

# DYNAMISCHE UNTERSUCHUNGEN AN DER TISZA-STRASSENBRÜCKE BEI TISZAFÜRED

Von

L. KRISTÓF und A. SZITNER

Lehrstuhl für Stahlkonstruktionen, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 2. April, 1969)

Vorgelegt von Prof. Dr. O. HALÁSZ

## Zweck und Durchführung des Versuches

Bei der Übergabeprüfung der Tisza-Straßenbrücke bei Tiszafüred wurde einerseits eine statische Probelastung durchgeführt, andererseits das Verhalten der Brückenkonstruktion unter Einwirkung von beweglichen Fahrzeugen untersucht.

Zweck der statischen Belastungsprobe war, die Richtigkeit des bei den Berechnungen angewandten mathematischen Modells zu überprüfen\*. Durch die dynamischen Untersuchungen sollten folgende Fragen beantwortet werden:

a) Wie verhält sich die Brücke bei einer sich im Schritt bewegenden, quasistatischen Last von großem Gewicht (Lastenzug-Einflußlinie).

b) Dynamisches Verhalten der Brückenkonstruktion bei Verkehrslast bei betriebsmäßiger Bewegung (dynamische Probelastung).

Durch die Untersuchungen wurden sowohl die Kastenträger-Verbundkonstruktion auf zwei Stützen in den Nebenöffnungen als auch die maßgebenden Stäbe der durchlaufenden Fachwerkbrücke (der Stromöffnungen) erfaßt.

Für die Belastung wurden Trailer hohen Gesamtgewichts in verhältnismäßig langsamer Bewegung bzw. mit Schotter beladene LKW benutzt.

Zum Messen der in den Konstruktionselementen entstehenden Spannungen wurden in den Prüfpunkten Dehnungsmeßstreifen BP 2/350 der Firma Huggenberger aufgeklebt. Die durch die Dehnungsmeßstreifen gewonnenen Meßzeichen wurden mit Hilfe eines 5-Kanal-Meßverstärkers KWS/5 T-5 der Firma Hottinger und eines dynamischen 8-Kanal-Meßverstärkers von Kyowa verstärkt. Die dynamischen Zeichen wurden durch einen an den Hottingerschen Meßverstärker angeschlossenen Hottinger-Hellige Direktschreiber Typ He 4t, bei der Dehnungsmeßbrücke von Kyowa durch einen sowjetischen Oszillographen Typ H 004 festgehalten.

Aus den durch die Messungen erhaltenen Dehnungswerten wurden die Spannungen mit einem Elastizitätsmodul  $E = 2,1 \cdot 10^6$  kp/cm<sup>2</sup> berechnet, und meistens mit den errechneten Spannungen verglichen.

\* Siehe ausführlich in: Tóth—Visontai: Statische Messungen auf der Tisza-Straßenbrücke bei Tiszafüred. Ibid., S. 173.

Schema der Brückenkonstruktion und Anordnung der Dehnungsmeßstreifen sind in Abb. 2 mit den Meßergebnissen zusammen dargestellt.

### Verhalten der Brückenkonstruktion bei quasistatischer Last

In Kenntnis der Achsenanordnung des bei der Belastungsprobe angewandten Trailers lassen sich die sogenannten Lastenzug-Einflußlinien für die Brückenkonstruktion bzw. für die untersuchten Konstruktionselemente berechnen. Durch diese werden die im untersuchten Glied unter einer gegebenen Lastgruppe entstehenden Spannungen bzw. die Beanspruchungen bezogen auf die Lage der Vorderachse des Belastungsfahrzeuges angegeben. Diese errechneten Spannungen, die das vorausgesetzte Verhalten der berechneten Konstruktion spiegeln, können mit den tatsächlichen Spannungen verglichen werden. Aus dem Charakter der Lastenzug-Einflußlinie folgt, daß diese ähnlich den Beanspruchungseinflüßlinien bei statisch bestimmten Trägern aus geraden Strecken zusammengesetzt ist, während für statisch unbestimmte Träger auch die Lastenzug-Einflußlinie einen gekrümmten Verlauf aufweist.

Ein Vergleich der Meß- bzw. Rechenwerte wurde dadurch ermöglicht, daß auf den durch das Registriergerät aufgezeichneten Dehnungsdiagrammen auch die jeweilige Stellung der Vorderachse des sich in der Brückenachse mit einer Geschwindigkeit von etwa 5 km/h bewegendes Fahrzeuges festgehalten wurde. Die dynamische Wirkung wurde durch diese langsame Fahrt eliminiert.

