

# Ueber die durch Trägerroste und Platten versteiften Hängebrücken

Autor(en): **Amstutz, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **123/124 (1944)**

Heft 14

PDF erstellt am: **20.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-53916>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INHALT: Ueber die durch Trägerroste und Platten versteiften Hängebrücken. — Wärme- und Feuchtigkeits-Isolation von Dächern. — Das Projekt der Wärmepumpenanlage des neuen Kantonspitals Zürich. — Sozialer Wohnungsbau und Siedlungsbau. — Prof. Dr. M. Roß 20 Jahre Direktor der EMPA. — Mitteilungen: Altersheime. Die Klärgasaufbereitungsanlage der Stadt Zürich. Methangas-Stahlgussbehälter, Bauart

Sulzer. Kurs für Psychologie für Vorgesetzte. Archiv für Handel und Industrie der Schweiz. Cours de géotechnique à l'Ecole d'Ingénieurs de Lausanne. Die Aerodynamische Wärmekraftmaschine. Eidg. Technische Hochschule. Technikum Winterthur. — Wettbewerbe: Ueberbauung des Schlittwiesenareals in Oberwinterthur. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Vortrags-Kalender.

## Band 123

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich  
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

## Nr. 14

## Ueber die durch Trägerroste und Platten versteiften Hängebrücken

Von Dipl. Ing. E. AMSTUTZ, Eisenbau-gesellschaft Zürich

Die übliche Ausbildungsform der Hängebrücken weist zwei Kabel oder Ketten mit den daran aufgehängten Haupt- oder Versteifungsträgern auf. Die Fahrbahn wird durch einen Rost von Quer- und Längsträgern getragen. Schon bei diesem Normaltyp beteiligen sich die Längsträger mehr oder weniger an der Aussteifung der Kabel, ohne dass dies in der Berechnung berücksichtigt wird. Die Folge dieser Vereinfachung ist, dass die beiden Tragseiben, bestehend aus Kabeln oder Ketten und Hauptträgern, für jeden Belastungsfall unabhängig voneinander untersucht werden können. Nun sind aber Systeme denkbar, bei denen diese Voraussetzungen nicht mehr zutreffen.

Für mittelmässige Spannweiten scheint mir eine Lösung mit gleich starken Haupt- und Längsträgern wirtschaftlich. Für kleine Spannweiten ist es sogar möglich, auf die Hauptträger überhaupt zu verzichten, sodass eine nur durch Längsträger innerhalb der Kettenebenen ausgesteifte Brücke vorliegt. Endlich ist auch der Fall denkbar, dass die Aussteifung nur durch die Fahrbahnplatte erfolgt, oder dass die Fahrbahnplatte mindestens eine wesentliche Versteifung darstellt. Diese für kleinere Spannweiten wirtschaftlichen Systeme dürften gerade bei uns Bedeutung erlangen, weshalb im folgenden die hierfür entwickelte Theorie dargelegt und ein Anwendungsbeispiel beschrieben wird.

Für mittig belastete Fahrbahn wird die folgende Darlegung nichts Neues bringen. Hingegen werden für den Fall der einseitigen Belastung, die für die skizzierten Brückentypen, im Gegensatz zum Normaltyp für den Spannungsnachweis massgebend ist, zusätzliche Widerstände aus dem ungleichen Kabelzug und aus der Torsionssteifigkeit der Fahrbahnanteile berücksichtigt. Die Frage der Verformungen aus einseitiger Belastung ist auch in Hinsicht auf die Begrenzung der Fahrbahnquerneigung von Bedeutung, da diese für die Verkehrssicherheit wichtiger sein kann als das Mass der grössten Durchbiegung an sich.

Hängebrücken sind auch bei relativ kleiner Spannweite im Vergleich zu ihrer Breite verhältnismässig lang, die Verformung der Querträger im Vergleich zu den Längsträgern daher sehr klein. Mit gutem Recht dürfen wir also die Querträger als starr in die Berechnung einführen, woraus folgt, dass die Längs- und Hauptträger-Durchbiegungen linear über die Brückenbreite verteilt sind. Weiter nehmen wir zur Vereinfachung den normalen Fall einer zur Brückenachse symmetrischen Tragwerksausbildung an, in der Meinung, dass für ein allfälliges auftretendes unsymmetrisches Tragwerk die Theorie leicht auf diesen Fall erweitert werden kann.

