Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte

Band: 37 (1982)

Artikel: Verbesserung des Schwingfestigkeitsverhalten von Spannkabel- und Seilverankerungen

Autor: Köhler, W. / Nürnberger, U.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-28969

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: 07.12.2025

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

Verbesserung des Schwingfestigkeitsverhaltens von Spannkabel- und Seilverankerungen

Improvement of the Fatigue Strength of Anchorages for Tendons and Ropes

Amélioration de la résistance à la fatigue des ancrages pour câbles de précontrainte et haubans

W. KÖHLER
Dipl. Ing.
Otto-Graf-Institut
Stuttgart, BRD

U. NÜRNBERGER
Dr. -Ing.
Otto-Graf-Institut
Stuttgart, BRD

ZUSAMMENFASSUNG
Es wird über Untersuchungen zur Verbesserung der Dauerschwingfestigkeit von Keil- und Metallvergussverankerungen berichtet. Massgebend für das Schwingfestigkeitsverhalten ist die Schädigung der Drähte durch Reibkorrosion infolge von Relativverschiebungen unter Querpressung. Als Ergebnis der Untersuchungen werden dynamisch verlustfreie Verankerungen vorgestellt, bei denen entweder die Relativverschiebungen weitgehend ausgeschaltet werden, oder bei denen der Sauerstoff ferngehalten wird. Beide Massnahmen verringern die Reibkorrosion auf ein unbedeutendes Mass, so dass die Dauerschwingfestigkeit der Drähte in den Verankerungen nicht abgemindert wird.

SUMMARY
Investigations were performed in order to improve the fatigue strength of wedge shaped and cast metal anchorages. The fatigue strength is primarily influenced by fretting corrosion of the wires due to relative displacement whilst under lateral pressure. Dynamic, zero-loss anchorages, in which either the relative displacements or the oxygen were eliminated, have been developed as a result of the investigations. Both measures reduce the fretting corrosion to an insignificant level so that the fatigue strength does not diminish in the anchorage.

RESUME
Des études ont été réalisées pour améliorer la résistance à la fatigue des ancrages à clavettes ou coulés. La résistance à la fatigue est essentiellement influencée par l'endommagement des fils causé par la corrosion de frottement due aux déplacements relatifs sous pression transversale. Les ancrages dynamiques, sans perte, dans lesquels les déplacements relatifs ou l'oxygène ont été éliminés, sont présentés comme résultats de ces études. Les deux mesures réduisent la corrosion de frottement à une valeur négligeable de sorte que la résistance à la fatigue des fils dans les ancrages n'est pas diminuée.

1. EINFÜHRUNG

Spannglieder für den Spannbetonbau mit nachträglichem Verbund werden überwiegend in Keil-, Klemm-, Gewinde-, Preßhülsen- oder Köpfchenverankerungen verankert, während Seile für Brücken oder Seilkonstruktionen häufig durch Metall- oder Kunststoffverguß verankert werden (Bild 1).