Die bei der Probelastung gemessene und die berechnete Lastenzug-Einflußlinie sind in Abb. 1 gegenübergestellt. Die entstehenden Spannungen wurden sowohl bei der Bewegung des Fahrzeuges in Richtung von Tiszafüred nach Poroszló als auch von Poroszló nach Tiszafüred in vier Punkten des Kastenträgers gemessen. Aus den Meßergebnissen wie aus deren Mittelwerten geht hervor, daß zwischen Berechnungs- und Meßergebnissen nur eine geringe Abweichung besteht, was umso überraschender scheint, weil sich der Elastizitätsmodul für den Beton der Verbundkonstruktion lediglich durch einen schätzungsmäßigen Wert berücksichtigen läßt.

In Abb. 2 sind die für einzelne Stäbe der Fachwerkbrücke aufgrund der gemessenen und berechneten Spannungen zusammengestellten Lastenzug-Einflußlinien dargestellt bzw. verglichen. In Abb. 2a wird die Anordnung der Meßstellen bzw. der überprüften Stäbe gezeigt; in der Abb. 2b bis 2g sind die Lastenzug-Einflußlinien dargestellt.

Bei den Lastenzug-Einflußlinien für den unteren und den oberen Gurt in der Mitte der Seitenöffnung der Fachwerkbrücke (Abb. 2b und 2c) wurden zwischen Rechen- und Meßwerten Abweichungen von etwa +20% (für den Obergurt — Meßwert höher als berechneter Wert) und -10% (Untergurt) verzeichnet. Diese Abweichung läßt sich beim Untergurt durch die Verbund-

