

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 69/70 (1917)  
**Heft:** 14

**Artikel:** Das Versuchswesen in der Praxis des Eisen- und Eisenbetonbaues  
**Autor:** Hübner, Fritz  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-33950>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 05.02.2025

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

INHALT: Das Versuchswesen in der Praxis des Eisen- und Eisenbetonbaues. — Wettbewerb für eine reformierte Kirche in Solothurn. — Schweizerischer Elektrotechnischer Verein und Verband schweizerischer Elektrizitätswerke. — Miscellanea: Zur Einschränkung des Brennstoffverbrauchs. Schweizerische Landesausstellung in Bern 1914. Entwässerung des Havelländischen Luches. Kupferamalgam als Metallkitt. Reichsverband des deutschen Tiefbaugewerbes E. V. Schweizerische Bundesbahnen. Das

Städtische Verwaltungsgebäude in Luzern. Ein Seehafen für Rom. Elektrifizierung der schwedischen Staatsbahnen. St. Lawrence-Brücke bei Quebec. — Nekrologie: † Henri Bazin. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Société Vaudoise et Section Vaudoise de la Société suisse des Ingénieurs et des Architectes. Gesellschaft ehemaliger Studierender der Eidgen. Technischen Hochschule; Maschineningenieur-Gruppe Zürich. Stellenvermittlung.

Band 70.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 14.

## Das Versuchswesen in der Praxis des Eisen- und Eisenbetonbaues

von *Fritz Hübner*, Kontrollingenieur im Schweiz. Eisenbahn-Dep., Bern.<sup>1)</sup>

Das Versuchswesen der Baupraxis ist ein Sondergebiet, auf dem sich für gewöhnlich nur die Herren Statiker zu tummeln pflegen. Einige Mitteilungen aus diesem, scheinbar mehr theoretischen Zwecken dienenden Gebiete strengerer Versuchswesens dürften aber auch noch weitere Kreise interessieren, weil die zu besprechenden Untersuchungen erstens in der alltäglichen Baupraxis sehr wohl anwendbar sind, zweitens deren Ergebnisse nicht nur für den entwerfenden Ingenieur allein von Interesse sind. Allerdings werden systematisch, nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten geordnete Versuche vorab Jenen dienen, die Brücken und Hochbauten zu *entwerfen* haben; sie werden ihnen wertvolle Einblicke in das innere Wesen ihrer Bauten geben und, sagen wir es vorweg, ihnen die Erkenntnis bringen, dass es einerseits mit der Verwirklichung mancher sog. höherer Theorie durchaus nicht so schlecht bestellt ist, dass aber andererseits auch die Bedeutung gewisser baulicher Gepflogenheiten und Ausführungsmängel eine viel grössere sein kann, als man oft so leicht hin behaupten hört. Jene aber, die Bauten zu *vergeben* haben, werden aus solchen Versuchen insofern Nutzen ziehen, als Studium und Gegenüberstellung der Ergebnisse von Probelastungen die Grenzen werden erkennen lassen, innerhalb derer die genaueren Theorien, im Interesse gleichmässiger Sicherheit und vermehrter Wirtschaftlichkeit der Bauten verwertet werden dürfen.

Es ist nun gleich zu bemerken, dass die Versuche, über die hier eingehender gesprochen werden wird, wesentlich anderer Art sind und sein müssen als jene Probelastungen, die in ihrer üblichen einfachen Anlage meistens herzlich wenig nützen können. Es ist ferner klar, dass alle in Betracht fallenden Messverfahren dann am nützlichsten sind, wenn der Baustoff sowohl als auch die aus ihm geformten Tragwerke sich grösstmöglicher Gleichmässigkeit erfreuen dürfen; es wird dies ohne Zweifel beim Eisen am ehesten zutreffen. Wenn also Holzkonstruktionen im folgenden unbeachtet bleiben und wir uns mit Untersuchungen aus dem Eisenbetonbau weniger befassen werden als mit solchen aus dem Gebiete des Eisenbaues, so geschieht dies nicht etwa aus einseitiger Stellungnahme heraus. Eisen und eiserne Gebilde entsprechen den verschiedenen Grundsätzen, auf denen sich unsere Festigkeitslehre aufbaut, am besten. Sodann werden Untersuchungen durch Probelastungen vorab bei *bestehenden* Bauten die wertvollsten Dienste leisten können, namentlich wenn es sich um allfällige Verstärkungen solcher Bauwerke handelt. Es ist daher zu erwarten, dass die nachfolgenden Betrachtungen ganz besonders auch jenen Stellen willkommen sein werden, denen Unterhalt und Aufrechterhaltung der Sicherheit eiserner Brücken obliegt.

\*

Die Messungen, die den folgenden Ausführungen zur Grundlage dienen, umfassen:

1. Die Messung der Winkeländerungen der Axen von auf Biegung beanspruchten Stäben.
2. Dehnungs- oder Spannungsmessungen.
3. Die Beobachtung von Durchbiegungen.

Die einzelnen Messverfahren können natürlich nicht mehr als Neuheiten angesprochen werden; nichtsdesto-

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten in den Sektionen Bern und Waadt des S. I. A. im März 1917.

weniger ist ihr *praktischer* Wert, namentlich der Messung von Winkeländerungen und von Spannungen, bisher zu wenig erkannt, bezw. gewürdigt worden. Umgekehrt misst man der üblichen Messung von Durchbiegungen bisweilen eine Bedeutung bei, die in keinem Verhältnis steht zum Wert solcher Erhebungen. Fragen wir uns, woher das rühren kann, so dürften folgende Gründe hierfür genannt werden:

Bis in verhältnismässig neue Zeit hinein, namentlich aber bis vor dem Erscheinen des Eisenbetonbaues im Wettbewerb mit Eisen, begnügte man sich beim Entwerfen der eisernen Tragwerke meistens einfacher Berechnungsarten, von denen man erfahrungsgemäss sogen. „gute Erfolge“, d. h. wohl auch heute noch unter uns Technikern gewöhnlich nicht viel anderes als: keine Misserfolge, erwarten konnte. Aus dieser, sagen wir gemütlicheren Zeit, stammen die heute noch beliebten, nun auch im Eisenbetonbau gepflogenen Belastungsproben, bei denen bloss Einsenkungen gemessen werden, obschon sie in den meisten Fällen keinem andern Zweck dienen können als dem, den Techniker etwa über das allgemeine elastische Verhalten des Bauwerkes zu orientieren und Fernerstehenden augenscheinlich zu beweisen, dass es wenigstens „hält“.

