

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

Band: 8 (1968)

Artikel: Der Einfluss des zeitabhängigen Verhaltens bei Hänge- und
Schrägseilbrückensystemen

Autor: Moser, Kurt

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-8745>

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: 13.01.2026

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

Der Einfluß des zeitabhängigen Verhaltens bei Hänge- und Schrägseilbrückensystemen

Time-Dependent Response of Suspension and Cable-Stayed Bridges

L'influence du temps dans le comportement de ponts suspendus ou haubannés

KURT MOSER
Dipl.Ing. Dr.techn.; Zivilingenieur
Salzburg

Es ist allgemein bekannt, daß bei fast allen heute gebräuchlichen Baustoffen - insbesondere unter Dauerbelastung - Formänderungen auftreten. Der vorliegende Beitrag befaßt sich mit dem zeitabhängigen Verhalten bei Hänge- und Schrägseilbrückensystemen, wobei speziell der Einfluß des Kabelkriechens (auch Nachlängung der Tragkabel genannt) betrachtet werden wird.

Diskussion über erfolgte Messungen

Zwei die zeitliche Deformation charakteristisch beschreibende Darstellungen sind bei rheologischen Untersuchungen üblich geworden: der Verlauf der Dehnung bei konstanter Last und der Verlauf der Spannung bei konstanter Gesamtdehnung, beides in Abhängigkeit von der Zeit bei konstant gehaltener Temperatur; man spricht bei dem einen Verlauf vom "Kriechen" und bei der zweiten Funktion von der "Relaxation". Wir werden uns hier mit dem ersten Phänomen befassen.

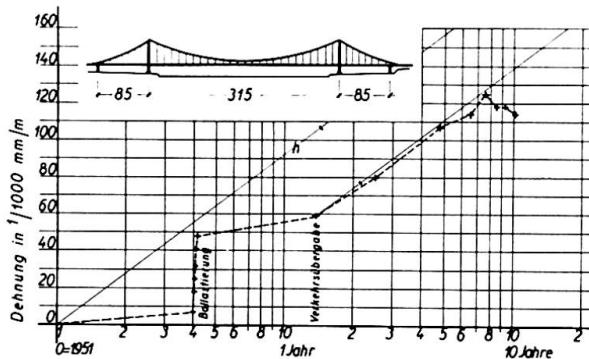


Fig.1

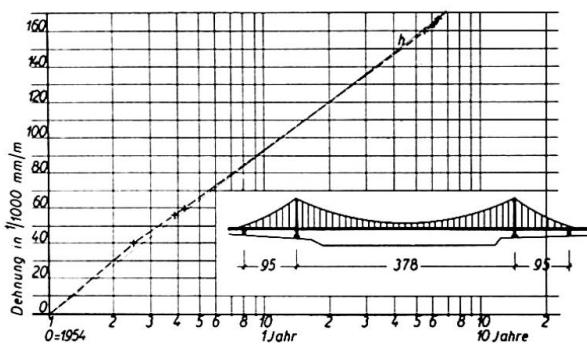


Fig.2

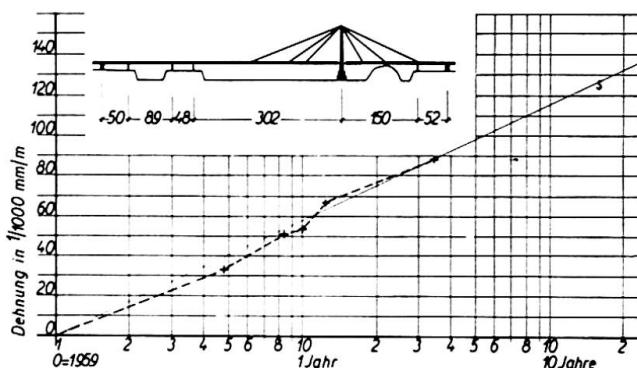


Fig.3

In dankenswerter Weise hat ein angesehenes deutsches Draht- und Kabelwerk¹⁾ an einigen bekannten Rheinbrücken Messungen vorgenommen, womit es möglich geworden ist, nunmehr auch an kompletten Hänge- und Schrägseilbrückentragwerken zeitlich ablaufende Deformationen zu studieren. Die Fig.1 und Fig.2 zeigen die aufgenommenen Kriechkurven für die Tragkabel bei Hängebrücken; die Fig.3 das gleiche bei einer Schrägseilbrücke. Es handelt sich im einzelnen um die nachfolgend aufgezählten Rhein-

brücken im Raum von Köln in der Bundesrepublik Deutschland.