Wir untersuchen zuerst die Ausbildung mit dichter Verteilung von Querträgern und Hängestangen, sodass ihre Reaktionen als verteilte Belastungen in die Berechnung eingeführt werden können. Diese Annahme trifft im allgemeinen bei grösseren Spannweiten zu.

Unter der gemachten Voraussetzung starrer Querträger genügt es zur Festlegung des Verformungsbildes, die Durchbiegungen  $\eta_1$  und  $\eta_2$  der beiden Kabel anzugeben, die wir zweckmässig in den symmetrischen Anteil  $\eta_s$  und den antisymmetrischen Anteil  $\eta_a$  aufteilen. Die Durchbiegung irgend eines Längsträgers «i» ist dann mit den Bezeichnungen der Abb. 1 gegeben durch

$$\eta_i = \eta_s + \frac{e_i}{b} \cdot \eta_a \quad (1)$$

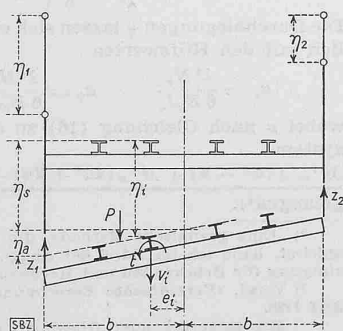


Abb. 1. Belastungen und Verformungen des Querträgers

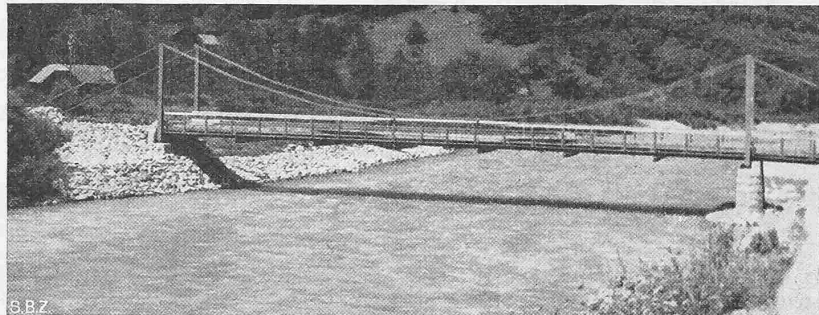


Abb. 5. Kettenbrücke ohne Hauptträger

Bew. 28. X. 43 BRB 3. X. 39

Die Querträger, die wir in Partien der Breite «1» zusammengefasst denken, sind folgenden Belastungen ausgesetzt:

Erstens der äusseren Belastung (ständige Last, Verkehrslast), die wir in die beiden Auflagerdrücke  $p_1$  und  $p_2$ , bezw. in deren symmetrischen und antisymmetrischen Anteil  $p_s$  und  $p_a$  zerlegen.

Zweitens der Reaktion der Hängestangen, ausgedrückt durch

$$z = -H_p \cdot y'' - H_{g+p} \cdot \eta'' \quad (2)$$

worin  $H$  den Horizontalzug,  $y$  den Durchhang der Kette bezeichnen.

Nehmen wir an, dass der erste Anteil bereits als äussere Belastung  $p$  eingeführt sei, so haben wir noch den Formänderungsanteil zu berücksichtigen. In diesem Anteil ersetzen wir nach bekannter Methode die Totalhorizontal-Komponente  $H_{g+p}$  des Kabelzuges durch einen geschätzten Festwert  $N^1$ ) und wir haben daher für die Kabelbelastungen die Ansätze

$$\left. \begin{aligned} z_1 &= -N_1 \cdot \eta_1'' \\ z_2 &= -N_2 \cdot \eta_2'' \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

