

# Die Ermüdungsfestigkeit nackter Spannstahlritzen unter ein- und mehrstufiger Beanspruchung

Autor(en): **Herzog, Max**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **96 (1978)**

Heft 32

PDF erstellt am: **11.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73725>

## **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.

## Die Ermüdungsfestigkeit nackter Spannstahlritzen unter ein- und mehrstufiger Beanspruchung

Von Max Herzog, Aarau

Bei der Projektierung der zweigleisigen Eisenbahnbrücke aus Spannbeton über die Aare in Ruppoldingen bei Olten mit einer Hauptöffnung von 80 m war unter anderem auch abzuklären, wie gross die Ermüdungsfestigkeit der einzubauenden Spannstahlritzen wirklich ist. Aus Zeitmangel musste dazu auf 15 Jahre alte, amerikanische Versuche [1] zurückgegriffen werden. Die Nachprüfung ihrer Aussage für die tatsächlich eingebauten Litzenkabel (englische Litzen und schweizerische Anker sowie Kupplungen) ist gegenwärtig im Gange.

### Verwendete Bezeichnungen

- $N$  Lastspielzahl ( $N_i$  der Beanspruchungsstufe  $i$ ,  $N_B$  Umfang des ganzen Betriebskollektivs)  
 $\Delta\sigma$  Spannungsamplitude ( $\Delta\sigma_i$  der Beanspruchungsstufe  $i$ ,  $\Delta\sigma_B$  einstufige Ersatzamplitude für die wirkliche Betriebsbeanspruchung)  
 $p$  Summe aller Beanspruchungsstufen  $i$

### Die amerikanischen Versuche

Im Jahre 1963 wurden die Ermüdungseigenschaften von nackten, siebendrähtigen Litzen mit 7/16" (= 11,1 mm) Durchmesser unter ein-, zwei- und dreistufiger Beanspruchung an der *Lehigh-Universität* in *Bethlehem* (Pennsylvania) untersucht. Die statische Zugfestigkeit der Litzen mit 70,3 mm<sup>2</sup> Querschnitt betrug im Mittel  $\beta_z = 184$  kN/cm<sup>2</sup>. Alle 120 Ermüdungsversuche wurden mit Unterspannungen von  $\sigma_{\min}/\beta_z = 0,40$  bzw. 0,60 gefahren. Die Gruppenmittel der ertragenen Lastspielzahlen  $N$  können den Tabellen 1–3 entnommen werden. (Die wegen ihres Umfangs hier nicht abgedruckten Tabellen 1–3 können beim Verfasser zum Preis von Fr. 5.– je Satz bezogen werden.)

### Transformation der mehrstufigen Betriebsbeanspruchung in eine gleichwertige einstufige Ersatzbeanspruchung

Da unsere Brücken in Wirklichkeit veränderlichen Spannungsamplituden unterworfen sind, müssen wir die *wirkliche*

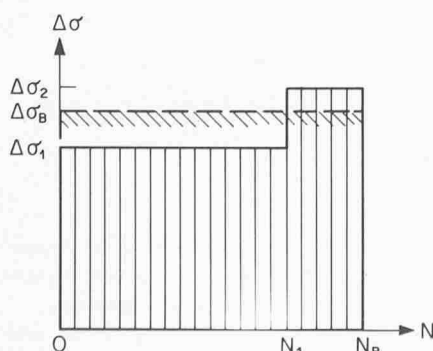


Bild 1. Zweistufige Betriebsbeanspruchung und einstufige Ersatzbeanspruchung

mehrstufige Betriebsbeanspruchung zur Vereinfachung des Festigkeitsnachweises in eine *gleichwertige* einstufige Ersatzbeanspruchung umwandeln. Es sind gegenwärtig vier *Transformationsregeln* im Gebrauch, die sich nur durch die Potenz  $m$  der Mittelbildung

$$(1) \Delta\sigma_B = \sqrt[m]{\sum_{i=1}^p \frac{N_i}{N_B} (\Delta\sigma_i)^m}$$

unterscheiden.

Autoren	Literaturquelle	m
Palmgren, Langer, Miner	[2, 3, 4]	1
Swanson	[5]	2
Fisher, Hirt	[6, 7]	3
Herzog	[8, 9]	4

Gehen wir vom einfachsten Fall einer nur zweistufigen Betriebsbeanspruchung (Bild 1) aus, so erkennen wir, dass die gleichwertige einstufige Ersatzbeanspruchung um so höher ausfällt, je höher die Potenz  $m$  der Mittelbildung ist.

m	$\frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_2}$	$\frac{N_B - N_1}{N_B}$	$\frac{\Delta\sigma_B}{\Delta\sigma_2}$
1	0,75	0,25	0,81
2	0,75	0,25	0,88
3	0,75	0,25	0,91
4	0,75	0,25	0,93

Aus Sicherheitsgründen sollte man im Zweifelsfall die Potenz  $m$  eher zu gross als zu klein wählen.