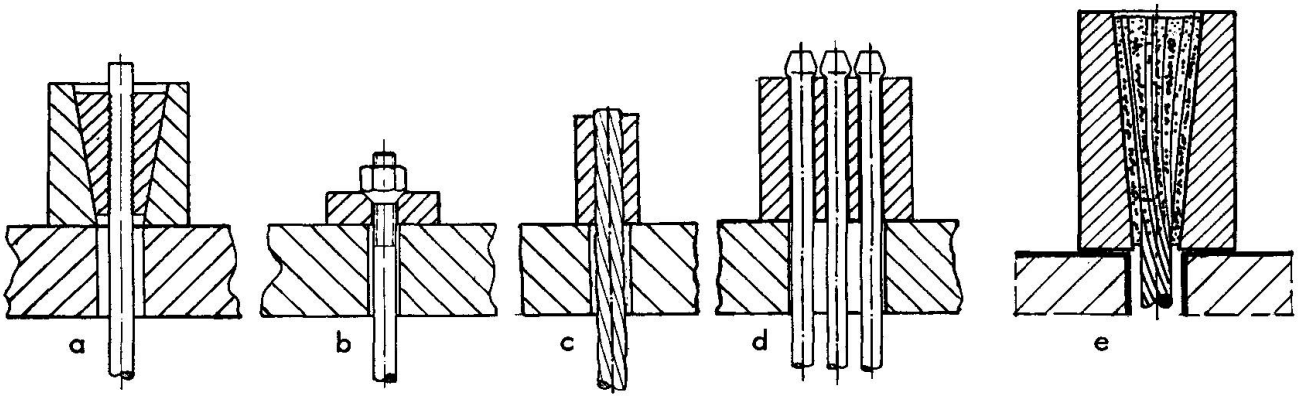


Bild 1. Beispiele für Verankerungen von Spanngliedern und Seilen

In diesen Verankerungen sind entsprechend der hohen Zugfestigkeit der Drähte, Litzen oder Stäbe neben großen statischen Lasten, häufig auch hohe dynamische Lasten zu verankern. So ist z.B. für die Dimensionierung der Abspannseile von Schrägkabelbrücken in der Regel die Dauerschwingfestigkeit der Seilverankerungen maßgebend. Wie aus der Tabelle 1 ersichtlich ist, ist die Dauerschwingfestigkeit der herkömmlichen Spanngliedverankerungen und der Metallvergußverankerungen von Seilen deutlich kleiner als die Dauerschwingfestigkeit der Drähte und Litzen selbst.

Tabelle 1. Dauerschwingfestigkeit von Spanndrähten und Litzen sowie von herkömmlichen Verankerungen

Bauteil	Dauerschwingfestigkeit $2\,\sigma_A$ in N/mm^2
Spanndrähte (kaltgezogen oder vergütet)	250 - 550
Spanndrahtlitzen	200 - 300
Spanngliedverankerungen nach Bild 1a bis 1d	80 - 150
Metallvergußverankerungen nach Bild 1e	120 - 140

In den folgenden Ausführungen werden die Ursachen für die relativ niedrigen Dauerschwingfestigkeiten der Keil- und Metallvergußverankerungen aufgezeigt sowie Vorschläge für Verankerungen mit verbesserter Dauerschwingfestigkeit gemacht. Diesen Ausführungen liegen umfangreiche Grundsatzuntersuchungen zugrunde, die im Otto-Graf-Institut durchgeführt wurden.

2. KEILVERANKERUNGEN

Es herrschte bisher die Meinung vor, daß die Dauerschwingfestigkeit der Keilverankerungen in erster Linie beeinflußt wird durch die Kerben, die von den Keilzähnen in den Spannstahl eingeprägt werden, und durch die hohe Querpressung am Beginn der Verankerung. Entsprechend werden bei den bekannten Keilverankerungen die Zähne an der Keilspitze stumpf ausgebildet. Außerdem ist die Keilspitze durch abnehmende Zahnhöhe ausgerundet oder abgefast (Bild 2a). Dadurch daß die Keilneigung etwas größer gewählt wird als die Konusneigung des Ankerkörpers, erreicht man eine Begrenzung der Querpressung an der Keilspitze und damit eine gleichmäßigere Kraftübertragung über die gesamte Keillänge. Auch eine große Keillänge führt zu kleinerer Querpressung.