und

$$\left. \begin{aligned} z_s + z_a &= -(N_s + N_a) (\eta_s'' + \eta_a'') \\ z_s - z_a &= -(N_s - N_a) (\eta_s'' - \eta_a'') \end{aligned} \right\} \quad (3a)$$

oder in explizierter Form

$$\left. \begin{aligned} z_s &= -N_s \cdot \eta_s'' - N_a \cdot \eta_a'' \\ z_a &= -N_s \cdot \eta_a'' - N_a \cdot \eta_s'' \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Drittens wirken auf die Querträger die Reaktionen der Längsträger. Denken wir uns in den beiden Kettenebenen zwei ideale Längsträger mit den jeweiligen Biegesteifigkeiten  $E_c \cdot J_c$ , so stehen sie infolge der Verformungen  $\eta_1$  und  $\eta_2$  unter Beanspruchungen durch die Biegemomente

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= -E_c \cdot J_c \cdot \eta_1'' \\ M_2 &= -E_c \cdot J_c \cdot \eta_2'' \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

bezw. deren Anteile

$$\left. \begin{aligned} M_s &= -E_c \cdot J_c \cdot \eta_s'' \\ M_a &= -E_c \cdot J_c \cdot \eta_a'' \end{aligned} \right\} \quad (5a)$$

Unter derselben Verformung erhält nun der Längsträger «i» die Biegemomente

$$M_i = -E_i \cdot J_i \cdot \eta_i'' \quad (6)$$

woraus unter Beachtung von (1) und (5a)

$$M_i = \frac{E_i \cdot J_i}{E_c \cdot J_c} \left( M_s + \frac{e_i}{b} M_a \right) \quad (7)$$

folgt. Sodann übt dieser Längsträger eine nach unten positiv gerechnete Belastung auf die Querträger von der Grösse

$$v_i = M_i'' = \frac{E_i \cdot J_i}{E_c \cdot J_c} \left( M_s'' + \frac{e_i}{b} M_a'' \right) \quad (8)$$

aus, die wir zweckmässig wiederum in die Anteile

$$\left. \begin{aligned} v_s &= \frac{E_i \cdot J_i}{E_c \cdot J_c} \cdot M_s'' \\ v_a &= \frac{E_i \cdot J_i}{E_c \cdot J_c} \cdot \frac{e_i}{b} M_a'' \end{aligned} \right\} \quad (8a)$$

<sup>1)</sup> Diese Annahme trifft bereits *Goëddard* in den «Annales des ponts et chaussées» 1894 S. 117, indem er  $N$  gleich dem Horizontalzug aus ständiger Last setzt. — Voraussetzungen und Vereinfachungen der üblichen Theorie diskutiert *S. O. Asplund* in seiner Doktorarbeit «On the Deflection Theorie of Suspension Bridges» (Uppsala 1943), worin sich auch ein ausführliches Literaturverzeichnis befindet.

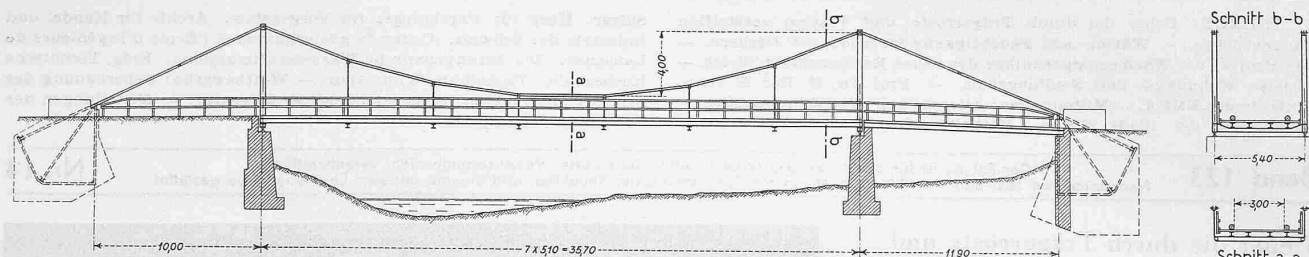


Abb. 2. Längs- und Querschnitte durch eine Kettenbrücke ohne Hauptträger

Masstab 1:400

zerlegen. Schliesslich lässt jeder Längsträger ein Drehmoment  $t$  auf den Querträgerstreifen wirken, das gleich der Änderung des inneren Drillungsmomentes  $T$  ist.

