Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117/118 (1941)
Heft: 7

Artikel: Die Betriebssicherheit der Drahtseile: das Drahtseil hat das Wort
Autor: Bosch, M. ten
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-83501

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: 01.07.2025

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

INHALT: Die Betriebsicherheit der Drahtseile. — Wettbewerb für eine neue Bahnhofbrücke in Olten. — Mitteilungen: Maschinennietung im Flugzeugbau. Leuchtstoffröhren. Neuartige Pfahlgründung für Brückenpfeiler in USA. Wasserversuche mit dem Pendel. «Biologisches Ingenieurwesen». Das Pumpen von Beton bei Frost. Leichtmetall-Laufkrane. Bern-Lötschberg-Simplon. Lichttechnisches Versuchszimmer. Konservatorium Bern. — Wettbewerbe: Denkmal der Arbeit in Zürich. Strafanstalt in Rolle (Waadt). — Literatur.

Band 118 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 7

Die Betriebsicherheit der Drahtseile

Das Drahtseil hat das Wort

Von Prof. M. ten BOSCH, E. T. H. Zürich

Die hohe Betriebsicherheit der konzessionierten Seilbahnen für den Personentransport wird allgemein anerkannt; wir verdanken sie den ausführenden Firmen und besonders auch der sorgfältigen Aufsicht durch die Kontrollorgane. Die eidg. Konzessions- und auch die Subventionsbedingungen für Seilbahnen zu Meliorations-, Forst- und alpwirtschaftlichen Zwecken sind ebenfalls hart, und zwar so hart, dass diese Subventionsmöglichkeit bisher noch nie in Anspruch genommen wurde! Anderseits war und ist das Bedürfnis nach diesem einfachen Transportmittel so gross, dass die Bergkantone Lastseilbahnen (mit kantonaler Konzession) den gelegentlichen Transport von höchstens vier Personen gestatten. Bei anderen Seilbahnen erfolgt die Personenbeförderung auch ohne Genehmigung. Viele Dutzende von Kleinseilbahnen sind so, im Interesse der Volkswirtschaft, in Betrieb. Wie Kenner der Verhältnisse berichten, befinden sich aber viele dieser Kleinseilbahnen (die keiner Kontrolle unterstehen) infolge mangelhaftem Unterhalt *in einem sehr bedenklichen Zustand.* Das sollte, auch im Interesse des hohen Standes der Verkehrssicherheit in der Schweiz, vermieden werden. *Alle Kleinseilbahnen mit Personenbeförderung sollten ohne Ausnahmen einer Kontrolle unterstellt werden.*

Im Auftrage des Eidg. Amtes für Verkehr hat der S. I. A. einen Entwurf für Vorschriften über Kleinseilbahnen mit erleichterten Konzessionsbedingungen ausgearbeitet. Die Möglichkeit, die Konzessionsbedingungen weitgehend zu erleichtern, hängt wesentlich von der Betriebsicherheit der Drahtseile ab, sowie von der Möglichkeit, diese Betriebsicherheit jederzeit einwandfrei feststellen zu können.

Vorschriften auszuarbeiten ist immer eine recht schwierige und verantwortungsvolle Aufgabe, die nur dann befriedigend gelöst werden kann, wenn man alle Faktoren, die dabei eine Rolle spielen können, vollständig überblicken kann. Nehmen wir als Beispiel die Eisenbahnwagenachse, einen sehr einfachen, zylindrischen Körper, der — nach 100-jähriger Erfahrung im Eisenbahnbetrieb — immer noch gelegentlich bricht. Daran sind zum Teil auch die Vorschriften der Bahnverwaltungen Schuld, die zu wenig Rücksicht auf die wesentlichen Punkte nehmen, die die Bruchgefahr beeinflussen[1]). Aehnlich liegen die Verhältnisse bei den Drahtseilen.

Grundsätzlich sind bei der Untersuchung der Betriebsicherheit folgende Punkte zu untersuchen: 1. Der Werkstoff; 2. Die Betriebsbeanspruchungen; 3. Die eigentliche Konstruktion, also hier die Bauart des Seiles.

