

Zeitschrift: IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte
Band: 37 (1982)

Artikel: Zugglieder aus gebündelten und verseilten Drähten
Autor: Gabriel, K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-28967>

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: 07.02.2026

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

Zugglieder aus gebündelten und verseilten Drähten

Tension Members in Steel Wire Strand and Rope

Membrures tendues en fils d'acier sous forme de toron et de corde

K. GABRIEL

Dipl. -Ing.
Universität Stuttgart
Stuttgart, BRD

ZUSAMMENFASSUNG

Hergestellt aus verseilten oder gebündelten hochfesten Stahldrähten zeigen die verschiedenen Zuggliederkonstruktionen ein sehr unterschiedliches Gebrauchslast- und Versagensverhalten. Die statisch und dynamisch ermittelten Kennwerte an normalen kurzen Proben werden zur Bestimmung des Zuggliederverhaltens benötigt wie im Bericht dargelegt. Die verschiedenartigen Einflüsse von mechanischen Schädigungen und Reibung auf die Ermüdungsfestigkeit wird erläutert. Sie sind im konstruktiven Entwurf zu berücksichtigen.

SUMMARY

The use of high strength steel wire in either strand or rope form leads to very different service and ultimate load behaviour in tension member structures. To understand the behaviour of these forms of tension members the necessary data from static and dynamic testing of standard, short specimens are presented in this paper. The various influences of mechanical defects and friction effects on fatigue resistance, which must be considered for structural design, are also investigated.

RESUME

L'utilisation de fils d'acier à haute résistance en forme de toron ou de corde conduit à un comportement très différent sous charges de service et de ruine dans les structures à membrures tendues. Pour comprendre le comportement de ces membrures tendues, les indications nécessaires obtenues à partir d'essais statiques et dynamiques sur des échantillons standards courts sont présentées dans cet article. Les diverses influences des dommages mécaniques et du frottement sur la résistance à la fatigue, qui doivent être prises en compte pour le dimensionnement structurel, ont également été examinées.



1. Einleitung

Die Halbzeugform des metallischen Drahtes ist schon seit Jahrhunderten bekannt. Buntmetalle waren die ersten Drahtwerkstoffe, bis sie vom Eisen und vom Stahl zurückgedrängt wurden. Der Stahldraht mit Festigkeiten über 1000 N/mm^2 wurde schon vor hundert Jahren in der Bau- und Fördertechnik verwendet. Die Fördertechnik hat den Stahldraht verseilt und in verschiedenen Konstruktions- und Macharten im Kran-, Berg- und Schiffbau eingesetzt, während der Draht im Brücken- und Spannbetonbau zur Hauptsache in Bündelform Verwendung fand. In der Bau-technik üblich sind heutzutage unlegierte Stahldrähte (vergütet oder patentiert kaltgezogen) mit Durchmessern von 3 bis 7mm und Festigkeiten zwischen 1470 und 1670 N/mm^2 . Für Seile werden ausschließlich patentiert kaltgezogene Stahldrähte benötigt, für den Spannbetonbau müssen die patentiert kaltgezogenen Drähte angelassen werden.