$$\left. \begin{aligned} T_i &= C_i \cdot \frac{\eta'_i}{b} \\ t_i &= \frac{dT_i}{dx} = C_i \cdot \frac{\eta''_i}{b} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (9)$$

$C$  ist die in bekannter Weise zu ermittelnde Schubtorsionssteifigkeit.

Nunmehr formulieren wir das Gleichgewicht eines Querträgerstreifens von der Breite «1». In der Komponentengleichung für die vertikale Richtung treten nur die symmetrischen Belastungen auf

$$-z_s + \sum_i v_s + p_s = 0 \dots \dots \dots (10)$$

in der Momentengleichung bezüglich der Brückenaxe nur die antimetrischen Anteile

$$-z_a + \sum_i v_a \cdot \frac{e_i}{b} + \sum_i \frac{t_i}{b} + p_a = 0 \dots \dots \dots (11)$$

$z$ ,  $v$  und  $t$  übernehmen wir aus den Gleichungen (4), (8a) und (9) und gelangen unter Beachtung von (5a) zu den Grundgleichungen

$$\frac{M_s}{r_s^2} + \frac{M_a}{r_a^2} - n \cdot M''_s = p_s \dots \dots \dots (12)$$

$$\frac{M_a}{r_{id}^2} + \frac{M_s}{r_a^2} - m \cdot M''_a = p_a \dots \dots \dots (13)$$

worin folgende Abkürzungen einzusetzen sind

$$\begin{aligned} r_s &= \sqrt{\frac{E_c J_c}{N_s}} & r_a &= \sqrt{\frac{E_c J_c}{N_a}} & r_{id} &= \sqrt{\frac{E_c J_c}{N_{id}}} \\ n &= \sum_i \frac{E_i J_i}{E_c J_c} & m &= \sum_i \frac{E_i J_i}{E_c J_c} \left( \frac{b}{e_i} \right)^2 & N_{id} &= N_s + \frac{1}{b^2} \sum_i C_i \end{aligned}$$

Die Summen erstrecken sich über eine Brückenseite, im Falle einer Versteifungsplatte sind sie durch entsprechende Integrale zu ersetzen.

Aus den Gleichungen (12) und (13) sehen wir deutlich, dass bei der unsymmetrisch belasteten Trägerrost-Hängebrücke der Trägerrost und die beiden Kabel ein gekoppeltes System bilden, sodass die Beanspruchungen nicht mehr wie üblich getrennt nach den einzelnen Tragwänden ermittelt werden können.

Es stellt sich nun die Aufgabe, die beiden simultanen Differentialgleichungen (12) und (13) nach den beiden Unbekannten  $M_s$  und  $M_a$  aufzulösen. Zu diesem Zwecke bilden wir die Summe der Gleichung (12) mit der  $\mu$ -fachen Gleichung (13)

$$M_s \left( \frac{1}{r_s^2} + \frac{\mu}{r_a^2} \right) + M_a \left( \frac{1}{r_a^2} + \frac{\mu}{r_{id}^2} \right) - n \cdot M''_s - \mu \cdot m \cdot M''_a = p_s + \mu \cdot p_a \quad (14)$$

Um die beiden Unbekannten  $M_s$  und  $M_a$  in eine neue Unbekannte  $M^*$  zusammenfassen zu können, wählen wir  $\mu$  so gross, dass die Proportion

$$\frac{1}{r_s^2} + \frac{\mu}{r_a^2} = \frac{1}{r_a^2} + \frac{\mu}{r_{id}^2} \dots \dots \dots (15)$$

erfüllt ist, woraus sich  $\mu$  mit Elimination der Hilfswerte  $r$  aus der quadratischen Gleichung

$$\mu^2 + \mu \left[ \frac{N_s}{N_a} - \frac{n}{m} \cdot \frac{N_{id}}{N_a} \right] - \frac{n}{m} = 0 \dots \dots \dots (16)$$

in zwei Lösungen  $\mu_1$  und  $\mu_2$  ergibt.

