

STATISCHE MESSUNGEN AN DER STRASSENBRÜCKE ÜBER DIE THEISS BEI TISZAFÜRED

Von

B. TÓTH und J. VISONTAI

Lehrstuhl für Stahlkonstruktionen. Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 12. April, 1969)

Vorgelegt von Prof. Dr. O. HALÁSZ

I. Einleitung

An der in Jahre 1967 eröffneten neuen Straßenbrücke über die Theiß bei Tiszafüred wurde — um das Verhalten der Brücke zu überprüfen — ein breitangelegtes Meßprogramm vom Lehrstuhl für Stahlkonstruktionen an der TU Budapest im Auftrag des Ministeriums für Verkehrs- und Postwesen durchgeführt. Im Rahmen dieses Meßprogrammes wurde neben den Brückenkonstruktionen der Landöffnungen die Dreifeld-Fachwerkbrücke auf statische Belastung untersucht. Letzterer Untersuchung ist vorliegender Aufsatz gewidmet.

Die dreifeldrige Fachwerk-Konstruktion stellt eine durchlaufende Brücke mit untenliegender Fahrbahn dar (Abb. 1). Die Stäbe sind als geschweißte Hohlkastenquerschnitte ausgebildet. Fachwerkstäbe und Pfosten sind den Knotenpunkten durch hochfeste vorgespannte Schrauben angeschlossen. Die beiden Hauptträger sind den Obergurt entlang durch einen oberen Windverband aus rhombischem Fachwerk, unten in den Knotenpunkten durch je einen Querträger verbunden. Auf letzterem liegt die Stahlbeton-Fahrbahnplatte mit Randträgern auf. Die Querträger bilden mit der Stahlbeton-Fahrbahnplatte Verbundträger. Die durchlaufende Fahrbahnplatte ist über den Zwischenpfeilern unterbrochen; die hier liegenden Querträger stellen keine Verbundträger dar.

Bei den experimentellen Untersuchungen wurden elektrische Dehnungsmeßstreifen angewendet. Die Dehnungswerte wurden in der Regel bei leerer Brücke (0-Last), in belastetem Zustand und abermals in leerem Zustand abgelesen, die Spannungen aus »Be-« bzw. »Entlastung« wurden also getrennt gemessen. Die Meßergebnisse bei »Be-« und »Entlastung« wurden gemittelt, da sich die Wirkung der Fehlermöglichkeiten bei den Messungen so am einfachsten auf dem Niedrigstwert halten ließ.

Für die Probelastung wurden schwere LKW-Kolonnen eingesetzt. Die Grundrißanordnung der verschiedenen Laststellungen ist in Abb. 2 dargestellt.

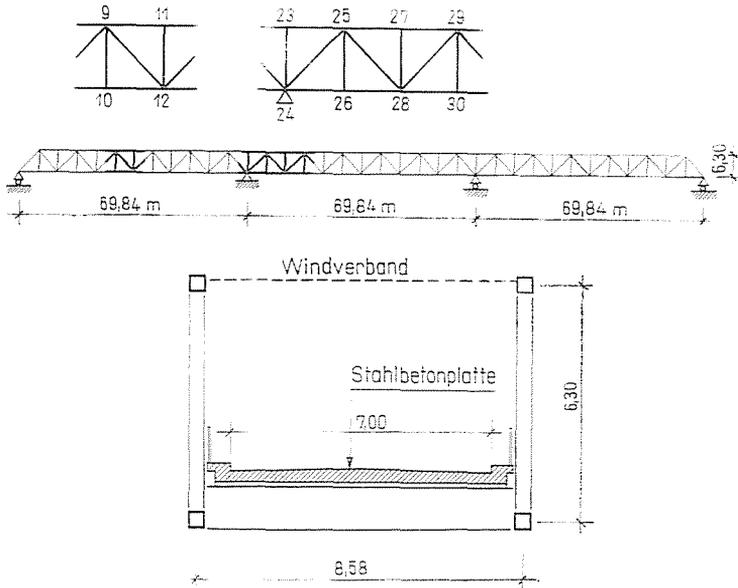
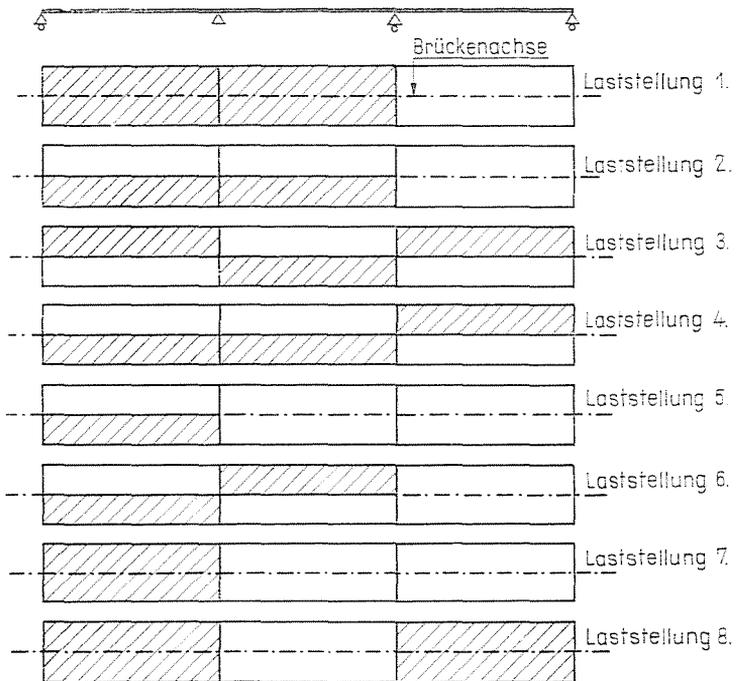