Die hohen Festigkeiten der Drähte und wirtschaftliche Herstellungsverfahren haben die Voraussetzung für eine zunehmende Verbreitung der Drähte im Bauwesen geschaffen. Neben dem großen Einsatzbereich des Spannbetonbaues werden gebündelte oder verseilte Drähte immer häufiger als freie Zugglieder verwendet, bis hin zu Tragwerken aus nur auf Zug beanspruchten Bauelementen [1]. Entwicklungsgeschichtlich betrachtet nehmen die rein zugbeanspruchten Tragwerke eine Sonderstellung ein. Mit ihnen erschließt sich zwar eine große Formenwelt (Fig. 1) mit optimaler Materialausnutzung, sie sind aber in der Anwendungsbreite eingeschränkt [4]. In der menschlichen Umwelt mit ihrer Enge, ihren Verkehrsbedürfnissen und der Empfindlichkeit des Menschen auf Schwingungen, ist ein komakteres, rechtwinkliges und steiferes Tragwerk aus gemischten Traggliedern (Zug-mit Druck- und Biegeelementen) erforderlich. Diese "hybriden" Tragwerke mit Zugelementen, welche sinnvollerweise den Hauptbinder eines weitgespannten Objektes bilden, sind dem Leichtbau zuordnen und können demzufolge schwingungsempfindlich sein oder müssen aufgrund des hohen Verkehrslastanteils große Spannungswechsel ertragen. Bei der Wahl des statischen Systems und der Zuggliederkonstruktionsart sowie bei der Durchbildung der konstruktiven Details und des Langzeitschutzes ist daher die Ermüdungsfestigkeit zu beachten [4]. Bisher bekannt gewordene Schäden an Zug-elementen waren in den seltensten Fällen allein auf reine Materialermüdung zurückzuführen, immer spielten konstruktive Mängel eine Rolle.



Fig.2 Vorgespannter Seilbinder mit biegesteifer Dachfläche als Beispiel eines hybriden Tragwerkes

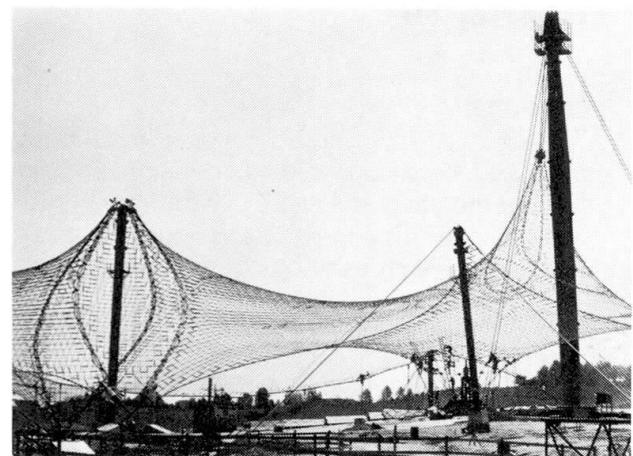


Fig.1 Netzflächen aus Seilen als rein zugbeanspruchtes Tragwerk mit großer Formenvielfalt

2. Systematische und Einzelfehler – Die Streuung der Drahtkennwerte

Abweichungen in der Zusammensetzung der Legierungsanteile, der Größe der Kaltumformung, der Ausbildung des Ziehsteines und der Temperaturbehandlung sind systembedingte Fehler, deren Ausmerzung einen nicht zu vertretenden Aufwand erfordern würde. Sie sind in ihren Auswirkungen zu berücksichtigen [3]. Riefen, Kratzer, Druckstellen und Überwalzungen sind Einzelfehler, die mit Hilfe einer ausreichenden Überwachung ausgemerzt werden sollten. Treten sie trotzdem auf, sind ihre Auswirkungen viel tiefgreifender als die der Fertigungstoleranzen.

In Fig. 3 sind einige mechanische Kennwerte von Seil- und Spanndrähten mit ihren statistischen Daten angegeben, während Fig. 4 die Häufigkeitsverteilung von Ermüdungsbrüchen an teilweise geschädigten Drähten angibt, die über der Lastspielzahl aufgetragen wurden. Die Kennwerte sind an Proben mit ca. 200 mm Länge ermittelt worden [5].

In den folgenden Betrachtungen werden Einzelfehler ausgeschlossen und es wird davon ausgegangen, daß die systematischen Fehler sich als Streuung einer homogenen Häufigkeitsverteilung erfassen lassen.

