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

Band: 9 (1972)

Artikel: Kontrollmessungen an Brückenkonstruktionen

Autor: Szittner, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-9613

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: 09.08.2025

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

Kontrollmessungen an Brückenkonstruktionen

Control Measurements of Bridges

Mesures de contrôles de ponts

A. SZITTNER
TU Budapest, Lehrstuhl für Stahlkonstruktionen
Budapest, Ungarn

Die Mitarbeiter des Lehrstuhles für Stahlkonstruktionen der TU Budapest haben in den letzteren Zeiten an den in Ungarn gebauten verschiedenen Brückenkonstruktionen Kontrollmessungen durchgeführt, um die wirkliche und theoretische Kräftespiele gegenüberzustellen. Die Messungen wurden in fünf Gruppen klassiert:

1. Traditionelle Probebelastung,
2. Lastenzug-Einflusslinie,
3. Dynamisches Verhalten der Brücken,
4. Feststellung des Brückenzustandes,
5. Kontrollmessungen während des Baues.

Die Mess- und Auswertungsmethode bzw. die Folgerungen werden auf Grund der Messungen an den untenstehenden Strassenbrückenkonstruktionen vorgestellt:

a/ Hängebrücke mit Spannweite 44 + 290 + 44
b/ Verbundkonstruktion mit Kastenträger (Spannweite: 30 m)
c/ Durchlaufende Fachwerkbrücke mit Eisenbeton-Fahrplatte als Verbundkonstruktion mit Querträger (Spannweite: 3x70 m)
d/ Durchlaufende Verbundkonstruktion mit Kastenträger (Spannweite: 3x25 + 40 + 2x25 m)
e/ Durchlaufende Vollwand-Verbundkonstruktion mit Freikabel-Vorspannung (Spannweite: 57 + 67 + 57 m).

1. Traditionelle Probebelastung

Der Inbetriebnahme der Brücken geht immer ein amtlicher Prozess, die Probebelastung voran, wo den Vorschriften nach, nur die Durchbiegungen gemessen werden sollen. So wird das Kräftespiel und das Verhalten der Konstruktion im Ganzen kontrolliert. Im wissenschaftlichen und praktischen Sinne ist es aber auch wichtig, die wirklichen Spannungen und Beanspruchungen der Brückenelemente mit den theoretischen Werten, gewonnen an den mathematischen Modellen, zu vergleichen.

Durch die Messungen werden

die örtlichen Spannungen und Spannungsspitzen,
die Knotenpunkt-Nebenspannungen,
die Querverteilung und Torsionssteifigkeit, und
die Fahrbahn-Mitwirkung

kontrolliert.

Als Mess-System wurden bei den obenerwähnten Aufgaben Dehnungsmess-Streifen (DMS) mit Messverstärker und mit Registriereinrichtung, oder Dehnungsmesser mechanischen Systems angewendet.

Über die Messungen der örtlichen Spannungen kann nichts Neues gesagt werden. Um die Knotenpunkt-Nebenspannungen festzustellen, wurden die Spannungen (Dehnungen) neben den ausgewählten Knotenpunkten auf jedem Stab bei der Stabmitte und neben dem Knotenblech in den 4 Eckpunkten der Querschnitten gemessen. Auf Grund des Bernoulli-Navier-Satzes werden aus den Messergebnissen die Werte σ_N, σ_{Mx}, σ_{My} und σ_W gerechnet. Auf der Brückenkonstruktion nach Abb.4. in den Knotenpunkten 25 und 28 wurden die Nebenspannungen festgestellt. Bei den Gurtstäben sind die gemessenen Werte ein wenig höher als die gerechneten Werte nach Hartmann-Melan [1], aber bei den Diagonalen, wo die Stabkräfte bzw. die σ_N-Spannungen im absoluten Sinne kleiner sind, sind die Nebenspannungen prozentuell viel höher. Auf Abb.1. wurde die Tendenz vorgestellt, dass die Knotenpunkt-Nebenspannungen mit der Zunahme der Ausnützung des Stabes sich vermindern. Die Nebenspannungen waren immer beachtlich [2].