Hängebrücke Köln-Mülheim: In der Fig.1 maßgebend ist erst der Kurvenzug ab etwa 1,4 Jahren, nach erfolgten Ballastierungen, Probebelastungen und endgültiger Fertigstellung. Spannung aus ständiger Last im Tragkabel i.M. 33 kp/mm²; aus Verkehrslast pro Tag i.M. 5 bis 8 kp/mm².

Hängebrücke Köln-Rodenkirchen: Meßpunkte in Fig.2 ab Verkehrsübergabe 1954 aufgetragen. Spannungen aus ständiger Last i.M. 41 kp/mm²; aus Verkehrslast pro Tag i.M. 3-5 kp/mm².

Schrägseilbrücke Köln-Deutz (Severinsbrücke): Meßpunkte in Fig.3 ab Verkehrsübergabe im November 1959 aufgetragen. Spannungen aus ständiger Last i.M. 38 kp/mm²; aus Verkehrslast pro Tag bis 9 kp/mm².

Ein Vergleich des dargestellten Meßverlaufes für das Kabelkriechen der jeweiligen Brücken zeigt eine offensichtliche Übereinstimmung in der Tendenz bei den beiden Hängebrücken und ebenso deutlich eine Abweichung bei der einzigen hier betrachteten Schrägseilbrücke; beide Systeme zeigen in der semilogarithmischen Darstellung im wesentlichen ein lineares Kriechen, wie wir es prinzipiell schon von den kaltgezogenen Einzeldrähten her kennen. In Fig.1 und Fig.2 wurde jeweils eine für Hängebrücken als typisch angenommene mittlere Gerade h mit gleicher Steigung (120 mm/m in 2 Jahren) eingetragen. Die entsprechende Gerade s bei der betrachteten Schrägseilbrücke verläuft mit 75 mm/m in 2 Jahren etwas flacher (vergl. Fig.3); dieser Brückentypus ist sichtlich kriechsteifer als eine Hängebrücke. In der folgenden Abhandlung soll der Einfluß des aufgezeigten Kriechverhaltens der Tragkabel auf das Gesamttragwerk gezeigt und wenn möglich mit anderen üblichen Lastfällen verglichen werden.

Hängebrücke

Die statische Berechnung einer erdverankerten Hängebrücke wird üblicherweise an einem Ersatzsystem durchgeführt[1]; Fig.4 zeigt ein solches für den Fall, daß der Versteigungsträger über 3 Felder durchläuft. In den meisten Fällen kann $y_1'' = y_2'' = y'' = 8f/l^2 = \text{const}$ angenommen werden.

¹⁾ Felten & Guilleaume Carlswerk Eisen und Stahl Aktiengesellschaft Köln.

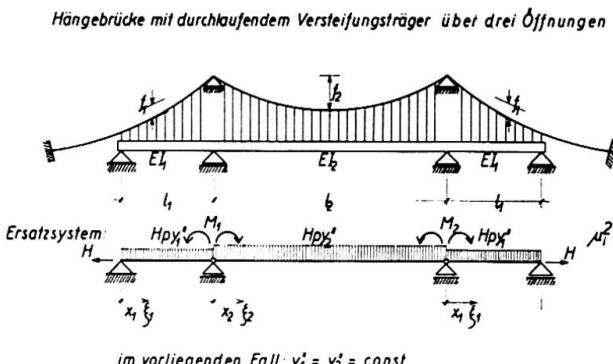


Fig.4

sigt werden dürfen. Unter diesen Voraussetzungen erhält man auch im vorliegenden Fall die I. Grundgleichung in der Form

$$EJ v^{IV} - \left(\frac{H_g}{g} + H_p \right) v'' - \left(p - H_p \frac{8f}{L^2} \right) = 0 \quad (1)$$

welche gleichzeitig die Differentialgleichung des Ersatzsystems (Träger) darstellt. Dabei wurde angenommen, daß die Trägerachse identisch mit der x-Achse und die Ordinaten des Tragwerkes mit y, die entsprechenden Verformungen mit u bzw. v bezeichnet sind.