Eigenschaften	DIN	ISO	Benennung	\bar{x}	s	\bar{x}	s
Zugfestigkeit	β_u	R _m	N/mm ²	1771	36	1822	48
Fließgrenze	$\sigma_{0,2}$	R _{p0,2}	N/mm ²	1580	39	1372	55
Gleichmaßdehnung	δ_{gl}	A _{gl}	%	34	6	18	4
Reißfestigkeit	β_{riss}	R	N/mm ²	1293	-	1457	-
Steifigkeit	E	E	N/mm ²	206 930	3760	192 744	5200
Prüflänge im stat. Versuch	l	l	mm	100	-	100	-
Schwingfestigkeit bei $2 \cdot 10^6$ Lastwechseln	σ_D	R _d	N/mm ²	$\log 468 = 2,67$	$\log s_i = 0,05$	$\log 300 = 2,48$	$\log s_i = 0,10$
Oberspannung	σ_o		N/mm ²	800	-	1600	-
Probenlänge	l	l	mm	200	-	200	-

Fig.3 Mechanische Eigenschaften von unlegierten Stahldrähten mit ihren statistischen Daten

3. Hintereinanderschaltung und Parallelschaltung

Alle Werkstoffkennwerte werden an handlichen, d.h. kurzen Probestücken ermittelt. Ein Zugelement im Bauwerk soll jedoch eine große Länge haben, um den Aufwand der Verankerungskonstruktionen gering zu halten ($L = n l_0$) und wird immer aus mehreren Drähten zusammengesetzt sein ($\Sigma A = m \cdot A_0$). Der Einfluß der Hintereinanderschaltung und der Parallelschaltung auf den Mittelwert und die Streubreite von langen und aus mehreren Einheiten bestehenden Zuggliedern ist der Fig. 5 zu entnehmen [5]. Zu beachten ist dabei, daß nicht alle Kennwertveränderungen den statistischen Begriffen der Hintereinanderschaltung und der Parallelschaltung folgen. Während die reinen Verformungskennwerte (Elastizitätsmodul, Proportionalitätsgrenze, Fließgrenze) mit den Faktoren n und m der Parallelschaltung entsprechen, muß bei den Versagenskennwerten (Gleichmaßdehnung, Zugfestigkeit) zwischen der Hintereinanderschaltung n und der Parallelschaltung m unterschieden werden. Auch die Ermüdungsfestigkeit ist ein Versagenskennwert, der allerdings einem spröden Werkstoffverhalten entspricht, auf welchen der oben verwendete Begriff der Hintereinanderschaltung zur Darstellung der Verhaltensweise des einzelnen Drahtes angewendet werden kann. Der Begriff der Parallelschaltung, der im Falle des duktilen Gewaltbruches eine näherungsweise Mittelwertbildung der Festigkeiten erlaubt, ist für die Ermüdungsfestigkeit nicht verwendbar, weil eine Beziehung zwischen dem Einzeldrahtkennwert und dem Bündelkennwert nicht erkennbar ist.

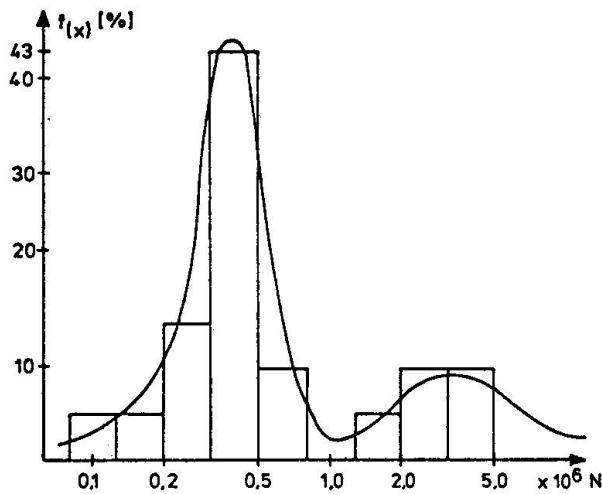


Fig. 4 Die Häufigkeitsverteilung von Ermüdungsbrüchen bei gleichartiger Schwingungsbeanspruchung, aufgetragen über der Lastspielzahl