1. *Die Festigkeitseigenschaften des Werkstoffes*

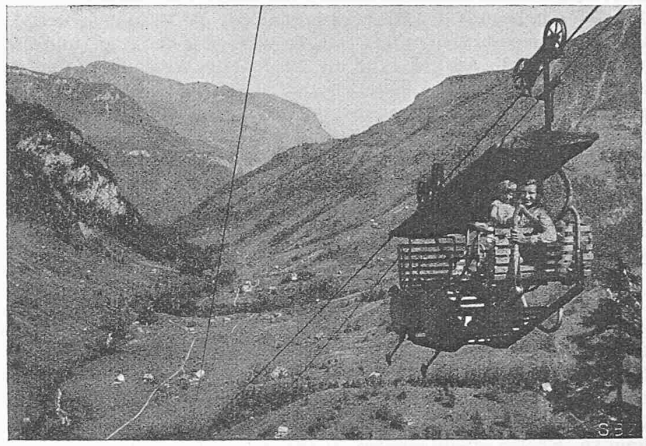
Zunächst unterliegt es keinem Zweifel, dass die Dauerfestigkeit und nicht die statische Zugfestigkeit K_Z hier in Frage kommt. Abb. 1 zeigt (nach den Versuchen der MPA der T. H. Hannover) die Spannungs-Dehnungslinie für zwei Seildrähte von 100 mm Länge. Noch besser würde die relativ *hohe Zähigkeit* des Werkstoffes hervortreten, wenn die normale Messlänge, z. B. $l = 5$ bis 10 d, verwendet würde, wie folgende Messwerte zeigen:

Bruchdehnung bei Messlänge		$l = 200$	100	50	20 mm
$\delta = 3{,}2$ mm	$K_Z = 130$	3,1 %	3,8 %	5,0 %	10 %
3 mm	160	2,3	3,2	4,9	10
3 mm	180	2,2	3,0	4,7	9

Abb. 1 gilt für relativ dicke Drähte (etwa 3 mm); die Versuche sollten auch auf dünnere Drähte (die wahrscheinlich etwas spröder sind) ausgedehnt werden. Das ist eine einfache Aufgabe, die die EMPA leicht und in kurzer Zeit ausführen könnte. Die Zähigkeit ist eine sehr wichtige Eigenschaft des Werkstoffes, insbesondere bei hohen Beanspruchungen; die Dehnung oberhalb der Streckgrenze bildet die *stille Reserve* des Werkstoffes bei gelegentlichen Ueberbeanspruchungen. Jedermann weiss, wie wertvoll stille Reserven in Krisenzeiten sind. Die Aufsichtsbehörde sollte bei allen *lebenswichtigen* Seilen durch Festlegung von *Minimalwerten für die Bruchdehnung* darüber wachen, dass nur die am besten geeigneten Werkstoffe verwendet werden, denn davon hängt die Brauchbarkeit, d. h. die Lebensdauer der Seile ab.

Abb. 2 zeigt das sog. *Dauerfestigkeits-Schaubild für Biegebeanspruchungen.* Im Maschinenbau ist gebräuchlich, die obere Spannungslinie durch die Streckgrenze zu begrenzen, da man bleibende Formänderungen fast immer als unzulässig ansieht. Der Verlauf der oberen und der unteren Grenzspannung wird durch Versuche festgelegt und hängt u. a. von der Anzahl der Lastwechsel n_B bis zum Bruch ab, wie die Wöhlerlinie in Abb. 3 zeigt. Abb. 2 ist gezeichnet für $n_B = 10^6$ Lastwechsel; beim Drahtseil rechnet man, dass es schon nach 200000 Biegungen ablegereif ist.

[1]) Vgl. *ten Bosch:* Vorlesungen über Maschinenelemente. 2. Auflage, S. 182/183.



Kleinseilbahn für Personenbeförderung, mit 500 l Wasserballast und Handbremsung. Mittlere Fahrgeschwindigkeit 10 bis 15 m/sec auf 37 %!