Abb. 1



unbelastete Fahrbahnfläche

belastete Fahrbahnfläche

Abb. 2

Bei der Untersuchung der Fachwerkbrücke sollten zwei Hauptfragen beantwortet werden:

- Größe der Spannungen in den Knotenpunkten der Fachwerk-Hauptträger (Knotenpunkt-Nebenspannungen) zufolge starrem Anschluß der Stäbe;
- räumliches Kräftespiel in der Fachwerkbrücke.

2. Knotenpunkt-Nebenspannungen

Die Prüfung der Knotenpunkt-Nebenspannungen erfolgte in einem oberen und einem unteren Knotenpunkt eines der Brücken-Hauptträger, in den Knotenpunkten 25 und 28 in der Nähe der Zwischenstütze (siehe Abb. 1). Die Grundlage für die Prüfung wurde durch Dehnungsmessungen in je 4 Punkten von zwei Querschnitten der in den Knotenpunkten zusammenlaufenden Stäbe gebildet. In der Regel wurde für je einen Stab ein Querschnitt in der Stabmitte (im weiteren Mittelquerschnitt), der andere in unmittelbarer Nähe des Anschlusses und der Profiländerung (im weiteren: Einspannungsquerschnitt) angenommen. Auf dem Fachwerkstab zwischen den untersuchten Knotenpunkten 25 und 28 standen also die Meßdaten von drei Querschnitten zur Verfügung.

In den einzelnen Hohlkastenquerschnitten der Stäbe wurden die Meßstreifen in der Regel in der Nähe der vier Eckpunkten in Richtung der Stablängsachse angebracht (Abb. 3).

Die Auswertung der Messungen ist für drei verschiedene Laststellungen angegeben:

1. auf zwei Spuren symmetrisch angeordnete Wagenkolonnen in der ersten und in der zweiten Brückenöffnung (Vollbelastung);
2. nur auf einer Spur einseitig angeordnete Wagenkolonne in der ersten und in der zweiten Öffnung (einseitige Belastung);
3. einseitig angeordnete Wagenkolonnen, abwechselnd auf der linken bzw. rechten Seite der Brückenachse (schachbrettartige Belastung).

2.1. Verarbeitung der Meßergebnisse, Ermittlung der Knotenpunkt-Nebenspannungen

Es seien die Mittelwerte der Spannungen aus »Be-« und »Entlastung« in den 4 Eckpunkten eines Stabquerschnittes, als Meßdaten, $\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c, \sigma_d$. Bei der Grundannahme der Gültigkeit des Bernoulli-Navier-Satzes läßt sich der ebene Querschnitt nach der Formänderung durch drei Angaben kennzeichnen, die vierte ist also überschüssig. Diese vierte Angabe kann für den Ausgleich der Meßergebnisse oder zur Bestimmung der Normalspannungen aus einer weiteren Beanspruchung neben der zweiachsigen Biegung, aus Torsion, benutzt werden

Diese Frage wird noch im weiteren behandelt werden. Mit den Bezeichnungen in Abb. 3a läßt sich die Normalspannung aus Stabkraft im Querschnittsschwerpunkt, σ_N im Querschnitt mit einer Symmetrieachse durch die Meßwerte $\sigma_a, \sigma_b, \sigma_c, \sigma_d$ ausdrücken:

$$\sigma_N = \frac{1}{2} \left[\left(1 - \frac{y_s}{h} \right) (\sigma_a + \sigma_b) + \frac{y_s}{h} (\sigma_c + \sigma_d) \right].$$