Unter Verwendung der Beziehung (15) geht nämlich (14) über in

$$\left( \frac{1}{r_s^2} + \frac{\mu}{r_a^2} \right) \left( M_s + \mu \frac{m}{n} M_a \right) - n \left( M''_s + \mu \frac{m}{n} M''_a \right) = p_s + \mu \cdot p_a \quad (17)$$

was wir mit den neu eingeführten Grössen

$$\frac{1}{r^{*2}} = \frac{1}{r_s^2} + \frac{\mu}{r_a^2} \dots \dots \dots (18)$$

$$p^* = p_s + \mu \cdot p_a$$

$$M^* = M_s + \mu \frac{m}{n} M_a$$

in der abgekürzten Form schreiben

$$\frac{1}{r^{*2}} M^* - n \cdot M''^* = p^* \dots \dots \dots (19)$$

Es ist zu beachten, dass entsprechend den beiden möglichen Lösungen  $\mu_1$  und  $\mu_2$  der quadratischen Gleichung (16) auch die Gleichung (19) paarweise für die Hilfsmomente  $M_1^*$  und  $M_2^*$  mit entsprechenden  $r_1^*$  und  $r_2^*$ , sowie  $p_1^*$  und  $p_2^*$  aufzulösen ist.

Mit der Grundgleichung (19) ist es uns gelungen, das Problem auf die bekannte Form des Hängebrücken-Problems zurückzuführen. Die Momente  $M_1^*$  und  $M_2^*$  stellen eine Art Fixpunkt-momente zweier gedachter Einheitsbalken  $E_c J_c$  in den Abständen  $\mu \cdot \frac{m}{n} \cdot b$  von der Brückenaxe dar. Mit ihrer Einführung haben wir das gekoppelte Grundsystem in zwei voneinander unabhängige Systeme zerlegt.

Sind nach irgend einer Methode<sup>2)</sup> die Fixpunkt-momente  $M_1^*$  und  $M_2^*$  ermittelt, so berechnen sich die Teilmomente wie folgt:

$$\left. \begin{aligned} M_s &= \frac{\mu_2 \cdot M_1^* - \mu_1 \cdot M_2^*}{\mu_2 - \mu_1} \\ M_a &= \frac{M_2^* - M_1^*}{\mu_2 - \mu_1} \cdot \frac{n}{m} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (20)$$

Mit diesen Teilmomenten sind dann auch die Verschiebungsgrössen der Elastizitätsgleichung zu ermitteln, wobei zu beachten ist, dass die beiden Kabel sich gegenseitig beeinflussen, sodass also die Hängebrücke mit freilaufenden Versteifungsträgern zweifach statisch unbestimmt ist und als Ueberzählige die Horizontalzüge der beiden Ketten, bezw. ihre symmetrischen und antimetrischen Anteile einzuführen sind.

Im Folgenden untersuchen wir noch den Fall, dass nur eine kleine Zahl von Querträgern und Hängern in konstantem Abstand  $\lambda$  vorhanden ist. Dies wird insbesondere für kleine Brücken zutreffen. Die Untersuchungen erfolgen nicht mehr an einem Querstreifen, sondern an einem einzelnen Querträger. Demgemäss werden die Differentiale durch Differenzen ersetzt. Im übrigen ist der Rechnungsgang analog, und ich kann mich kurz fassen, indem ich es dem Leser überlasse, den Rechnungsgang Schritt für Schritt zu verfolgen. Hierbei hat er nur zu beachten, dass der zweite Differentialquotient durch den zweiten Differenzenquotienten zu ersetzen ist, also

$$\begin{aligned} \eta'' &\rightarrow \frac{\eta_{n-1} - 2\eta_n + \eta_{n+1}}{\lambda^2} = \frac{\Delta^2 \eta}{\lambda^2} \\ M'' &\rightarrow \frac{M_{n-1} - 2M_n + M_{n+1}}{\lambda^2} = \frac{\Delta^2 M}{\lambda^2} \end{aligned}$$