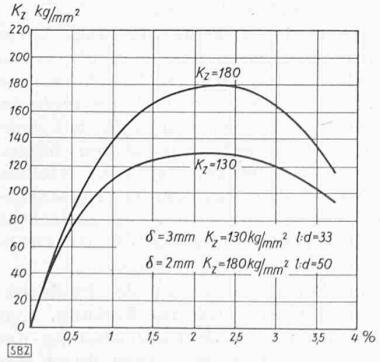
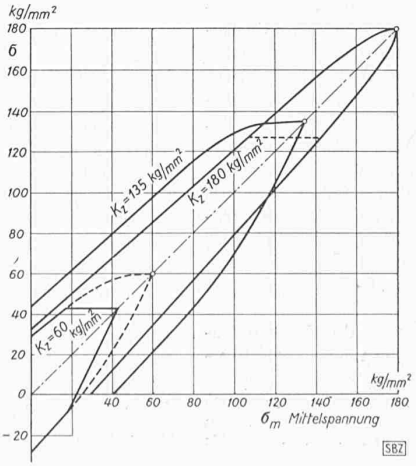


Abb. 1. Spannungs-Dehnungslinien für zwei Seildrähte, nach Versuchen im Festigkeitslaboratorium T. H. Hannover (nach «Glückauf» 1941, S. 259)



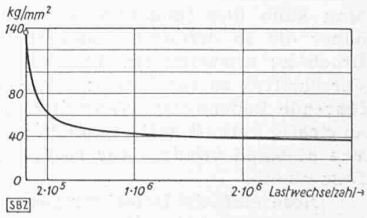


Abb. 3. Wöhlerlinie

Abb. 2 (links). Dauerfestigkeit für Biegung von Seildrähten, nach Versuchen im Kaiser Wilhelm Institut für Eisenforschung in Düsseldorf (nach «Glückauf» 1941, S. 261/62)

Aus dem Verlauf des Schaubildes erkennt man eine sehr wichtige Eigenschaft aller *zähen* Werkstoffe, gültig etwa bis zur Streckgrenze $\sigma_s = 0{,}7\ K_Z$: *Die Biegedauerfestigkeit eines zähen Werkstoffes ist fast unabhängig von der konstanten Mittelspannung und hängt ausschliesslich von der Amplitude der Spannungsschwankung ab.*

Wenn die einzelnen Drähte zuerst zu einer Litze und dann zu einem Seil geschlagen werden, so erfahren sie bleibende Formänderungen. Es ist bekannt, z. B. aus den Versuchen von O. Lasche[2]), dass der Werkstoff dadurch fester, aber spröder wird. Die Verminderung der Zähigkeit kann für die Brauchbarkeit des Seiles von grosser Bedeutung sein. Es wäre eine dankbare und auch wohl dringende Aufgabe für die EMPA, die Aenderung der Festigkeitseigenschaften beim *verseilten* Draht systematisch zu untersuchen. Sollte der verseilte Draht viel spröder geworden sein, so müsste man versuchen, das Herstellungsverfahren der Drahtseile zu verbessern. In den letzten Jahren sind schon viele Versuche gemacht worden, um die Vorspannungen beim Seilschlagen zu vermindern. Am bekanntesten ist wohl das Trulay-Verfahren (Kabelwerke Brugg) mit vorgeformten Drähten[3]). Solche Seile haben eine grössere Lebensdauer.

2. *Die Betriebsbeanspruchungen*

Man sagt und schreibt immer wieder, «Drahtseile sind Maschinenteile, die der Berechnung sehr schwer zugänglich sind». Gut, das ist wahr, aber das gleiche gilt für fast alle Maschinenteile; es handelt sich also nicht etwa um eine Ausnahme. Die erste Voraussetzung für jede Berechnung (also für jede Beurteilung der Betriebsicherheit) ist, dass man die *tatsächlich* wirkenden Kräfte nach Grösse, Richtung und zeitlichem Verlauf kennt. Man schenkt dieser wichtigen, ja selbstverständlichen Voraussetzung im allgemeinen viel zu wenig Aufmerksamkeit. Ich habe, um nur ein Beispiel zu nennen, noch nie gehört, dass die Bahnbehörden einmal wirklich gemessen hätten, welche Stosskräfte die Eisenbahnachsen wirklich ertragen müssen, wenn sie mit einer bestimmten Geschwindigkeit und bei einem vorgeschriebenen Zustand der Geleise fahren. Das wäre doch wichtig, wenn man z. B. beurteilen muss, wie gross die Betriebsicherheit bei einer erhöhten Fahrgeschwindigkeit wird. Heute gibt es sehr gute Messmethoden dazu.