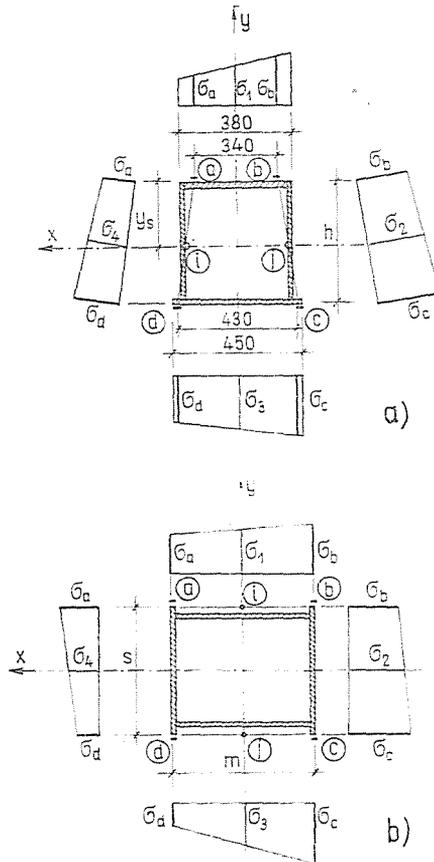


Abb. 3

Damit erhält man die Stabkraft:

$$N = F \cdot \sigma_N,$$

wo F die Querschnittsfläche des Stabes bedeutet.

Die an den einzelnen Meßstellen gemessenen Spannungen sind selbstverständlich von σ_N mehr oder weniger abweichend, wobei diese Abweichung

die Ermittlung der auf den Querschnitt wirkenden weiteren Beanspruchungen gestattet. Im ersten Schritt kann vorausgesetzt werden, daß auf den Stabquerschnitt außer der Stabkraft die Biegemomente M_x und M_y wirken. Die aus diesen Momenten entstandenen Zusatzspannungen werden durch σ_{Mx} und σ_{My} bezeichnet. Dabei hat σ_{Mx} zwei Werte: σ_{Mxo} und σ_{Mxu} .

Aus diesen Spannungen können die auf den Querschnitt wirkenden Biegemomente ermittelt werden.

Würden auf den Stabquerschnitt lediglich diese drei Beanspruchungen, also N , M_x und M_y wirken, und wären die Messungen fehlerfrei, so würde zum Beispiel

$$\sigma_c = \sigma_N + \sigma_{Mxu} + \sigma_{My}$$

gelten. Das trifft jedoch in der Regel nicht zu und zwischen der Summe der Spannungen aus Doppelbiegung sowie aus zentraler Normalkraft und den gemessenen Spannungen ergibt sich in jedem Punkte eine Spannungsdifferenz σ_{cs} :

$$\sigma_{cs} = \pm [\sigma_{gem} - (\sigma_N \pm \sigma_{Mx} \pm \sigma_{My})]$$

wo σ_{gem} die in einem Punkt des Querschnittes gemessene Spannung ist. σ_{cs} kann aus einer eventuellen Torsion des Stabes (z. B. Torsion zufolge dem Windverbandanschluß) herrühren, kann jedoch auch als Meß-Abschlußfehler betrachtet werden. Bei der überwiegenden Mehrheit der Messungen ergaben sich jedoch für σ_{cs} besonders geringe Werte.

Bei Fachwerkstab- und Pfostenquerschnitten mit zwei Symmetrieachsen ist die Auswertung, da $y_s = \frac{m}{2}$, einfacher.

2.2. Auswertung der Ergebnisse

Beim Entwurf der Brückenkonstruktion wurden von den Entwerfern in den statischen Berechnungen die Knotenpunkt-Nebenspannungen annähernd angesetzt. Nach HARTMANN—MELAN [1] wurden die Gurte als Durchlaufträger berechnet, und aus dieser einzigen Wirkung Biegemomente in senkrechter Ebene, sodann Spannungen ermittelt. Der Berechnung gemäß betragen die Nebenspannungen 11,5 bis 12,8% der Normalspannungen aus Normalkraft; diese Werte wurden zugunsten der Sicherheit einheitlich auf 15% erhöht. Die Nebenspannungen in den Fachwerkstäben und Pfosten wurden jedoch in der Berechnung nicht berücksichtigt.

Nach den Messungen sind die Nebenspannungen sowohl bei den Gurtstäben als auch bei den Fachwerkstäben, doch besonders bei den Pfosten mit ziemlich hohen Werten vertreten und erreichen z. B. bei den Pfosten oft 15%

und darüber. Betrachten wir zuerst den Knotenpunkt 25. Bei den Gurtstäben 23—25 und 25—27 sind außer den Momenten M_x (Biegung in der Träger ebene) auch die Momente M_y hoch, der Gurt erfährt also auch eine Horizontalbiegung. Gleichzeitig ergab sich für M_{cs} ein verhältnismäßig geringer Wert. In Tafel I sind einige kennzeichnende Werte der in den Einspannquerschnitten dieser Stäbe entstandenen Nebenspannungen zusammengestellt, wobei die Werte für σ_N , σ_{Mx} , σ_{My} , σ_{cs} und $\sigma_{max} = \sigma_N + \sigma_{Mx} + \sigma_{My} + \sigma_{cs}$ gesondert und die Abweichung von σ_{max} von σ_N in Prozentanteilen von σ_N angegeben sind.