Nachdem, dank Männern wie Culmann, Ritter, Mohr, Müller-Breslau u. a., die Methoden für die Berechnung von Tragwerken jene Entwicklung erfahren hatten, die uns heute in den Stand setzt, eine Grosszahl der schwierigsten Aufgaben verhältnismässig spielend zu lösen, setzte naturgemäss auch ein grösseres Interesse für die *Arbeitsvorgänge im Innern der Bauwerke* ein; es entstand ein eigentliches Bedürfnis nach genauerer Erforschung solchen Innenlebens. Man schritt, in Ergänzung der Durchbiegungsmessungen, bei Eisenbauten zu vereinzelt Spannungsmessungen, wobei man sich aber meistens, und im allgemeinen auch heute noch, nur mit der Ueberprüfung der sog. Hauptspannungen begnügte. Weitergehende Untersuchungen, z. B. bei Eisenbauten, über die wichtige Frage, wie sich infolge des Nichtzutreffens der Annahme reibungsloser Gelenke die theoretisch ermittelten Hauptspannungen verändern, und beim Eisenbetonbau über die verschiedenen Einflüsse seines monolithischen Charakters, stammen erst aus jüngster Zeit. Eine äussere Veranlassung zu gründlicherer Erforschung der wirklichen Verhältnisse war scheinbar nicht vorhanden. Die, auch in der Gegenwart noch gerne angewandten, durch möglichst vereinfachende Annahmen über die statische Wirkungsweise der Bauwerkteile gekennzeichneten Berechnungsarten geben vielfach zu starke Trägerquerschnitte — so z. B. bei den Quer- und Längsträgern der Brücken; dass dies aber nur auf Kosten der Anschlüsse dieser Träger und ihrer Nachbarglieder geschehen kann, wird des öfters, wenn nicht geradezu übersehen, so doch unterschätzt. Alsdann wird von Fernerstehenden gerne übersehen, dass unsere Bauten für wesentlich *unter* der Bruchgrenze liegende Spannungen berechnet werden und zudem für Belastungen, die in Wirklichkeit, namentlich bei Strassenbrücken und manchen Hochbauten, nur selten erreicht werden. Aus diesen Gründen können naturgemäss die Nachteile unvollständiger Berechnungen nur schwerlich durch *auffallende* Beschädigungen zum Ausdruck gelangen. Ein Hemmnis für die, bei Eisenbauten besonders lehrreichen Untersuchungen durch Spannungsmessungen bildete der Umstand, dass geeignete Apparate nicht immer vorhanden waren, und dass zweckdienliche Probelastungen mit gewissen Umständlichkeiten verbunden sind, die man ohne zwingende Gründe gerne vermeidet. Endlich fehlte bis vor einigen Jahren der Wettbewerb des Eisenbaues

mit andern Bauweisen. Erst diese bedeutendste Triebfeder zeigte so recht, dass im Interesse rationeller Bemessungen nicht nur gründlichere Berechnungen, sondern, zur Erforschung bestimmter konstruktiver Verhältnisse, auch *wissenschaftliche Versuche* anzustellen sind.

Seit einigen Jahren besteht erfreulicherweise ein Bestreben, das Versuchswesen der Baupraxis etwas wissenschaftlicher zu gestalten. Was in dieser Hinsicht schon geschehen ist, verrät aber nicht durchwegs edlen Drang nach *theoretischer Erleuchtung* gewonnener Ergebnisse; es ist nicht alles *begrüßenswertes* Ringen nach vermehrter Wirtschaftlichkeit. Den Berichten über derartige Versuche entströmt leider nicht immer jener Geist strenger Unparteilichkeit, mit dessen Hilfe, beim heutigen Stande der Wissenschaft über die Baustoffe und bei der hohen Entwicklung der Statik der Baukonstruktionen, mancher baulichen Gepflogenheit ihre weitere Berechtigung so gut bestritten, und der Verwirklichung noch mancher zwar neuen, aber theoretisch begründeten Forderung der Weg geebnet werden könnte. Man muss nur Gelegenheit haben, Einblick zu erhalten in Berichte über Probelastungen, um zu erkennen, dass manches noch der Schablone ähnelt, unbewusste oder dann vermeintlich zulässige Täuschung ist über Verhältnisse, die wohl vom Laienstandpunkt aus vielleicht keine unmittelbare Gefahr in sich bergen, aber, von der Warte des Hochschul-Technikers aus beschaut, abgelehnt werden sollten, weil sie dem *zu erstrebenden Idealzustand möglichst gleichmässiger, bestimmter Sicherheit* nicht dienen. Weniger im Drang der Geschäfte, als vielmehr unter der Macht des besonders im Eisenbetonbau so scharfen Wettbewerbskampfes, gerät man, oft widerwillig, in den Bann jenes durchaus nicht so harmlosen Trosteswortes: wenn es nur hält; wobei dann von solchen, die akademisch ungenügend ausgebildet sind, das eine leicht übersehen wird, dass kein Bauwerk stärker ist als sein schwächster Teil.

