

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 49/50 (1907)
Heft: 22

Artikel: Der Einsturz der Quebec-Brücke
Autor: Schüle, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-26819>

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: 15.03.2025

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

Der erforderliche Querschnitt wurde zu 4870 cm^2 berechnet, d. h. für $\sigma = 1,4 \text{ t/cm}^2$, ohne Rücksicht auf den Winddruck; mit letzterem würde die Spannung auf $2,04 \text{ t/cm}^2$ steigen. Der Querschnitt war gebildet aus vier vertikalen Tragrippen (siehe Abb. 2), jede aus vier genieteten Blechen mit 89 mm Gesamtdicke; drei Bleche der äussern Rippen sind $1,384 \text{ m}$, das vierte $0,978 \text{ m}$ hoch; in der Ebene des letztern liegen oben und unten Saumwinkel von $203 \cdot 152 \cdot 23,8 \text{ mm}$; für die innern Rippen waren oben und unten Winkel von $203 \cdot 89 \cdot 23,8 \text{ mm}$ angeordnet worden. Der Bruttoquerschnitt ohne Abzug für Nietlöcher stellt sich auf 5497 cm^2 . Die Rippen standen in Abständen von $0,489$, $0,343$ und $0,489 \text{ m}$ von Achse zu Achse, die Breite der Gurtung erreichte somit $1,321 \text{ m}$ zwischen Mitte der Aussenrippen und mit den Saumwinkeln $1,666 \text{ m}$ Gesamtbreite. Die Länge des Feldes betrug $15,24 \text{ m}$ horizontal gemessen oder $17,37 \text{ m}$ von Bolzenachse zu Bolzenachse des Gurtstückes; Trägheitshalbmesser für die horizontale Schwerachse 40 cm , $\frac{l}{i} = 43$; für die vertikale Schwerachse unter der Voraussetzung der Wirkung des Gurt-Querschnittes als Ganzes ist $i = 48 \text{ cm}$, $\frac{l}{i} = 36$.

Zur Versteifung der Rippen unter sich sind oben und unten Querwinkel $89 \cdot 76 \cdot 9,5$ in $2,04 \text{ m}$ Abstand angebracht worden. Nahe an den Enden waren Versteifungsbleche vorhanden, in der Mitte auf ungefähr 10 m Länge oben und 12 m Länge unten, gekreuzte Diagonalen aus Winkeleisen $102 \cdot 76 \cdot 9,5$ mit 16 cm^2 Bruttoquerschnitt.

Auf der obern Seite war der aufrechte 76 mm hohe Flansch der einen Diagonale auf etwa 100 mm weggeschnitten und die andere Diagonale durch die Lücke geführt. Auf der untern Seite geschah die Kreuzung auf einem $9,5 \text{ mm}$ starken Knotenblech in der Weise, dass die eine Diagonale durchlief, während die andere durchgeschnitten war. Die Befestigung geschah an den Enden mit je zwei Nieten, vermutlich mit $2,5 \text{ cm}$ oder $2,2 \text{ cm}$ Durchmesser, d. h. $9,8 \text{ cm}^2$ bzw. 8 cm^2 Querschnitt; in der Mitte waren die Diagonalen oben durch je einen Niet unter sich und mit den Saumwinkeln der beiden mittlern Rippen verbunden. Die Abbildung 3 zeigt ein solches Gurtungsmitglied dicht am Hauptpfeiler während der Montage.

Da die Montierung der Mittelöffnung nicht beendet war, dafür die beiden Montierkrane das Gewicht des freihängenden Teiles vergrösserten, darf annähernd als Gurtungskraft vor dem Einsturz die des Eigengewichtes der fertigen Brücke angenommen werden, d. h. rund 4900 t ; durch den Winddruck war eine Vergrösserung dieser Kraft bewirkt, sodass die Spannung auf den Bruttoquerschnitt etwa 1 t/cm^2 erreichen konnte. Der beschuldigte Druckgurt hatte bereits eine kleine Ausbiegung erfahren im Betrage von 5 cm ; dieses Vorkommnis wurde wenige Tage vor dem Einsturz wahrgenommen und seine Bedeutung verschieden beurteilt; die Aufsichtsbeamten waren darüber sehr besorgt, die Ingenieure der Brückenbauanstalt weniger; der Ingenieur Mac Lure wurde von dem Obergeringieur der Gesellschaft Hoare nach Phoenixville gesandt, um mit dem Obergeringieur Deans der Brückenbauanstalt hierüber zu konferieren; kurz nach dieser Unterredung, die andern Tages fortgesetzt werden sollte, traf die Nachricht des Einsturzes ein.