Tafel I

Zeichen des Stabes	Laststellung	σ_N	σ_{Mx}	σ_{My}	σ_{cs}	σ_{max}
		kp/cm ²	kp/cm ² bzw. %			
23—25	1	500	85 17%	45 9%	20 4%	650 130%
	2	364	56 15%	22 6%	6 1,6%	448 123%
	3	242	35 14,5%	9 3,7%	6 2,5%	292 120%
25—27	1	386	40 10%	118 30%	1 —	545 141%
	2	212	37 17,5%	78 37%	1 —	328 155%
	3	98	30 30%	67 68%	2 2%	197 200%

Aus der Tafel ist zu entnehmen, daß die Nebenspannungen prozentual sehr hoch sind und auch in der maßgebenden Laststellung 1, 30 bis 40% erreichen.

Die Nebenspannungen für die beiden im Knotenpunkt 25 zusammen treffenden Fachwerkstäbe und für den Pfosten sind in Tafel II zusammen gefaßt. Wie es aus der Tafel zu entnehmen ist, sind die Nebenspannungen in den Fachwerkstäben verhältnismäßig nicht hoch, vor allem bei der maßgebenden Laststellung 1. In Pfosten sind prozentual sehr hohe Werte zu verzeichnen, die Absolutwerte der Spannungen sind jedoch gering. Es fällt hingegen auf, daß die Nebenspannungen σ_{Mx} in jedem Falle die Spannungen aus Normalkraft übersteigen.

Eine ähnliche Zusammenstellung der Nebenspannungen der in Knotenpunkt 28 zusammen treffenden Stäbe gibt Tafel III, die die Meßwerte für die beiden unteren Gurtstäbe enthält.

Tafel II

Zeichen des Stabes	Laststellung	σ_N	σ_{Mz}	σ_{My}	σ_{cz}	σ_{mzz}
		kp/cm ²	kp/cm ² bzw. %			
25—28	1	450	7 1,5%	18 4%	36 8%	511 113%
	2	319	35 11%	7 2%	1 —	362 113%
	3	226	33 15%	15 7%	14 6%	288 127%
24—25	1	326	22 7%	6 2%	1 —	355 109%
	2	—	—	—	—	—
	3	183	10 5%	15 8%	1 —	209 114%
25—26	1	106	133 125%	3 3%	23 22%	265 250%
	2	85	104 122%	2 2%	18 21%	209 246%
	3	72	86 120%	2 3%	15 21%	175 243%

Tafel III

Zeichen des Stabes	Laststellung	σ_N	σ_{Mz}	σ_{My}	σ_{cz}	σ_{mzz}
		kp/cm ²	kp/cm ² bzw. %			
26—28	1	401	20 5%	3 1%	43 11%	467 116%
	2	266	25 9%	5 2%	40 15%	336 126%
	3	191	14 7%	3 2%	25 13%	233 122%
28—30	1	9	13	14	60	96
	2	48	20	27	53	148
	3	38	15	42	80	175

Wegen der im Stab 28—30 entstehenden äußerst geringen Stabkraft bringen die hier gemessenen Werte kein reales Ergebnis, darum werden nur die Nebenspannungen im anderen Gurtstab analysiert. Hier spielt das Biegemoment eine wesentlich geringere Rolle, σ_{cs} ist mit einem bedeutenderen Wert vertreten, und die gesamte Nebenspannung ist nicht höher als 26%. In der maßgebenden Laststellung ist lediglich eine Spannungszunahme von 16% zu verzeichnen. Schon aus diesen zwei Meßreihen kann darauf geschlossen werden, daß hier der Untergurt günstiger als der Obergurt liegt.

Tafel IV

Zeichen des Stabes	Laststellung	σ_N	σ_{Mz}	σ_{My}	σ_{cs}	σ_{max}
		kp/cm ²	kp/cm ² bzw. %			
25—28	1	449	89 20%	42 9%	38 8%	618 138%
	2	326	62 19%	33 10%	13 4%	434 133%
	3	230	43 19%	48 21%	— —	321 140%
28—29	1	346	63 18%	1 —	15 4%	425 123%
	2	246	53 21%	4 2%	16 6,5%	319 130%
	3	175	41 23%	43 25%	34 19%	293 168%

Die in den Einspannquerschnitten der Fachwerkstäbe gemessenen Spannungen sind in Tafel IV angegeben.

Vergleicht man diese Werte mit den vorigen, ist zu sehen, daß die Fachwerkstäbe bei den unteren Knotenpunkt höhere Nebenspannungen als bei dem oberen erhalten, und auch höhere wie die unteren Gurtstäbe. Die Nebenspannungen des Pfostens wurden nicht bewertet, weil dieser ein Blindstab ist; soviel sei jedoch bemerkt, daß sich im Absolutwert ähnliche Spannungen wie im Falle des Pfostens 25—26 ergeben.