Der gegenwärtige Stand des Versuchswesens überhaupt ist, in grossen Zügen geschildert, der folgende: Aus dem *Gebiete des Eisenbetons* stehen eine Unmenge von *Laboratoriumsversuchen* zur Verfügung, die zur Hauptsache über die Wirkungsweise des Verbundes von Beton und Eisen und somit über die Bemessung der Querschnitte von Eisenbetonträgern grosse Aufklärungen gebracht haben. Das Versuchswesen der *Baupraxis* hingegen, das sich am besten eignet, über die nicht minder wichtige Frage der *wirklichen* Arbeitsweise der Tragwerke Aufschluss zu erteilen, ist noch wenig gepflegt worden, obwohl doch heute solche Tragwerke je länger je mehr mit Rücksichtnahme auf den monolithischen Charakter des Eisenbetons berechnet werden. Der Grund hierfür ist wohl der, dass Beton Versuche erschwert, weil er, im Gegensatz zu seinem Konkurrenten, dem Eisen, hinsichtlich Güte ein äusserst launischer Geselle ist, nicht immer gewillt, die guten Absichten und noch weniger die oft verlockenden Beteuerungen seines jeweiligen Erzeugers gebührend zu achten.

Dass aber auf dem Gebiete des Versuchswesens der Eisenbetonpraxis Wandel zu schaffen notwendig und möglich ist, das geht auch aus Aeusserungen eines Berufeneren hervor<sup>1)</sup>; Professor Dr. Ing. E. Probst sagte in einem Vortrag über „Vergangenheit und Zukunft des Eisenbetonbaues“ u. a. folgendes: „... Jeder, der sich mit Eisenbetonbau beschäftigt, sollte vorher gewisse Erfahrungen durch Ausführung von Versuchen sammeln. Er muss selbst Beton herstellen und alle Erscheinungen, die als Besonderheiten des Eisenbetons anzusehen sind, gründlich kennen lernen, bevor er sich damit in der Praxis abgibt; dann wird er wissen, dass mit der Berechnung der auftretenden Spannungen der *geringste Teil* des Eisenbetonstudiums erledigt ist. Versuche müssen jedoch *statische Untersuchungen* sein und keine *Materialprüfungen*. Sie müssen so ausgeführt werden, dass sie die *Denkarbeit* nicht ersetzen, sondern sie vorteilhaft ergänzen, wenn der Ingenieur nicht zur Maschine werden

<sup>1)</sup> Armierter Beton, Nr. 1, Januar 1917. Vergangenheit und Zukunft des Eisenbetonbaues, von Dr. Ing. E. Probst.

soll. Ferner muss man verlangen, dass nur statische Untersuchungen an vollkommenen, in natürlicher Grösse ausgeführten Bauwerken vorgenommen werden, und dass die Vorbereitungen den Fortschritten in Wissenschaft und Praxis entsprechen. Goethe sagte in seinen Gesprächen mit Eckermann: „Wie können Experimente die Wahrheit beweisen, da der Grund ihrer Lehre falsch ist?“ Daran muss ich immer denken, wenn ich von Schlussfolgerungen über Versuche lese, deren Grundbedingungen nicht richtig sind...“

Umgekehrt verhält es sich beim *Eisenbau*. Dank der ziemlichen Regelmässigkeit des für die Herstellung eiserner Träger in Betracht fallenden Materials (wenigstens in Bezug auf Einhaltung einer Mindestfestigkeit und eines Mindestgütwertes) darf Probelastungen eiserner Tragwerke, wie bereits betont, grösserer Wert beigemessen werden; deshalb ist auch das Versuchswesen in der Baupraxis des Eisenbaues schon oft zu wertvollen Untersuchungen über allerlei Arbeitsvorgänge im Innern eines Bauwerkes herangezogen worden. Dagegen ist noch wenig bekannt von wissenschaftlichen Versuchen in Prüfungsanstalten, z. B. über die Wirkungsweise der Trägerverbindungen, bezw. über die damit zusammenhängende Frage, wieweit das durch die üblichen Nietverbindungen geschaffene, mehr oder weniger vollkommene Zusammenwirken bei Eisenbauten berücksichtigt werden könnte. Es hat sich nun aber, wie für den Eisenbetonbau, so auch für den Eisenbau, zu systematischen Untersuchungen auf diesem Gebiet in Deutschland ein Ausschuss gebildet, dem grosse Geldmittel zur Verfügung stehen, sodass man hoffen darf, es werde nun noch manche schwebende Frage zur Abklärung gelangen; es wäre dies im Interesse berechtigter wirtschaftlicherer Ausbildung mancher eiserner Tragwerke sehr zu begrüssen. Es ist mir ein besonderes Vergnügen, mitteilen zu können, dass unsere schweizerischen Brückenbauanstalten kürzlich ebenfalls ansehnliche Geldmittel für systematische Untersuchungen auf dem Gebiete des Eisenbaues zur Verfügung gestellt haben. Es ist nicht zu zweifeln, dass den Initianten dieses Unternehmens guter Erfolg beschieden sein wird.

\*

Uebergehend zu der Besprechung der Ergebnisse, die mit den eingangs genannten drei Messverfahren erzielt werden können, ist zu sagen, dass wohl jedes für sich von gewisser Bedeutung sein kann, dass aber jene Untersuchungen am wertvollsten und interessantesten sind, denen die gleichzeitige Anwendung von zwei der Messverfahren zugrunde liegt.