Es geht aus dem Gesagten hervor, dass eine Berech-

nung des Druckgliedes gegen Ausknicken gar nicht stattgefunden hatte, in der Annahme, das Verhältnis der Länge zum Trägheitsradius erfordere diese Berechnung nicht. Die geschilderten Grundlagen für die Dimensionierung zeigen, dass die Quebecbrücke den üblichen Sicherheitsgrad gegen Druckkräfte von 4 bis 5 nicht erhalten sollte, sondern wenn die Erreichung der Streckgrenze bei Druckgliedern als gleichbedeutend mit Ausknicken, wie aus vielen Versuchen hervorgeht, vorausgesetzt wird, hätte annähernd der Sicherheitsgrad gegen Eigengewicht 3, gegen Eigengewicht + Nutzlast 2, gegen Eigengewicht + max. Winddruck 1,6, gegen Eigengewicht + Nutzlast + Winddruck nur 1,3 betragen. In Wirklichkeit kam noch zu diesen ungünstigen Umständen die Tatsache, dass für die Querversteifungen der Gurtungsrippen die getroffene Anordnung ganz ungenügend war.

Bei Berechnung von Druckgliedern gegen Knicken geben ausgeführte Laboratoriumsversuche genügende Anhaltspunkte für den Fall der freien Auflagerung an den Enden und einer Querschnittsbildung, die als Ganzes widersteht; ist der Querschnitt aus mehreren Teilen zusammengesetzt, so wird die Wirkung als Ganzes durch Versteifungen erzielt, deren rechnerische Dimensionierung meist unterbleibt. Diese Versteifungen können wie in den Druckstreben der Mönchensteinerbrücke¹⁾ aus kleinen Blechplatten oder bei zweiteiligen Gurtungen aus Querrahmen und einer Anzahl Winkel oder Flacheisen bestehen. Winkel oder Flacheisen, die kein Fachwerk bilden, haben sich be-

reits in einigen Fällen als ungenügend gezeigt; es sei erinnert an die Morawa-Brücke bei Ljubitschewo²⁾, die bei der Belastungsprobe durch Ausknicken der obern Gurtung einstürzte; die Druckspannung betrug $0,9 \text{ t/cm}^2$, der Querschnitt der Gurtung (Abbildung 4 und 5, S. 282), hätte bei zusammenhängender Wirkung der beiden Gurtungshälften mit $\frac{l}{i} = 40$ 2,8-fache Sicherheit gegen Knicken gehabt, für getrennte Gurtfragmente hingegen nur etwa 1,2-fache Sicherheit. Eine andere Brücke kann hier als Beispiel angeführt werden: die Forstbrücke bei Neisse³⁾, welche von der preussischen Eisenbahnverwaltung im Jahre 1894 bis zum Bruch belastet wurde. Die obere Gurtung, die nach Abbildung 6 gebildet war und deren Hälften durch ein Fachwerk aus Flacheisen miteinander verbunden waren, knickte aus bei einer Spannung von $2,2 \text{ t/cm}^2$ (siehe Abb. 7 u. 8 S. 283) durch Reissen der Gitterstäbe an den Nietlöchern.

Zwischen den Gurtungskräften und den beim Ausknicken in den Versteifungsstreben wirksamen Kräften muss ein gewisses Verhältnis bestehen. Von theoretischen Erörterungen ausgehend hat Engesser im Zentralblatt der Bauverwaltung 1891, S. 483 eine Methode angegeben, um die Kraft in den Versteifungsstreben zu berechnen; er geht aus von der Annahme, dass im Momente des Ausknickens die Festigkeit des Eisens erschöpft ist; er berechnet diejenige Zusatzspannung, die neben der im Druckglied wirkenden mittlern Spannung durch die achsial angenommene äussere Kraft P wirken muss, um die Festigkeit des Eisens zu er-

¹⁾ Bd. XX, S. 144 und Bd. XXI, S. 37.