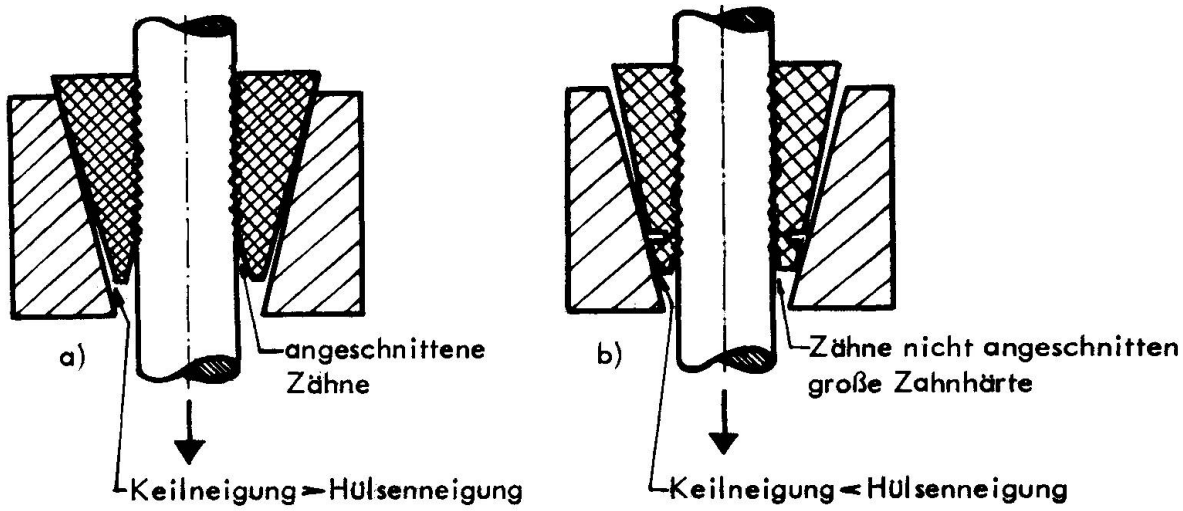


Bild 2. Herkömmliche (a) und dynamisch verlustfreie (b) Keilverankerung

Um den Einfluß von Querpressung, Kerbwirkung und Reibkorrosion (Relativverschiebung bei gleichzeitiger Querpressung) auf die Dauerschwingfestigkeit einzeln untersuchen zu können, wurden die im folgenden beschriebenen Versuchsreihen durchgeführt. Das Bild 3 zeigt die verwendeten Versuchsanordnungen. Die Querpressung wurde jeweils durch angeklemmte gleichartige Drähte erzeugt. Der Einfluß der Querpressung allein wurde durch zwei Versuchsvarianten (Bilder 3a und 3b) untersucht. Im Falle des längs angepreßten Drahtes betrug die

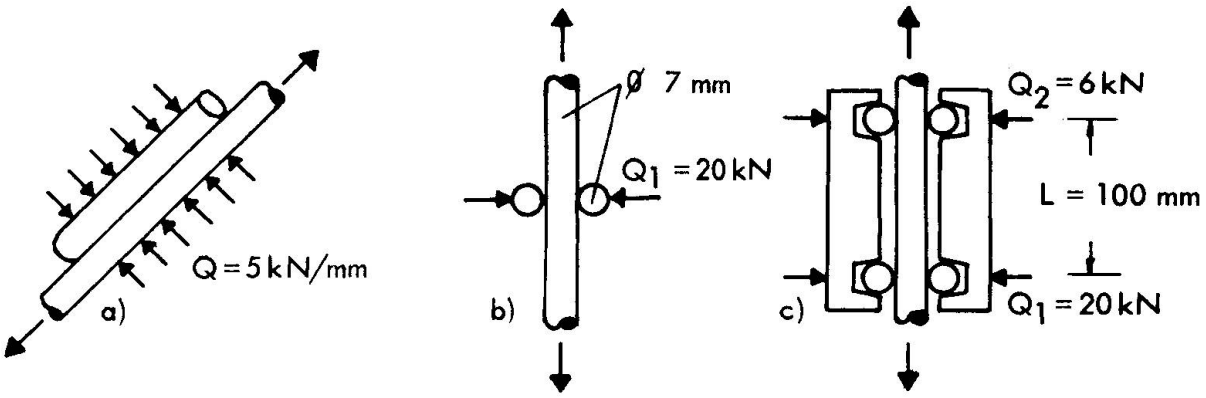


Bild 3. Versuchsanordnungen für die Dauerschwingversuche mit Längspressung (a), mit Querpressung (b) und mit Relativverschiebungen bei gleichzeitiger Querpressung (c)

Querkraft 5 kN/mm und im Falle der quer angepreßten Drähte betrug die Querkraft 20 kN. Die so gepreßten Drähte wurden im Zugschwellversuch ($\sigma_o = 0{,}55\ R_m$) geprüft. Es zeigte sich, daß die Drähte die hohen, bereits zu merklichen plastischen Verformungen der Drahtoberfläche führenden Querpressungen ohne wesentliche Abminderung der Dauerschwingfestigkeit ertragen können.

Der Einfluß von Relativverschiebungen bei gleichzeitiger Querpressung wurde durch Versuche nach Bild 3c untersucht. Hier wurden Drähte, die im Abstand von 100 mm in einem starren Rahmen gehalten wurden, mit unterschiedlich großen Querkräften von 6 bzw. 20 kN quer angepreßt, so daß sich der Prüfdraht im Dauerschwingversuch relativ zu den mit der kleineren Querkraft angepreßten Drähten verschieben konnte. Infolge der sich hier einstellenden Reibkorrosion nahm die Dauerschwingfestigkeit um mehr als 50 % gegenüber jener des unbeeinflußten Drahtes ab. Die Abminderung der Dauerschwingfestigkeit ist kleiner, wenn die Reibung durch Schmieren vermindert wird oder wenn die Beilagedrähte z.B. galvanisch verzinkt oder cadmiert sind.