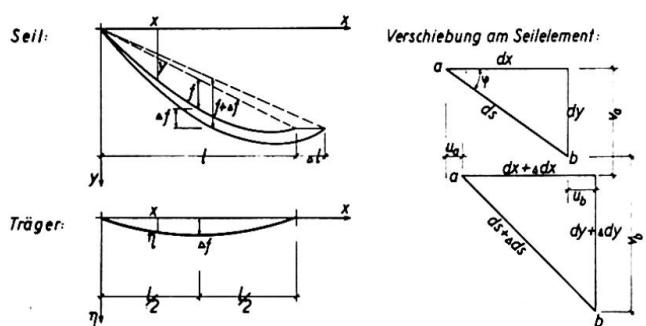


Fig.5

Es gilt dann

$$\Delta ds = \frac{p}{E_k F_k \cos \varphi} + \chi \log t ds \pm \alpha_T \Delta T ds \quad (3)$$

worin H_p den Horizontalzugzuwachs gegenüber dem Normalzustand H_g (ständige Last), L die gesamte Länge des Versteifungsträgers, χ die Steigung der Geraden h in Fig.1 und Fig.2 in den dortigen semilogarithmischen Darstellungen, mit t als Zeit in Jahren, und ΔT eine Temperaturänderung darstellt. Nach Erfüllung von (2) erhält man schließlich mit (3) eine erweiterte II. Grundgleichung

$$H_p \frac{L}{E_k F_k} + (\chi \log t \pm \alpha_T \Delta T) L_T + \int_0^L y'' v \, dx = 0, \quad (4)$$

Die Brücke sei in üblicher Weise so montiert, daß der Anteil $g = \text{const}$ der ständigen Brückenbelastung vom Tragkabel allein getragen wird. Ferner wird vorausgesetzt, daß die Hänger vertikal und ungedehnt bleiben, daß die Hängerkräfte stetig über den Versteifungsträger verteilt sind, daß die Tragkabel keine Biegesteifigkeit besitzen, daß die Sattellager waagrecht verschiebbar sind und daß Pylonenverkürzungen und Schubverzerrung des Versteifungsträgers vernachlässigt werden dürfen. Unter diesen Voraussetzungen erhält man auch im vorliegenden Fall die I. Grundgleichung in der Form

Der Verfasser setzt als bekannt voraus, daß die II. Grundgleichung mit dem Ansatz

$$\int_0^L \Delta \, dx = 0 \quad (2)$$

gefunden wird. In Fig.5 sind alle erforderlichen Zusammenhänge zwischen der Verformung des Seiles und des Trägers, sowie am Seilelement selbst dargestellt.

die den funktionellen Zusammenhang zwischen Tragkabel und Versteifungsträger herstellt. Der Lastfall "Kabelkriechen" erscheint im 2. Term dieser Gleichung als ein ebenfalls erweiterter Temperaturlastfall; L_T bedeutet dabei $\int_0^L dx / \cos^2 \varphi$ (später wird auch noch $L_k = \int_0^L dx / \cos^3 \varphi$ gebraucht). Die praktische Auswertung erfolgt zweckmäßig nach K. H o e n i n g [2], wo z.B. speziell aus Kabelkriechen

$$\Delta H = - \frac{\chi \log t L_T \frac{1^2}{8(f+\Delta f)}}{\frac{1^2 F}{8(f+\Delta f)} \cdot \frac{L_k^2}{E_k F_k}} , \quad (5)$$

mit F als die gesamte Biegefläche aller Öffnungen unter der Einheitsgleichlast, bestimmt werden kann etc.

Unter diesen einfachen und anschaulichen Voraussetzungen kann bereits brauchbar etwas über die Auswirkung des Kabelkriechens ausgesagt werden.

B e i s p i e l :

Hängebrücke Köln-Mülheim [3]: Wenn man die Gerade h in Fig.1 zugrundelegt und E_k konstant annimmt²⁾ erhält man z.B. für 3, 10 und 100 Jahre ein ΔH von rund -6 Mp, -12 Mp und -24 Mp bei einem H von 3180 Mp! Der entsprechende, äquivalente Temperaturlastfall entspräche einer Temperaturdifferenz von ca $2,1^\circ\text{C}$, $4,5^\circ\text{C}$ und 9°C , d.h. der letzte höchste Wert entspricht etwa $1/4$ des in der ursprünglichen Berechnung berücksichtigten Temperaturanteils.

