

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	94 (1976)
<b>Heft:</b>	30
<b>Artikel:</b>	Der Klemmkopf: eine neu entwickelte Befestigungsvorrichtung für Litzenseile
<b>Autor:</b>	Oplatka, G.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-73136">https://doi.org/10.5169/seals-73136</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 29.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

sung des Seilbogens zum Zeitpunkt X bestimmt werden. Dazu müssen die Änderungen der Temperatur berücksichtigt werden. Bei der Durchfahrt der Einzellast bewirkt die Spannungs-zunahme 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 Tragseilen 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 Tragseile starr verankert sind, deren Zugseile aber auch aus Vorschriftengründen (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 annähern. Der Sicherheitskoeffizient eines Seiles bestimmt ja in

erster Linie die Seilkurve, mit anderen Worten, Zug- und Tragseile kommen nahe zusammen und neigen zu Kontakten, und bei der heute starken Verbreitung der elektrischen Seilüberwachung, zu Kurzschlüssen und Überschlägen. Man kann sich etwa helfen, indem man das Zugseilspanngewicht in optimaler Lage einfach festklemmt und nur für den Temperaturausgleich 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 neu entwickelte 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, un-geachtet der Wechselbeanspruchung (Ermüdung) und der Wit-terung (Korrosion), denen sie ausgesetzt sind, die Seilkraft über Jahre bis Jahrzehnte zuverlässig übertragen. Üblicher-weise werden heute für diese Aufgabe sog. Vergussköpfe ein-gesetzt. Diese stellt man her, indem man die Drähte am Seil-ende zu einem Besen entflieht 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 Herstel-lung ist eine anspruchsvolle Arbeit. Wird z.B. das zur Ober-flächenbehandlung 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 anschliessen-

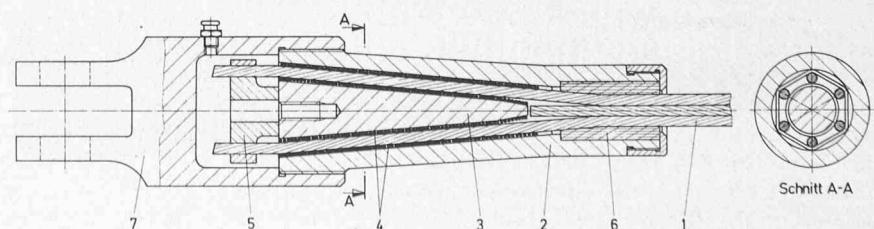
den Seilstückes mit den heutigen Mitteln nicht zuverlässig festgestellt werden können, darf der Vergusskopf nicht als ein sicheres Element bezeichnet werden. Davon zeugen auch einige Unfälle der letzten Jahre.

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

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

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

Bild 1. Im Klemmkopf werden die einzelnen Litzten des Seiles 1 durch die Keilwirkung zwischen der kegeligen Aussenhülse 2 und dem Innen-kegel 3 selbsthemmend gehalten. Zur Vermeidung von grossen lokalen Flächenpres-sungen sind die Oberflächen beider Kegel mit plastisch deformierbarem Material 4 ausgekleidet. Die Selbsthemmung bei der ersten Be-lastung wird durch den Kegelhalter 5 sicher-gestellt. Die Umlenkhluse 6 hält die Seil-schwingungen vom Klemmbereich fern. Die Hohlräume werden durch die an der Befestigungsgabel 7 angebrachten Schmiernippel mit Korrosionsschutzmitteln gefüllt