In Formel (5) nehmen wir weiter an, dass wir in einer ersten Berechnungsstufe die Querträgerbelastungen als Festhaltekräfte<sup>3)</sup> ermittelt haben, sodass in der vorliegenden zweiten Berechnungsstufe nurmehr die Querträger selber belastet sind, die Momentenfläche also trapezförmig ist. Daher setzen wir in bekannter Weise

$$-E_c J_c \frac{\Delta^2 \eta}{\lambda^2} = \frac{1}{6} (M_{n-1} + 4M_n + M_{n+1}) \dots \dots (21)$$

Die Durchbiegungen  $\eta$  lassen sich eliminieren, sodass wir schliesslich mit den Hilfswerten

$$\alpha_s = \frac{\lambda^2 N_s}{6 E_c J_c} \quad \alpha_a = \frac{\lambda^2 N_a}{6 E_c J_c} \quad \alpha^* = \alpha_s + \mu \cdot \alpha_a$$

wobei  $\mu$  nach Gleichung (16) zu ermitteln ist, zum Gleichungssystem

$$M_{n-1}^* (\alpha^* - n) + M_n^* (4\alpha^* + 2n) + M_{n+1}^* (\alpha^* - n) = \lambda \cdot P^* \quad (22)$$

gelangen<sup>4)</sup>.

<sup>2)</sup> Eine graphische Methode, die sich eng an die Seilpolygontheorie anlehnt, habe ich im Bd. 6 der Abhandlungen der «Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau» dargelegt.

<sup>3)</sup> Vergl. «Vereinfachte Berechnung elastisch gestützter Tragwerke» SBZ 1938.

<sup>4)</sup> Mit entsprechender Gleichung berechnet Grüning (Der Eisenbau Berl. 1929) die Durchbiegungen des Versteifungsträgers der normalen Hängebrücke. Bei Ermittlung der Biegemomente kann der Umweg über die Durchbiegungen umgangen werden.

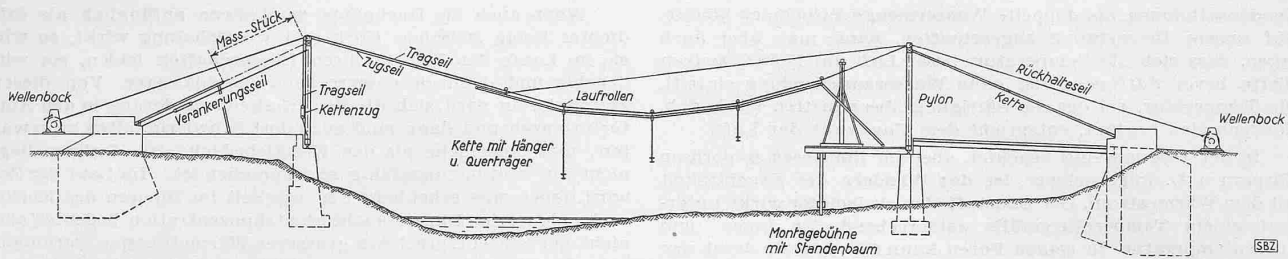


Abb. 4. Montagevorgang für die in Abb. 2 und 5 dargestellte Hängebrücke

Masstab 1 : 400

Die hier dargelegte Theorie der Trägerrost-Hängebrücke ist aus praktischem Bedürfnis anlässlich der Projektierung einer Strassenbrücke entstanden, die im Folgenden kurz beschrieben und in den Abbildungen 2 und 5 dargestellt ist.

Mit Wahl des Hängebrücken-Systems war es möglich, einen Posten Breitflanschträger der Bauherrschaft zu verwenden, mit denen eine Balkenbrücke dieser Spannweite und von genügender Steifigkeit sich nicht hätte ausführen lassen. Neumaterial musste nur für Ketten und Verankerungen verwendet werden, wobei sich der Bedarf durch Verwendung von hochwertigem Stahl (St. 60/70) in geringen Grenzen halten liess.