Schrägseilbrücke

Auch für dieses Brückensystem (Fig.3) kann, wie F.W. Walltkin in einer unveröffentlicht gebliebenen Arbeit [4] gezeigt hat, ein Ersatzsystem gefunden werden, das eine geschlossene Lösung und eine sehr anschauliche baustatische Deutung des elastischen Problems ermöglicht. Im Anhang zur vorliegenden Arbeit wird im einzelnen gezeigt, daß die Lösung des als kontinuierliche Wand von Schrägseilen (Zügelseilen) aufgefaßten Ersatzsystems (vergl. nebenstehende Fig.6) auf einen "Träger auf elastischer Unterlage" führt.

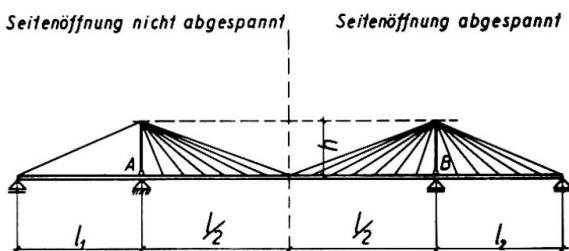


Fig.6

Der Verfasser sieht bei Benutzung eines solchen Ersatzsystems grundsätzlich die Möglichkeit, zeit- und auch temperaturabhängige Vorgänge an Schrägseilbrücken aber auch an ähnlich seilabgespannten Konstruktionen ohne größeren Aufwand zu untersuchen. Es genügen wohl nicht mehr einfache geometrische Überlegungen wie vorhin

²⁾ Der E-Modul des Tragkabels ist streng genommen ebenfalls eine Funktion der Zeit, was bei der Durchrechnung des Beispiels vernachlässigt werden konnte.- Bei der Behandlung der Schrägseilbrücke wird gezeigt werden, welche Form der Grenzwert $E_{k\infty}$ annimmt.

bei der Behandlung der Hängebrücke aufgezeigt, aber auch die hier anwendbaren Prinzipien der linearen Viskoelastizitätstheorie bieten noch die Möglichkeit einer anschaulichen baustatischen Behandlung des Problems.

Zur ausführlichen Theorie selbst sei auf die entsprechende Literatur verwiesen ([5] u.a.). Hier soll nur das Wesentlichste zum besseren Verständnis der Abhandlung herausgehoben und den nachfolgenden Überlegungen vorangestellt werden:
 Das betreffende Bauglied (hier die Schrägseilkabel) oder ganz allgemein das Tragwerk als ganzes (wenn z.B. neben dem Kabelkriechen auch das Kriechen des Versteifungsträgers berücksichtigt werden sollte) wird als aus einem ideal viskoelastischen Baustoff hergestellt angesehen, wo zwei Medien vereint gedacht sind, nämlich der ideal elastische Körper und die zähe Flüssigkeit. Die elastischen Effekte sollen dabei dem Hookeschen, die zähen Effekte dem Newtonschen Gesetz unterliegen. Es gibt mehrere Modelle, je nachdem wie diese Effekte nebeneinander und/oder hintereinander geschaltet gedacht sind. Die Auswahl erfolgt im Idealfall nach aufgenommenen Kriech- und Relaxationskurven am tatsächlichen Bauglied bzw. Tragwerk. Grundsätzlich existieren Analogien zwischen einer Lösung des viskoelastischen und einer entsprechenden des sogenannten "begleitenden elastischen" Systems, die in Form von Korrespondenzprinzipien in der Theorie erarbeitet worden sind.

Gelingt es also für ein gewisses Problem die Lösung des "begleitenden elastischen" Systems zu finden, so besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit, die Lösung des viskoelastischen Problems mit Hilfe eines der Korrespondenzprinzipien zu erhalten.