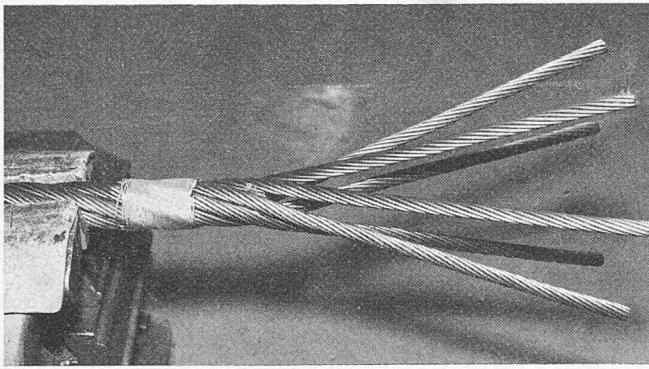


Bild 2. Für die Montage werden die Litzen am Seilende entflochten und begrädigt. Nach einer Demontage des Kopfes präsentiert sich das Seil auch in dieser Form. Es kann kontrolliert und nach gutem Befund erneut zusammengesetzt werden

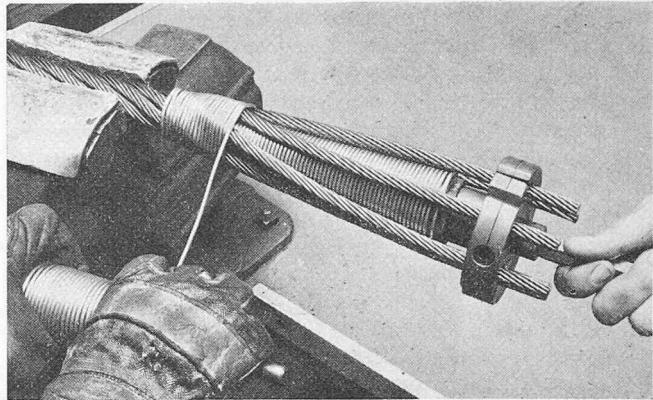


Bild 4. Nachdem der Innenkegel zwischen die Litzen geschoben und mit dem Kegelhalter fixiert wurde, werden die Litzen von aussen ebenfalls mit einem Aluminiumdraht umwickelt

### Beschreibung des Klemmkopfes

Am Ende des Seiles wird der Seilverband geöffnet und die einzelnen Litzen werden so gerichtet, dass sie annähernd auf den Mantel eines Kegels zu liegen kommen (Bild 2). Die Seele des Seiles wird auf die entsprechende Länge gekürzt. Die Litzen des so vorbereiteten Seilendes werden zwischen die Aussenhülse 2 und den Innenkegel 3 geklemmt. Die Länge des Innenkegels, d.h. diejenige des Klemmbereichs, entspricht dem Siebenfachen des Seildurchmessers. Der Kegelwinkel ist mit  $10^\circ$  so gewählt, dass die Verbindung selbsthemmend ist. Um die örtlichen Flächenpressungen und damit die Druckspannungen in den Drähten der Litzen zu vermindern, sind Innenkegel und Aussenhülse mit einem sich plastisch deformierenden Aluminiumdraht ( $HB \approx 50 \text{ kp/mm}^2$ ) ausgekleidet. Die Drähte der Litzen können sich im Aluminium einbetten und kommen dadurch auf einer grösseren Fläche zur Auflage, d.h. die örtlichen Flächenpressungen werden auf die Fliessgrenze des Einlagematerials begrenzt (Bild 3). Der Innenkegel ist an seinem schmalen Ende zugespitzt, so dass die Pressung auf die Litzen allmählich zunehmen kann. Auf dem breiten Ende des Innenkegels befindet sich der Kegelhalter 5. Dieser hat im wesentlichen zwei Funktionen: Erstens verbindet er den Innenkegel 3 während der Montage mit den Litzen, so dass diese sowohl radial wie achsial genau fixiert werden können (Bild 4), und zweitens stellt er die Einleitung des Klemmvorganges bei der ersten Belastung des Seiles sicher. Damit die Litzen zwischen die Aussenhülse 2 und den Innenkegel 3 eingeklemmt werden, muss der Innenkegel 3 bei der ersten Belastung bzw. bei Laststeigerung durch die Litzen in Richtung des Seiles in die Aussenhülse 2 hineingezogen werden. Bei Belastung 0 kp ist dieser Vorgang aber undefiniert. Um den Klemmvorgang «starten» zu können, muss daher auf den Innenkegel 3 eine Initialkraft ausgeübt werden. Diese Kraft

wird auf den Kegel – wie in Bild 1 dargestellt – von den Litzen mittels des Kegelhalters 5 übertragen.