Der Einfluß von Kerben bei gleichzeitiger Querpressung wurde wie folgt untersucht. Von quergezahnten Keilen (Zahnwinkel 90°, Radius der Zahnspitze 0,03 mm, Oberflächenhärte ca. 900 HV 1) zur Verankerung von Drähten Ø 12 mm wurden sämtliche Zähne mit Ausnahme des mittleren Zahns abgearbeitet. Zwei dieser Keile wurden dann gegenüberliegend mit 20 bzw. 80 kN Querkraft auf Drähte Ø 12 mm aufgepreßt. Dabei entstanden Kerben von ca. 0,1 bzw. 0,3 mm Tiefe. Die Drähte wurden dann mit den aufgepreßten Keilen im Dauerschwingversuch geprüft. Die Drähte brachten unbeeinflußt durch die Kerben in der freien Drahtlänge. Das günstige Ergebnis ist darauf zurückzuführen, daß der Drahtwerkstoff beim Einpressen des Keilzahns im Kerbgrund verfestigt wird. Diese Verfestigung und Gefügeverdichtung verhindert das Entstehen von Dauerschwinganrissen.

Werden die gleichen einzahnigen Keile derart verkantet auf die Drähte aufgepreßt, daß ein Keilende die Drahtoberfläche berührt und beim Dauerschwingversuch dort reibt, so brechen die Drähte an diesen Reibstellen (Bild 4). Die Abminderung der Dauerschwingfestigkeit infolge dieser Reibkorrosion beträgt bis zu 50 %.

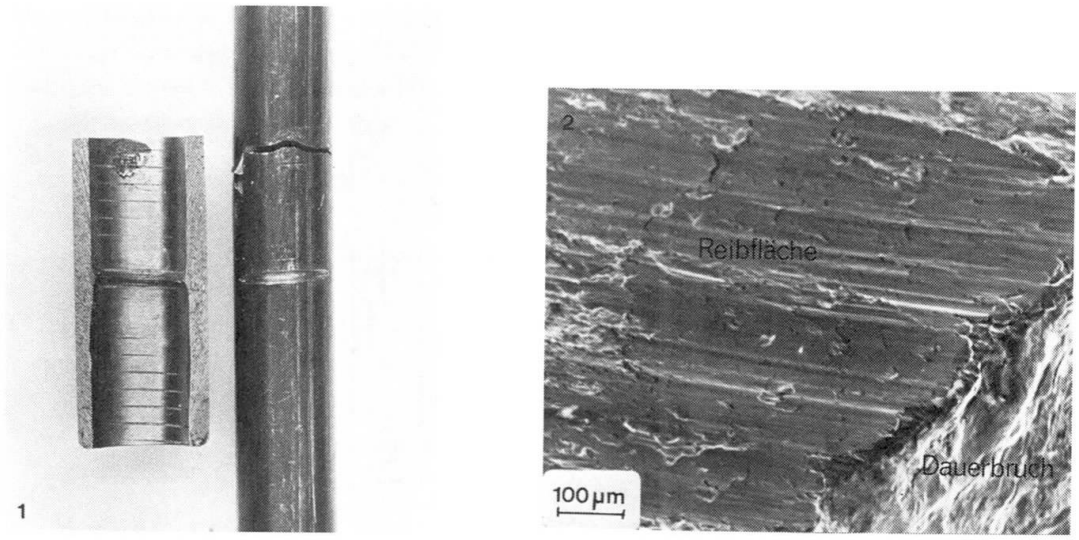


Bild 4. Dauerschwingversuch mit verkantet aufgesetztem einzahnigen Keil. Dauerbruch an der Reibstelle

Ähnlich ungünstig verhalten sich herkömmliche Keilverankerungen. Das Bild 5 zeigt die Verhältnisse für einen 44 mm langen Keil auf einem Draht Ø 12 mm. Da die Keilneigung größer war als die Konusneigung, gruben sich die Zähne an der Keilspitze nur ungenügend in den Draht ein. Entsprechend bildete sich dort während des Dauerschwingversuchs Reibkorrosion aus mit entsprechend ungünstigem Dauerschwingverhalten.

