

Kabel mit hoher Ermüdungsfestigkeit für Hängebrücken

Autor(en): **Leonhardt, Fritz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **7 (1964)**

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-7864>

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.

II d 3

Kabel mit hoher Ermüdungsfestigkeit für Hängebrücken

Suspension Bridge Cables with Higher Fatigue Strengths

Câbles à haute résistance à la fatigue pour ponts suspendus

FRITZ LEONHARDT

Stuttgart

1. Einleitung

Für Hängebrücken oder Schrägkabelbrücken werden in Deutschland vorzugsweise patentverschlossene Seile verwendet, die zur Verankerung mit Weißmetall in Seilköpfen vergossen werden (Fig. 1). In anderen Ländern verwendet man sogar normale, offene Drahtseile oder Litzenseile mit Seilköpfen, sofern nicht bei großen Spannweiten in den USA und England Paralleldrahtkabel aus dünnen Drähten gesponnen werden.

Die großen Brücken werden in zunehmendem Maße mit den in Deutschland entwickelten Leichtfahrbahnen (orthotrope Platte) gebaut. Das Eigengewicht wird daher immer leichter, während die Verkehrslasten zunehmen. Entsprechend wird die Schwingbreite der Spannungswchsel unter Verkehrslasten im Vergleich zur Grundspannung infolge Eigengewicht immer größer. Dies bedeutet, daß die Ermüdungsfestigkeit solcher Seile oder Kabel eine zunehmende Rolle spielt.

Nun ist es bekannt, daß die Seile an ihren Verankerungen mit Seilköpfen, insbesondere infolge der hohen Temperatur des Vergußmetalles, keine sehr

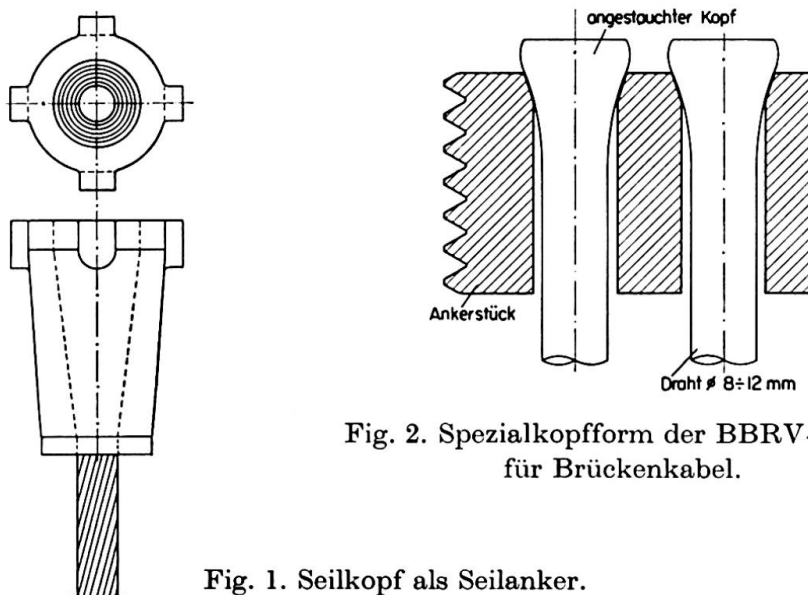


Fig. 2. Spezialkopfform der BBRV-Anker für Brücken-kabel.

Fig. 1. Seilkopf als Seilanker.

hohe Ermüdungsfestigkeit haben. Bei patentverschlossenen Seilen wurde selbst bei sorgfältiger Ausführung der Verankerung eine Schwingbreite von rund 1400 bis 1600 kp/cm² über einer unteren Grundspannung von 2500 kp/cm² bei einer mittleren Seilfestigkeit von 14 000 kp/cm² ermittelt [1]. Bei offenen Seilen liegt diese Schwingbreite noch niedriger.

Die paralleldrähtigen Kabel der Amerikaner mit schlaufenartiger Verankerung sind hinsichtlich ihrer Ermüdungsfestigkeit diesen Seilen mit Seilköpfen zweifellos überlegen. Sie haben jedoch andere Nachteile, so insbesondere die Notwendigkeit der Stoßmuffen und die mangelhafte und zeitraubende Ordnung der dünnen Drähte beim Herstellungsverfahren, die befürchten läßt, daß manche Drähte im Kabel sich kreuzen und beim hydraulischen Zusammenpressen mehr oder weniger abgequetscht werden.