Zur sanften Umlenkung der Litzen aus dem Seilverband auf die Kegelform befindet sich in der Übergangszone die Umlenkhülse 6 aus Kunststoff. Für die Erreichung einer befriedigenden Schwellzugfestigkeit genügt eine Hülsenlänge vom doppelten Seildurchmesser. Wird sie auf das Fünffache des Seildurchmessers verlängert, so wirkt sie zusätzlich als Schutzhülse und hält die von der Seilschwingung stammende Wechselbiegebeanspruchung vom Klemmbereich fern. Die Hohlräume werden durch die an der Befestigungsgabel 7 angebrachten Schmiernippel mit Fett gefüllt. Dieses hat die beiden Aufgaben, erstens durch die Schmierung der Drähte die Wechselbiegefesteitigkeit des Seiles im Übergangsbereich zu erhöhen und zweitens den Eintritt von Feuchtigkeit in den Klemmkopf zu verhindern und somit die Vorrichtung vor Korrosion zu schützen. Sollten von der Seiseite her trotzdem Verunreinigungen (Feuchtigkeit) in den Klemmkopf eintreten, so werden diese bei der Nachschmierung mit dem Fett wieder herausgeschwemmt.

### Erprobung des Klemmkopfes

Die Sicherheit und Zuverlässigkeit sowie die Grenzen der Anwendbarkeit der vorgehend beschriebenen Konstruktion sind in umfangreichen Versuchsreihen geprüft worden. Sie umfassten im wesentlichen den Nachweis der Haltekraft, d.h. dass die Litzen nicht herausrutschen können, und den eines befriedigenden Langzeitverhaltens (Ermüdung). Die Versuche wurden mit zwei verschiedenen Seale-Seilen von 18 und 28 mm Durchmesser mit einer Bruchkraft von 20 bzw. 50 Mp durchgeführt und erforderten z.T. die Erstellung von besonderen Prüfmaschinen [1].

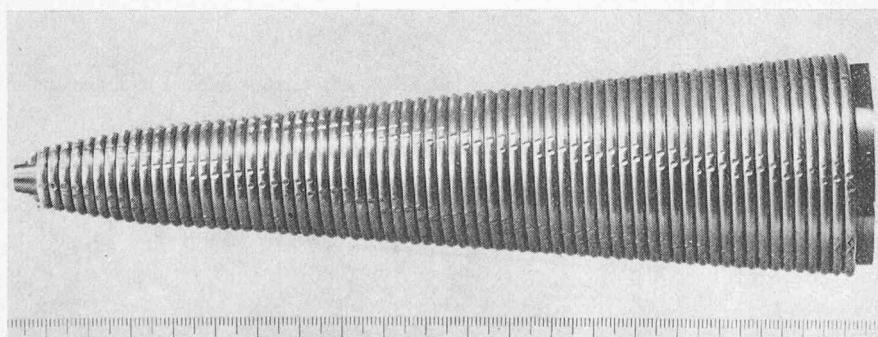
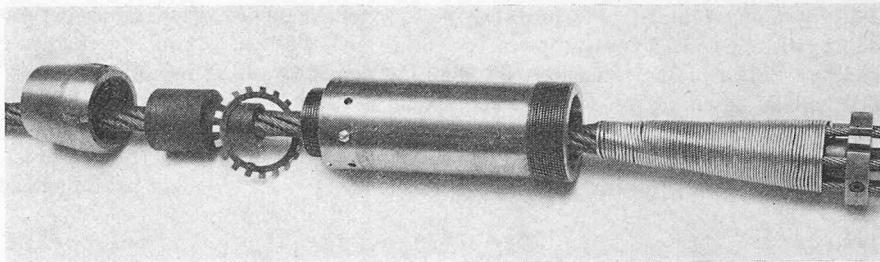