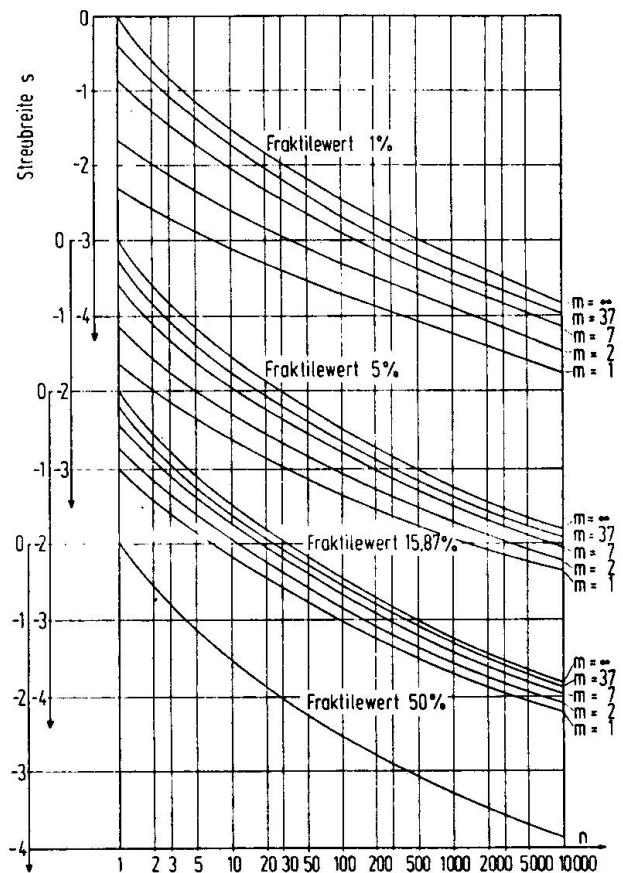


Fig. 5 Abnahme von Erwartungswerten an langen und gebündelten Proben für verschiedene Fraktilewerte; berücksichtigt wird die "Hintereinanderschaltung (n)" und die "Parallelschaltung (m)" von Eigenschaften, deren Größe an kurzen Proben ermittelt wurde; die statistischen Größen $/ = x$ und s gelten für die kurzen Proben

4. Ermüdung von Drähten

Unter schwingender Belastung können an den Korngrenzen im Bereich mikroskopisch kleiner Inhomogenitäten Riße entstehen, die mit wachsenden Lastwechselzahlen größer werden. Dieses Wachstum kann forschreiten, einzelne Risse zusammenwachsen und diese können dann als Anriß den Bruch einleiten. Aber es besteht auch die Möglichkeit, daß sich das Werkstoffgefüge stabilisiert d.h.: trotz vorhandener Mikrorisse tritt kein weiteres Wachstum der Risse auf und der Werkstoff wird als dauerfest bezeichnet.

Wenn die angelegte Oberlast größer wird als die Widerstandskraft des Restquerschnittes, tritt der Bruch ein. Bei kaltgezogenen Stahldrähten werden Anrisse bevorzugt an der Werkstoffoberfläche entstehen und sowohl die Oberflächenrauhigkeit als auch die Grenzstruktur (z.B. Randentkohlung) beeinflussen die Ermüdungsfestigkeit des Stahldrahtes entscheidend.

Die dem Bruch zuzuordnende Lastwechselzahl wird als maßgebliches Resultat für die Erstellung eines Wöhlerfeldes verwendet (Fig. 6), obwohl hier kein direkter Zusammenhang zur kurz vor dem Bruch merklich vermindernden statischen Sicherheit berücksichtigt wird.