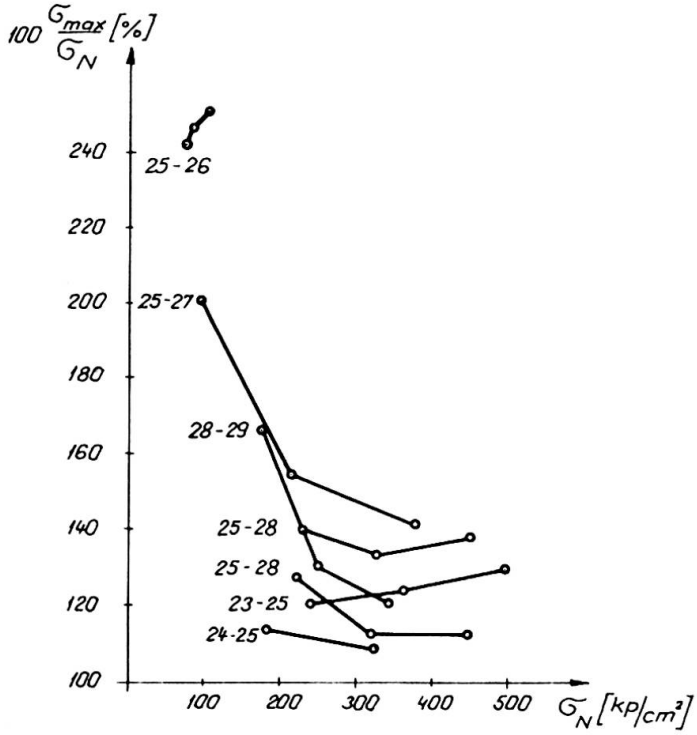


Abb.1.

Auf dieser Brücke wurde auch die Querverteilung kontrolliert. Die Messergebnisse und die Werte - gerechnet nach Cornelius [3] - zeigten weder bei symmetrischer, noch bei asymmetrischer Belastung gute Übereinstimmung. Die Messergebnisse unterstützten viel mehr eine Rechenmethode wobei die Konstruktion als einfacher Träger auf zwei Stützen gerechnet wurde (Abb.2.).

An der selben Konstruktion wurde auch die Mitwirkung der Fahrbahnkonstruktion überprüft. Die Spannungen in dem Untergurt sind wegen der Mitwirkung der Fahrbahnplatte etwa 20-30 % kleiner, als die ohne Mitwirkung gerechneten Werte. Dementsprechend sind aber die Obergurt-Kräfte durch die Verkürzung des Hebelarmes der Zug-Druckkraft etwa 10-15 % höher, als die Werte einfach berechnet.

Diese Differenz vermindert sich bedeutend neben den Stützen, wo die Fahrbahnplatte untergebrochen ist.

2. Lastenzug-Einflusslinien

Im Laufe der traditionellen Probebelastung werden die bei einer genau bestimmten Achsenanordnung gemessenen und berechneten Deformationen und Spannungen verglichen. Man bekommt aber ein besseres Bild über das Verhalten der Konstruktion, oder Konstruktionselemente, wenn die Belastung mit der Hilfe eines in der Fahrbahnachse sich langsam bewegenden Schwerlastwagens wirkt, und die Spannungen und Deformationen mit einer Registriereinrichtung aufgenommen werden. Die auf Grund der Einflusslinien gerechneten Werte werden den wirklichen Registratumwerten gegenübergestellt.

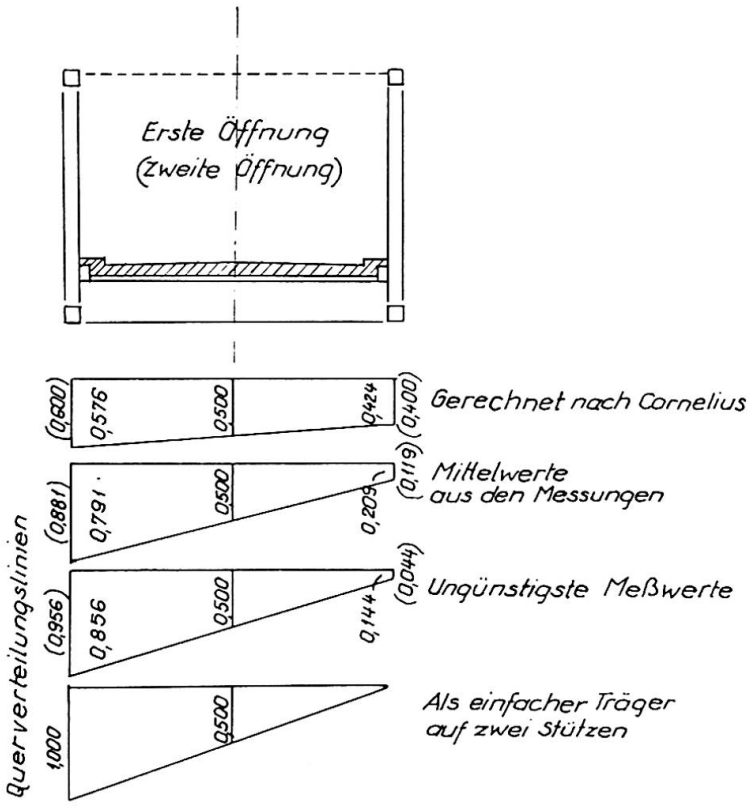


Abb.2.