Im vorliegenden Fall ist es durch das Ersatzsystem von Waltking möglich, eine elastische Lösung zu finden; sie lautet nach (A 13)

$$\left. \begin{aligned} y &= \eta + \frac{p}{4k^4 E J} + \frac{\partial A}{h} x \\ \eta &= A \cos kx \cos kx + B \sin kx \cos kx + C \cos kx \sin kx + D \sin kx \sin kx \end{aligned} \right\} (6)$$

Die Lösung entspricht, wie im Anhang näher ausgeführt, der eines Balkens auf elastischer Unterlage, wobei hier speziell noch die Unterlage viskoelastisch sein soll. D i s t e f a n o hat in einer seiner Arbeiten gezeigt [6], daß der Grenzwert der Lösung des viskoelastischen Problems in diesem Fall mit der Lösung des reinen elastischen Problems dann übereinstimmt, wenn der Koeffizient der viskoelastischen Unterlage durch

$$k^* = \frac{k}{1 + k \gamma} \quad (7)$$

ersetzt wird, wobei $\gamma = \int_0^\infty f(t) dt$ und $f(t)$ die Kriechfunktion darstellt.

Im Falle der Schrägseilbrücke hängt nach (A 8) dieser Koeffizient lediglich vom E-Modul E_k ab, wofür wir nach D i s c h i n g e r auch den Wert

$$E_k^* = \frac{E_k}{1 + \varphi} \quad (8)$$

anschreiben können; dabei wird in

$$\varphi = \frac{\epsilon_{el}}{\varphi_0}$$

für ϵ_{el} die elastische Dehnung und für φ_0 die Endkriechdehnung gesetzt. φ kann z.B. aus Fig.3 ermittelt werden, wenn z.B. für φ_0 der Dehnwert für 1000 Jahre eingesetzt wird. Mit diesem angenommenen Grenzwert kann nach (A 11) der Koeffizient k und damit unter Beachtung der Randbedingungen des vorliegenden Brückensystems y und somit auch alle Schnittkräfte, wie beispielsweise das Biegemoment

$$M = -EJy'' = 2EJk^2 (A \sin kx \sin kx + B \cos kx \sin kx - C \sin kx \cos kx - D \cos kx \cos kx) \quad \} \quad (10)$$

gefunden werden.

B e i s p i e l:

Schrägseilbrücke nach Fig.6, linker Teil: Mit $E = 21 \cdot 10^6 \text{ MP/m}^2$

$$l_1 = 108 \text{ m} \quad F_1 = 0,06489 \text{ m}^2 \quad E_k(0) = 16 \cdot 10^6 \text{ "}$$

$$l = 260 \text{ "} \quad f_k = 0,4626 \cdot 10^{-4} \text{ m} \quad J = 0,6 \text{ m}^4$$

$$h = 40 \text{ "} \quad p = 4,5 \text{ MP/m} \quad J_1 = 1,1 \text{ "}$$

sowie mit $\epsilon_{el} = 2,0625 \cdot 10^{-3}$ erhält man extrapoliert aus Fig.3

$$\varphi_0 = 0,464 \text{ mm/m} = 0,464 \cdot 10^{-3}$$

womit man folgende Durchbiegungen in der Mittelöffnung erhält

$$\text{aus der elastischen Lösung} \quad y_m = 53,2 \text{ cm}$$

$$\text{aus der viscoelastischen Lösung} \quad y_m = 70,7 \text{ cm.}$$

Zur Tragwerkssicherheit

In den vorangegangenen Abschnitten der Abhandlung hat der Verfasser zeigen können, welchen Verlauf das Kablekriechen bei den beiden hier untersuchten Brückensystemen jeweils hat, wie das Phänomen praktisch rechnerisch erfaßt werden kann und welchen Einfluß es im allgemeinen hat. Es konnte zumindest qualitativ festgestellt werden, daß Hängebrücken ein stärkeres Kabelkriechen aufweisen als Schrägseilbrücken. Schließlich kann ganz allgemein noch erwähnt werden, daß trotz aller Komplexität davon ausgegangen werden kann, daß im Falle der hier vorerst in Betracht gezogenen, stählernen Brücken ein weitgehend lineares Verformungsverhalten vorliegt.