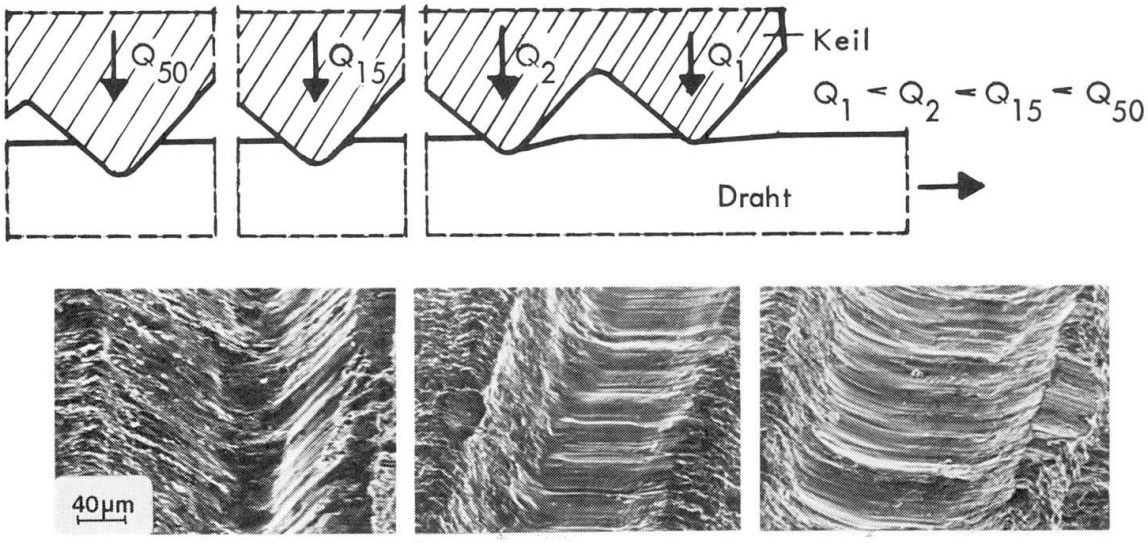
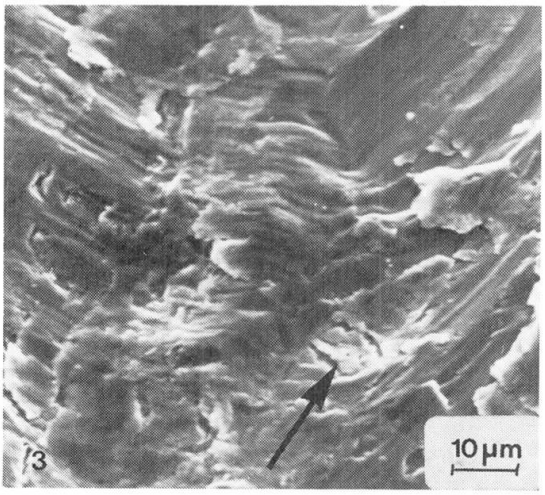


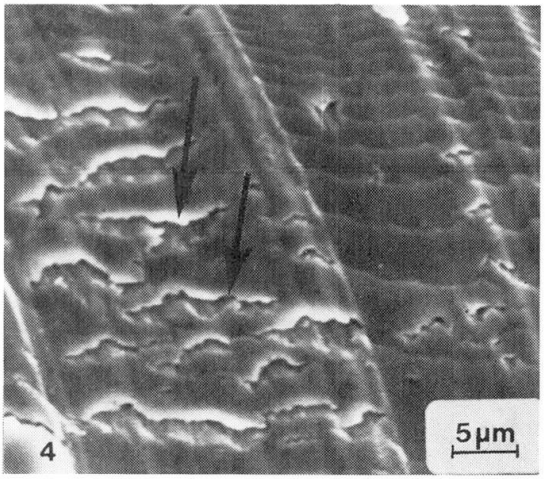
Bild 5. Eindrücke von Keilzähnen im Spanndraht Ø 12 mm

Zusammenfassend ist zu den hinsichtlich ihres Einflusses auf die Dauerschwingfestigkeit von Keilverankerungen untersuchten Faktoren festzustellen:

- Die durch die Keilzähne in die Drahtoberfläche eingeprägten Kerben beeinflussen die Dauerschwingfestigkeit nicht.
- Die Höhe der Querpressung und das Spannungsgefälle längs des Keiles beeinflussen die Dauerschwingfestigkeit im Gebrauchslastbereich nur unwesentlich.
- Die Dauerschwingfestigkeit wird überwiegend durch Relativverschiebungen zwischen Spannstahl und Keil und der daraus resultierenden Reibkorrosion abgemindert. Diese Abminderung der Dauerschwingfestigkeit ist bedingt durch Anrisse in der Drahtoberfläche und eine sich unterhalb der Reibfläche einstellende Zerrüttungszone.