Abb.3. zeigt die Gegenüberstellung der Lastenzug-Einflusslinie bei einer Verbund-Konstruktion mit Kastenträger (l = 30 m). Die auf den verschiedenen Punkten des Kastenträgergurtes gemessenen Spannungen zeigen gut die Spannungsverteilung der Brücke. Der Durchschnittswert der Messergebnisse stimmt sehr gut mit dem gerechneten Wert [4].

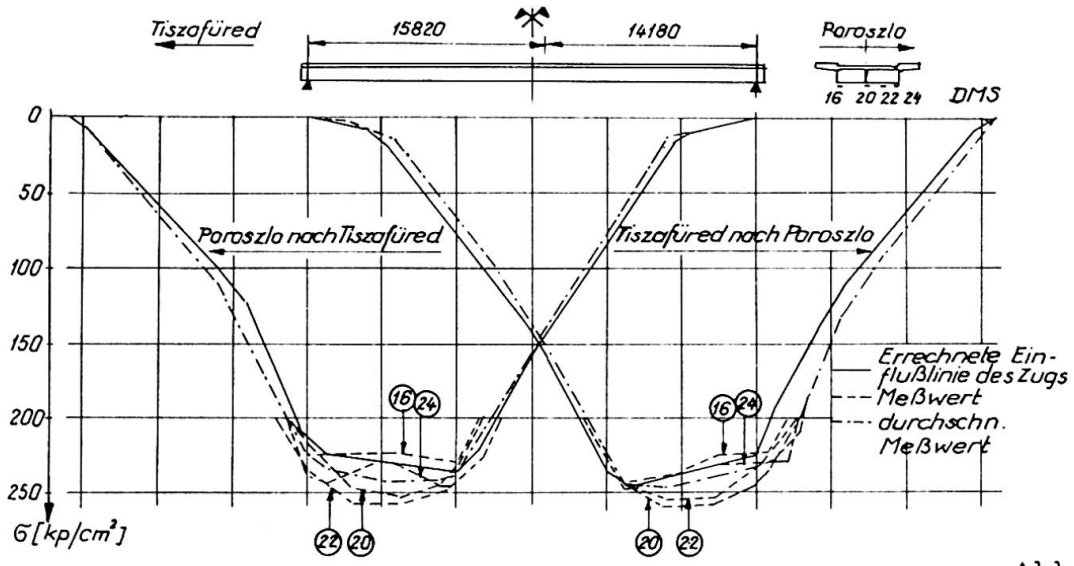


Abb.3.