Nach den Meßdaten dürfen die Knotenpunkt-Nebenspannungen im Falle von Anschlüssen mit HV-Schraubenverbindungen nicht vernachlässigt werden.

3. Untersuchung des räumlichen Kräftespieles

Die Fachwerk-Hauptträger, der obere Windverband, die Portalrahmen, die Stahlbeton-Fahrbahnplatte und die Querträger tragen die Lasten gemeinsam; die Brückenkonstruktion arbeitet als räumliches Tragwerk. Durch diesen Umstand wird das Kräftespiel sämtlicher genannter Konstruktionsteile mehr oder weniger beeinflusst. Im Beitrag wird das räumliche Kräftespiel nur aus der Sicht der Hauptträger behandelt.

Deren Teilnahme im räumlichen Kräftespiel macht sich vor allem in zweifacher Weise geltend.

1. Die Untergurte der Hauptträger werden durch die in ihrer Nähe befindliche Stahlbeton-Fahrbahnplatte entlastet (Zusammenwirkung in Längsrichtung).

2. Die Hauptträger bilden mit dem oberen Windverband und der Fahrbahnkonstruktion einen geschlossenen Querschnitt, durch dessen Torsionssteifigkeit bei zu der Brückenachse außermittig wirkenden Lasten die Lastverteilung zwischen den Hauptträgern beeinflusst wird (Zusammenwirkung in Querrichtung).

Um diese Fragen zu beantworten, wurden die in den Hauptträgergurten auftretenden Kräfte an zwei Stellen untersucht (siehe Abb. 1):

a) annähernd in der Mitte der ersten Brückenöffnung (Gurtstäbe 9—11 bzw. 10—12);

b) in der zweiten (mittleren) Öffnung neben der Stütze (Gurtstäbe 25—27 bzw. 26—28).

Die Dehnungsmeßstreifen wurden in den Stabmittelquerschnitten in der Anordnung nach Abb. 3a aufgeklebt.

Die Laststellungen (Abb. 2) wurden so gewählt, daß sie hinsichtlich der Verdrehung der Brückenkonstruktion oder hinsichtlich der Gurtstabkraft aus torsionsfreier Belastung am ungünstigsten seien. Bei den für Verdrehung maßgebenden Belastungen war durch die unmittelbar neben der Bordschwelle aufgestellte LKW-Kolonne lediglich eine Fahrspur belastet; in einzelnen Fällen wurde die belastete Spur im Grundriß schachbrettartig gewählt. Durch den Wechsel der belasteten Spur je Öffnung sollte die Verdrehung an einem Durchlaufträger bzw. die Wirkung der die Verdrehung beeinflussenden Formänderung der Portalrahmen untersucht werden. Bei torsionsfreien Belastungen wurden beide Fahrspuren belastet; die Lastenanordnung in Längsrichtung wurde aufgrund der Gurtstabkraft-Einflußlinien bestimmt.

Aus den Meß-Grunddaten wurden auf die in Punkt 2 dargelegte Weise die im Querschnittschwerpunkt anfallenden Spannungen (σ_N) ermittelt, sodann wurde mit den den Entwürfen entnommenen Querschnittsdaten die Stabkraft berechnet. Bei der Prüfung des räumlichen Kräftespieles wurden im weiteren die aus den Messungen auf die vorstehende Weise errechneten Stabkräfte benutzt.

3.1. Zusammenwirkung des Fachwerk-Hauptträgers und der Fahrbahnkonstruktion in Längsrichtung

Bei der Untersuchung der Zusammenwirkung von Hauptträgern und Fahrbahn in Längsrichtung, wurden — um die Wirkung der Lastenanordnung in Querrichtung (also der Verdrehung) auszuschalten — die in den an gleichen Stellen der beiden Hauptträger angeordneten Gurtstäben auftretenden Kräfte summiert (ΣS_{gem}). Diese durch Messungen ermittelten Stabkraftsummen wurden dann mit den für die beiden Hauptträger aufgrund der Einflußlinien der statischen Berechnung errechneten Stabkräften (ΣS_{ber}) verglichen. So ließen sich sämtliche Laststellungen aus der Sicht des räumlichen Kräftespiels in Längsrichtung auswerten.

Bei der Bestimmung der Gurtstabkraft-Einflußlinien in der statischen Berechnung wurde die Zusammenwirkung zwischen den Hauptträgern und der Fahrbahnkonstruktion in Längsrichtung außer acht gelassen, vor allem, weil die Größe der für die Hauptträger voraussichtlich günstigen Zusammenwirkung wegen der Fahrbahnunterbrechung unsicher ist. Die für die Fahrbahnkonstruktion ungünstige Zusammenwirkung wurde selbstverständlich bei deren Bemessungen berücksichtigt.