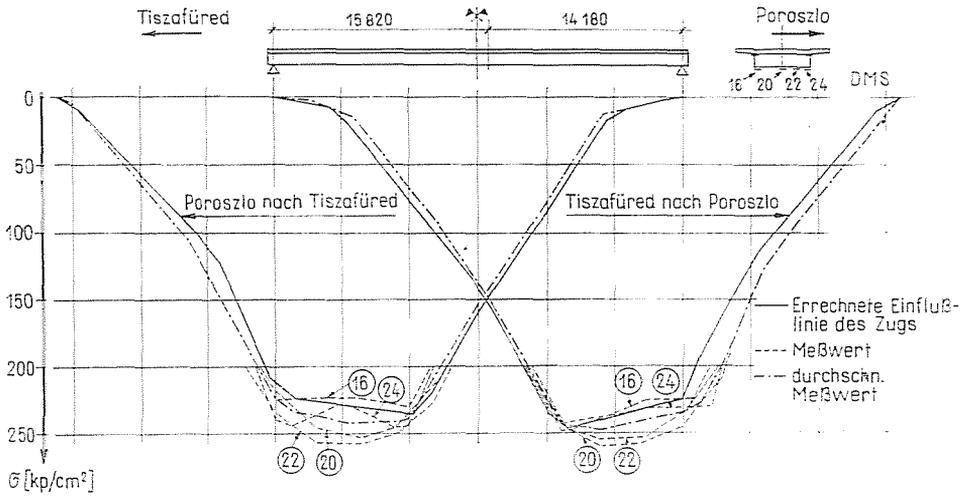


Abb. 1

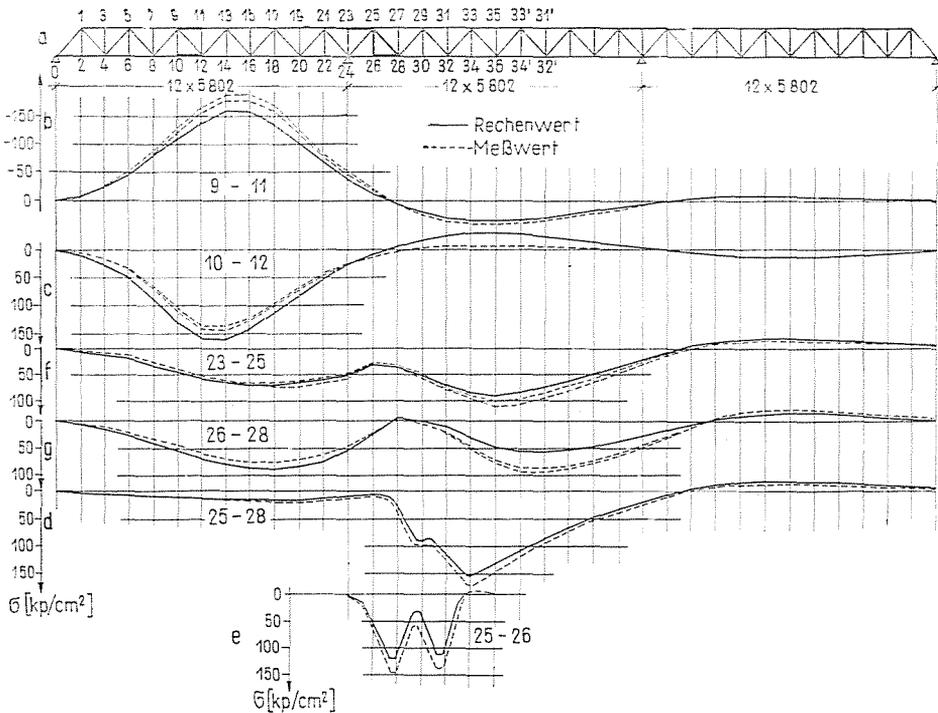


Abb. 2

wirkung zwischen Stahlbeton-Fahrbahnplatte und Untergurt erklären. Beim Obergurt mag der Grund für die Abweichung darin liegen, daß sich wegen der Verbundwirkung der Fahrbahnplatte der Schwerpunkt des Untergurtes anhebt, und sich deswegen der Obergurtarm entsprechend verkürzt, wodurch die Stabkraft im Vergleich zum Rechenwert zunimmt.

Bei den Meß- und Rechenwerten für den Fachwerkstab 25—28 neben der Zwischenstütze der Brückenkonstruktion (Abb. 2d) wurde eine Abweichung von etwa 10% festgestellt.

In Abb. 2e ist die Lastenzug-Einflußlinie für Stab 25—26 dargestellt. Aus der Abbildung ist klar zu entnehmen, daß bei Laststellungen vor Punkt 24 wegen der Unterbrechung der Fahrbahnplatte der Verbindungsstab überhaupt nicht beansprucht ist, während zufolge der Kontinuität der Fahrbahnplatte, die sich in der Mittelöffnung geltend macht, eine Abweichung von den berechneten Werten zu verzeichnen ist, die sich bei einer Übertragung im Falle eines Balkens auf zwei Stützen verwirklichen. Die Abweichung von etwa 20% zwischen Meß- und Rechenwerten läßt sich durch die außermittige Belastung des Verbindungsstabes erklären (diese Abweichung war bei der statischen Probelastung bemerkbar).

Meß- und Rechenwerte für den oberen Gurtstab 23—25 (Abb. 2f) sind auch in diesem Falle konform, doch übersteigt das Meßergebnis den berechneten Wert, was sich auch hier durch Verkürzung des Hebelarms der Zug-Druckkraft erklären läßt.

In Abb. 2g ist beim unteren Gurtstab 26—28 zwischen Meß- und Rechenwerten eine bedeutende Abweichung wahrzunehmen. Während sich das Maximum der berechneten Lastenzug-Einflußlinie in der Seitenöffnung befand, ergab sich bei sämtlichen Messungen sowohl für den östlichen als auch für den westlichen Hauptträger das Maximum einheitlich und in gleichem Maße in der Mittelöffnung. Während in der Seitenöffnung der Meßwert den Rechenwert um etwa 20% unterschreitet, ist in der Mittelöffnung das Meßergebnis um etwa 40% höher. In der Seitenöffnung läßt sich die Abweichung durch Verbundwirkung mit der Fahrbahnplatte erklären. Jene in der Mittelöffnung setzt sich wahrscheinlich aus zwei Teilen zusammen. Die eine Hälfte stammt aus der Näherungsmethode (etwa 15%), während die andere auf die Fahrbahnunterbrechung zurückgeführt werden kann. Die in der Fahrbahnplatte durch die Verbundwirkung mit dem Gurt entstehende Zugkraft wird nämlich über den Querträger beim Knotenpunkt 26 auf den Stab 26—28 wahrscheinlich als Druckkraft übertragen. Darauf kann auch aus der bedeutenden Horizontalbiegung geschlossen werden, die auf dem Querträger beim Knotenpunkt 26 und auf Stab 25—26, unter einer anderen Last gemessen wurde. Für die Unterstützung dieser Hypothese steht kein direktes Meßergebnis zur Verfügung.