### Wöhler-Linien der 7/16"-Litzen

Tragen wir die Gruppenmittel der Ermüdungsversuche [1] wie üblich im doppelt-logarithmischen Massstab auf, so können wir die *Wöhler-Linien* für die beiden verschiedenen Unterspannungen zeichnen (Bild 2). Die beste Übereinstimmung von ein- und mehrstufiger Beanspruchung wird erreicht, wenn die Transformation gemäss Gl. (1) mit der Potenz  $m = 2$  (nach Swanson [5]) erfolgt.

Aus Bild 2 entnehmen wir die beiden wichtigen Feststellungen, dass

- erstens die *echte Dauerfestigkeit* bei der konventionellen Lastspielzahl  $N = 2 \cdot 10^6$  noch nicht erreicht ist und
- zweitens die *ertragbare Spannungsamplitude* bei  $N = 2 \cdot 10^6$  Lastspielen weder den *geforderten* Wert nach Norm SIA 162 (1968) Art. 5.04, Abschnitt 2, Absatz b, noch den vom Lieferanten *garantierten* Wert erreicht.

Korrekturweise muss erwähnt werden, dass die in der Schweiz verwendeten Litzen mit den amerikanischen Litzen, die den Versuchen [1] zugrunde liegen, nicht identisch sind. Auf Grund unveröffentlichter englischer Versuche mit Litzen

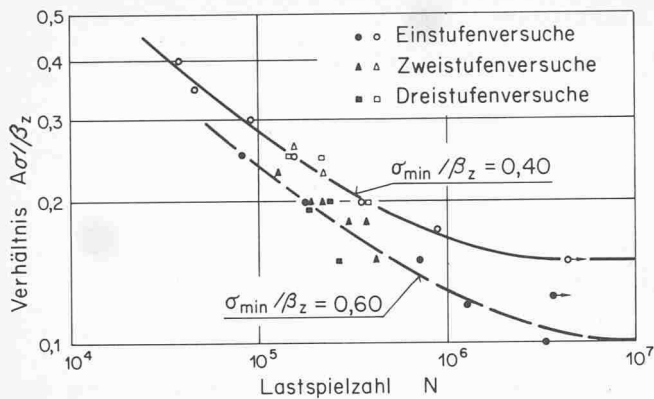


Bild 2. Ermüdungsfestigkeit nackter Spannstahlilitzen  $\phi 7/16''$  im Ein-, Zwei- und Dreistufenversuch

verschiedener Durchmesser (7,9–15,3 mm) sind jedoch für die in der Schweiz zum Einbau gelangenden Litzen *keine* grossen Abweichungen zu erwarten.

Schliesslich ist noch zu vermuten, dass sich *einbetonierte Litzenkabel* in Wirklichkeit eher günstiger verhalten als *nackte Einzellitzen*. Wegen der Bedeutung dieses Verhältnisses für praktische Zwecke laufen gegenwärtig Balkenversuche an der EMPA in Dübendorf, über die zu gegebener Zeit berichtet werden soll.

#### Folgerungen für die Projektierung

Bei oberflächlicher Betrachtung der amerikanischen Versuchsergebnisse kann der Eindruck entstehen, dass die Forderungen der Norm SIA 162 in bezug auf die *Ermüdungsfestigkeit von Litzenkabeln* unrealistisch sind. Dieser Beurteilung ist allerdings entgegenzuhalten, dass die in Wirklichkeit auftretenden Spannungsamplituden und Oberspannungen *wesentlich kleiner* sind als die genormten [10]. Dieser die tatsächliche Ermüdungssicherheit günstig beeinflussende Umstand wird auch durch die in Wirklichkeit *wesentlich grösseren* Lastspielzahlen ( $> 2,10^6$ ) *nicht* aufgehoben. Im weitern ist es bei *mehrlitzigen* Kabeln sehr unwahrscheinlich, dass alle Litzen im gleichen Kabelquerschnitt versagen. Die *vorhandene Ermüdungssicherheit* von Spannbetonbrücken ist auf Grund neuer Forschungen [11–15] nicht nur grösser als bisher vermutet wurde, sondern auch grösser als nach der im vergangenen Jahr in Kraft gesetzten Ergänzung BLS [16] zur Richtlinie 34 der Norm SIA 162 zu erwarten ist.

Die vorstehenden Ausführungen beziehen sich *nur auf Litzen*, nicht aber auf ihre *Verankerungen*. Ob der in der Norm SIA 162 (1968) Art. 5.05, Abschnitt 1, Absatz b, *geforderte* Wert mit einer bestimmten Verankerung auch wirklich erreicht werden kann, muss bei *jeder* Veränderung der Konstruktion – auch wenn es sich nur um ein *einziges* Detail handelt – stets

neu überprüft werden. Die Ermüdungsfestigkeit der üblichen, unvergossenen Litzenverankerungen beträgt im allgemeinen nur etwa 30 bis 50% von derjenigen der Litzen. Trotz dieser eher ungünstigen Sachlage sind jedoch auch in Koppelfugen von Eisenbahnbrücken *Vollstösse* möglich, wenn die Koppelfuge an einen Ort mit *geringen* Beanspruchungen gelegt wird. Eine realistische Sicherheitsbetrachtung sollte nicht von der *vollen normgemässen Verkehrslast*, sondern von der stets kleineren *wirklichen Betriebslast* [11, 12] ausgehen.