Wie aus Abbildung 2 hervorgeht, weist die Brücke keine Versteifungsträger in den Kettenebenen auf. Die Aussteifung erfolgt vielmehr lediglich durch die den hölzernen Fahrbelag tragenden Längsträger. Die übliche Hängebrücken-Theorie wäre daher nur für symmetrische Belastungen anwendbar gewesen, d. h. solange die Verkehrslast die Fahrbahn mittig befährt. Nun war es aber vor allen Dingen wichtig zu wissen, welche Querneigung die Fahrbahn erleidet, wenn die Last auf einer Brückenseite fährt, da eine zu grosse Querneigung die Betriebsicherheit viel eher gefährdet hätte als eine grosse Durchbiegung. Die Berechnung nach der dargelegten Theorie konnte über diesen Punkt Beruhigung verschaffen und ermöglichte auch durch die genauere Erfassung des Kräftespiels die Verwendung der im Profil nur knapp ausreichenden vorhandenen Träger.

Anlässlich der Belastungsprobe erwies sich das Tragwerk wie erwartet als bedeutend steifer als die Berechnung auswies, da in dieser mit Rücksicht auf den Festigkeitsnachweis die Mitwirkung der hölzernen Fahrbahn, insbesondere der kräftigen Abschlussbalken nicht berücksichtigt war. Die Nachrechnung unter Berücksichtigung der Eigensteifigkeit der Fahrbahn hinsichtlich Biegung und Torsion, aber ohne Verbundwirkung zwischen den Längsträgern und der nur leicht aufgeklebten Fahrbahn hat, wie Abbildung 3 zeigt, befriedigende Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung ergeben.

Mit Rücksicht auf zu erwartende Hochwasser, die Gerüst-einbauten im Fluss bei üblicher Montageart stark gefährdet hätten, wurde eine m. W. neuartige Montageart angewendet (vergleiche Abbildung 4), indem zuerst die Tragketten mit Hilfe

besonderer Trag- und Zugseile als ganzes über den Fluss gezogen und an den Pylonen eingehängt wurden, wobei besondere Vorkehrungen zur Regulierung der Höhenlage und Spannweite zu treffen waren. Während des Hinüberziehens wurde die Kette auf einem kleinen uferseitigen Gerüst um Glied verlängert und gleichzeitig Hänger und Querträger angehängt, sodass sich eine Art Montage am «laufenden Band» ergab. Mit Hilfe einer für die Tiefbauarbeiten installierten Seilbahn mussten nun nur noch die Längsträger eingefahren und versetzt werden.

Die Brücke präsentiert sich als sehr schlankes Bauwerk (Abb. 5, S. 159). Auch wenn die gegenwärtige Materialknappheit überwunden sein wird, dürfte dieses System infolge der Einsparung der Hauptträger eine auch wirtschaftlich interessante Lösung darstellen. — Projekt nach eigenem Vorschlag und Ausführung des Stahlbaues besorgte die Eisenbaugesellschaft Zürich, Bauleitung sowie Projekt der Tiefbauten das Ingenieurbureau E. Stettler, Bern, und die Ausführung der Tiefbauten die Bauunternehmung W. u. J. Rapp, Basel.

## Wärme- und Feuchtigkeits-Isolation von Dächern

Von Ing. Dr. M. KOENIG, Zürich

Wenn, wie es oft der Fall ist, unter der Dachschalung, aber über einer Isolation, sei sie nun aus Aluminiumfolie, Kork, Holz oder Bauplatten, keinerlei Massnahmen zur Abführung der im Innern der Decke entstehenden Kondensate getroffen werden, so muss unter Umständen mit einer frühzeitigen Zerstörung der Dachkonstruktion gerechnet werden. Es seien im Folgenden die bezüglich Wärme und Feuchtigkeit besonders instruktiven Verhältnisse eines *Flachdaches* näher untersucht.