Unter Reibkorrosion ist definitionsgemäß eine Schädigung von Werkstoffen zu verstehen, deren Oberflächen bei gleichzeitig wirkender Normalkraft Scheuerbewegungen kleinsten Ausmaßes gegen einen starren Reibkörper ausführen. Bei metallischen Werkstoffen ist die Schädigung durch Reibkorrosion um so ausgeprägter, je höher die Flächenpressung und je größer der Reibweg ist. Die Frequenz der Reibbewegungen ist ebenfalls zu beachten. Mit abnehmender Frequenz nimmt der Einfluß der Reibkorrosion auf die Dauerschwingfestigkeit zu, da dann der Korrosionseinfluß stärker zum Tragen kommt. D.h. unter praxisnahen Bedingungen ist eher mit Reibkorrosion zu rechnen als bei der Prüfung im Labor. Die Bilder 6 und 7 zeigen zwei Beispiele von durch Reibkorrosion geschädigten Drahtoberflächen. Die Pfeile verweisen auf Anrisse, die senkrecht zur Reibrichtung verlaufen.





Bilder 6 und 7. Reibkorrosion auf kaltgezogenem Spanndraht

Nach den vorstehenden Ausführungen kann die Dauerschwingfestigkeit von Keilverankerungen durch Maßnahmen verbessert werden, die die Relativverschiebungen und damit die Reibkorrosion beseitigen oder zumindest auf ein unbedeutendes Maß reduzieren. Dazu müssen die Keilzähne an der Keilspitze tief in den Draht eindringen und auf Dauer in dieser Lage gehalten werden. Wie Bild 2b zeigt, kann dies durch folgende Maßnahmen erreicht werden:
- Die Keilzähne müssen an der Keilspitze scharfkantig und in voller Höhe ausgebildet sein,
- große Oberflächenhärte der Keilzähne,
- hohe Querpressung an der Keilspitze, diese wird erreicht durch nicht zu große Keillänge, geringe Reibung zwischen Keilrücken und Konusfläche und durch eine gegenüber der Konusneigung geringfügig kleinere Keilneigung,
- der erste tragende Zahn muß ausreichend abgestützt sein, d.h. der Keil muß vor dem ersten Zahn noch einen kurzen ungezahnten Bereich aufweisen, der den Draht jedoch nicht berühren darf.

Durch zahlreiche Versuche konnte nachgewiesen werden, daß nach diesen Grundsätzen gestaltete Keilverankerungen dynamisch verlustfrei arbeiten: in Dauerschwingversuchen mit derart verankerten Drähten brachen die Drähte unbeeinflußt durch die Verankerungen in der freien Drahtlänge.

Insbesondere bei Litzen und dünnen Drähten zeigte sich, daß durch derartige Verankerungen die statische Tragfähigkeit infolge der Kerbwirkung und hohen Querpressung im Krafteinleitungsbereich abgemindert wird [3] . Hier wurden mit herkömmlichen Keilen hohe Dauerschwingfestigkeiten erzielt, wenn die gesamte Keilverankerung mit einem auch bei dynamischer Beanspruchung gut haftendem Kunststoff verfüllt und abgedichtet wird [1]. In diesem Fall wurde der für die Reibkorrosion notwendige Luftsauerstoff ferngehalten.

3. METALLVERGUSSVERANKERUNGEN

Als Ursache für das schlechte Dauerschwingverhalten der Metallvergußverankerungen wurden bisher angesehen
- Gefügeveränderungen durch die Temperaturbeanspruchung beim Vergießen,
- plastische Verformung der Drähte beim Herstellen des Seilbesens,
- Aufrauhung der Drahtoberfläche durch das Beizen,
- die spröde Hartzinkschicht der verzinkten Drähte,

- die hohe Querpressung und die plötzliche Krafteinleitung am Eintrittsbereich des Seils in die Hülse,
- Relativverschiebungen zwischen Draht und Vergußmetall und
- Reibkorrosion.