Die *Messungen von Winkeländerungen* können für sich allein nur über das allgemeine Verhalten eines Trägers Aufschluss erteilen; erst in Verbindung mit Spannungsmessungen beim Eisenbau und mit Durchbiegungsmessungen beim Eisenbetonbau werden sie bedeutend wertvoller. Es liegt in der Natur des *Klinometers*<sup>1)</sup>, eines Libellenapparates (Abbildung 1), dass die Winkeländerungen nur für ruhende Belastungen zuverlässig gemessen werden können; ist also die Belastung eine bewegliche, so muss sie in eine bestimmte Ruhestellung gebracht werden und zwar, zur Erzielung zuverlässiger (einzig massgebender) Mittelwerte, mehrmals nacheinander. Die Empfindlichkeit der Klinometer ist bei eisernen Trägern wohl immer ausreichend; für Träger in Eisenbeton nicht in allen Fällen, obwohl die Apparate des Schweiz. Eisenbahndepartements Winkelgrössen von bereits  $3\frac{1}{2}$  Bogensekunden zuverlässig messen.

Die schönste Verwertung finden Klinometermessungen als solche, wenn es sich darum handelt, die *Formveränderung eines eingespannten Balkens* zu erkennen, d. h. aus ihr auf die Wirkungsweise dieses Trägers zu schliessen. Die Verdrehungen des Trägers werden in einer grösseren Zahl von Querschnitten für bestimmte Laststellungen erhoben, wobei man die Querschnitte in zweckmässig kleinen Abständen wählen wird, zur Hauptsache auf den Strecken,

<sup>1)</sup> Beschrieben durch Kontrolling. G. Mantel in Bd. XXXV, S. 48 (3. Februar 1900).

innerhalb derer Wendepunkte der elastischen Linie zu erwarten sind. Trägt man alsdann die gemessenen Winkelgrößen über einer Geraden, der Projektion der Balkenaxe, als Ordinaten auf, und verbindet die so erhaltenen Punkte durch eine Kurve, so sind die Querschnitte, in denen die Ordinaten dieser Kurve am grössten sind, diejenigen, in denen die Wendepunkte der elastischen Linie des Balkens liegen; auf diese Weise kann die Momentenfläche eines eingespannten Balkens empirisch mit sehr grosser Genauigkeit erkannt werden. Dieses einfache Verfahren ist angebracht, sobald absolut sichere Grundlagen zur rechnerischen Ermittlung derartiger Verhältnisse mangeln, oder wenn Versuche mit wiederholten Belastungen tunlich sind, endlich, wenn es genügt, nur die Wirkungsweise des einzelnen Trägers zu bestimmen. Handelt es sich aber um die Untersuchung eines Balkens, der in irgendwelcher Abhängigkeit zu Nachbarbalken steht — z. B. im Eisenbetonbau um nebeneinander liegende Träger, die durch Platte und Querträger verbunden sind, oder im Eisenbau um Querträger von Brücken, die durch Längsträger belastet werden — so sind nicht nur die Einspannmomente eines solchen Balkens, sondern auch sein Anteil an der Lastaufnahme unbekannt. In solchen Fällen wird man die Winkelmessungen in oben erwähnter Weise ergänzen und die Verwertung dieser Doppelergebnisse durch Rechnungen besorgen müssen, von denen noch die Rede sein wird.

Klinometer-Messungen können auch in andern Fragen, die nicht unmittelbar für die Tragfähigkeit der Träger von Bedeutung sind, nützliche Dienste leisten.

Bei einem Zweigelenkbogen von 64 m Stützweite (Abb. 2) ist die Winkeländerung der Bogenaxe an den Auflagern gemessen worden, ursprünglich mit dem blossen Zweck zu überprüfen, ob in den Gelenkzapfen grössere Reibungswiderstände in Form von bleibenden Verdrehungen bemerkbar wären. Ing. M. Roš der Firma C. Zschokke in Aarau hat dann diese Messungen in hochinteressanter Weise dadurch ergänzt, dass er für die Winkeländerungen der Bogenaxe sowohl am Auflager als auch im Scheitel Einflusslinien berechnete. Bei der Probelastung der Brücke wurden für mehrere bestimmte Stellungen des Lastenzuges diese beiden Winkeländerungen gemessen. Berechnen kann man sie aus den Einflusslinien in der Weise, dass man die, der Lage der einzelnen Wagenachsen

entsprechenden Ordinaten in üblicher Weise summiert. Die Abweichungen der Messung von dieser Berechnung schwankten zwischen 7 und 17% und betruhen im Durchschnitt 12%. Da die gemessenen Werte durchwegs um die genannten Beträge kleiner waren als die theoretischen, hätte man geneigt sein können, die Unterschiede Reibungen in den Zapfen zuzuschreiben. Ingenieur Roš hat aber die grosse Mühe nicht gescheut, die Lastenübertragung durch die Längsträger, die in Wirklichkeit als kontinuierliche Balken auf elastischen Stützen aufzufassen sind, nach der bezüglichen Theorie genauer zu ermitteln; er wurde für seine wertvolle Untersuchung durch das verblüffende Ergebnis belohnt, dass die grössten Abweichungen zwischen Rechnung und Messung sowohl positiv wie negativ ausfielen, und, nur zwischen 1 und 5% schwankend, im Mittel noch  $2\frac{1}{2}\%$  betruhen. Nebst der Schlussfolgerung, dass offenbar grössere Zapfenreibungen nicht vorhanden waren, gestattet diese verdankenswerte Untersuchung von Ingenieur Roš noch die andere Feststellung: *dass bei Eisenbauten, theoretischen Ergebnissen aus der Berücksichtigung selbst komplizierter Lastenwirkungen, eine grosse Genauigkeit zuerkannt werden darf.*

Ueber eine weitere Verwendung des Klinometers berichtet Prof. W. Gehler in seinem Buch über „Nebenspannungen in Fachwerkträgern“. Er erläutert dort die Berechnung der Nebenspannungen u. a. auch nach dem Verfahren von Mohr, das die Kenntnis der sog. Knotendrehwinkel, sowie der Stabdrehwinkel eines Fachwerks zur Grundlage hat und auf verhältnismässig einfachem Wege zu den Nebenspannungen in den Stäben führt. Anstatt nun diese

Unbekannten der Aufgabe mit einem Verschiebungsplan zu berechnen, kann man sie bei einem bestehenden Bauwerk mit Hilfe von Durchbiegungs- und Klinometer-Messungen in einfacher und zuverlässiger Weise unmittelbar bestimmen. Ueber die Genauigkeit der Ergebnisse einer also durchgeführten Berechnung der Nebenspannungen kann sich Prof. Gehler leider nicht aussprechen, da die Ueberprüfung der rechnerisch ermittelten Nebenspannungen durch gleichzeitig mit den obgenannten Erhebungen angestellte Spannungsmessungen nicht zuverlässig gewesen sein soll.