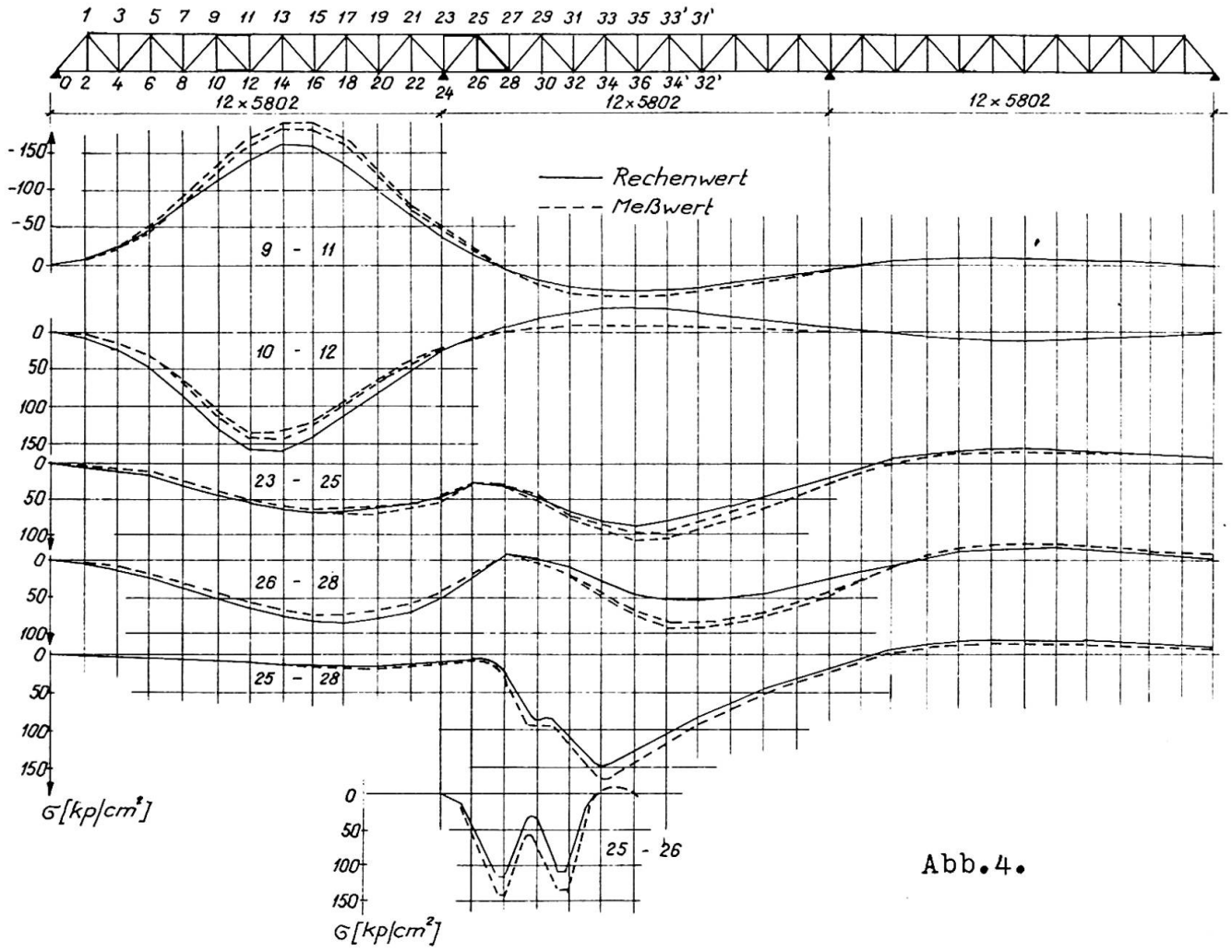

1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29 31 33 35 33' 31'
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 34' 32'
12 × 5802
12 × 5802
12 × 5802
Rechenwert
Meßwert
9 - 11
10 - 12
23 - 25
26 - 28
25 - 28
25 - 26
σ [kp/cm²]

Abb. 4.