Bild 3. Innenkegel nach einem Schwellzugversuch mit gut sichtbaren Druckspuren der Litzen in der Aluminiumdraht-Umwicklung. Die örtlichen Flächenpressungen bleiben auf die Fliessgrenze des Umwicklungsmaterials begrenzt

Bild 5. Der Klemmkopf fertig zum Zusammenbau. Der umwickelte Teil wird in die Ausenhülse gezogen und die Umlenkhülse mit der Überwurfmutter befestigt



### Prüfung der Haltekraft

**Statische Zugversuche.** Obwohl der Bruch in der Regel im Umlenkbereich des Klemmkopfes eintrat, erreichten die Seile stets die vom Hersteller garantierte Bruchkraft. Dies war auch bei denjenigen Versuchen der Fall, wo zur Prüfung der Wirkung der anfänglich ungleichmässigen Lastverteilung die Litzen absichtlich mit bis zu einem Litzendurchmesser betragenden ungleichen Längen montiert wurden.

**Dauerstandversuche.** Da die als Einlage verwendete Aluminiumdraht-Umwicklung örtlich höher als ihre Plastizitätsgrenze beansprucht wird, stellte sich die Frage, ob und wann das anfängliche Kriechen der Litzen zum Stillstand kommt. Die Versuche ergaben u.a., dass die Setzbewegung bei einer Zugkraft von 20% der Bruchkraft nach 50 h und bei 75% nach < 700 h abklingt.

**Schlagzug-Belastungsversuche.** Hier wurde der mit 20% der Bruchlast einmal vorbelastete Klemmkopf nach Entfernung des Kegelhalters mittels eines Fallgewichtes schlagartig belastet, um festzustellen, ob die Klemmung auch bei schnellem Anstieg der Seilzugkraft wirksam ist. Die aus der Schlagarbeit resultierende Seilzugkraft erreichte 60 bis 70% der Bruchlast, was der Kopf bei allen Versuchen sicher trug.

**Schlag-Entlastungsversuche.** Falls ein Seil durch eine Störung plötzlich ganz oder teilweise entlastet wird, so wandert eine Stosswelle zum Ende des Seils zurück. Diese könnte beim Klemmkopf zu einer Lockerung des Innenkegels und damit zu einem Herausgleiten der Litzen bei der anschliessenden Wiederbelastung führen. Zu dessen Kontrolle wurden drei Versuche durchgeführt: Der Klemmkopf und damit das Seil wurde wie im statischen Zugversuch belastet. Bei der gegenüberliegenden Befestigung war eine Sollbruchstelle eingebaut. Diese brach bei 20, 40 bzw. 60% der Bruchkraft und gab die gespeicherte Deformationsenergie plötzlich frei. Trotz abmontiertem Kegelhalter trat bei keinem der Versuche durch den Rückstoss eine Lockerung des Kopfes ein.

**Kontrolle der dynamischen Haltekraft.** Gemäss den theoretischen Überlegungen von Prof. O. Zweifel [2] können sich die Litzen bei grosser Lastwechselamplitude, sofern der Kegelwinkel nicht hinreichend klein gewählt wurde, trotz der vorhandenen statischen Selbsthemmung nach und nach aus dem Seilverband herausarbeiten.<sup>1)</sup> Deshalb muss – sofern die Beanspruchung des Seiles nicht vorwiegend statisch ist – die Haltekraft der Klemmverbindung im Schwellzugversuch kontrolliert werden. Bei den zu diesem Zweck durchgeföhrten Schwellzugversuchen wurde der Kegelhalter jeweils nach den ersten Belastungen entfernt, die untere Lastgrenze  $\approx 0$  gehalten und die obere Lastgrenze stufenweise bis  $66 \text{ kp/mm}^2$  gesteigert. Ein Herauswandern einer der Litzen oder des Innenkegels war trotzdem bei keinem der Versuche beobachtbar. Dies zeigt, dass der Kegelwinkel mit  $10^\circ$  hinreichend klein gewählt ist.