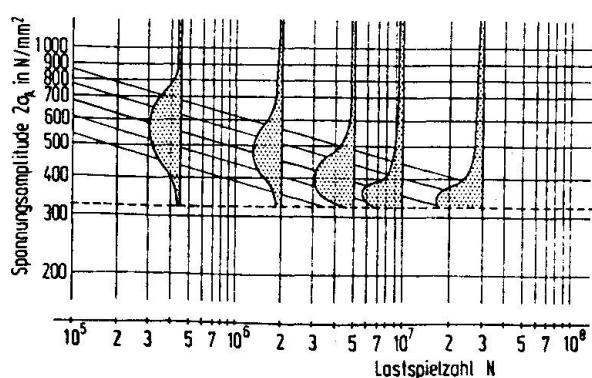


Fig.6 Wöhlerfeld für einen Stahldraht in doppelt logarithmischer Darstellung

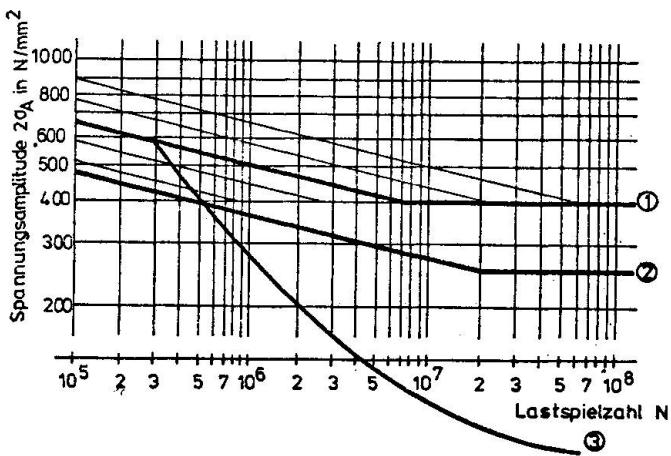


Fig.7 Darstellung der Wöhlerlinien eines an der Luft geschwungenen, ungeschädigten Stahldrahtes 1 mit einem örtlich geschädigten 2 und einem von Reibkorrosion beeinflußten Draht 3.