Ergänzend zu diesen Erkenntnissen wollen wir nun festhalten, welche "konventionellen" Sicherheitsfaktoren

$$\bar{V} = R_{\min} / S_{\max}$$

nach Gleichung (2.17) auf Seite 19 des Vorberichtes zum laufenden 8. Kongreß – bei der jeweiligen Bemessung der Tragkabel bestimmend waren (vergl. [3] und [7]), wobei wir stellvertretend je ein ausgeführtes Bauwerk für jedes Brückensystem herausgreifen:

3) Nach einem modifizierten Voigt'schen Modell lautet die entsprechende Kriechfunktion $f(t) = \frac{\varphi}{E_k} (1 - e^{-\delta t})$

Hängebrücke : Köln-Mülheim $\bar{V} = 2,61$
 Schrägseilbrücke: Köln-Deutz (Severinsbrücke) $\bar{V} = 2,55$ bis 3,06

Dazu muß bemerkt werden, daß eine Hängebrücke eine weit geringere Anzahl statisch Überzähliger aufweist, als eine Schrägseilbrücke, was bei der Bestimmung einer realistischen Bruchwahrscheinlichkeit u.a. aber eine Rolle spielen wird. Auch auf sonstige unterschiedliche Verhaltenserscheinungen der beiden Brückensysteme, wie etwa die aerodynamische Stabilität etc., kann an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

Beim Abwägen der oben zahlenmäßig angeführten "konventionellen" Sicherheitsfaktoren wird man aber sicher schon bei Berücksichtigung der vorangegangenen Betrachtungen zugeben müssen, daß offensichtlich ein Widerspruch zwischen den bisher angenommenen Sicherheitszahlen mehr oder weniger konstanter Größe und dem tatsächlichen Verhalten der verglichenen Brückensysteme vorliegt.- Es wäre nun an der Zeit, solche und ähnliche historisch entstandene und heute einfach üblich gewordene Zahlen kritisch zu durchleuchten und wenn, wie hier gezeigt, notwendig, zu korrigieren.

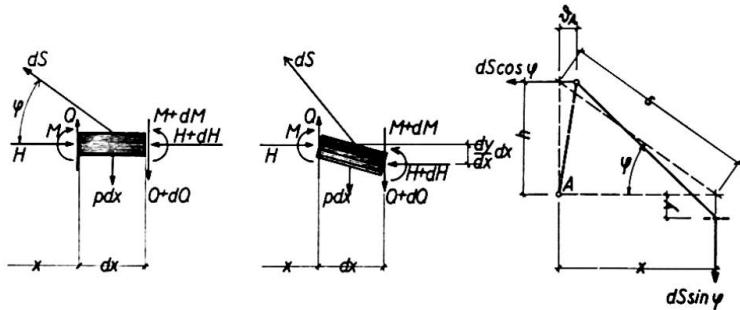
Es scheint bei dem hier aufgezeigten Sachverhalt wiederum eine Bestätigung dafür vorzuliegen, daß wir uns im Bauingenieurwesen mehr als bisher mit der Wahrscheinlichkeit des Zusammenbruches bzw. des im vorliegenden Fall maßgebend sein werdenden Unbrauchbarwerdens eines Tragwerkes befassen müssen. Dem Ziele, ein "gleichmäßiges" Sicherheitsmaß für alle Tragglieder eines Bauwerkes, aber auch für alle Tragwerke gleicher oder ähnlicher Beanspruchung zu erreichen, können wir nur durch konsequente Verfolgung stochastischer Prinzipien näherkommen. Dazu benötigen wir mehr als bisher Beobachtungen und Messungen an ausgeführten Bauwerken. Bei Vorliegen einer genügend großen Dichte solcher Beobachtungen und Messungen ist es aber z.B. im vorliegenden Fall - wo ein weitgehend lineares Verformungsverhalten vorliegt - ohne weiteres möglich, die vom Verfasser vorgeschlagenen Differentialgleichungen der jeweiligen Tragwerksmechanik in Gleichungen mit stochastischen Koeffizienten umzuformen. Ähnlich wie hier von der elastischen zur visko-elastischen Lösung kann dabei auch von der entsprechenden Lösung der klassischen Gleichungen als erste Näherung auf den zu "erwartenden" Wert nach der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion geschlossen werden.

Anhang
Vorschlag für ein Ersatzsystem für Schrägseil-
brücken von der Art von Zügelseilbrücken nach
F.W. Waltking 4)

Einzelne Schrägseile sollen hier durch eine kontinuierliche Wand von Zügelseilen (Fig.6) ersetzt werden. Alle nachfolgenden Betrachtungen beschränken sich auf symmetrische Systeme mit gelenkigen Pylonenfüßen.