²⁾ Bd. XXI, S. 55 u. ff. ausführliche Beschreibung von Tetmayer, der Abbildung 5 entnommen ist.

³⁾ Zeitschrift für Bauwesen 1895, S. 289.

Der Einsturz der Quebecbrücke.

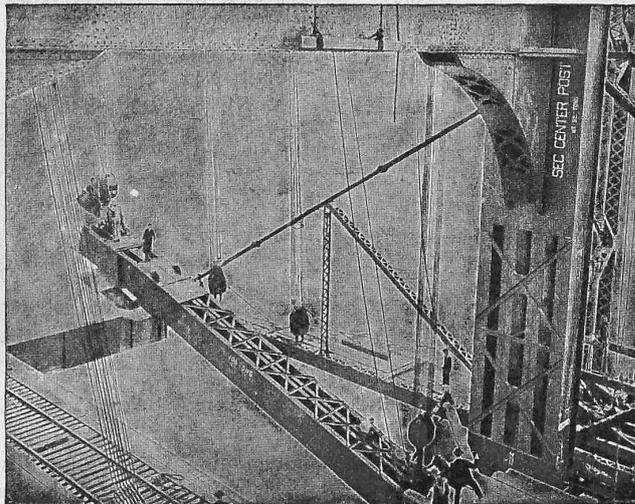


Abb. 3. Montierung eines Untergurt-Druckgliedes zunächst dem Hauptpfeiler der Brücke.

schöpfen; diese Zusatzkraft wird von einem Biegemomente herrührend vorausgesetzt; der Drehpunkt des einseitigen Gurtungsstückes zwischen zwei Knotenpunkten des Versteifungssystems gibt den Hebelarm des Momentes an; das letztere ist dadurch bekannt; die Versteifungsstäbe erhalten nur Kräfte, die von Scheerkräften hervorgerufen werden; diese werden durch Ableitung aus dem Biegemomente ermittelt.

Gurtungshälften nur knicksicher durch die seitliche Verstrebung, so wird ein Ausweichen aus der Achse unvermeidlich; das entstehende Excentrizitätsmoment wächst bald, bis ein Ausknicken erfolgt, wenn die Streben nicht vermögen die auftretenden Kräfte aufzunehmen. Das Schwanken von hohen schwerbelasteten eisernen Pfeilern ist auf die gleiche Ursache zurückzuführen. Im übrigen wird jede Excentrizität in dem Lastangriff an den Stab-