2. Neue Kabelanker

Aufbauend auf den Erfahrungen, die beim Spannbeton gesammelt wurden, werden neuerdings Paralleldrahtkabel mit größeren Drahtdurchmessern, z. B. \varnothing 8 bis \varnothing 12 mm, aus kaltgezogenem, hochfestem Stahl hergestellt, die an ihren Enden mit einer speziellen BBRV-Verankerung versehen werden (Fig. 2)

Bei dieser im Spannbeton sehr bewährten Verankerungsart werden bekanntlich an den rechtwinklig abgeschnittenen Drahtenden Köpfchen kalt angestaucht, die sich gegen ein Ankerstück legen, wobei viele Drähte durch eng nebeneinander liegende Bohrungen hindurchgeführt werden. Das Ankerstück ist außen mit einem Gewinde versehen, das die Anker Mutter bzw. den Stelling trägt, der die Kabelkraft auf die Ankerplatte überträgt (Fig. 3). Diese Anker brauchen weniger Platz als die Seilköpfe.

Während die Köpfchen bisher etwa Kugelform hatten, werden nunmehr auf Anregung des Verfassers die Köpfchen mit einem konischen Übergang angestaucht, so daß die Ankerkraft eine starke radiale Pressung in dem konischen Sitz des Ankerstückes hervorruft. Diese radiale Pressung hat zur Folge, daß das Köpfchen im Dauerschwingversuch nicht mehr abgeschert wird und daß eine Ermüdungsfestigkeit der Verankerung erreicht wird, die etwa der Ermüdungsfestigkeit des Drahtes selbst entspricht. Versuche an der EMPA, Zürich, haben gezeigt, daß man über einer unteren Spannung von rund 3500 kp/cm² eine Schwingbreite bis zu 2800 kp/cm² erreichen kann, also rund die doppelte Schwingbreite der im Seilkopf vergossenen Seile. Man kann damit in Brücken die Festigkeit dieser Drähte wieder voll ausnützen, während man bisher im Hinblick auf die schwingenden Beanspruchungen die obere maximale Spannung herabsetzen mußte. Mit dieser neuen Verankerungsart werden also wesentliche Vorteile für den Großbrückenbau erreicht.

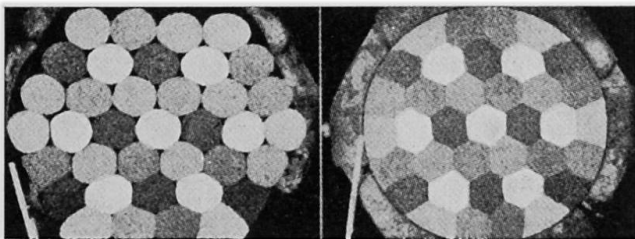
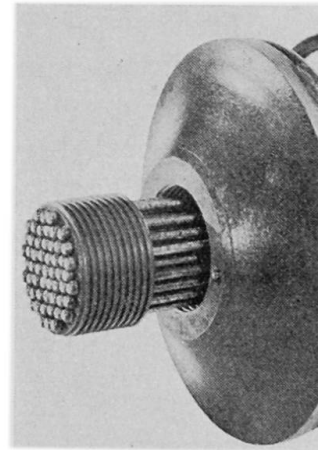
Derartige Kabel können nun bis zu Längen von 40 oder 50 m genau so hergestellt werden wie Spannglieder für Spannbeton, indem man die parallelen

Drähte in Hüllrohren führt und sie nachträglich zum Schutz gegen Temperaturänderungen und Korrosion mit Zementmörtel auspreßt. Bei der Anwendung solcher Kabel für den Fußgängersteg über die Schillerstraße in Stuttgart [2] wurden Hüllrohre aus dem Kunststoff Hostalen (Polyäthylen) verwendet, wodurch ein haltbarer Schutz erzielt wurde.

3. Neue Herstellungsart der Kabel

Für größere Kabellängen, insbesondere für Kabel von Hängebrücken oder weitgespannten Schrägkabelbrücken wird eine neue Herstellungsart empfohlen, die der Verfasser schon 1941 aus Beobachtungen an einem Versuchsstück der Kabel für die San-Francisco-Bay-Brücke ableitete [3, 4]. Die Amerikaner legen bekanntlich etwa kreisrunde, gebändelte Drahtbündel mit je 60 bis 90 Stück 5-mm-Drähten zu dem ungefähr kreisrunden Kabel zusammen (Fig. 4 a) und pressen dieses Kabel hydraulisch auf einen möglichst kleinen Querschnitt radial zusammen (Fig. 5), wonach das ganze Kabel mit Draht umwickelt wird.