Die auf ein Längenelement dx des Versteifungsträgers entfallende Schrägseil-Querschnittsfläche sei $f dx$, wobei f eine Funktion von x sei. $H(x)$ werde die mit x ebenfalls veränderliche Längskraft im Versteifungsträger benannt; dabei soll Druck positiv gekennzeichnet werden (entspricht den zugehörigen Seil- Zugkräften S !).

Nach Fig.7 ergibt sich bei Gleichgewicht:



$$dS = - \frac{dH}{\cos \varphi} ; \quad (A 1)$$

$$Q = \frac{dM}{dx} ; \quad (A 2)$$

$$\frac{dQ}{dx} = - p - \frac{dH}{dx} \operatorname{tg} \varphi \quad (A 3)$$

Fig. 7

$$\text{bzw. } \frac{d^2}{dx^2} (EJ \frac{d^2y}{dx^2}) = p(x) + \frac{dH}{dx} \operatorname{tg} \varphi \quad (A 4)$$

Die elastische Arbeit bei der Verformung der Brücke infolge Dehnung des betrachteten Seiles:

$$dS \Delta s = \frac{(ds)^2 s}{E_k f dx} \quad \text{oder in Termen}$$

$$ds \sin \varphi \cdot y - ds \cos \varphi \vartheta_A = \frac{(ds)^2 s}{E_k f dx}$$

$$\text{Mit } s = h/\sin \varphi \text{ und } \operatorname{tg} \varphi = h/x \quad (A 5)$$

wird

$$\frac{dH}{dx} = \frac{E_k f}{h} (y \sin^2 \varphi \cos \varphi - \vartheta_A \sin \varphi \cos^2 \varphi) \quad (A 6)$$

und daraus gemeinsam mit (A 4)

$$\frac{d^2}{dx^2} (EJ \frac{d^2y}{dx^2}) + \frac{E_k f(x) \sin^3 \varphi \cdot y}{h} = p(x) + \vartheta_A \frac{E_k f(x) \sin^2 \varphi \cos \varphi}{h} \quad (A 7)$$

⁴⁾ Auszug aus einer unveröffentlichten Arbeit von F.W. Waltking [4]

die Differentialgleichung der Zügelseilbrücke gefunden. Eine Erweiterung der gefundenen Differentialgleichung nach den Prinzipien der Verformungstheorie (Theorie II. Ordnung gerärt) wäre ohne Schwierigkeiten möglich. Eine von Wallking vorgenommene Untersuchung zeigt aber, daß bei Schrägseilbrücken von der Bauart einer Zügelseilbrücke bei idealen Montagezielen – der Versteifungsträger weise unter ständiger Last weder Durchbiegungen noch Biegemomente auf – im abgespannten Teil der Einfluß aus der Verformungstheorie maximal eine 1,5 bis 2 – prozentige Erhöhung ergibt. Bei einer üblichen Überhöhung der Brückenlängsachse wird auch dieser geringe Einfluß zum größten Teil aufgehoben.

Zur Lösung der Differentialgleichung des Ersatzsystems werden die Hilfsfunktionen

$$\left. \begin{aligned} c(x) &= \frac{E_k}{h} f(x) \sin^3 \varphi \\ \text{und} \quad \bar{p}(x) &= \frac{E_k}{h} \vartheta_A f(x) \sin^2 \varphi \cos \varphi \end{aligned} \right\} \quad (A 8)$$

eingeführt. Man erkennt sofort, daß die Differentialgleichung des Systems (A 7) der Differentialgleichung eines Trägers auf elastischer Bettung entspricht. Zweckmäßig wird hier eine gleichförmige Nachgiebigkeit, d.h. $c(x) = \text{const}$, angestrebt. Setzt man demnach

$$f(x) \sin^3 \varphi = f_k \quad (A 9)$$

so erhält man zusammen mit der weiteren praktisch möglichen Vereinfachung, $J = \text{const}$, die vereinfachte Differentialgleichung des Ersatzsystems

$$EJ y^{IV} + \frac{E_k f_k}{h} y = p(x) + \gamma_A \frac{E_k f_k}{h^2} x \quad (A 10)$$

Die Lösung des Problems erhält man schließlich mit

$$k^4 = \frac{E_k f_k}{4 h EJ} \quad (A 11)$$

womit man in der an sich bekannten Art die Lösung der homogenen Differentialgleichung in der Form

$$\eta = A \sin kx \cos kx + B \sin kx \sin kx + C \sin kx \cos kx + D \sin kx \sin kx \quad (A 12)$$

und schließlich für einen Trägerabschnitt innerhalb dessen $p = \text{const}$ ist, die Lösung der vollständigen Differentialgleichung

$$y = \eta + \frac{p}{4k^4 EJ} + \frac{\vartheta_A}{h} x \quad (A 13)$$

findet.