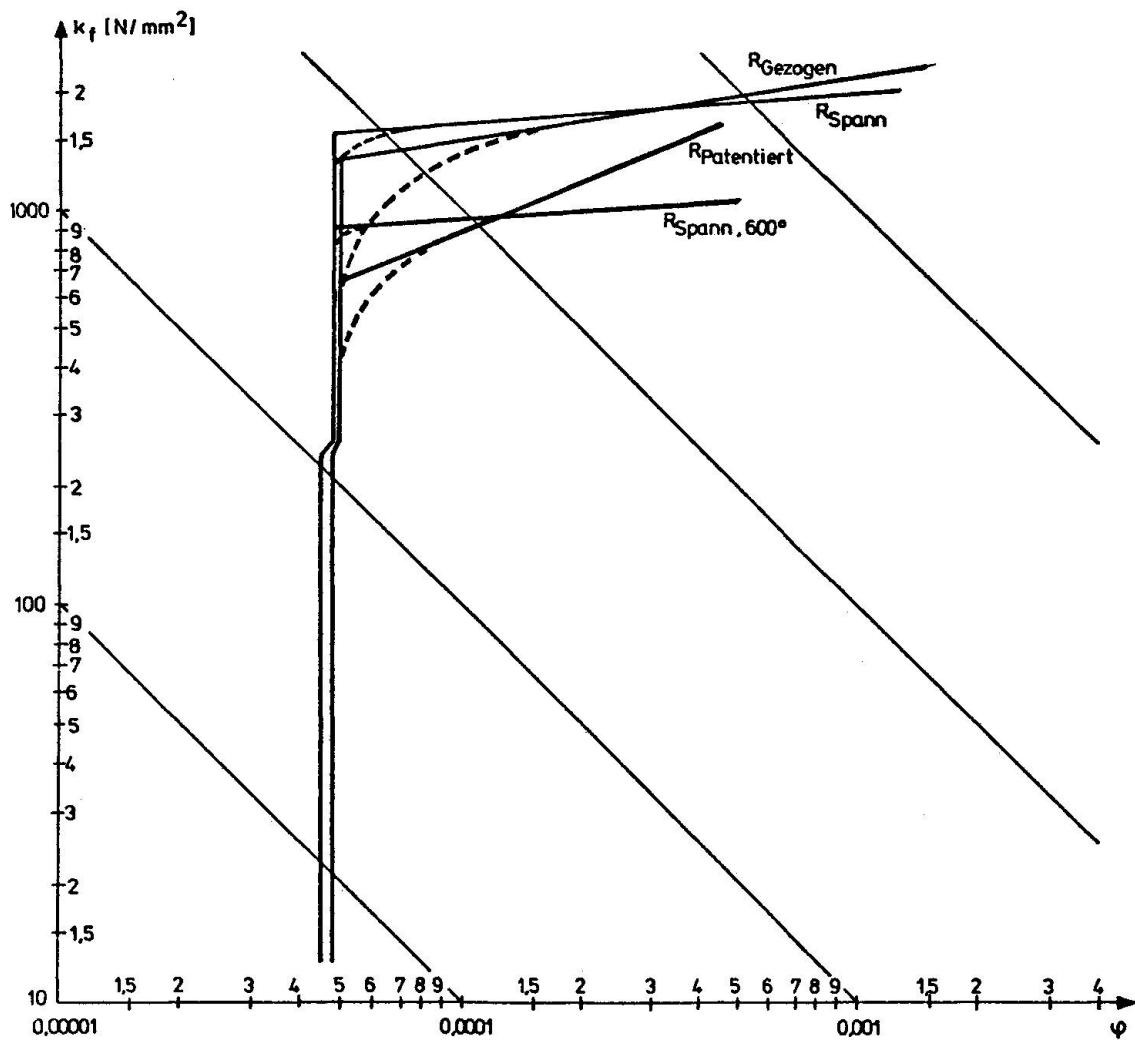


Fig.8 Arbeitslinien von unterschiedlich nachbehandelten, unlegierten Stahldrähten, dargestellt im doppeltlogarithmischen Koordinatensystem mit geschwenkter Ordinate



Aber selbst aufbauend auf den Lastspielzahlen bis zum Bruch der Probe wurde das Wöhlerfeld bisher nur im Bereich der normenmäßig vorgegebenen $2 \cdot 10^6$ Lastwechsel untersucht und die davorliegende Zeitfestigkeit einer intensiven Analyse unterzogen. Im Dauerfestigkeitsbereich ist über die Struktur des Wöhlerfeldes noch sehr wenig bekannt [5]. Das Wissen um diesen Bereich muß aber vertieft werden, wenn von den Ergebnissen an kurzen Proben auf das Verhalten des langen Drahtes geschlossen werden soll, was bisher nur in einzelnen Untersuchungen an Bündeln aus parallelen Drähten geglückt ist.

Das Verseilen der Drähte und die Verankerungssysteme haben Zusatzbeanspruchungen zur Folge und beeinflussen auf diese Weise die Drahtkennwerte. Die Ermüdfestigkeit fällt im Bereich von Beanspruchungen, die nur örtlich begrenzte Umformungen erzeugen, auf Mindestwerte ab und Vorgänge, die als Folge von Lastschleifen Energie in den Werkstoff eintragen, wie innere (Gleitungen) und äußere (Reibkorrosion) Reibung, verhindern den stabilen Gefügezustand, der Voraussetzung für die Dauerfestigkeit ist (Fig. 7).