Um sich über die Kondensatbildung Rechenschaft geben zu können, muss zuerst untersucht werden, wie die Kondensate entstehen. Diese Frage beantworten, heisst meistens das Problem auch lösen, bzw. die notwendigen Schutzmassnahmen treffen.

Ohne auf die Feinheiten der event. Verzögerung der Kondensation durch Unterkühlung oder der Wasserdampffuhr bei konstanter Temperatur (Atmung vieler Personen, Waschräume usw.) einzugehen, ist grundsätzlich festzuhalten, dass nur Luft, die abgekühlt wird, Kondensat ausscheiden kann. Luft dagegen, die erwärmt wird, kann nur Feuchtigkeit aufnehmen, auf keinen Fall jedoch abgeben. Schon diese einfache Feststellung lehrt, dass bei irgendeiner Decken- oder Wandkonstruktion, innerhalb derer man Kondensatausscheidungen befürchtet, folgende Forderungen beachtet werden müssen: 1. auf warmer Seite möglichst dichten und 2. auf kalter Seite möglichst offen halten.

Diesen Forderungen stehen die üblichen Bauweisen bei Flachdächern oft diametral gegenüber. Sie bedeuten nämlich, dass das Dach auf seiner warmen, d. h. meistens der Innenseite, möglichst hermetisch abschliessen soll, während auf seiner Aussenseite eine Belüftung geschaffen werden muss. Diese Belüftung muss natürlich, um den eigentlichen Zweck des Daches voll zu wahren, unter der Schalung vorgesehen werden. Auf diese Weise werden auch Dachgebälk und Schalung ständig belüftet, was sowohl im Hinblick auf die Vermeidung von Trockenfäulnis als auch wegen der Abfuhr von Kondensaten, die aus von unten hereindringender Warmluft entstehen können, wichtig ist.

Feuchtigkeit, mit der im Bau immer zu rechnen ist, kann sowohl Betrieb und Lebensdauer der Anlage schädigen, als auch den Wärmeschutz als solchen stark verringern. Ohne möglichst genaue Kenntnis des Feuchtigkeitsgehaltes lässt sich daher über den praktischen Wärmeschutz nichts zuverlässiges errechnen.

Der Wassergehalt der Luft wird als relative Feuchtigkeit in Prozenten derjenigen Wassermenge angegeben, die sie bei der jeweiligen Temperatur bis zu ihrer Sättigung maximal aufnehmen könnte. Wenn also z. B. der Feuchtigkeitsmesser, bei einer mittlern Zimmertemperatur von 20° C, 50% relative Feuchtigkeit anzeigt, so heisst das, dass die Luft bei diesem Temperatur- und Barometerstand ohne jede Wasserabscheidung, bzw.

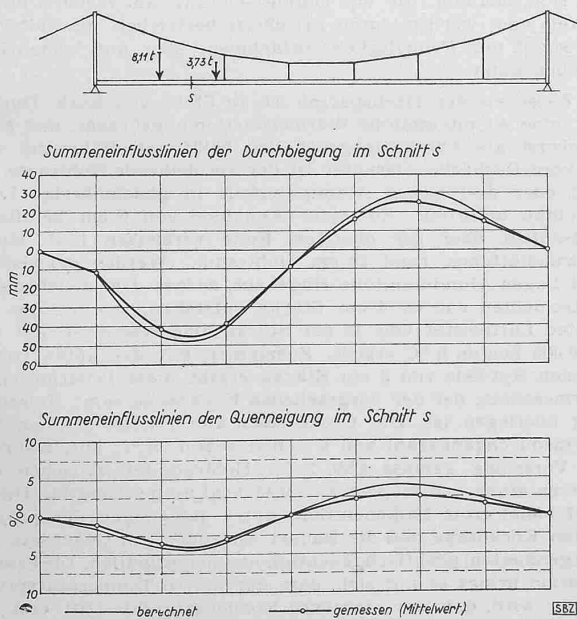


Abb. 3. Vergleich berechneter und gemessener Einflusslinien