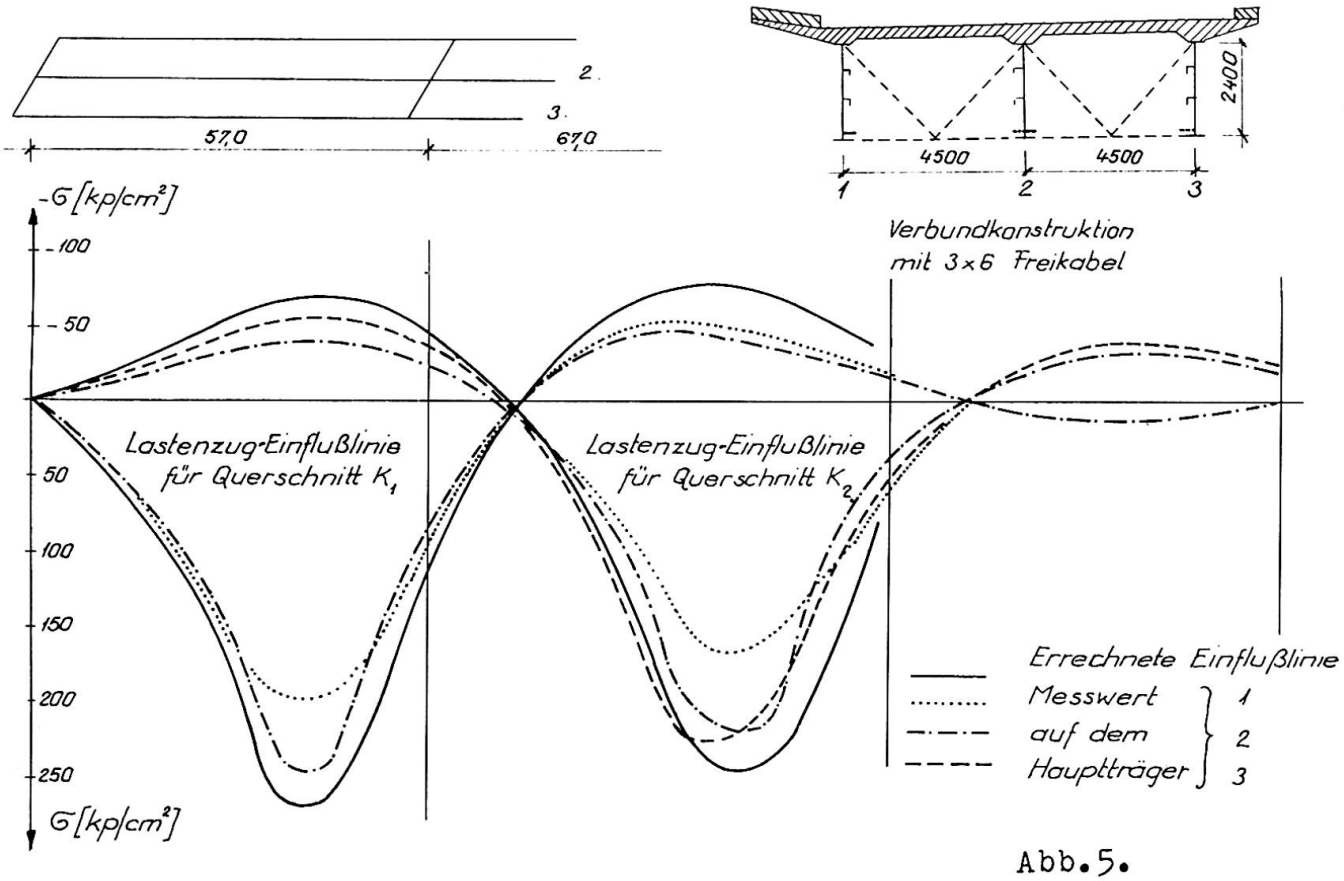

57,0
67,0
2.
3.
2400
4500
4500
1
2
3
Verbundkonstruktion
mit 3×6 Freikabel
σ [kp/cm²]
Lastenzug-Einflußlinie
für Querschnitt K1
Lastenzug-Einflußlinie
für Querschnitt K2
Errechnete Einflußlinie
Messwert
auf dem
Hauptträger
1
2
3
σ [kp/cm²]

Abb. 5.

Auf Abb.4. sind die Lastenzug-Einflusslinien für die Stabspannungen eines durchlaufenden Fachwerkträgers zu sehen. Der Ursprung der Abweichung zwischen den gerechneten und gemessenen Spannungen ist auch jetzt die Mitwirkung der Fahrbahnplatte. Deswegen ist die Obergurtkraft etwa 20 % höher, die Untergurtkraft etwa 10 % niedriger, als die ohne Mitwirkung der Fahrbahnplatte gerechneten Werte. Bei dem Obergurt 23-25 gab es in der Seitenöffnung infolge der Fahrbahnplatten-Unterbrechung keine bedeutende Differenz, aber in der Mittelöffnung war die Differenz schon beachtlich.

In dem Gurtstab 26-28, wo die Stabkräfte etwas kleiner sind, ist die Abweichung ein bischen grösser. Die Differenz meldet sich besonders in dem Charakter der Einflusslinie. Bei den Diagonalen 25-28 und 25-26 ist die Abweichung nicht bedeutend.

Die Lastenzug-Einflusslinien geben ein sehr gutes Bild über die Querverteilung der kastenartig ausgebildeten Brückenquerschnitten. Als Beispiel werden die Messergebnisse einer mit äusseren Kabeln gespannten, schrägen, durchlaufenden Verbundkonstruktion erwähnt (Abb.5.). Wegen des schrägen Grundrisses und der asymmetrischen Fahrbahn-Anordnung sind die Spannungen in den drei Hauptträgern verschieden, andererseits wegen der besseren Betonqualität etwas kleiner, als die nach dem Entwurf gerechneten Werte.

3. Dynamisches Verhalten der Brücken

Die meisten Bemessungsvorschriften berücksichtigen die aus der Bewegung stammende dynamische Zusatzlast mit einem sogenannten dynamischen Faktor, der von der Art der Brücken abhängt und mit der Spannweite sich vermindert. Bei einer konkreten Konstruktion ist die Zusatzlast proportional mit der Nutzlast. Diese Voraussetzung wurde durch die experimentellen Werte nicht unterstützt. Deshalb bestrebte man theoretisch oder experimentell einen Zusammenhang, der das dynamische Verhalten der Brücken treu spiegelt. Die Grunderscheinungen und die Grundgleichungen der Lösung sind theoretisch klar (Effekt von Timoshenko, Zimmermann, usw.), aber eine allgültige Superpositionsregel oder ein Zusammenhang der dynamischen Wirkung ist wegen der zeitlichen und räumlichen Zufälligkeit der Lasten unmöglich zu finden.