Fig. 3. BBRV-Anker für viele Drähte.



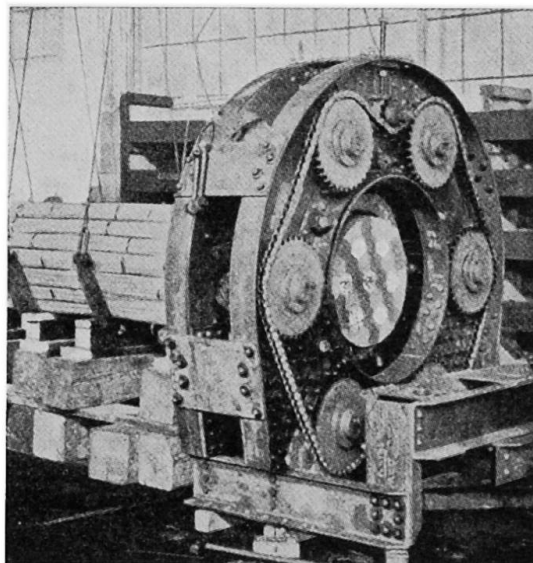
a)

b)

Fig. 4.

- a) Aus Drahtbündeln zusammengesetztes Kabel einer US-Hängebrücke vor dem Zusammenpressen.
- b) Form der ursprünglich etwa kreisrunden Bündel des Bildes a) nach dem Pressen.

Fig. 5. Das Kabel wird mit großen hydraulischen Pressen radial auf Kreisquerschnitt gepreßt.



Der Versuch zeigte nun, daß beim Zusammenpressen die ursprünglich etwa kreisrunden Drahtbündel im inneren Bereich des Kabels sechseckig wurden (Fig. 4b). Dies ist ganz natürlich, weil Drähte in sechseckiger Anordnung jeweils das Hohlraum-Minimum ergeben. Es liegt nun nahe, die Drähte von vornherein in sechseckigen Bündeln anzuordnen (Fig. 6). Dies kann leicht geschehen, indem alle Drähte eines sechseckigen Bündels gleichzeitig von ihren Ringen abgezogen und durch Führungen auf die sechseckige Anordnung gebracht werden. Das Bündel läuft dabei zwischen sechs mit Gummi belegten Rollen hindurch, die die Drähte radial eng zusammenpressen. Unmittelbar dahinter wird das Bündel mit einem dünnen Draht bei verhältnismäßig großer Ganghöhe wendelartig umwickelt bzw. gebändselt. Das Bündel behält dann auch beim Transport seinen sechseckigen Querschnitt, selbst wenn es über Krümmungen hinweggeführt wird. Man kann ein solches Kabel mit ausreichend großem Krümmungsradius auch über gekrümmte Kabelsattel endgültig verlegen, weil schon geringe Unterschiede der Längsspannungen die verschiedene Drahtlänge im Krümmungsbereich ausgleichen, zudem sich die Drähte auch längs gegeneinander etwas verschieben können.

Diese Sechseckbündel können daher, ähnlich wie Seile, über Rollengänge und Hilfsstege als Kabel für Hängebrücken verlegt werden. Da heute sehr große Drahtlängen geliefert werden, brauchen die Drähte innerhalb des Kabels nicht gestoßen werden.

Aus diesen Sechsecken kann man nun mit Futterleisten am Rand ein tadelloses rundes Kabel zusammenbauen (Fig. 7), bei dem sich beim späteren Zusammenpressen und Umwickeln keine Drähte mehr gegenseitig verschieben müssen. Für große Kabel können außen sogar Teile von Sechsecken als Bündel zugelegt werden (Fig. 8), wenn man entlang der Teilungslinie des Sechsecks

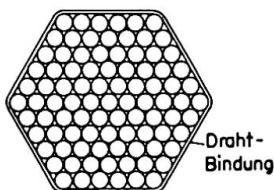


Fig. 6. Sechseckiges Drahtbündel, straff umwickelt, läßt sich wie ein Seil verlegen.

Fig. 7. Kabel aus sechseckigen Drahtbündeln.

a = Sechseckige Drahtbündel.

b u. c = Futterstäbe, z. B. aus Beton.