<sup>1)</sup> Bei Klemmköpfen mit grösserem Kegelwinkel und andersartigen Einlagen wurde dieses Phänomen in der Tat beobachtet.

### Ermüdungsversuche

**Schwellzugversuche.** Beim Pulsieren zwischen den für ein Seilbahnzugseil üblichen Lastgrenzen (10 bis 26% der Bruchkraft) bis zu  $4 \cdot 10^6$  Lastwechseln traten sowohl im Umlenkbereich des Klemmkopfes wie im freien Teil des Seiles nur vereinzelte Drahtbrüche auf. Bei grösserer Schwingbreite erwies sich das Seil im Bereich des Klemmkopfes dauerfester als im freien Teil. Dies lässt sich erklären einerseits mit der bei höherer Belastung stärkeren Zusammendrückung der Kunststoffseele und dadurch zwischen den Litzen auftretenden Schulterdrücken, anderseits aber damit, dass durch die Formgebung des Innenkegels und die Verwendung der Drahtumwicklung als plastische Einlage die Litzen vom Seilverband ohne einen Knick und stets geführt in den Klemmbereich übergeleitet werden, ihnen aber trotzdem die Freiheit gelassen wird, ihre spannungstechnisch optimale Form bei der ersten Belastung des Seiles selber anzunehmen.

**Wechselbiegeversuche.** Durch die Seilschwingungen werden die Drähte, insbesondere bei der Befestigungsstelle, wo sich die Schwingungen reflektieren, auf Wechselbiegung beansprucht. Für die Prüfung der Wechselbiegefestigkeit wurden die Seile mit 20% der Bruchkraft gespannt und der Klemmkopf entsprechend dem grössten in der Praxis gemessenen Wert periodisch um  $\pm 4,5^\circ$  ausgelenkt [3]. Dabei waren nach  $4 \cdot 10^6$  Wechselbiegungen keine Drahtbrüche zu beobachten. Bei den Vergleichsversuchen mit Vergussköpfen zählte man im Mittel 36 Drahtbrüche.

**Schwellzug- und Wechselbiegeversuche.** Bei dieser Prüfung wurde die Seilendbefestigung den beiden vorher beschriebenen Beanspruchungen (Zugkraft schwelend zwischen 10 und 26% der Bruchkraft und Wechselbiegung durch Auslenkung des Kopfes um  $\pm 4,5^\circ$ ) unterworfen. Das Verhältnis der beiden Beanspruchungsfrequenzen betrug 4,8 Wechselbiegungen auf eine Zugschwellung, entsprechend etwa den Verhältnissen bei einer Pendelseilbahn mit 4 Stützen. Mit dem Klemmkopf erreichten dabei die Seile durchschnittlich

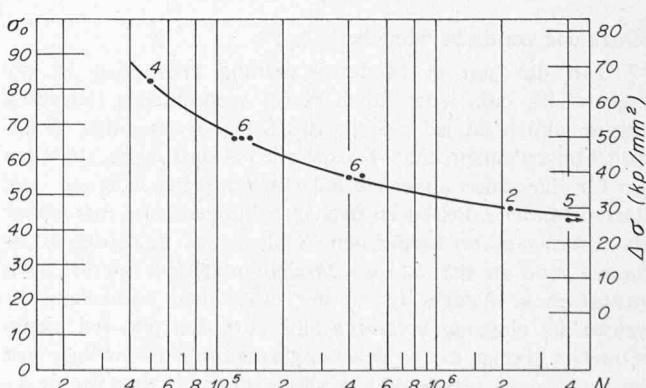


Bild 6. Ergebnisse der mit  $\sigma_u = 16,6 \text{ kp/mm}^2$  durchgeföhrten Schwellzugversuche (die Zahlen bei den Messpunkten geben die Anzahl der Versuchswiederholungen an). Die Grenze der Dauerfestigkeit ( $4 \cdot 10^6$  Lastwechsel) wurde bei einer Schwingbreite von  $26,4 \text{ kp/mm}^2$  erreicht