Aus diesem Grunde hat der UIC-ORE (Internationaler Eisenbahnverband, Forschungs- und Versuchsamt) für Eisenbahnbrücken eine umfangreiche Experiment-Serie angefangen und die Messergebnisse ausgewertet. In der zusammenfassenden Veröffentlichung [5] hat der ORE die eindeutige Folgerung festgestellt, dass es unmöglich ist, die wirkliche dynamische Wirkung in geschlossener Form sogar bei zwangsbahnartiger Eisenbahn-Belastung festzustellen. Die Anwendung des dynamischen Faktors als Bemessungsmethode spiegelt das wirkliche Kräftespiel nicht.

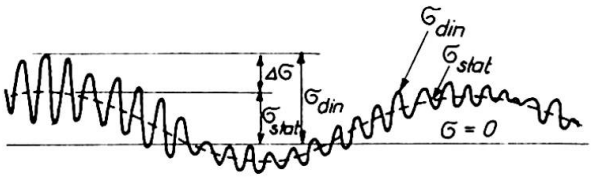


Abb.6.

Gleichzeitig mit den anderen Probebelastungen wurde in dem Geist der Arbeit von UIC-ORE auch dynamische Probebelastung durchgeführt, wo die Lastkraftwagen auf der Brücke in verschiedenen Gruppen und mit verschiedener Geschwindigkeit gefahren wurden.

Die Auswertung der Registraten wurde nach der Abb.6 gemacht. So wurden die charakteristischen Werte von σ_{stat}, σ_{din}, $\mu = \sigma_{din}/\sigma_{stat}$ und $\Delta\sigma = \sigma_{din} - \sigma_{stat}$ für jede Fahrt festgestellt. Mit verschiedenen Lastgruppen wurde erreicht, dass die Ausnützung der Träger verschieden sei. Als Ausnützung wurde ein prozentuelles Verhältnis zwischen dem Messwert σ_{stat} und dem Rechenwert $\sigma_{stat,max}$ genommen.

So wurden die Ergebnisse als Funktion der Ausnützung erstens auf Grund des dynamischen Faktors μ, zweitens auf Grund des dynamischen Mehrwertes $\Delta\sigma$ aufgezeichnet. Wenn die Hüllkurve dazu eingezeichnet wird, ist der Charakter des dynamischen Faktors, bzw. des dynamischen Mehrwertes sehr schön zu sehen.

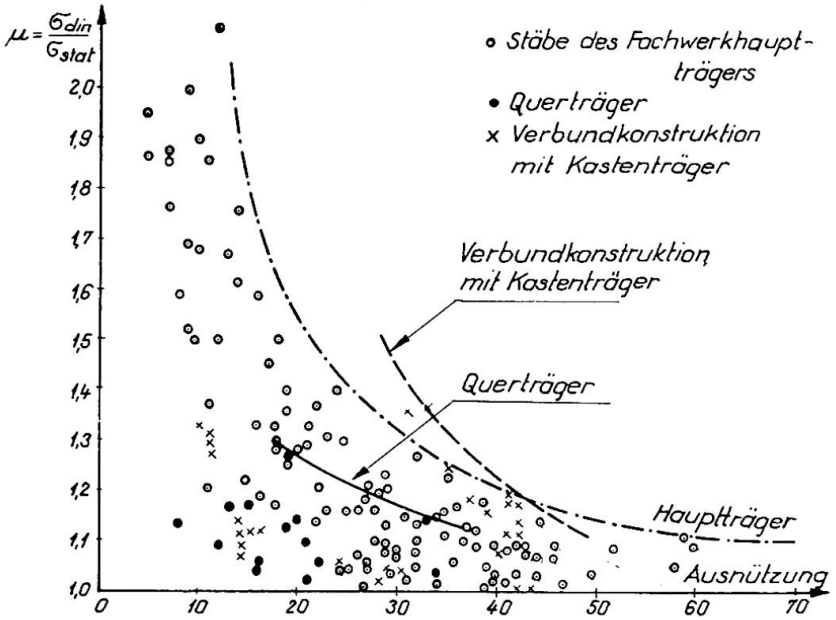


Abb.7.