Endlich können Klinometer-Messungen noch bei gewissen Untersuchungen über die Wirkungsweise von Gewölben aus Stein oder Beton schätzbare Dienste leisten. Gewölbe, die auf Pfeilern oder auf nicht auf Fels fundierten Widerlagern aufsitzen, sind solche, deren Stützpunkte als mehr oder weniger elastisch, oder auch bleibend nachgiebig zu betrachten sind. Die Folgen derartiger Nachgiebigkeiten sind bekanntlich bei flachen Gewölben nicht bedeutungslos. Es kommt nun bei diesen Trägerarten wohl weniger auf die Kenntnis der genauen Grösse der möglichen, bei Pfeilern jedoch nicht immer messbaren Nachgiebigkeiten der Stützpunkte an, als auf die Erkenntnis, ob überhaupt solche vorhanden seien. Zu diesem Zweck empfiehlt es sich, die Einflusslinie für die Winkeldrehung der Bogenaxe am Auflager, unter Annahme fester Stützung zu berechnen, aus ihr, für eine bestimmte bewegliche Probelast, das Verhältnis grösster Senkung zu grösster Hebung zu ermitteln und alsdann durch Messung der Winkel für diese Probelast festzustellen, ob und wie stark jenes theoretische Verhältnis durch die Wirklichkeit verändert wird. Sobald das Verhältnis für die Messwerte grösser wird als für die rechnerischen Werte, so bedeutet dies ein Ausweichen der Gewölbewiderlager, dem man, je nach seiner Bedeutung, wird näher nachforschen müssen.

Es dürfte von Interesse sein, über das Ergebnis einer Untersuchung dieser Art an einem Stampfbetongewölbe

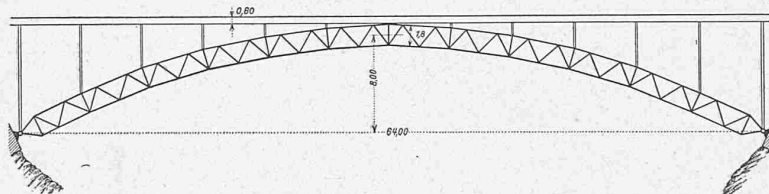


Abb. 2.

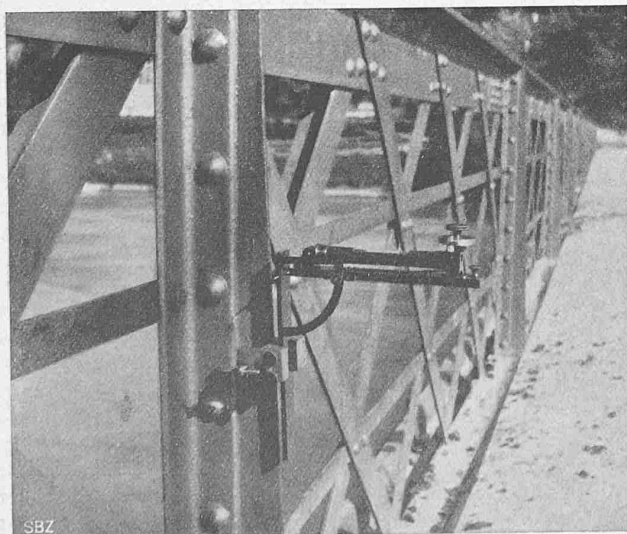


Abb. 1. Messung der Winkeländerung mittels Klinometer am Querrahmen-Pfosten einer offenen Brücke.

einige kurze Mitteilungen zu machen. Das Gewölbe ist in der Abbildung 3 dargestellt; es ist äusserst schief und besitzt einen Pfeil von bloss 1,80 m auf 20 m schiefe Stützweite. Veranlasst wurden besondere Messungen durch die Feststellung der aus der Abbildung ersichtlichen charakteristischen Risse, die auf beiden Sichtflächen in fast genau gleicher Lage vorhanden sind. Besonders bezeichnend sind hier die über dem Gewölberücken je vom Scheitel zur *spitzen* Widerlagerecke verlaufenden Risse, ferner die bei den *stumpfen* Widerlagerecken weit in die Auflageflächen des Gewölbes hinein sich fortpflanzenden Risse der Aufmauerung; diese Erscheinungen weisen deutlich auf ein Ausweichen der spitzen Widerlagerecken hin. Eine nach der Methode von Dr. Ing. Fischer<sup>1)</sup> angestellte rechnerische

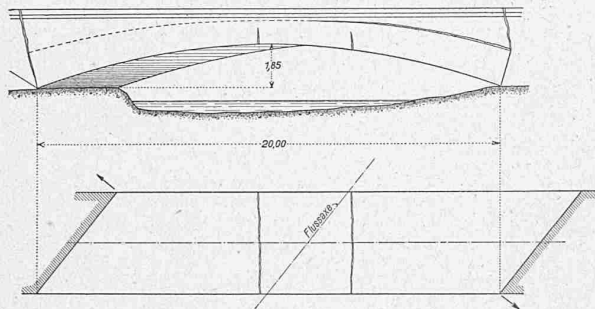


Abb. 3.