Die Summe der Gurtstabkraft-Meßwerte wurde mit der Summe der ohne Berücksichtigung der Zusammenwirkung berechneten Werte verglichen. Die Abweichungen von den berechneten Gurtstabkraftsummen sind in den Tafeln V und VI prozentual angegeben.

Tafel V

Laststellung	% Erste Öffnung	
	Stab 9—11	Stab 10—12
	5	+ 9,5
6	+ 16,1	- 23,8
7	+ 9,5	- 20,4
8	+ 8,0	- 26,3

Tafel VI

Laststellung	% Zweite Öffnung	
	Stab 23—25	Stab 26—28
	1	- 2,3
2	+ 7,7	- 5,6
3	- 5,8	- 6,4
4	+ 16,4	+ 10,7

Im oberen Gurtstab in der ersten Öffnung (Stab 9—11) waren die Meßwerte für die Stabkräfte bei jeder Laststellung höher als die Rechenwerte. Bei torsionsfreien (in Querrichtung symmetrischen) Belastungen beträgt die Abweichung + 8,0% bzw. + 9,5%. Die größte Abweichung (+ 16,1%) ist bei »schachbrettartiger« Belastung (Laststellung 6) zu verzeichnen.

Im Falle des unteren Gurtstabes der ersten Öffnung (Stab 10—12) unterschreiten die gemessenen Stabkräfte in jeder Laststellung die Rechen-

werte. Bei torsionsfreien Belastungen beträgt die Abweichung $-20,4\%$ bzw. $-26,3\%$. Die größte Abweichung von der Berechnung war bei der einseitigen Laststellung 5 zu verzeichnen ($-28,0\%$).

Für den oberen (Stab 23—25) bzw. den unteren Gurtstab (Stab 26—28) in der zweiten Öffnung ergaben die Messungen in beiden Richtungen Abweichungen im Vergleich zu den Rechenwerten; diese schwankten für den oberen Gurtstab zwischen $-5,8\%$ und $+16,4\%$, für den unteren zwischen $-4,0\%$ und $+10,7\%$.

Ein Vergleich der Meßergebnisse mit den bei der ursprünglichen statischen Berechnung ermittelten Ergebnissen gestattet folgende Feststellungen zu machen:

1. In der Mitte der äußeren Öffnung macht sich bei den unteren Gurtstäben die entlastende Wirkung der Fahrbahnkonstruktion eindeutig geltend und äußert sich in einer Abnahme der Stabkraft um mindestens 20% .

2. Nach den Messungen erhalten die oberen Gurtstäbe in der Mitte der äußeren Öffnung eine zusätzliche Belastung, deren Höchstmeßwert $16,1\%$ beträgt. Die Ursache der zusätzlichen Belastung besteht darin, daß die Hauptträger und die Fahrbahnkonstruktion zusammenwirken.

3. Die in der Zwischenöffnung in der Nähe der Zwischenstütze gemessenen Gurtstabkräfte weisen in beiden Richtungen Abweichungen von den Rechenwerten auf. Diese Abweichungen lassen sich mit den durch die Fahrbahnunterbrechung verursachten Unsicherheiten erklären.

3.2. Verdrehung der Brückenkonstruktion

Für die Reduktion in Querrichtung auf die Hauptträger der im Verhältnis zur Brückenachse außenmittig wirkenden Nutzlast wurde in der statischen Berechnung eine Querverteilungslinie nach der Methode von CORNELIUS ermittelt [2]. Der dazu erforderliche Torsionswiderstand ($G \cdot J_D$) wurde annäherungsweise aufgrund eines Ersatzquerschnittes mit der Bredt'schen Formel berechnet. Der Ersatzquerschnitt wurde angesetzt wie folgt: die Fachwerkträgererebenen (oberer Windverband, Hauptträger) wurden durch ein gedachtes Stahlblech von der Scherverformbarkeit des Fachwerkes entsprechender Dicke, die Stahlbeton-Fahrbahnplatte durch ein gedachtes Stahlblech von im Verhältnis zum Schubmodul von Stahl und Stahlbeton reduzierter Dicke ersetzt. Man berechnete zwei Querverteilungslinien, eine für den Mittelquerschnitt der ersten, und eine für den der zweiten Öffnung.

Zur Untersuchung des tatsächlichen Torsionsverhaltens der Brücke wurde zuerst ermittelt, wie sich die bei Laststellungen von verschiedener Torsionswirkung gemessenen Stabkräfte in den gleichen Gurtstäben des östlichen bzw. des westlichen Hauptträgers prozentual zueinander verhalten (Tafel VII).