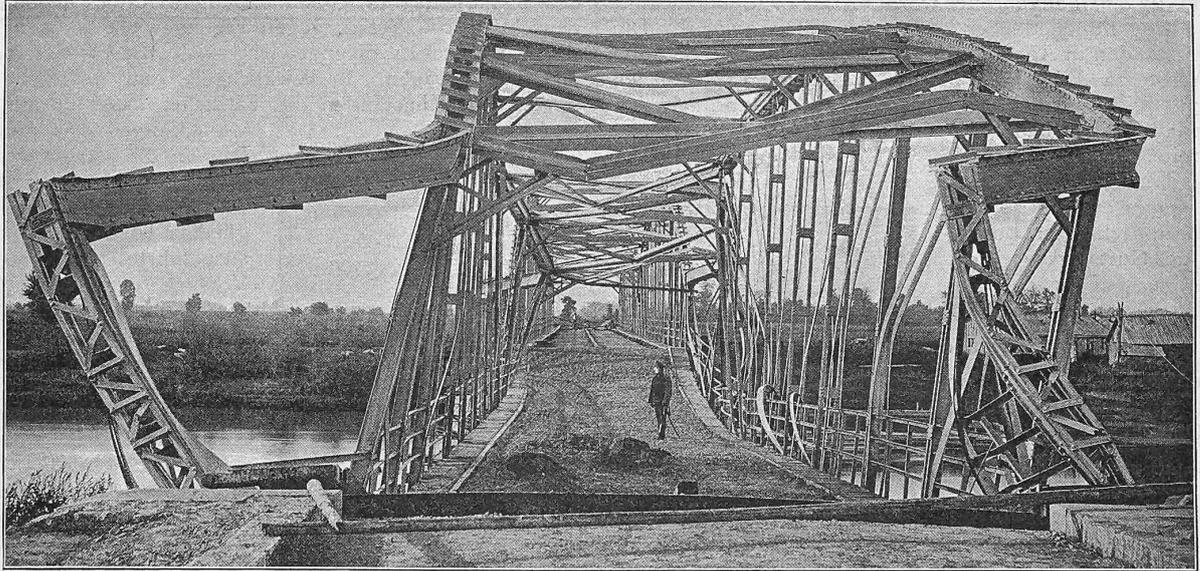


Abb. 5. Ansicht der eingestürzten Strassenbrücke bei Ljubitschewo. Im Hintergrund die nach rechts ausgeknickten Druckgurtungen.

Bei dem Druckgurt der Quebecbrücke ist diese Methode nicht anwendbar; sie liefert allzu gewaltige Kräfte in den Versteifungsstäben; hingegen lässt sich annähernd die Grösse der Kräfte im Versteifungsträger aus der beobachteten Ausbiegung der Gurtung vor dem Einsturz ermitteln; mit 5 cm Verkrümmung und 5000 t Gurtungskraft ergibt sich 25 000 cm · t Biegemoment; in den Gurtungsteilen rief dieses Moment eine Zusatzbiegungsspannung von etwa 0,26 t/cm² hervor, somit 1,26 t/cm² mit der gleichmässig über den Querschnitt verteilten Druckkraft; das Ausknicken ist eingetreten, bevor die Elastizitätsgrenze im Eisen der Gurtungsteile erreicht war.

Ein solches Moment kann man sich auch durch eine seitliche Belastung hervorgerufen denken und zwar wenn nur die Länge des Druckgurtes mit Fachwerkversteifung in Betracht gezogen wird, d. h. ungefähr 12 m, entspricht diesem Moment eine seitliche Belastung von $p = \frac{250,00 \times 8}{12^2} = 13,9 \text{ t}$ und eine Scherkraft an den Enden dieser Länge von $13,9 \times 6 = 83,4 \text{ t}$; verteilt auf vier Streben empfängt jede derselben etwa 20,9 t Scherkraft oder 29 t Strebenkraft; die Beanspruchung eines Winkel-eisens erreichte somit 1,81 t/cm² und diejenige der Endnieten 3,0 t/cm² bei 2,5 cm Durchmesser und 3,8 t/cm² bei 2,2 cm Durchmesser. Das Ausknicken ist unter solchen Umständen leicht erklärlich.

Die Untersuchungen von Félix Jasinski, Sept.-Heft 1894 der „Annales des ponts et chaussées“ liefern in § 8 den Weg, auf welchem bei elastischem Material das Verhältnis zwischen Knickkraft und einer quer zum Druckstab wirkenden Belastung ermittelt werden kann.

Es bleibt immer noch die Frage zu lösen, warum ein ziemlich breites Druckglied auch trotz der zu schwachen Querversteifung beginnen konnte eine Ausbiegung zu zeigen. Hier können folgende Erfahrungen aufklärend wirken. Das Verkürzen durch Druckkräfte eines aus getrennten Hälften gebildeten und durch Fachwerk seitlich versteiften Stabes hat ein Schlaffwerden der Streben, d. h. eine Verminderung der seitlichen Steifigkeit zur Folge; sind die

enden eine Verbiegung des Stabes hervorrufen; in dieser Beziehung war der Druckgurt A9 der Quebecbrücke nicht ganz einwandfrei ausgeführt, denn er soll vor dem Versetzen eine Reparatur an einem Ende erfahren haben.