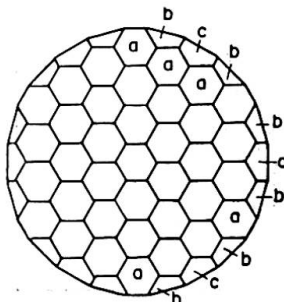
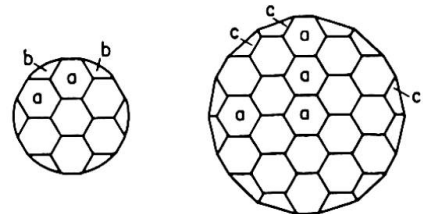


Fig. 8. Kabel aus 37 vollen, sechseckigen Bündeln a, am Rand ergänzt mit Teilbündeln.

a = Sechseckige Drahtbündel, 37 Stück.

b = $\frac{1}{3}$ -Bündel, 12 Stück.

c = $\frac{1}{2}$ -Bündel, 6 Stück.

in gewissen Abständen biegesteife Platten legt, welche die Form des Teilbündels sichern. Diese biegesteifen Platten werden nach der Montage des Kabels kurz vor dem endgültigen Umwickeln wieder weggenommen.

Parallele Drähte haben den großen Vorzug, daß der Elastizitätsmodul innerhalb der Gebrauchsspannungen konstant und hoch ist, während bei Seilen die Spannungsdehnungslinie am Anfang etwas flach verläuft (Seilreck), dann nur kurz gerade ist und frühzeitig in den gekrümmten Bereich der plastischen Verformungen übergeht. Der E -Modul ist dabei im Mittel wesentlich niedriger als beim geraden Draht. Die Verformungen von parallelen Drahtkabeln sind daher kleiner und lassen sich zuverlässiger berechnen als diejenigen von Seilen.

Derartige Hängebrückenkel haben folgende Vorteile:

1. Hoher konstanter E -Modul, also klar berechenbare, kleine Verformungen.
2. Hohe Ermüdungsfestigkeit, auch an den Verankerungen, daher volle Ausnutzbarkeit der Drahtfestigkeit, selbst bei Brücken mit leichten Fahrbahnen.
3. Einwandfreier und haltbarer Korrosionsschutz in allen Teilen.
4. Einfache Herstellung und verhältnismäßig niedrige Kosten.

Schrifttum

1. H. K. HAVEMANN: «Die Seilverspannung der Autobahnbrücke über die Norderelbe. — Bericht über Versuche zur Dauerfestigkeit der Drahtseile.» Der Stahlbau, 31 (1962), Heft 8, S. 225—232.
2. F. LEONHARDT und W. ANDRÄ: «Fußgängersteg über die Schillerstraße in Stuttgart.» Die Bautechnik, 39 (1962), Heft 4, S. 110—116.
3. K. SCHAECHTERLE und F. LEONHARDT: «Hängebrücken III.» Die Bautechnik, 19 (1941), Heft 12/13, S. 125—133.

Zusammenfassung

Die bisher üblichen Seile zeigen an ihrer Verankerung mit Seilköpfen eine verhältnismäßig niedrige Ermüdungsfestigkeit, so daß die Kabel großer Brücken oft im Hinblick auf die erwartete Schwingbreite der Spannungen nicht voll ausgenützt werden. Es wird gezeigt, wie Kabel auf kleinstem Raum verankert werden können und wie dabei durch geschickte Formgebung der Anker die Schwingbreite um etwa 40% gesteigert werden kann. Ferner wird ein günstiges Herstellungsverfahren für große Paralleldrahtkabel aus sechseckigen Drahtbündeln beschrieben.

Summary

In large suspension bridges built hitherto with ropes it has not been possible to utilise fully the dynamic stress range permitted in the cable, since the anchor details of the ropes have a lower fatigue strength than the wire in the rope.

The paper shows how the anchor detail may be made smaller and the range of fatigue stress increased by 40 per cent.

In addition the production of large parallel cables composed of small hexagonal strands is described.

Résumé

Dans les grands ponts suspendus, la résistance à la fatigue des câbles au droit de leur culot d'ancrage est relativement faible, ce qui interdit souvent de tirer pleinement parti de leur résistance à cause de la variation des contraintes. Dans ce mémoire, il est montré comment on peut réaliser un ancrage de plus petites dimensions et ainsi augmenter en même temps de 40% l'amplitude des contraintes. On décrit en outre un procédé de fabrication de gros câbles à fils parallèles composés de torons hexagonaux.