In fast allen Fällen (auch bei den Seilbahnen) ist der Konstrukteur ausschliesslich auf seine *Schätzung* angewiesen. Im Interesse einer besseren Beurteilung der Betriebsicherheit möchte ich anregen, die Seile im Betrieb etwas *systematischer* zu beobachten. Ich denke hier z. B. an statistische Notizen über die ganze Lebensdauer eines (lebenswichtigen) Seiles, vom ersten Drahtbruch bis zur Ablegereife, mit Angaben über besondere Vorkommnisse, über beobachtete Vernachlässigungen (wie z. B. das Schleifen des Seiles über schlecht geschmierte oder schlecht gelagerte Tragrollen; kommt auch in Zürich vor), über Bruchursache, usw. Wenn solche Beobachtungen beim Eidg. Amt für Verkehr vorhanden und in irgend einer Schublade «sorgfältig» aufbewahrt sind, so sollten sie in einer geeigneten Form der Fachwelt zugänglich gemacht und nutzbringend verwertet werden. Als Musterbeispiel nenne ich z. B. die Jahresberichte des Schweiz. Vereins von Dampfkesselbesitzern.

Da man die Kräfte doch nicht genau kennt, ist es in der Praxis gebräuchlich, auch die Berechnung weitgehend zu vereinfachen. So berechnet man die Drahtseile einfach auf Zug mit einer zulässigen Spannung, die als Bruchteil der Zugfestigkeit K_Z vorgeschrieben wird. Nach den deutschen Aufzugsnormen ist, je nach der Hubgeschwindigkeit, für Personenbeförderung der «Sicherheitsfaktor» $S = 12$ bis 16 (Trommelaufzüge) oder 16 bis 24 (Treibscheibenaufzüge). Jedermann weiss, dass das Verhältnis K_Z/σ_{zul} = *Sicherheitszahl* S genannt, mit der wirklichen Betriebsicherheit nichts zu tun hat. Die Tragseile der Personenschwebebahnen, die jetzt mit einer $3^1/_2$- bis 4-fachen «Sicherheit» berechnet werden dürfen, leben bedeutend länger, sind also tatsächlich sicherer als vor 1914 bei 10- bis 11-facher «Sicherheit». Man kann hier (und in vielen anderen Fällen) sagen, dass, je höher die so definierte «Sicherheit» S ist, umso sicherer der Bruch zu erwarten ist. Eine dringende Bitte an Alle, die mit Vorschriften zu tun haben: bitte vermeiden Sie doch diese irreführende Benennung. Wenn man das Verhältnis S von Anfang an richtig getauft hätte, nämlich als *Unwissenheitsgrad*, so würde sich niemand brüsten, «er rechne mit einer 10- bis 20-fachen Dummheit».

Diese einfache Berechnungsmethode ist also durchaus unbefriedigend; wir müssen versuchen, die wirklichen Beanspruchungen wahrheitsgetreuer als bisher zu schätzen. Beim *ruhenden Tragseil* liegt die Ursache der Zerstörung wohl fast ausschliesslich in der Beanspruchung durch die darüber rollenden Lasten. Das *umlaufende Zugseil* wird über Antrieb- und Spannscheiben und auch über die Stütz-Tragrollen gebogen. Dazu kommen noch Massenkräfte beim Anfahren und Bremsen, Seilschwingungen verschiedenster Art, u. s. w.

