empfindet den analytischen Ingenieur nicht mehr als bösen Kritiker, sondern als Hilfe. Bald gibt es nur noch eine einzige Gattung Seilbahnbauer.

Adresse des Verfassers: A Schönholzer dipl. Ing. ETH, SIA, ASIC, Allmendstrasse 2, 3600 Thun.

Der Klemmkopf

Eine neuentwickelte Befestigungsvorrichtung für Litzenseile

Von G. Oplatka, Zürich

DK 625.578

Veranlassung zur Neuentwicklung

An die meisten Seilendbefestigungen, so z.B. auch an die Befestigung von Zugseilen an die Fahrzeuge von Luftseilbahnen, werden hohe Anforderungen gestellt. Sie müssen, ungeachtet der Wechselbeanspruchung (Ermüdung) und der Witterung (Korrosion), denen sie ausgesetzt sind, die Seilkraft über Jahre bis Jahrzehnte zuverlässig übertragen. Üblicherweise werden heute für diese Aufgabe sog. Vergussköpfe eingesetzt. Diese stellt man her, indem man die Drähte am Seilende zu einem Besen entflecht und reinigt. Den Besen zieht man sodann in eine konische Hülse ein und giesst sie mit einer besonderen Legierung aus, wobei zwischen den Drähten und dem Vergussmetall eine Lötverbindung entsteht. Ihre Herstellung ist eine anspruchsvolle Arbeit. Wird z.B. das zur Oberflächenbehandlung der Drähte verwendete Beizmittel nicht restlos entfernt, so entsteht bei Zutritt von Wasser Korrosion im Inneren des Vergusskopfes. Da die Drahtbrüche und die Korrosion im Inneren des Vergusskopfes und des anschliessenden

Seilstückes mit den heutigen Mitteln nicht zuverlässig festgestellt werden können, darf der Vergusskopf nicht als ein sicheres Element bezeichnet werden. Davon zeugen auch einige Unfälle der letzten Jahre.

Eine Trommelverankerung – bei der man das Seil mehrfach um eine Trommel schlingt und so die Kraft im wesentlichen durch Reibung auf die Trommeloberfläche überträgt (die Restkraft übernimmt eine gefederte Klemme) – kann nur dort verwendet werden, wo das grosse Gewicht und Bauvolumen der Trommel es zulassen.

Als Ziel setzte man sich deshalb die Entwicklung einer zuverlässigen, einfach herstell- und kontrollierbaren Seilendbefestigung, deren Abmessungen im Interesse der Austauschbarkeit diejenigen des Vergusskopfes nicht übersteigen.

Eine Lösung wurde nach umfangreichen theoretischen und experimentellen Untersuchungen schliesslich im nachstehend beschriebenen Klemmkopf gefunden.

Bild 1. Im Klemmkopf werden die einzelnen Litzen des Seiles 1 durch die Keilwirkung zwischen der kegeligen Aussenhülse 2 und dem Innenkegel 3 selbsthemmend gehalten. Zur Vermeidung von grossen lokalen Flächenpressungen sind die Oberflächen beider Kegel mit plastisch deformierbarem Material 4 ausgekleidet. Die Selbsthemmung bei der ersten Belastung wird durch den Kegelhalter 5 sichergestellt. Die Umlenk-hülse 6 hält die Seilschwingungen vom Klemmbereich fern. Die Hohlräume werden durch die an der Befestigungsgabel 7 angebrachten Schmiernippel mit Korrosionsschutzmitteln gefüllt