In Dauerschwingversuchen mit auf 400°C angelassenen, hin- und zurückgebogenen, gebeizten bzw. feuerverzinkten Spanndrähten zeigte sich keine Verschlechterung der Dauerschwingfestigkeit gegenüber dem unbeeinflußten Spanndraht. In den Fällen des Anlassens und Feuerverzinkens war sogar eher eine Verbesserung der Dauerschwingfestigkeit festzustellen. Auch hohe Querpressungen und eine plötzliche Krafteinleitung wirken sich nicht nachteilig auf die Dauerschwingfestigkeit aus, wie im Abschnitt 2 bereits dargelegt wurde. Als dominierender Einfluß auf die Dauerschwingfestigkeit ist die Reibkorrosion infolge der Relativverschiebungen zwischen den Drähten und dem Vergußmetall unter Querpressung anzusehen.

Der Einfluß von Relativverschiebungen unter Querpressung wurde mit der im Bild 8 dargestellten Vorrichtung untersucht. Infolge der großen Dehnsteifigkeit der Vorrichtung entstehen Relativverschiebungen zwischen Draht und Reibkörpern bei Spannungsänderungen im Draht.

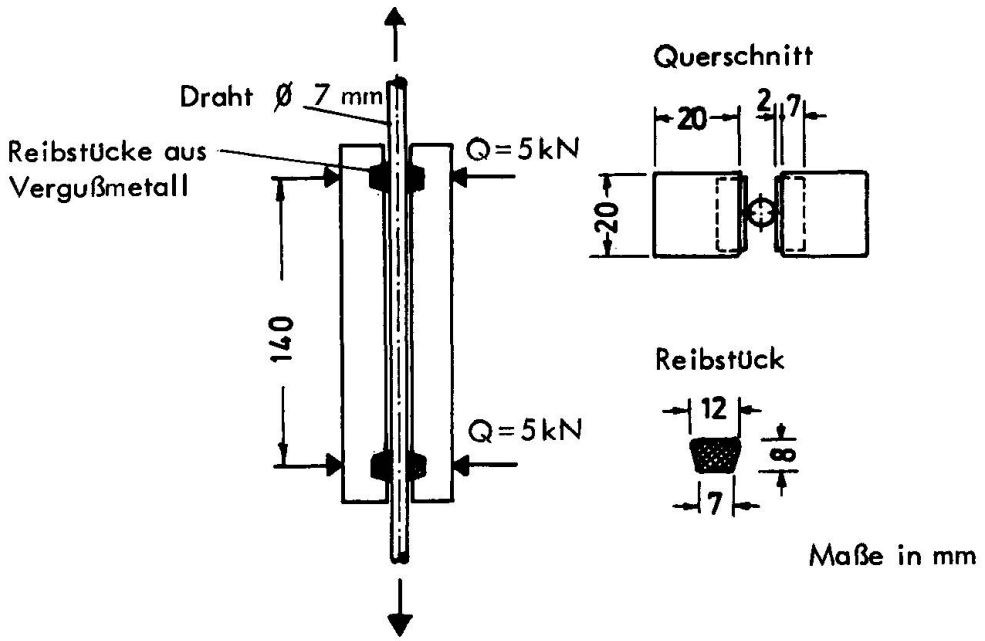


Bild 8. Versuchsanordnung für die Dauerschwingversuche mit Reibkörpern aus Vergußmetall

Es wurden Reibkörper aus einer Bleilegierung (PbSn 10Sb 10) und einer Zinklegierung (ZnAl6Cu1) untersucht. Bei der Verwendung von Reibkörpern aus der Bleilegierung wurde keine Abminderung der Dauerschwingfestigkeit festgestellt, während die Zinklegierung eine etwa 50 %ige Abminderung der Dauerschwingfestigkeit bewirkte. An den geprüften Drähten zeigte sich, daß die Reibkörper aus der Bleilegierung am Draht keine oder nur eine sehr geringe Reibkorrosion bewirkten. Dieses günstige Verhalten ist im wesentlichen auf die guten Schmiereigenschaften der Bleilegierung und auf die geringe Härte der entstehenden Bleioxide zurückzuführen. Hinzu kommt, daß sich die Drähte in die weiche Bleilegierung besser einbetten konnten, so daß die spezifische Pressung bei konstanter Querkraft Q kleiner war als bei der härteren Zinklegierung. Dieser günstige Einfluß wird in wirklichen

Verankerungen weniger ausgeprägt sein, da dort das Vergußmetall weniger gut ausweichen und daher höhere Pressungen übertragen kann. Die Reibkörper aus der Zinklegierung bewirkten dagegen eine erhebliche Reibkorrosion.