Zur Bestimmung der Konstanten A, B, C und D, sowie der Verschiebung ϑ_A an der Pylonenspitze werden die Randbedingungen

$$\begin{aligned} y(0) &= 0; \quad y'(0) = y'_1; \quad -EJ y''(0) = M_A \\ y'(l/2) &= 0 \quad \text{und} \quad y'''(l/2) = 0 \end{aligned} \quad (A 14)$$

sowie die Gleichgewichtsbedingung

$$H_0 = \frac{pl^2}{8h} + \frac{E_k f_k}{h^2} \int_0^{l/2} x \eta \, dx = H_1 \quad (\text{A 15})$$

herangezogen, wobei je nach Abspannart der Seitenspanne

$$H_1 = \frac{E_k F_1}{h} \vartheta_1 \cos^2 \varphi_1 \sin \varphi_1 \quad (\text{A 16})$$

oder $H_1 = \frac{pl_1^2}{2h} + \frac{E_k f_k}{h^2} \int_0^{l_1} x \eta \, dx$ (A 17)

verwendet wird.

Literaturhinweise

- [1] HAWRANEK / STEINHARDT, Theorie und Berechnung der Stahlbrücken, Springer-Verlag Berlin 1958.
- [2] K. HOENING, Beiträge zur Berechnung der versteiften Hängebrücke mithilfe unmittelbarer Integration, Bauingenieur 24 (1949) Heft 10, Seite 292 bis 300.
- [3] Die neue Köln-Mülheimer Brücke, Festschrift herausgegeben von der Stadt Köln, zusammengestellt von Prof. Dr.-Ing. F.W. Waltking, 1951.
- [4] F.W. WALTING, Beitrag zur Theorie der Zügelseilbrücke, unveröffentlicht gebliebene Arbeit.
- [5] W. NOWACKI, Theorie des Kriechens – Lineare Viskoelastizität, Franz Deuticke Wien 1965. Teoria Pełzania, Warszawa 1963.
- [6] J.N. DISTEFANO, Redistribution of Stresses in a Continuously Supported Beam, due to Creep, IVBH VI. Kongreß, Schlußbericht Vb1, S. 417 bis 428.
- [7] Stahlbau, Handbuch Band 2, herausgegeben vom Stahlbauverband Köln, Stahlbauverlags-GmbH. Köln 1964, 2. neubearb. Aufl., S. 588.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Abhandlung bringt einen Beitrag zur Untersuchung der Tragwerks-sicherheit mittels der Viskoelastizitätstheorie, wobei Ergebnisse aus Lösungen "begleitender" Probleme der Elastizitätstheorie heran-gezogen wurden. Im speziellen ist das Phänomen des Kriechens der Tragkabel untersucht worden. Für Schrägseilbrücken wurde ein weniger bekanntes Ersatzsystem nach Waltking vorgeschlagen und verwendet. Es konnten baupraktische Schlüsse gezogen werden.

SUMMARY

This publication gives a contribution about the researches of the safety of structures with the theory of viscosity, whereat results with solutions of "attendant" problems of the theory of elasticity were drawn near. The creeping phenomenon of the main cables has been investigated specially. For diagonalcable-bridges there was proposed and used a less known substitution system of Waltking. Practically conclusions were able to make.

RÉSUMÉ

Les memoires apportent une contribution pour le calcul des la sécurité des structures au moyen des théories de la viscosité oùon a attiré des résultats des solutions des problèmes "accompagnés" de la théorie de l'élasticité. Spécialment on a examiné le phénomène du fluege des cables porteurs. Pour les ponts de fil incliné on a proposé et employé un système équivalent selon Waltking. On a pu prendre des conclusions pratiques pour la construction.

Leere Seite
Blank page
Page vide