$1,6 \cdot 10^6$  Biegewechsel und damit etwa die doppelte Lebensdauer wie ein mit Vergussköpfen versehenes Seil bei der gleichen Prüfung. Bemerkenswert ist, dass die ersten Drahtbrüche beim Klemmkopf, auf die Lebensdauer bezogen, relativ früher als beim Vergusskopf auftreten. D.h. der Klemmkopf kündigt sein Versagen relativ früher an und bietet damit nochmals eine grössere Sicherheit.

#### Feldversuch

Für die Erprobung des Klemmkopfes wurde freundlicherweise eine Materialbahn in Zermatt zur Verfügung gestellt. Ein Kopf ist hier seit dem vergangenen Sommer in Betrieb, ohne dass sich dabei irgendwelchen achteiligen Folgen gezeigt hätten.

#### Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde eine neue Seilendbefestigung, der sog. Klemmkopf vorgestellt, bei dem die einzelnen Litzen durch die Keilwirkung zwischen einem Innenkegel und einer Aussenhülse selbsthemmend gehalten werden. Zur Vermeidung von grossen örtlichen Flächenpressungen sind beide Flächen mit plastisch deformierbarem Material (Aluminiumdraht) ausgekleidet. Eine Kunststoffhülse hält die Seilschwingungen vom Klemmbereich fern. Die Hohlräume sind mit korrosionsschutzhaltigem Fett gefüllt. Die durchgeführten statischen und

dynamischen Versuche zeigten im Vergleich mit dem Vergusskopf durchwegs gleichwertige oder bessere Ergebnisse. Der Klemmkopf kann auch, im Gegensatz zum Vergusskopf, mit einfachen Mitteln zerlegt, kontrolliert und bei Gutbefund erneut zusammengesetzt werden. Die äusseren Abmessungen des Klemmkopfes entsprechen denen des Vergusskopfes, so dass bei bestehenden Konstruktionen ein Austausch möglich ist.

Die Versuche werden zur Sicherung der Ergebnisse weitergeführt. Namentlich sollen Anhaltspunkte für die nötigen Kontrollintervalle, weitere konstruktive und herstellungstechnische Vereinfachungen sowie solche für die Optimierung der Abmessungen erarbeitet werden.

#### Literaturverzeichnis

- [1] G. Oplatka und H. Siebenthaler: Ermüdungsprüfung von Seilendbefestigungen. «Internationale Seilbahn-Rundschau» 1975, Heft 5.
- [2] O. Zweifel: Theorie zum Klemmkopf für Litzenseilbefestigung. Interne Bericht v. 24.4.1975. Unveröffentlicht.
- [3] G. Oplatka und M. Roth: Drahtbrüche in Zugeilen in der Nähe von Befestigungsstellen. «Internationale Seilbahn-Rundschau» 1974, Heft 4.

Adresse des Verfassers: Dr. Gábor Oplatka, Institut für Bau- und Transportmaschinen, ETH Zürich, Sonneggstrasse 3, 8006 Zürich.

## Modelle für die Bemessung bei plötzlich auftretenden Belastungen

Von H. Wettstein, Zürich

DK 625.57

Es ist bekannt, «dass bei schlagartig auftretender Belastung in der Regel die der doppelten Belastung entsprechende Beanspruchung auftreten kann». Diese recht ungenaue Aussage verhilft in gewissen Fällen zu einer sicheren Bemessung, aber möglicherweise auch zu unsinniger Überdimensionierung. Beispielsweise bei Seilbahnfahrzeugen wäre die Anwendung dieses Kriteriums geradezu prohibitiv. Es gilt daher zu zeigen, unter welchen Bedingungen davon abgewichen werden darf. Dies erfordert das Studium der dynamischen Belastungsvorgänge an vereinfachten Modellen. Hier soll über einige diesbezügliche Ergebnisse, welche von allgemeinerem Interesse sein dürften, berichtet werden, während die spezielle Ausarbeitung für Seilbahnfahrzeuge in einer vom Institut für Bau- und Transportmaschinen der ETH Zürich vorbereiteten umfangreicher Arbeit erfolgen wird. Als mechanische Modelle der wirklichen Systeme bieten sich starre, elastische, plastische oder gemischte an.