Untersuchung bestätigte die Beobachtungen und führte überdies zum Ergebnis, dass, nach Lage der vorhandenen Risse, die Nachgiebigkeiten der spitzen Ecken der Widerlager zwischen den ausserordentlich kleinen Beträgen von ungefähr 0,5 bis 1,0 mm liegen dürften. Bestätigt wurden diese Mutmassungen erstmals durch die Beobachtung, dass unter der Probelast keine Hebungen der Bogenaxe auftraten und später durch Messung des Ausweichens selbst, mittels Zivy-Apparaten; dieses betrug 0,12 mm für 76 t Probelast, sodass man unter Mitberücksichtigung des Eigengewichtes der Brücke zu einer mutmasslichen Gesamtbewegung von 0,65 mm für eine spitze Widerlagerecke gelangt. Die stumpfen Widerlagerecken zeigten nur Spuren von Bewegungen. Man darf hieraus wohl den Schluss ziehen, dass auf die Ergebnisse derartiger theoretischer Untersuchungen von Gewölben sehr wohl abgestellt werden darf.

\*

Wir wenden uns nun denjenigen Messungen zu, die ohne Zweifel unter den für die Baupraxis in Betracht fallenden die wichtigsten sind: den *Dehnungs- oder Spannungsmessungen*. Naturgemäss können sie nur bei Eisenbauten praktische Anwendung finden; denn im Eisenbetonbau kann man sie normalerweise nur bei solchen Bauwerken verwenden, die, freiwillig oder nicht, dem Abbruch geweiht sind, weil die Messung von Dehnungen des Eisens eine örtliche Zerstörung des Betons erfordert, zum Anbringen von Messzapfen für die Spannungsmesser. Ueber Dehnungsmessungen findet man in der Fachliteratur zwar schon manches, doch mehr nur über die Messungen selbst, als über die aus ihnen gewonnenen, eigentlich mehr interessierenden Ergebnisse. Auch sind sowohl die Meinungen über die Zuverlässigkeit als auch über den Nutzen solcher Messungen nicht übereinstimmend ausgefallen. Aus der vorhandenen Literatur zu schliessen, herrscht hinsichtlich solcher Messungen im allgemeinen eine gewisse Zurückhaltung; es liegt dies wohl weniger an der Methode selbst, als, neben den bereits genannten Gründen allgemeiner Natur, an der Bauart der sich wesentlich voneinander unterscheidenden hauptsächlichsten Messapparate: des *Dehnungsmessers von Fränkel* (Abb. 4) und des *Spannungsmessers von Mantel*<sup>2)</sup> (Abb. 5). Erstgenannter besitzt den grossen Vorteil der Selbstaufzeichnung der Messergebnisse; dadurch ist

<sup>1)</sup> «Beton und Eisen» 1911, Heft XVIII.

<sup>2)</sup> Beschrieben durch Kontrolling, G. Mantel in der «Schweiz. Bauzeitung» Bd. XXXV, S. 58 (10. Februar 1900).

aber seine Bauart eine schwerfällige und seine Benützung umständlich. Es haftet ihm ferner der gewichtige Nachteil zu grosser Baulänge an, wodurch seine Benützung nur auf solche Stabteile beschränkt bleiben muss, bei denen die Querschnitts-Bearbeitungen, innerhalb der Messstrecke des Apparates von etwa 100 cm Länge, bei gegebener Laststellung unveränderlich, oder nur wenig veränderlich sind.

Umgekehrt besitzt der Mantel'sche Spannungsmesser, zu seinem Nachteil, keine Selbstaufzeichnungs-Vorrichtung, ist aber dafür sehr handlich und wegen seiner Messlänge von 20 bzw. 21 cm (für Schweiss- bzw. Flusseisen) an fast allen Stabteilen der üblichen Bautypen verwendbar.

Der „Fränkel“ wird meines Wissens in Deutschland noch mit Vorliebe benützt; bei uns pflegt man ihn nur noch zu Untersuchungen zu verwenden, bei denen es von besonderem Wert ist, den ganzen Verlauf eines Spannungswechsels zu kennen, oder auch wenn es sich um vergleichende Untersuchungen handelt. Der „Mantel'sche“ Messer erfreut sich hingegen, vorab in seinem Ursprungslande Frankreich, grosser Beliebtheit und hat sich nun auch bei uns, sowie mutmasslich auch in Oesterreich, mit Erfolg eingebürgert. Aus den grossen Unterschieden der beiden Apparate erklärt es sich wohl auch, warum z. B. Gehler in seinem bereits genannten Werk über Nebenspannungen in Fachwerkträgern sich dahin äussert, dass seinen Dehnungsmessungen für die Vergleiche der Nebenspannungen aus Rechnung und Messung zu wenig Genauigkeit anhaftete, während andererseits Rabut, auf Grund seiner zahlreichen Messungen, für die er die sehr bezeichnende Benennung „auscultations“ eingeführt hat, den Spannungsmessungen eine sehr hohe Bedeutung beimisst. Dank einer mehrjährigen Verwendung des „Mantel“ bin auch ich der Meinung geworden, dass seiner Arbeitsweise fast ausnahmslos ein grosses Vertrauen entgegengebracht werden darf, und dass seiner Verwendung höchste Bedeutung in der Erforschung der mannigfaltigen und meistens zu wenig beachtet gebliebenen Nebenwirkungen im Innern der Bauwerke zukommt. Zudem gestaltet sich die Ausführung von Spannungsmessungen — wir stellen im folgenden nur noch auf Ergebnisse mit „Mantel“ ab — verhältnismässig einfach und erfordert keinen grossen Aufwand an rechnerischer Arbeit, solange man sich begnügen kann, einfach festzustellen, ob die Messwerte günstiger ausfallen als solche theoretische, die sich aus üblichen, vereinfachten Berechnungsarten ergeben. Wesentlich anders verhält es sich freilich mit der Auswertung von Messergebnissen, wenn man sich bestrebt, auch noch den Ursachen allfälliger Abweichungen zwischen Rechnung und Messung nachzugehen, um sie, wenn möglich, der praktischen Verwertung dienlich zu machen.

