

Mais, ce qui est important pour un pont suspendu, c'est que la théorie exacte donne la déformation maximal du pont moindre (de 33 %); c'est tout à fait clair puisque la déformation d'un pont suspendu dépend principalement de la dilatation du câble. Si l'accroissement de la flèche du câble diminue sa tension, due à la charge permanente, nous avons le droit d'attendre encore une réduction générale de la flèche du câble.

Toutefois, la théorie exacte du pont suspendu à trois travées a une importance très essentielle pour obtenir une économie considérable dans la poutre de rigidité (jusqu'à 42 % de poids, comme disent les calculations des auteurs du pont sur la Delaware) et pour recevoir une réduction de 33 % des déformations du pont. Cette dernière circonstance a une grande signification pour les ponts suspendus, puisqu'elle peut facilement écarter les attaques contre la rigidité insuffisante des ponts suspendus.

Nous pouvons en tirer la conclusion que les susdites considérations ont aussi de l'importance surtout quand il y a concurrence entre les ponts suspendus et les ponts à consoles; une économie obtenue par l'application de la théorie exacte dans les ponts suspendus doit leur donner la préférence.

Prague, le 3 Novembre 1926.

Littérature.

Prof. J. MELAN, Handbuch d. Ing.-Wissenschaften. Brückenbau, II. Band, 5. Abt., 1925. — Prof. G. MEHRTENS, Eisenbrückenbau, III. Band, 1923. — Prof. H. MÜLLER-Breslau, Die Graphische Statik, II. Band, 2. Abt., 1925. — G. PIGEAUD, Nouvelles recherches sur le calcul des ponts suspendus et de leurs poutres de rigidité, Le Génie Civil, 2 et 9 juillet 1927. — The theory of the stiffened suspension bridge, Engineering, April 29, 1927. — The stiffening girder with variable moment of inertia, Engineering, January 6, 1928. — Steifigkeit von Hängebrücken, von S. TIMOSHENKO in Pittsburgh, ins Deutsche übertragen von J. MALKIN in Berlin. Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, Band 8, Februar 1928, Heft 1. — JEAN KARPINSKI, Le calcul des ponts suspendus à poutre de rigidité. Annales des Travaux Publics de Belgique, Juin 1928.

Diskussion

Prof. GRÜNING, Hannover:

Im Zusammenhang mit den beachtenswerten Ausführungen des Herrn KRIWOSCHEN über die *exakte Berechnung der Hängebrücke* darf wohl das Ergebnis meiner Untersuchung des gleichen Problems mitgeteilt werden.

Ich habe die Bauart „Kette in drei Öffnungen mit durchlaufendem Versteifungsbalken“ nach zwei Verfahren behandelt. Das eine setzt in jeder Öffnung unveränderliches Trägheitsmoment voraus und benutzt Differenzgleichungen, das zweite gilt für den allgemeinen Fall beliebiger Trägheitsmomente. Der Horizontalzug muß durch Approximation, aber mit großer Genauigkeit berechnet werden. Zwei Rechnungsgänge reichen trotzdem immer aus. Die Rechnung zeigt, daß unter sonst gleichen Verhältnissen das Moment im Versteifungsbalken durch das Trägheitsmoment der Mittelöffnung wesentlich beeinflußt wird. Je kleiner das Trägheitsmoment, desto kleiner das Moment im Versteifungsbalken, desto größer die Abweichung von dem gleichen Wert der Elastizitätstheorie. Das für den Querschnitt des Versteifungsbalkens maßgebende Moment in etwa $\frac{1}{4}$ der Spannweite kann man nicht nur auf 62%, wie im Falle der Delaware-Brücke, sondern auf 50, ja 40% des Wertes der Elastizitätstheorie herabdrücken.

Folgendes Verfahren ist allgemein anwendbar. Man setzt die Höhe h des Versteifungsträgers

$$h = \frac{2J}{W} = \frac{J}{M} a$$

$\alpha = 2\sigma_{zul} \frac{W_n}{W} = \text{constans}$. Indem man für einige — etwa drei — beliebig gewählte Werte J die Momente berechnet, kann man so

$$h = f(J)$$

darstellen. Aus dieser Kurve ist zu jedem Wert h , den man wählen will, der zugehörige Wert J und das erforderliche W_n zu entnehmen. Man erkennt, daß fast beliebig kleine Trägerhöhen möglich und wirtschaftlich ausführbar sind. Man kann die Kurve auch benutzen, um die Höhe des *kleinsten* Querschnittes zu ermitteln. Natürlich nimmt mit abnehmendem h die Durchbiegung zu. Im allgemeinen wird das größte Maß der Durchbiegung, das man für zulässig hält, für die Wahl von h maßgebend sein müssen. Die Durchbiegung ist indessen ebenfalls kleiner — unter Umständen beträchtlich — als die Elastizitätstheorie ergibt.

Nachstehend einige Zahlen, die ich für ein Beispiel von den Verhältnissen der Wettbewerbsentwürfe für die Rheinbrücke Köln—Mülheim erhalten habe. In der Mittelöffnung ist $l = 330$ m, $f = 36,7$ m, Eigenlast $g = 18$ t/m, Verkehrslast $p = 8,0$ t/m für einen Hauptträger. Laststellung von 0 bis $0,45 l$ und rechte Seitenöffnung voll.

J m ⁴	Momente in $\frac{l}{4}$ t. m		$\frac{b}{a}$	Durchbiegung in $\frac{l}{4}$ m		Trägerhöhe m
	a	b		a	b	
1,31	8718	6400	73 ⁰ / ₁₀	0,786	0,602	5,92
0,855	8374	5413	65 ⁰ / ₁₀	1,170	0,743	4,57
0,584	8162	4528	55 ⁰ / ₁₀	1,494	0,883	3,73
0,260	7876	2779	36 ⁰ / ₁₀	2,988	1,201	2,71

Die Spalten a geben Momente und Durchbiegung nach der Elastizitätstheorie, b nach der exakten Theorie an. Die Trägerhöhe ist für $\sigma_{zul} = 1,82$ t/cm² und $\frac{W_n}{W} = 0,875$ berechnet. Der kleinste Querschnitt des Versteifungsbalkens liegt noch unter $h = 3,0$ m.

Bemerkenswert ist noch, daß auch die Beanspruchung des Versteifungsbalkens infolge Nachgebens der Widerlager, in denen die Kette verankert ist, nicht so erheblich ist wie nach Ausweis der Elastizitätstheorie. Auf Grund meiner Rechnungen muß ich der von den Konstrukteuren der Delaware-Brücke im Journal of the Franklin-Institut ausgesprochenen Ansicht zustimmen, daß die Elastizitätstheorie für die Berechnung einer Hängebrücke im allgemeinen unbrauchbar ist.

Professor Dr. Ing. HUGO KULKA, Hannover:

Angreifende Kräfte im Eisenwasserbau¹

In den letzten Jahrzehnten hat sich ein Sondergebiet des Eisenbaues, der Eisenwasserbau, zu großer technischer und wirtschaftlicher Bedeutung entwickelt. Die Eigenheiten dieses Gebietes und seine Unterschiede gegenüber dem Brückenbau sind sowohl theoretischer als auch konstruktiver Art und sind wesentlich hervorgerufen durch die Eigenart der angreifenden Kräfte. Ähnlich wie im Brückenbau spielen neben der statischen Belastung auch dynamische Probleme eine Rolle, nur daß hier den dynamischen Erscheinungen häufig die Hauptrolle zukommt.

¹ Vergl. Kulka: „Der Eisenwasserbau I“, Ernst u. Sohn, Berlin 1928.