#### Starre und elastische Modelle

Mit der starren Modellvorstellung verbunden ist die Eigenschaft, dass jeder (auch rasch wechselnden) Belastung augenblicklich an jeder Stelle des Systems eindeutige Beanspruchungen entsprechen. Dies würde bei elastischen Modellen nur für «langsam» ändernde Belastungen gelten. Die mit dem starren Modell erfassbaren Beanspruchungen kann man daher als «quasistatisch» bezeichnen. Schlagartige Belastungsänderungen sind in der starren Modellvorstellung immer auch quasistatisch. Anders ist es mit elastischen Modellen, für welche der eingangs erwähnte Satz zum Teil gilt. Bei diesen Modellen können rasche Belastungsänderungen Schwingungen der Systemteile gegeneinander verursachen, so dass die Beanspruchungen nicht mehr dem quasistatischen Zustand entsprechen. Man kann ein wirkliches System wie ein Seilbahnfahrzeug natürlich nicht mit seiner Vielfalt von Schwingungsformen als Modell benutzen. Es soll später gezeigt werden, dass

nur die Eigenschwingungsformen mit den längsten Schwingungsdauern wichtig sind. Für eine Behandlung der Einflüsse erster Grösse soll hier nur eine einzige sogenannt «massgebende» Eigenschwingungsform betrachtet werden<sup>1)</sup> welche dadurch gekennzeichnet sei, dass sie den Deformationen unter analoger quasistatischer Belastung möglichst gut entspricht.

Die zugehörige Eigenschwingungsdauer  $T$  wird hier ebenfalls als die «massgebende» bezeichnet, und es wird sich zeigen, dass Belastungsänderungen dann als «rasch» zu bezeichnen sind, wenn sie innert vergleichbaren oder kleineren Zeitintervallen erfolgen.

Das elastische Modell ist nun bereits zu einem Schwinger mit einem Freiheitsgrad vereinfacht, welcher nun auch noch als harmonisch betrachtet werde. Als Beispiel möge die Zugbeanspruchung in der Aufhängung einer Seilbahnkabine bei rasch auftretender Bremskraft  $B$  untersucht werden (Bild 1). Als massgebende Schwingungsform<sup>2)</sup> gilt hier diejenige der beiden Massen  $m$  (Laufwerk) und  $M$  (Kabine) gegeneinander, wobei  $m$  auf einer Geraden mit Neigungswinkel  $\alpha$  geführt sei. Die zu untersuchende Zugkraft entspricht hier der Federkraft  $F$ , welche der folgenden Differentialgleichung eines harmonischen Schwingers genügt:

$$(1) \quad F + \alpha^2 F = \alpha^2 \cdot E(t) \quad ^3)$$

<sup>1)</sup> Die statischen Ersatzzustände, welche der Bemessung zugrunde gelegt werden, sollen in den kritischen Querschnitten dieselben Beanspruchungen wie die massgebende Eigenschwingungsform erzeugen. Unter Umständen sind für verschiedene Beanspruchungskomponenten (Zug, Moment) auch verschiedene «massgebende Eigenschwingungsformen» zu erörtern.

<sup>2)</sup> Die Pendelschwingung beruht nicht auf innern elastischen Kräften und ist daher nicht im erwähnten Sinne massgebend.

<sup>3)</sup> Beim Beispiel des Seilbahnfahrzeugs ist

$$\alpha^2 = \lambda \frac{m + M \sin^2 \alpha}{m \cdot M} \quad \text{und} \quad E(t) = B(t) \frac{M \sin \alpha}{m + M \sin^2 \alpha}$$