Man muss auch äusserst vorsichtig sein, wenn man Erfahrungen oder Versuchsergebnisse auf andere Fälle übertragen will; das ist selbstverständlich nur zulässig, wenn die Verhältnisse *ähnlich* liegen. So darf man z. B. nicht erwarten, dass die beim Tragseil gemachte Erfahrung (kleine Sicherheit S = grosse Lebensdauer) ein allgemeines Gesetz sei und auch für das (ganz anders beanspruchte) Zugseil gelte. Bei Förderseilen von Bergwerken ist die Lebensdauer bei fünffacher Sicherheit bedeutend kleiner als bei siebenfacher (Abb. 4); das Bild zeigt auch, dass die Lebensdauer mit zunehmender Zugfestigkeit K_Z abnimmt.

Die Biegespannungen werden nach der seit 1861 bekannten Gleichung von Reuleaux berechnet:

$$\sigma_b = \frac{\delta}{D} E \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Diese Gleichung gilt für einen Einzeldraht oder für ein Bündel paralleler Drähte, die sich gegenseitig *reibungsfrei* bewegen können; sie gilt auch für kleine Ablenkungswinkel (φ grösser als 10°) und wird auch für verseilte Drähte verwendet. Die betrübliche Periode des Drahtseilkrieges, der ausbrach, als Prof. C. von Bach im Jahre 1881 einen Berichtigungsfaktor $\beta = {}^3/_8$ bis $^1/_4$ einführte, weil ihm die Biegespannungen zu hoch erschienen, darf hier wohl übergangen werden. Heute ist die Sachlage so, dass man lieber nicht mehr von Biegespannungen redet, als wenn es etwas «Unanständiges» wäre; man schreibt nur das Verhältnis δ/D vor.

Die Biegespannungen sind gross; für die Scheiben der Kleinseilbahnen nach dem S. I. A.-Entwurf ist $\sigma_b = 22\,000/800 = 27{,}7$ kg/mm²; zusammen mit einer zulässigen Zugspannung von 180/6 = 30 kg/mm² ist die «Sicherheit» nur noch 180/57,5 = 3,2-fach. Bei den Tragrollen mit δ/D grösser als 250 setzt man wohl voraus, dass der Ablenkungswinkel sehr klein sei, also 5° nicht wesentlich überschreite, was meiner Ansicht nach sicher zu optimistisch ist. In diesem Fall ist nur eine 1,6-fache Sicherheit vorhanden.

Ich weiss nicht, weshalb es heute zur guten Sitte gehört, diese Biegespannungen einfach tot zu schweigen. Der S. I. A. befindet sich hier in der besten nationalen und internationalen Gesellschaft. Hat man wirklich eine solche Angst vor einer nur 1,6 bis 3,2-fachen Sicherheit? Sicher nur deshalb, weil die angebotenen Sicherheiten faul und wertlos sind. Niemand kann mehr als eine einfache = 100-prozentige, aber altmodische, ehrliche Sicherheit, das ist *absolute* Sicherheit verlangen. Die 1,6- bis 3,2-fachen «Sicherheit» ist auch gar nicht vorhanden. Die tatsächlich auftretenden Biegespannungen sind nämlich *viel grösser* als aus Gl. (1) folgt, die nur den *Kleinstwert* der Biegespannungen angibt!

Schon aus der einfachen Tatsache, dass ein Einzeldraht bis zu 100 mal soviel Biegungen bis zum Bruch aushält, wie der im Seilverband liegende, muss man schliessen, dass noch andere, *wesentliche* Beanspruchungen in einem gebogenen Seil auftreten, die bei der Ableitung der Reuleaux'schen Gleichung *nicht* berücksichtigt wurden. Dass solche vorhanden sind, erkennt man auch aus folgender Beobachtung: Prüft man ein Seil auf einer Dauerbiegemaschine, und zwar so, dass das Seil immer mit der selben Seite auf den Scheiben aufläuft, so liegen die *Drahtbrüche* auf der *Druckseite* und nicht auf der Zugseite, wo die grösste Zug- und Biegespannung vorhanden ist!