#### Zusammenfassung

In Ermangelung einschlägiger schweizerischer Versuche werden ältere amerikanische Ermüdungsversuche mit nackten, siebendrähtigen Spannstahlilitzen so ausgewertet, dass das Ergebnis für die Beurteilung der Ermüdungsfestigkeit von Litzenkabeln schweizerischer Provenienz *zumindest näherungsweise* benützt werden kann.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Warner R.F. und Hulsbos C.L.: «Fatigue properties of prestressing strand.» PCI Journal 11 (1966) No. 1, S. 32–52.
- [2] Palmgren A.: «Die Lebensdauer von Kugellagern.» VDI-Zeitschrift 68 (1924) H. 14, S. 339–341.
- [3] Langer B.F.: «Fatigue failure from stress cycles of variable amplitude.» Trans. ASME, Journal of Applied Mechanics 4 (1937) No. 4, S. A 160–162.
- [4] Miner M.A.: «Cumulative damage in fatigue.» Trans. ASME, Journal of Applied Mechanics 12 (1945) No. 1, S. A 159–164.
- [5] Swanson S.R.: «Random load fatigue — A state of art survey.» Materials Research and Standards 8 (1968) No. 4, S. 10–44.
- [6] Fisher J.W.: «Guide to the 1974 AASHTO Fatigue Specifications.» ASCI Special Publication. New York: American Institute of Steel Construction, 1974.
- [7] Hirt M.A.: «Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Ermüdung und deren Anwendung bei der Bemessung von Eisenbahnbrücken.» Bauingenieur 52 (1977) H. 7, S. 255–262.
- [8] Herzog M.: «Die Betriebsfestigkeit von Baustahl der Güteklassen St 37, St 44 und St E 70 nach Vielstufenversuchen.» Der Stahlbau 45 (1976) H. 8, S. 243–250.
- [9] Herzog M.: «Betriebsfestigkeit von Stahlbeton, Spannbeton und teilweise vorgespanntem Beton.» Die Bautechnik 54 (1977) H. 3, S. 73–80, und H. 5, S. 166–169.
- [10] Herzog M.: «Bemessung für wirklichkeitsnahe Grenzzustände.» Schweizerische Bauzeitung 96 (1978) H. 17, S. 350–351.
- [11] Herzog M.: «Die wahrscheinliche Verkehrslast von Strassenbrücken.» Bauingenieur 51 (1976) H. 12, S. 451–454.
- [12] Herzog M.: «Die wahrscheinliche Verkehrslast von Eisenbahnbrücken.» Bauingenieur 53 (1978) H. 1, S. 29–32.
- [13] Herzog M.: «Realistischer Betriebsfestigkeitsnachweis für massive Eisenbahnbrücken.» Die Bautechnik 54 (1977) H. 4, S. 118–123.
- [14] Herzog M.: «Ermüdung von Stahlbeton- und Spannbetonbalken unter Schub.» Beton- und Stahlbetonbau 72 (1977) H. 12, S. 303–308.
- [15] Herzog M.: «Zur Definition der Ermüdungssicherheit.» Die Bautechnik 55 (1978) im Druck.
- [16] Grob J.: «Bemessung von Eisenbahnbrücken aus Stahlbeton und Spannbeton.» Schweizerische Bauzeitung, Heft 45, 1977, S. 809–817.

Adresse des Verfassers: Dr. M. Herzog, dipl. Bauing., Rohrstr. 3, 5000 Aarau.

## Der Einfluss dynamischer Beanspruchung während des Abbindeprozesses auf die Druckfestigkeit von Beton

Von Georg Desserich, Luzern

In der modernen Bauorganisation, bedingt durch den rationalen Bauablauf, kann der Baustoff Beton bereits im Frühstadium seines Entstehens durch dynamische Beanspruchung beeinflusst werden. Die Erregerquellen dieser dynamischen Einwirkungen sind insbesondere Rammarbeiten mit Spundwänden und Pfählen, Erschütterungen der Schalung und Rüstung durch

Beton-Innenrüttler und Beton-Pump-Verfahren sowie die Erzeugung von Erschütterungen durch Verkehrseinflüsse und Naturkräfte (Windstösse, Wasserströmungen) oder Sprengungen.

In einer am Institut für Baustoffe, Werkstoffchemie und Korrosion der ETHZ durchgeführten Semesterarbeit wurde untersucht, ob und inwieweit Beton, der während des Abbinde-