Diese Zusammenhänge wurden für eine Metallvergußverankerung mit hoher Dauerschwing- und Dauerstandfestigkeit wie folgt angewendet (Bild 9): Der Eintrittsbereich der Drähte in die Hülse wird auf wenige cm Länge mit einer Bleilegierung vergossen, die keine Reibkorrosion bewirkt. Die übrige Verankerung wird dann mit einer Zinklegierung vergossen, die eine ausreichende Dauerstandfestigkeit besitzt. Versuche mit derart vergossenen Litzen und Paralleldrahtbündeln ergaben bei hohen Schwingbreiten Dauerbrüche in der freien Länge außerhalb der Verankerungen. Die hohe Dauerschwingfestigkeit des zweischichtigen Vergusses gegenüber dem üblichen Verguß mit Zinklegierung ist darauf zurückzuführen, daß der Bleiverguß den Sauerstoff der Atmosphäre von den Reibstellen zwischen Draht und Zinkverguß fernhält. Eine Oxidation des Drahtes und Zinks mit Bildung harter Zinkoxide ist nicht möglich. Somit ist die Schädigung des Drahtes durch Reibkorrosion ganz wesentlich kleiner. Der Eintrittsbereich kann an Stelle der Bleilegierung auch mit einem Kunststoffverguß, z.B. Polyurethan-Zinkchromat oder Epoxidharz-Zinkstaub, abgedichtet werden.

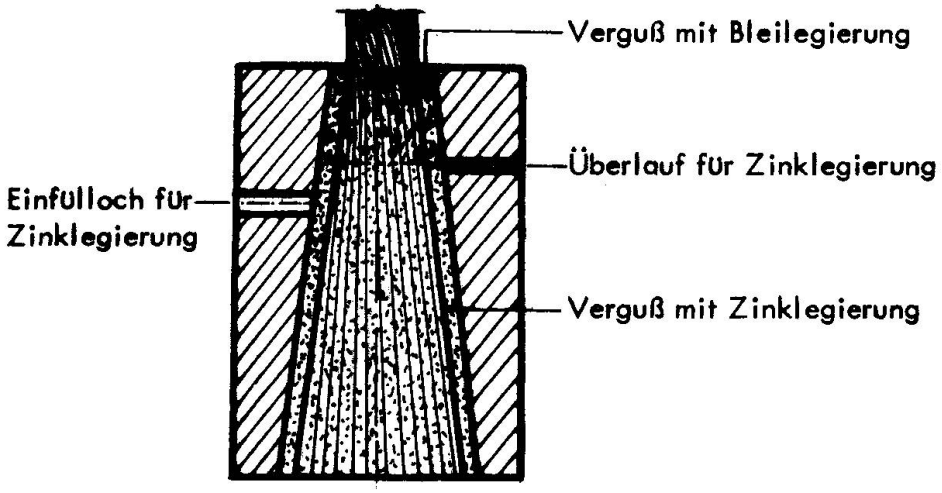


Bild 9. Zweischichtige Metallvergußverankerung

LITERATURVERZEICHNIS

[1] NÜRNBERGER, U; PATZAK, M: Metallische Verankerungen für dynamisch beanspruchte Zugglieder. Mitteilungen 44/1978, SFB 64, Universität Stuttgart.

[2] REHM, G.; NÜRNBERGER, U.; PATZAK, M.: Keil- und Klemmverankerungen für dynamisch beanspruchte Zugglieder aus hochfesten Drähten. Bauingenieur 52 (1978), 287-298.

[3] NÜRNBERGER, U.: Verhalten von Spannstählen in Keilverankerungen unter statischer Belastung. Bauingenieur 56 (1981), 25-32.

[4] PATZAK, M.; NÜRNBERGER, U.: Grundlagenuntersuchungen zur statischen und dynamischen Belastbarkeit von metallischen Drahtseilvergüssen (Vergußverankerungen). Mitteilungen 45/1978, SFB64, Universität Stuttgart.

[5] REHM, G.; PATZAK, M.; NÜRNBERGER, U.: Metallvergußverankerungen für Zugglieder aus hochfesten Drähten. Draht 28 (1977), 134-141.