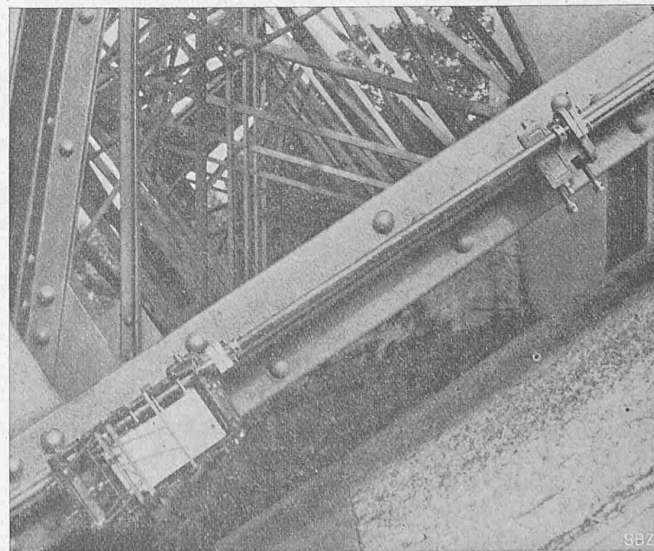


Abb. 4. Dehnungsmesser von Fränkel (an einem Bogenstab).

In Anbetracht des Interesses, das Spannungsmessungen gewöhnlich wecken, erscheint es angezeigt, einiges zu sagen über die Sorgfalt, die an solche Messungen gewendet werden muss, damit die Ergebnisse wirklich die soeben erwähnte Genauigkeit besitzen. Vor allem muss die Mess-

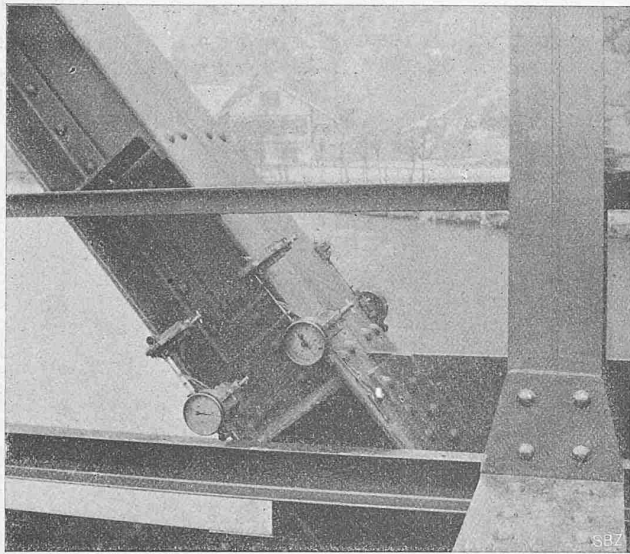


Abb. 3. Dehnungsmesser von Mantel (an einer Fachwerk-Strebe).

länge möglichst genau — wir sprechen von Mantel-Apparaten — auf 20 cm für Schweiss- und 21 cm für Flusseisen eingestellt und jede Klammer *gesondert* gegen seitliche Verdrehungen gesichert werden (vergl. Fussnote 2 Seite 166, Beschreibung des „Mantel“). Die Lage der Messtange ist in bezug auf den gemessenen Querschnitt genau zu erheben. Von *ausschlaggebender Wichtigkeit* ist, dass wegen den unbekannt Nebenwirkungen *alle erreichbaren Fasern* eines Stabquerschnittes gemessen werden, da es nur auf diese Art möglich ist, bei normal beanspruchten Stäben eine Schwerpunktspannung aus den Messungen abzuleiten. Messungen an einem *einzigem* □- oder L-Eisen sind meistens unzuverlässig, da diese nur zwei messbare Kanten besitzen und, wegen der Unsymmetrie der Profile, mehr als andere Profile sekundären Verbiegungen ausgesetzt sind. Bei Flacheisen genügt natürlich die Messung der beiden Fasern; da es aber oft vorkommt, dass solche Bänder infolge Montagefehler örtlich ausgebogen sind, so heisst es aufpassen, dass die Messungen an geraden Strecken ausgeführt werden, weil sonst, statt der eigentlichen Dehnungen infolge Beanspruchung des Stabes, die Längenveränderung der Sehne des, über der Messlänge ausgebogenen Stabteiles zum Ausdruck kommt (es ist dies namentlich bei etwaiger Verwendung des Fränkel mit seiner grossen Messlänge zu beachten). Endlich hat die Erfahrung gelehrt, dass, mit einer Rechnung zu vergleichende, zuverlässige Messwerte nur bei bestimmten *ruhenden* Laststellungen gewonnen werden. Denn die gemessenen Fasern sind ideale, die mit der Messtange der Apparate zusammenfallen, von den Rändern des Stabquerschnittes noch um 25 bis 30 mm abstehen und infolgedessen sehr empfindlich sind gegen alle die möglichen Nebenspannungen. Ferner kann bei der Durchfahrt z. B. eines Zuges oder eines Lastwagens natürlich nur auf die grössten und kleinsten Messwerte geachtet werden, und nicht zugleich noch auf die entsprechenden Stellen der Lasten. Aus diesem Grunde besteht dann Unsicherheit darüber, ob sich die abgelesenen Werte wohl alle gleichzeitig eingestellt haben. Messungen während der Durchfahrt von Lasten sind natürlich nebenbei zu Vergleichszwecken sehr angezeigt; wegen der grossen Empfindlichkeit der Apparate gegen dynamische Wirkungen werden sie aber meistens nur an mittelbar belasteten Hauptträgern zu verwertbaren Ergebnissen führen können. Bevor man zu Ablesungen für bestimmte ruhende Laststellungen

schreitet, wird man gut tun, die Lasten wenn möglich vorher einigemal auf das Bauwerk einwirken zu lassen, um dadurch die auf die Messergebnisse gerne störend wirkenden innern Widerstände der Apparate auszulösen.