Tafel VII

Zeichen des Stabes	Laststellung	Gemessene prozentuale Kraftverteilung	
		Östl. Hauptträger, %	Westl. Hauptträger, %
9—11	5	61,4	38,6
	6	69,3	30,7
10—12	5	64,9	35,1
	6	67,3	32,7
23—25	2	68,4	31,6
	3	52,2	47,8
	4	74,8	25,2
	2	68,6	31,4
26—28	3	58,6	41,4
	4	72,9	27,1

Bei dem oberen Gurtstab in der ersten Öffnung (Stab 9—11) und bei dem unteren (Stab 10—12) brachte von den zwei Belastungen mit Torsionswirkung die »schachbrettartige« Laststellung 6 das ungünstigere Ergebnis, was selbstverständlich ist, weil eine Verdrehung der zweiten Öffnung in entgegengesetztem Sinne durch vertikale Verschiebung der Hauptträger zur Verdrillung des Mittelteils der ersten Öffnung beiträgt.

Für den oberen Gurtstab in der zweiten Öffnung (Stab 23—25) ist hinsichtlich der Torsionswirkung die Laststellung 4 die ungünstigste (74,8% bzw. 25,2%). Dieser Stab schließt sich unmittelbar an den Portalrahmen an. Auch nach Augenschein muß die Laststellung 4 aus der Sicht der Torsionswirkung die ungünstigste sein, weil bei dieser Belastung bei gleichsinniger Verdrehung der ersten wie der zweiten Öffnung die Formänderung des Portalrahmens in eigener Ebene am größten ist, wobei die Wirkung durch die Verdrehung der dritten Öffnung in entgegengesetztem Sinne erhöht wird. In der Laststellung 2 fällt die Belastung der dritten Öffnung weg, daher ist die Torsionswirkung geringer als bei Laststellung 4. Eine praktisch torsionsfreie Wirkung ist hier bei Laststellung 3 zu verzeichnen.

Bei dem unteren Gurtstab in der zweiten Öffnung (Stab 26—28) übt hinsichtlich der Verdrehung, ähnlich wie beim oberen Gurtstab, Laststellung 4 die ungünstigste Wirkung aus (72,9% bzw. 27,1%), doch ist hier die Lastverteilung in Querrichtung etwas günstiger als beim Obergurt. Auch hier ist bei Laststellung 3 die geringste Torsionswirkung zu verzeichnen.

In Kenntnis der Lastenanordnung in Querrichtung lassen sich aufgrund der Meßergebnisse aus sämtlichen Lastverteilungen in Querrichtung Querverteilungslinien rückrechnen. Die aufgrund der Messungen berechneten durch-

schnittlichen, die ungünstigsten sowie die aus der ursprünglichen statischen Berechnung ermittelten Querverteilungslinien sind in den Abb. 4 und 5 verglichen. Auch die einem einfachen Träger auf zwei Stützen entsprechende Querverteilungslinie ist hier dargestellt.

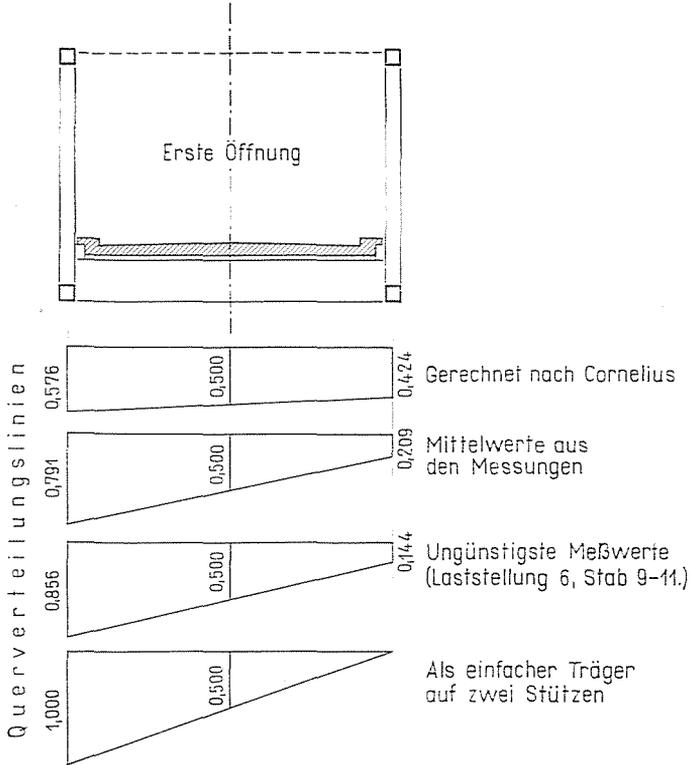


Abb. 4

Aufgrund eines Vergleiches der Meßergebnisse mit der ursprünglichen statischen Berechnung läßt sich folgendes feststellen:

1. In Übereinstimmung mit der Berechnung ist die gemessene durchschnittliche Lastverteilung in Querrichtung in der Mittelöffnung etwas ungünstiger als in der Seitenöffnung. Das macht sich auch im Falle der ungünstigsten Meßwerte bemerkbar.