Wenn wir dem Seil helfen wollen, seine oft recht kurze Lebensdauer zu verlängern, dann müssen wir eben die bisher vernachlässigten Einflüsse (die die eigentlichen Bruchursachen sind) genauer untersuchen. Durch diese Feststellung verlieren die Vorschriften über δ/D und d/D an Bedeutung. Es hat demnach wenig Sinn, sich ängstlich an gewohnten (bewährten) Zahlen festzuhalten oder über kleine Abweichungen davon zu streiten. Die jetzige Fassung dieser Bestimmung legt dem Seil Einschränkungen auf, die zu dem erreichbaren Nutzen in einem schlechten Verhältnis stehen; sie führt zur Verwendung von dünnen Drähten, zu Kabelschlagseilen, die weniger geeignet sind.

Der wichtigste Punkt, der bei der Ableitung der Reuleauxschen Gleichung vernachlässigt wurde, ist die *Reibung*. Das Gleiten der einzelnen Drähte ist nur nach Ueberwindung der Reibung möglich. Die Drähte werden beim Biegen durch den Seilzug Z aufeinander gepresst mit der Normalkraft $N = Z\varphi$ (φ = Ablenkungswinkel); mit $s = R\varphi$ (s = Abstand zweier Litzen, R = Rollenradius), wird

$$N = Z\,s/R \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

[2]) Vgl. auch *ten Bosch*, Vorl. über Masch.-Elem., 2. Auflage, S. 74.

[3]) Die Schweiz. Seilindustrie vorm. C. Oechslin, Schaffhausen, und die A. G. E. Fatzer in Romanshorn erreichen durch den «Oxlay» bezw. den «Defag-Lay» eine ähnliche Wirkung. (Vgl. auch «SBZ» Bd. 108, S. 93* 1936; ferner Bd. 109, S. 97*, 256 und 303*, 1937. Red.)

Die bei der Biegung auftretenden Schubkräfte müssen die Reibungskraft μN überwinden. Da sowohl die Schubkraft als auch die Reibkraft an verschiedenen Punkten des Seilquerschnittes verschieden gross sind, geht die Auflösung des gesamten Seilerquerschnittes in einzelne Drähten allmählich vor; sie beginnt an der Stelle der kleinsten Reibung und der grössten Schubkraft. Ein Mass für die Grösse der auftretenden Reibung ist die *Seilsteifigkeit*. Wenn wir diese kennen würden, könnten wir sicher auch etwas über die Lebensdauer der Seile infolge der Biegespannungen aussagen. Ich habe deshalb schon vor fünf Jahren[4]) einmal den Vorschlag gemacht, die Biegesteifigkeit der Seile systematisch zu prüfen. Solche Versuche sind sehr einfach durchzuführen; die Aenderung der Biegesteifigkeit gibt einen Einblick in den Zustand des Seiles.

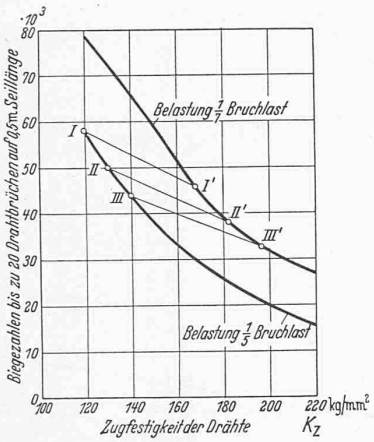


Abb. 4. Vergleich der Haltbarkeit von Seilen aus Drähten verschiedener Festigkeit unter verschiedener spezif. Belastung. Dauerbiegeversuche der Seilprüfstelle der Westphäl. Berggewerksch. Kasse Bochum

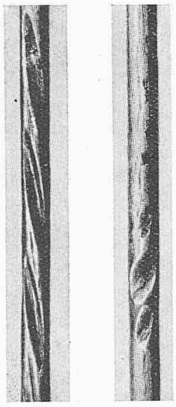


Abb. 5. Druckstellen in Aussendrähten eines Kreuzschlag- und eines Längsschlagseiles Nach R. Meebold

Aus diesen Ueberlegungen kann man folgende *Schlussfolgerungen* ziehen:

a) Die Drahtseile sollten geschmiert werden.

b) Werden die einzelnen Drähte (z. B. durch Eisbildung oder durch Rost) unverschiebbar verkittet, so müssen die Biegespannungen gefährlich gross werden.

c) Die Drähte dürfen nicht zu dünn sein, weil sie sonst bei der gegenseitigen Verschiebung zu rasch durchgerieben würden (Abb. 5)[5]). Das gilt besonders bei Kreuzschlagseilen; etwas besser sind die Gleichschlagseile mit dem kleineren Kreuzungswinkel. Noch besser ist der Parallelschlag (z. B. Seale), bei dem sich die Drähte auf einer Mantellinie berühren.