Auf *Ergebnisse von Spannungsmessungen* eintretend, sollen gleichzeitig auch Verhältnisse beleuchtet werden, von denen wohl einige als bekannt zu bezeichnen sind. Nach bisherigen Erfahrungen zu schliessen werden sie aber gerne, weil meistens rechnerisch nicht leicht fassbar, zu wenig beachtet. In der Endwirkung führen dann derartige Unachtsamkeiten ganz allgemein zu ungleichmässiger Beurteilung der so ausserordentlich verschiedenartig gestalteten Bauwerke und, im besondern, zu eigentlich unbewusster Begünstigung von konstruktiven Mängeln, die die Sicherheit der Bauwerke beeinträchtigen.

Der Genauigkeitsgrad der Spannungsmessungen ist für praktische Verhältnisse ein sehr grosser, insofern die Messungen mit der nötigen Sorgfalt ausgeführt werden; hierüber werden die zu besprechenden Beispiele von Ergebnissen aus Probelastungen noch anschauliche Auskunft geben. Von besonderem Interesse ist immerhin ein Versuch, bei dem es sich um die Prüfung von Balken im Laboratorium handelte: An zwei I-Balken von 200 cm Stützweite, die durch drei Einzellasten beansprucht wurden (Abbildung 6), hat man u. a. auch in einem Schnitt *M*, zwischen zwei Einzellasten, die Spannungen in den vier Fasern gemessen; hiezu wurden „Mantel“ verwendet, je vier Stück im gleichen Querschnitt und in beliebiger Auswahl unter sechs Apparaten, die für unsere Messungen meistens in Betracht kommen. Die Messungen wurden unter Belastungen bis auf 9 t pro Kolben der Biegemaschine ausgeführt, d. h. bis zu einer Beanspruchung des Trägers von ungefähr

1400 kg/cm<sup>2</sup>. Massgebend für die Genauigkeit dieser Messungen sind die *Mittelwerte* zweier gegenüberliegenden Apparate eines Trägerflansches; denn die einzelnen Apparate zeigen die unvermeidlichen Torsionswirkungen im Träger an. Der Verlauf der massgebenden Spannungssteigerungen war bei allen Flanschen fast genau derselbe; er ist in der Abbildung 6 dargestellt. Das Diagramm ist nahezu eine Gerade, entsprechend der theoretischen Annahme, dass die Spannungen den Belastungen proportional sind. Die gemessene Höchstspannung von 1440 kg/cm<sup>2</sup> ist gleich der theoretischen.

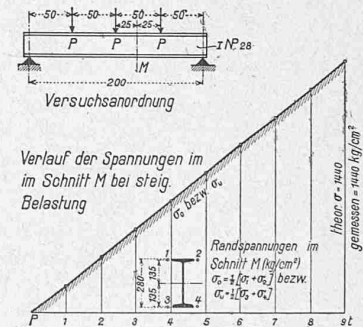


Abb. 6.

Der üblichen Darstellung des in mehrfacher Hinsicht sehr interessanten Ergebnisses schicken wir für Fernerstehende die wichtigsten Programm-Vorschriften voraus. Verlangt war die „harmonische Einfügung in das Bild der Umgebung“; die Kirche kommt unmittelbar neben einen der wuchtigen runden, mit stumpfem Kegeldach versehenen Ecktürme der alten Stadtbefestigung zu stehen. Für die Grundrissbildung war zu beachten, dass von den 900 Sitzplätzen (ohne die Sängerempore mit 80 Plätzen) die äussersten höchstens 23 m von der axial aufzustellenden Kanzel entfernt sein dürfen. Ausser dem Konferenz- und Konfirmandenzimmer (50 m<sup>2</sup>) war ein Raum mit etwa 100 Sitzplätzen für Unterweisungen, Nebengottesdienste, Taufen so anzuordnen, dass er als gelegentliche Kirchen-Vergrösserung dienen kann. Die Baukosten der Kirche (zu 35 Fr./m<sup>3</sup>) samt Turm sollen 400 000 Fr. nicht übersteigen.

## Wettbewerb

### für eine reformierte Kirche in Solothurn.<sup>1)</sup>

Der üblichen Darstellung des in mehrfacher Hinsicht sehr interessanten Ergebnisses schicken wir für Fernerstehende die wichtigsten Programm-Vorschriften voraus. Verlangt war die „harmonische Einfügung in das Bild der Umgebung“; die Kirche kommt unmittelbar neben einen der wuchtigen runden, mit stumpfem Kegeldach versehenen Ecktürme der alten Stadtbefestigung zu stehen. Für die Grundrissbildung war zu beachten, dass von den 900 Sitzplätzen (ohne die Sängerempore mit 80 Plätzen) die äussersten höchstens 23 m von der axial aufzustellenden Kanzel entfernt sein dürfen. Ausser dem Konferenz- und Konfirmandenzimmer (50 m<sup>2</sup>) war ein Raum mit etwa 100 Sitzplätzen für Unterweisungen, Nebengottesdienste, Taufen so anzuordnen, dass er als gelegentliche Kirchen-Vergrösserung dienen kann. Die Baukosten der Kirche (zu 35 Fr./m<sup>3</sup>) samt Turm sollen 400 000 Fr. nicht übersteigen.

<sup>1)</sup> Vergl. Bd. LXIX, S. 161; Bd. LXX, S. 74 und 85.