### Verhalten der Brückenkonstruktion bei der Überfahrt von Fahrzeugen und Fahrzeuggruppen bei dynamischem Verkehr

Bei diesen Messungen erfolgte die Auswertung immer aufgrund der auf den Diagrammen verfolgbaren Änderungen der unter Einwirkung einer beweglichen Fahrzeuglast entstandenen Dehnungen. Ein Vergleich mit Dehnun-

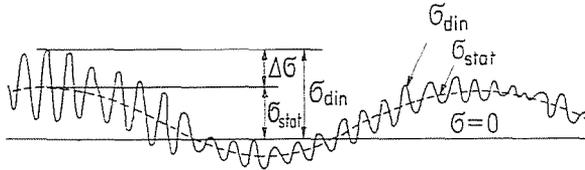


Abb. 3

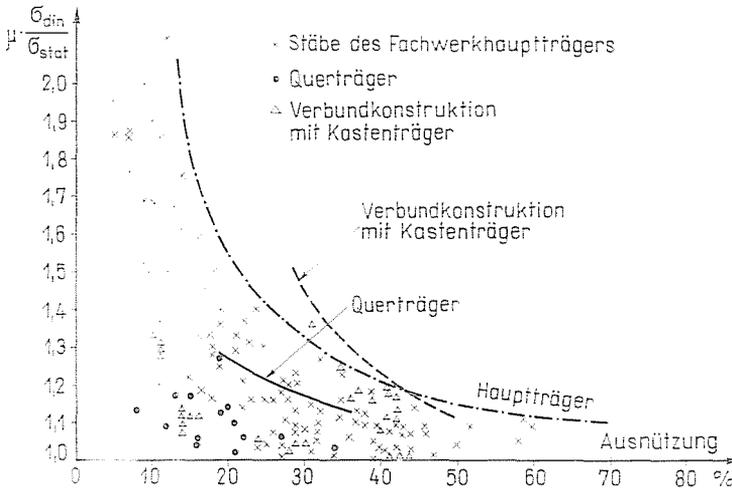


Abb. 4

gen unter statischer Last konnte bei der Auswertung lediglich für die Trailer-Lasten durchgeführt werden, deren Diagramme bereits zur Prüfung der im vorstehenden behandelten Lastenzug-Einflußlinien gedient hatten.

Wegen der Unregelmäßigkeiten der Spurlinien und Folgeabstände konnte für die Lastkraftwagen  $\sigma_{stat}$  lediglich durch direkte Analyse des Diagramms ermittelt werden. In Abb. 3 ist die Zerlegung von  $\sigma_{dyn}$  auf  $\sigma_{stat}$  und  $\Delta\sigma$  dargestellt.

Den Diagrammen wurden für jeden Belastungsfall zwei Wertreihen entnommen. Die Auswertung wurde einerseits bei den statischen Höchstspannungen durchgeführt, andererseits dort, wo der dynamische Anteil in Spannung ( $\Delta\sigma = \sigma_{dyn} - \sigma_{stat}$ ) ein lokales Maximum aufweist. In beiden Fällen wurden die Werte  $\sigma_{stat}$ ,  $\sigma_{dyn}$ ,  $\Delta\sigma$ ,  $\mu = \sigma_{dyn}/\sigma_{stat}$  ermittelt und die Quer-

schnittausnutzung bei dem zum jeweiligen Wert gehörigen  $\sigma_{stat}$  wurde im Vergleich zum Höchstwert  $\sigma_{stat}^{max}$  prozentuell angegeben.

Die für die gewählten Meßpunkte ermittelten dynamischen Kennwerte sind in Abb. 4 und 5 zusammengefaßt.

In Abb. 4 ist die Änderung des aus den Meßergebnissen nachträglich errechneten dynamischen Faktors mit Hilfe eines statistischen Datenhäufens dargestellt. Aus der Abbildung läßt sich eindeutig feststellen, daß mit zunehmender Ausnutzung der dynamische Faktor so stark abnimmt, daß die bei