Die Verwendung dieser Seile mit Drähten verschiedener Dicke scheitert oft daran, dass das vorgeschriebene Verhältnis δ/D zu grösseren, also teurern Scheiben und Rollen führt. Auch Ing. A. Pauli[6]) hat schon darauf hingewiesen, dass unter sonst gleichen Verhältnissen eine Vergrösserung der Aussendrähte genügt, um die Lebensdauer des Seiles ganz erheblich zu verlängern.

Die Grösse der Flächenpressung p_0 zwischen den einzelnen Drähten oder zwischen Seil und Unterlage kann mit Hilfe der allgemeinen Hertz'schen Gleichungen[7]) berechnet werden. In der Mitte der Druckfläche ist

$$p_0 = -\frac{3}{2\pi}\,\frac{P_0}{a\,b}$$

worin

$$a = 1{,}4\,\mu\sqrt[3]{\frac{P_0}{E\,\Sigma\varrho}} \quad \text{und} \quad b = 1{,}4\,\nu\sqrt[3]{\frac{P_0}{E\,\Sigma\varrho}}$$

die Halbaxen der Druckellipse sind. Aus diesen Gleichungen folgt:

$$p_0 = \frac{3}{4\pi}\sqrt[3]{\frac{(E\,\Sigma\varrho)^2}{(\mu\,\nu)^3}}\;\sqrt[3]{P_0} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

In dieser Gleichung ist

$$1/E = {}^1/_2\left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

$\Sigma\varrho$ ist gleich der Summe der vier Hauptkrümmungen an der Berührungsstelle; μ und ν sind Zahlenwerte, die von einem Hülfswinkel τ abhängen und einer Zahlentafel entnommen werden können. Ohne tiefer in die Einzelheiten einzugehen, kann man aus dieser Gleichung folgende Schlussfolgerungen ziehen:

a) Wie aus der Biegegleichung folgt auch hier, dass Scheiben und Rollen möglichst gross sein sollten.

b) Der Faktor $\frac{(\mu\,\nu)^{3/2}}{d\,\Sigma\varrho} = \varnothing$ ist ein Mass für die *Anschmiegung* der beiden Körper; je grösser $\varnothing$, umso kleiner ist die Flächenpressung. Die Rillenform soll sich dem Seil möglichst anschmiegen, ohne zu klemmen. Das Gleiche gilt auch für die Auflagerschuhe.

c) Aus Gleichung 4 folgt, dass E immer kleiner ist als der kleinste der beiden E-Werte. Man sollte also die Scheiben und Rollen mit einem geeigneten Werkstoff (Gummi, Leder, Kunststoff) ausfüttern. Das ist zwar eine alte Erkenntnis, sie wird aber bei den Seilbahnen doch nur selten berücksichtigt. Die guten Erfahrungen der Burgbergbahn bei Harzburg mit Gummirollen sollten zur allgemeinen Verwendung anregen.

d) Die Flächenpressung zwischen Laufrolle und Seil ist bei den verschlossenen Seilen am kleinsten, daher kleine und gleichmässige Abnutzung. Diese Seile werden allerdings nur mit einer grössten Zugfestigkeit $K_Z = 140$ kg/mm² ausgeführt, sind also weicher als die Litzenseile.

e) Auch die richtige Unterstützung der Aussendrähte durch die Innendrähte ist wichtig. Bei Rundlitzen mit 3 bis 4 Kerndrähten ist dies nur mangelhaft der Fall, etwas besser sind die Normseile mit einem Kerndraht.