2. Die gemessene Lastverteilung in Querrichtung ist in beiden Öffnungen ungünstiger als die in den statischen Berechnungen vorausgesetzte, die Torsionssteifigkeit der Brücke ist also tatsächlich geringer als jene, die bei den statischen Berechnungen berücksichtigt wurde. Das läßt sich dadurch erklären, daß in der statischen Berechnung ein formbeständiger Brückenquerschnitt und unendlich steife Portalrahmen vorausgesetzt wurden, während diese Voraussetzungen nach den Meßergebnissen nicht erfüllt werden.

3. Die gemessene Querlastverteilung steht der Lastverteilung eines einfachen Trägers auf zwei Stützen nahe (näher als der bei den statischen Berechnungen angenommenen Verteilung). Dadurch wird die Annahme bestätigt, daß bei Brücken ähnlicher Anordnung mit verhältnismäßig großer Stütz-

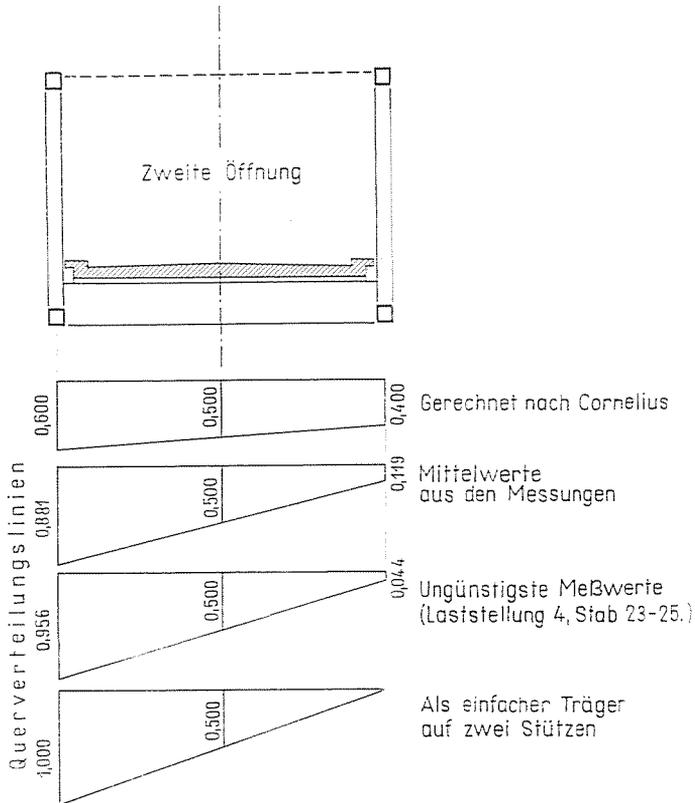


Abb. 5

weite — wegen der nicht gesicherten Formbeständigkeit des Brückenquerschnittes — eine geringe Torsionssteifigkeit vorliegen kann, so daß es oft zweckmäßig scheint, diese bei den Berechnungen zu vernachlässigen und in Querrichtung lediglich mit einer dem einfachen Träger auf zwei Stützen entsprechenden Lastverteilung zu rechnen.

Es muß überlegt werden, ob es sich lohne, diese geringe Torsionssteifigkeit durch genauere Berechnungen mit großem Rechenaufwand zu erfassen, da sich ihre Wirkung lediglich bei der Beanspruchung durch Kraftfahrzeuglast geltend macht, die sich wegen der größeren Stützweite neben den Beanspruchungen durch ständige Last und verteilte Nutzlast in der Gesamtbeanspruchung verhältnismäßig wenig bemerklich macht.

Zusammenfassung

Im Aufsatz werden die Ergebnisse von an einer dreifeldrigen Straßenbrücke in Fachwerk-Konstruktion mit untenliegender Fahrbahn durchgeführten statischen Messungen behandelt. Zuzolge des starren Anschlusses der als geschweißte Hohlkastenquerschnitte ausgebildeten Stäbe wurden bedeutende Nebenspannungen gemessen. Nach den Messungen besteht zwischen Fahrbahnkonstruktion und dem Hauptträger eine Zusammenwirkung in Längsrichtung. Die gemessene Lastverteilung in Querrichtung weist wegen der verhältnismäßig kleinen Torsionssteifigkeit der Brückenkonstruktion eine bedeutende Abweichung von den in den statischen Berechnungen vorausgesetzten Werten auf.

Schrifttum

1. HARTMANN—MELAN: Der Brückenbau. Franz Deuticke Verlag. Wien, 1951.
2. CORNELIUS: Über den Einfluß der Torsionssteifigkeit auf die Verdrehung von Tragwerken. MAN-Forschungsheft, Augsburg, 1951.

Oberassistenten BÉLA TÓTH und JÓZSEF VISONTAI, Budapest XI., Műgyetem rakpart 3. Ungarn.