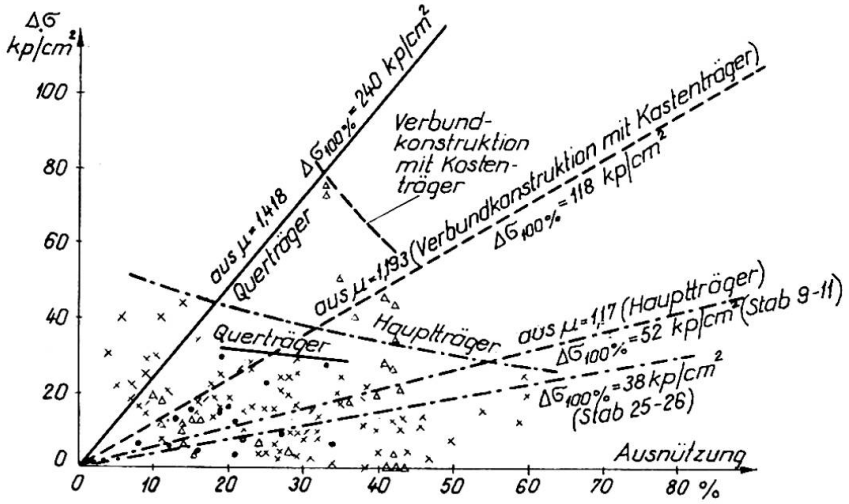
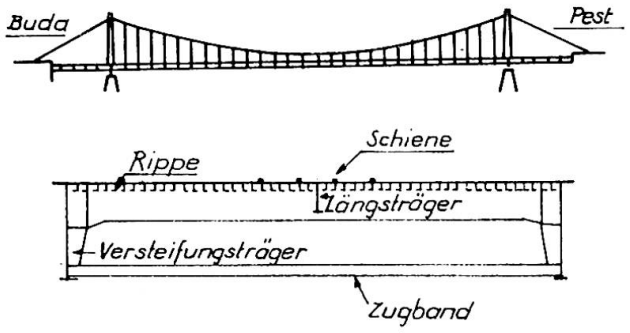


Abb.8.

Als Beispiel wird auf den Abbildungen 7. und 8. die Auswertung der Messergebnisse der Brücke von Tiszafüred (Fachwerkträger und Vollwandträger siehe auf Abb.3,4); auf der Abb.9. die Auswertung der Messergebnisse der Elisabeth-Brücke, und auf Abb.10. die Auswertung der Messergebnisse einer durchlaufenden Verbundkonstruktion vorgestellt.



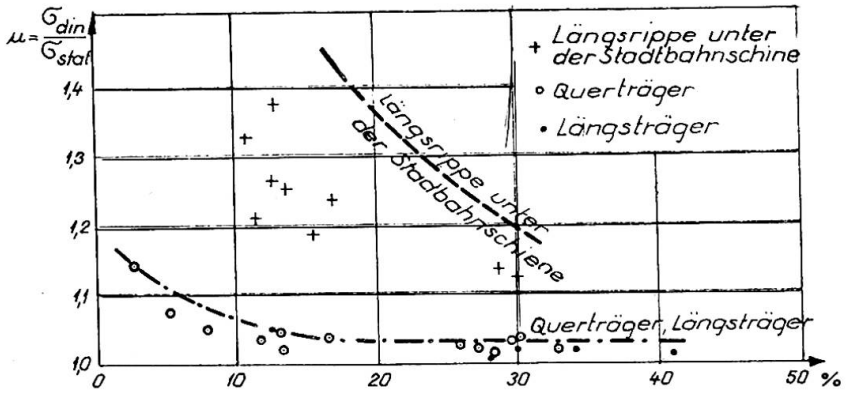


Abb.9.

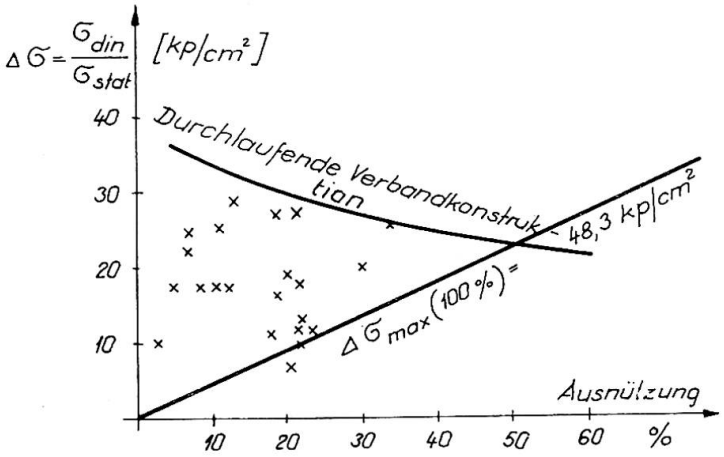


Abb.10.