Aufgrund verschiedener Forschungsergebnisse

- Reines Eisen besitzt keinen Bereich strengelastischen Verhaltens
- Menge und Art der Legierungsanteile beeinflussen die Ausdehnung des streng elastischen Bereiches [3]
- Thermische und mechanische Nachbehandlung, die keine Kristallumwandlung bewirken, erweitern den streng elastischen Bereich nicht, sondern schaffen nur eine mehr oder weniger gute quasielastische Erweiterung (Fig. 9)
- aufgrund von Inhomogenitäten (Kerben, Schweißnähte,...) geschädigte Werkstoffe fallen in der Ermüdfestigkeit auf einen bestimmbaren Mindestwert ab, der von der Werkstoffnachbehandlung unabhängig ist und ganz gut mit der Größe des streng elastischen Bereiches übereinstimmt

kann die Behauptung aufgestellt werden, daß sich das dynamische Verhalten eines Werkstoffes mit Hilfe von statischen Feindehnungsmessungen eingrenzen läßt.

5 Einflüsse der Konstruktion

Infolge der Drahtverseilung sowie im Verankerungs- Umlenk -und Querpressbereich der Zugglieder aus hochfesten Drähten treten Zusatzbeanspruchungen auf [4]. Diese zusätzlichen Einflüsse sind zu unterteilen in Schädigungen mechanischer (Kerben, Spannungsspitzen) und energetischer (Reibung, Oxydation) Art. Lokal begrenzte mechanische Einflüsse können die Dauerfestigkeit des Werkstoffes nur bis auf die Grenze des streng elastischen Verhaltens herunterdrücken, die energetischen Einflüsse können die Dauerfestigkeit auslöschen.

Die mechanischen Einflüsse entsprechen Einzelfehlern, wie sie bei der konstruktiven Detailausbildung, dem Transport und der Montage gemacht werden können. Die energetischen Einflüsse können nur teilweise über die konstruktive Durchbildung reduziert werden, um sie zu bekämpfen, muß für einen einwandfreien Korrosionsschutz gesorgt werden.

Werden Drähte gebündelt und als Probeglieder in Laborversuchen geprüft, so ergeben sich theoretische Idealwerte, die in der Praxis als Folge einer schlechten Verankerung oder einer Betonumhüllung abgemindert werden. Sind Drähte verseilt, so werden die Laborversuche an den Seilen immer schlechter ausfallen als die Resultate einer gleichartigen schwingenden Beanspruchung eines einwandfrei korrosionsgeschützten Seiles im Bauwerk.

Am Institut für Massivbau der Universität werden die Kennwerte der heutzutage üblichen Drähte untersucht und mit ihren statistischen Daten festgehalten. Die Einflüsse der konstruktiven Durchbildung auf diese Werte werden herausgearbeitet und weitgehend mittels konstruktiver Maßnahmen eliminiert. Diese Arbeiten werden im Vortrag angesprochen.

6. Literatur (Einschränkung auf eigene Veröffentlichungen, welche die aufgestellten Behauptungen verdeutlichen und in denen auf die jeweilige Fremdliteratur verwiesen wurde)

- [1] DILLMANN, U., GABRIEL, K., SCHLAICH, J.
Seiltragwerke: Entwurf, Konstruktion und Bauausführung SIA Dokumentation
44, Lausanne 1980
- [2] GABRIEL, K. Ebene Seiltragwerke
Merkblatt 496 der Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf 1980
- [3] DILLMANN, U., GABRIEL, K.
Hochfester Stahldraht für Seile und Bündel in der Bautechnik. Eine Folge von bisher acht Berichten, die im Archiv für das Eisenhüttenwesen in den Jahren 1980 bis 1982 veröffentlicht wurden.
- [4] GABRIEL, K. SCHLAICH, J. Seile und Bündel im Bauwesen, Berichte zu einer Vortragsveranstaltung von verschiedenen Verfassern, Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf 1981
- [5] GABRIEL, K. Anwendung von statistischen Methoden und Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen auf das Verhalten von Bündeln und Seilen aus vielen und langen Drähten.
Vorberichte zum 2. Internationalen Symposium des Sonderforschungsbereiches 64, Universität Stuttgart 1979

Leere Seite
Blank page
Page vide