Die Flächenpressungen sind sehr gross; sie führen zu örtlichen Quetschungen der Drähte (Abb. 5) aber noch nicht sofort zum Bruch. Erst beim Wieder-Geradebiegen des Seiles tritt der Bruch an der geschwächten Stelle infolge der durch Kerbwirkung *stark erhöhten* Biegespannungen auf.

*

Ueberblickt man das skizzierte Gesamtbild, so erkennt man im Seil einen Maschinenteil, das schon bei der Herstellung (durch Vorspannungen) erheblich beansprucht ist. Betriebsmässig kommen noch Zug- und Biegebeanspruchungen dazu, die relativ viel grösser sind, als man sie normalerweise den Maschinenteilen zumutet. Dazu kommen Schwingungen durch Wind, beim Anfahren und Bremsen, usw. Die dadurch erhöhten Zugspannungen im Seil machen sich besonders schädlich bemerkbar bei den Flächenpressungen zwischen den einzelnen Drähten und zwischen Draht und Unterlage. Und immer noch nicht genug: die wellige Form der Litzenseile hat zur Folge, dass die Tragwirkung zwischen Draht und Unterlage *plötzlich* von einem Draht auf einen folgenden übergeht, also *Schlagwirkungen* von hoher Frequenz erleidet. Das ist zuviel für das Seil, besonders wenn diese Schläge immer an der gleichen Stelle treffen. Da der Drall des Seiles sich mit der Seilbelastung ändert, ist dies (glücklicherweise für das viel geplagte Seil) nicht immer der Fall. Die Verschiebung des Seiles nach einer gewissen Betriebszeit (vgl. Art. 3, S. 2 des S. I. A.-Entwurfes für Kleinseilbahnen) ist eine recht zweckmässige Massnahme. Dort wo die Schläge mehrfach an der gleichen Stelle treffen, werden die Drähte brechen. Das Seil wird also nicht durch *Verschleiss* unbrauchbar, sondern (sagen wir es doch lieber offen und ehrlich) es *bricht* infolge örtlicher Ueberbeanspruchungen. Und wenn alle Drähte *mehrfach* gebrochen sind: das Seil lebt noch, denn die Reibung hält es noch als ganzes zusammen. Es könnte noch weiter seinen Dienst tun, wenn die Behörden es gestatten würden, aber es ist müde geworden und hat seine Pensionierung ehrlich verdient. Man sollte aber nicht sagen, dass es (mit einer 10- bis 20-fachen Sicherheit) ein üppiges Leben geführt habe!

Unverstand der Menschen, die die stumme Seilsprache nicht verstehen, hat zur Folge, dass das Seil in seinem harten Zermürbungskrieg ums Dasein oft nicht die geringste Pflege erhält. Ja, sie nutzen es aus, bis es tot zusammenbricht. *Das* müssen die Aufsichtsbehörden verhindern, ebenso wie Tierquälerei verboten ist. Es sollte keine Polizeiaufsicht sein, sondern etwa so, wie der Hausarzt die Gesundheit der Familienglieder überwacht, soll der Inspektionsingenieur als «Seilarzt» das Leben der Seile überwachen, für die richtige *Pflege* sorgen und nur böswillige Missbräuche und grobe Vernachlässigungen anzeigen.

Bei einer solchen Aufsicht kann das Eidg. Amt für Verkehr die einschränkenden Vorschriften für δ/D, d/D und auch für die Zugspannung ruhig weglassen. Es genügt, für alle Konstruktionsteile, also auch für das Seil, den Nachweis der Sicherheit und der Zweckmässigkeit vorzuschreiben (vgl. Art. 23, S. 7 des S. I. A.-Entwurfes für Kleinseilbahnen).

---

[4]) «SBZ» Bd. 108, Nr. 9 vom 29. Aug. 1936.

[5]) Aus *R. Meebold:* Die Drahtseile in der Praxis, J. Springer, Berlin.

[6]) *A. Pauli:* Drahtseile und Seildrähte. Erste Mitteilung des Neuen Intern. Verbandes für die Materialprüfungen der Technik. Zürich 1930, Bd. D, S. 141/48.

[7]) Vgl. z. B. *ten Bosch:* Vorl. Masch.-Elemente, 2. Aufl., S. 279.