Auf Grund der Messergebnisse wurden die nachstehenden Folgerungen festgestellt:

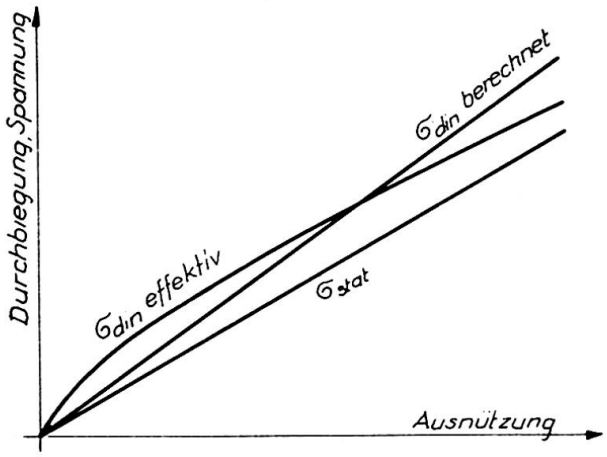


Abb.11.

a/ Der Wert von $\sigma_{din}/\sigma_{stat}$ ist kein Konstant, es vermindert sich mit dem Wachsen der Ausnützung.

b/ Der dynamische Mehrwert ($\sigma_{din} - \sigma_{stat}$) vermindert sich in Tendenz, oder stagniert.

c/ Die dynamische Vollbelastung der Strassenbrücken ist unmöglich. Unseren Erfahrungen nach ist die maximale Ausnützung etwa 60-70 %.

d/ Bei der Dimensionierung der Strassenbrücken wäre auch richtiger, so wie es von UIC-ORE vorgeschlagen wurde, statt des dynamischen Faktors den dynamischen Mehrwert anzuwenden (Abb.11.).

4. Feststellung des Brückenzustandes

Bei den neueren Brückenkonstruktionen, besonders bei den Stahlbeton- und Verbundkonstruktionen, wurden auf Grund des Vorschlages von I. Illésy die Eigenfrequenzen der Konstruktion auch gemessen. Es ist nämlich selbstverständlich, dass die nicht gut sichtbaren mechanischen Aenderungen (Risse, Stützenbewegungen usw.) auch die gut messbare Eigenfrequenz verändern können. Die Eigenfrequenzmessungen sind auf den neueren Brücken durchgeführt und ständig kontrolliert worden. Über die Erfahrungen kann noch nicht berichtet werden.

5. Kontrollmessungen während des Baues

Im Laufe der Bauzeit ist es sehr wichtig, besonders bei den durchlaufenden Verbundkonstruktionen und bei den vorgespannten Konstruktionen das wirkliche Montage-Kräftespiel und die Wirkung der verschiedenen Montagephasen (Stützensenkung, Belastung, Vorspannung usw.) zu beobachten. Diese Aufgabe benötigt eine Messmethode, wo die Messprozesse während der verhältnismässig langweiligen Bauzeit weitergeführt und die Messelemente aufbewahrt werden können. Ausserdem soll die Wirkung der Temperaturänderung beseitigt werden. Bei solchen Aufgaben wurde als Messinstrument der Setzdehnungsmesser Bauart Pfender sehr gut angewendet, der mit einer Messlänge von 100 mm, mit entsprechender Temperaturkompensation, eine Genauigkeit vont 20 kp/cm^2 sichert. Mit dieser Methode wurde in Ungarn der Bau von zwei durchlaufenden Verbundkonstruktionen in der Bauzeit durch mehrere Monate ständig kontrolliert.

Literatur

[1] Hartmann-Melan: Der Brückenbau. Franz Deuticke Verlag, Wien, 1951.

[2] Tóth-Visontai: Statische Messungen an der Strassenbrücke über die Theiss bei Tiszafüred. Periodica Polytechnica Vol. 13. No 3-4. Budapest 1969.

[3] Cornelius: Über den Einfluss der Torsionssteifigkeit auf die verdrehung von Tragwerken. MAN-Forschungsheft, Augsburg, 1951.

[4] Kristóf-Szittner: Dynamische Untersuchungen an der Tisza-Strassenbrücke bei Tiszafüred. Periodica Polytechnica Vol. 13. No 3-4. Budapest 1969.

[5] Frage D 23. Ermittlung der dynamischen Beanspruchungen von Brücken. Bericht üver den Vorversuch an der Rhonebrücke Riddes der SBB. UIC-ORE, Utrecht, 1957.

Zusammenfassung

Der Lehrstuhl für Stahlkonstruktionen der TU Budapest hat an verschiedenen neugebauten Stahlbrücken Kontrollmessungen durchgeführt. Mittels dieser Messungen wurden die auf theoretischem Grunde gerechneten Werte des Kräftespieles, der Querverteilung, der Torsionssteifigkeit, der Knotenpunkt-Nebenspannungen, das dynamische Verhalten der Strassenbrücken und das Kräftespiel in verschiedenen Bauphasen kontrolliert. Der Diskussionsbeitrag gibt einen Überblick über die Messmethoden und die Ergebnisse.

Leere Seite
Blank page
Page vide