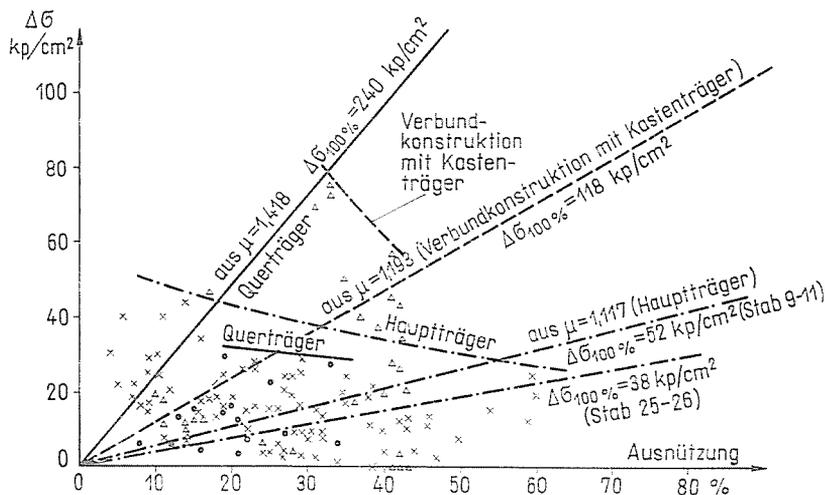


Abb. 5

einem Ausnutzungsgrad von 40 bis 50% erhaltenen Ergebnisse für die Beurteilung des dynamischen Verhaltens ein ganz falsches Bild ergeben können.

In Abb. 5 sind die dynamischen Anteile der Spannungen  $\Delta\sigma$  auch in Abhängigkeit von der Ausnutzung ebenfalls als statistischer Häufen dargestellt. In dieser Abbildung sind auch die Geraden, die den mit dem in der Richtlinie für Straßenbrücken angegebenen dynamischen Faktor errechneten dynamischen Mehrwert darstellen, aufgezeichnet.

Aus der Hüllkurve der Meßergebnisse ist in beiden Abbildungen eindeutig zu entnehmen, daß der dynamische Faktor mit der Zunahme der Ausnutzung stark abnimmt, wobei eine verhältnismäßige Abnahme der dynamischen Anteil der Spannungen zu verzeichnen ist; eine Bemessung mit Hilfe des dynamischen Faktors gibt also kein richtiges Bild vom Verhalten des Bauwerkes.

### Folgerungen aufgrund der Untersuchungen unter beweglicher Last

Aufgrund der quasistatischen Probelastung empfiehlt sich eine Klärung der Verbundwirkung der Fahrbahnträger, im vorliegenden Falle der Fahrbahnplatte. Das ist vor allem für die Bestimmung der Gurtstab-Hebelarme wichtig, weil eine Abnahme des Hebelarms der Zug-Druckkraft zur Zunahme der Obergurtkraft führt. Eine andere Frage des Verhaltens der Fahrbahnplatte, die zu klären ist, bezieht sich auf die Fahrbahnunterbrechung. Die Meßergebnisse zeigten nämlich bei mehrfach wiederholten Messungen, daß im unteren Gurtstab 26—28 neben der Fahrbahnunterbrechung bedeutend höhere Spannungen als berechnet entstehen.

Als eine Unzulänglichkeit der quasistatischen Messungen ist zu betrachten, daß wir in Mangel einer entsprechenden örtlichen Kontrolle gezwungen waren, für den Trailer eine fremde Abwägung anzunehmen, wodurch sich jedoch nach der Gesamtheit der Messungen lediglich eine Abweichung in der Höhe von einigen Prozenten ergeben konnte.

Die Ergebnisse der dynamischen Messungen lassen darauf schließen, daß ein dem auf Anregung des Internationalen Eisenbahnverbandes eingeführten — selbstverständlich Eisenbahnbrücken betreffenden — Verfahren ähnliches Bemessungsverfahren, das eine Bemessung aufgrund des dynamischen Anteils der Spannungen vorschlägt, auch für Straßenbrücken günstig angewandt werden könnte. Zur Unterstützung dieser Behauptung wären selbstverständlich neben den vorliegenden und den früher durchgeführten (Elisabethbrücke) noch weitere Messungen erforderlich.

### Zusammenfassung

Unlängst wurde in Tiszafüred eine verschweißte Straßenbrücke erbaut. Der Bauherr ließ bei der Übergabe neben einer statischen Belastungsprobe auch dynamische Untersuchungen durchführen, bei denen von den Verfassern einerseits die Frage der Verbundwirkung zwischen Stahlkonstruktion und Stahlbeton-Fahrbahnplatte untersucht, andererseits ein Vergleich zwischen den verschiedenen dynamischen Bemessungsverfahren angestellt wurde, wobei die für die Brücke erhaltenen Meßergebnisse auch aus dieser Sicht ausgewertet wurden. Nach Meinung der Verfasser erhält man auch für diese Konstruktion durch Bemessung aufgrund des dynamischen Anteils der Spannungen ein genaueres Ergebnis.

Forschungsingenieure LÁSZLÓ KRISTÓF, ANTAL SZITTNER, Budapest XI.,  
Műgyetem rakpart 3. Ungarn.