Ausbiegungen ohne scheinbare Gefährlichkeit können in Druckgliedern zu einer plötzlichen Gleichgewichtsstörung führen; darin besteht die grosse Gefahr des Ausknickens. Versuche an Festigkeitsmaschinen bringen diese Gefahr gar nicht deutlich zum Ausdruck; ist die Knickkraft erreicht, so weicht allerdings der Stab aus, jedoch ohne

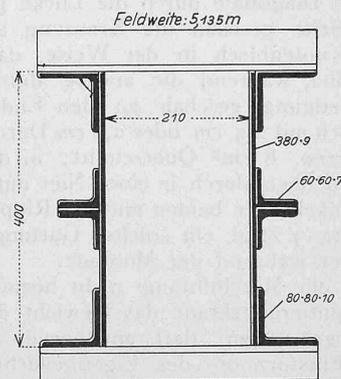


Abb. 4. Druckgurtungen der Ljubitschewo-Brücke. — 1 : 10.

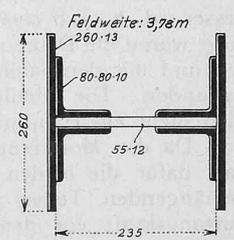


Abb. 6. Druckgurtungen der Forstbrücke. — 1 : 10.

gewaltsame Zerstörung, denn die Platten der Maschine rücken nicht nach und es tritt eine Entlastung ein. Wie anders bei dem Ausknicken eines Druckgliedes in einer Brücke!

Bei der Erprobung bis zum Bruch der alten Emmenbrücke in Wolhusen¹⁾ war das Knicken einer Strebe durch die Anordnung der Belastung beabsichtigt; Messungen der Ausbiegungen wurden fortwährend an allen Streben vorgenommen; die gefährliche Strebe hatte bei etwa 7 m Länge nur 1,2 cm Ausbiegung gezeigt und alle anwesenden Ingenieure glaubten, es werde bis zu einem Bruch der Brücke

¹⁾ Band XXV, Seite 105 u. ff. und Rapport publié par le Dép. féd. des chemins de fer 1895.

noch lange gehen als dieser plötzlich eintrat; in einem Bruchteil einer Sekunde lag die zerstörte Brücke vor unsern Augen.

Die ausranierte Eisenbahnbrücke in Mumpf sollte auch bei Belastung bis zum Bruch durch Ausknicken einer Druckstrebe zu Grunde gehen¹⁾; das vierfache Fachwerk-system zeigte bei diesem Versuch seine Ueberlegenheit, indem eine sehr hohe Belastung erforderlich wurde, um den Einsturz herbeizuführen; die Verkrümmungen waren auch ganz harmlos bis unmittelbar vor dem Bruch; da dauerte der Einsturz mit der Beschädigung der Brücke an vielen Stellen auch nur einen Bruchteil einer Sekunde. Im Hofe des Polytechnikums in Zürich ist ein Stück der ausgeknickten und zerstörten Mumpferbrücke aufgestellt.

Bei der alten Erlenbachbrücke in Biberach-Zell, die von der badischen Eisenbahnverwaltung bis zum Bruch erprobt wurde²⁾, trat die Zerstörung viel langsamer, bei einer Pause ohne Zunahme der Last ein, indem Niete von Strebenanschlüssen nach und nach abgescheert wurden. Es wäre nicht ausgeschlossen, dass bei der Quebecbrücke ein ähnlicher Vorgang mitgewirkt hätte; die stark beanspruchten Niete der Querverbindungen des Druckgliedes können nach und nach abgescheert worden sein, und der mögliche Einsturz wurde zur Tatsache, ohne dass auf der Brücke weitere Belastungen aufgebracht wurden. Die behördlich angeordnete Enquete wird über diese verschiedenen Fragen weitere Aufklärung bringen.

Zum Schluss sei hervorgehoben, dass die allgemeine Disposition der Quebecbrücke vor Jahren von einigen

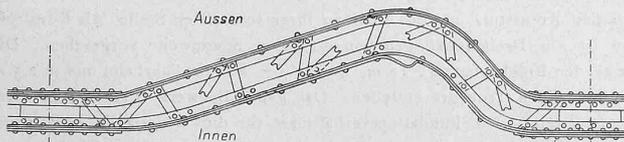


Abb. 7. Draufsicht der ausgeknickten Druckgurtung der Forstbrücke. Masstab 1 : 40.

Ingenieuren ungünstig beurteilt wurde; es betraf dies die Anordnung der Brückenträger in vertikaler Ebene und die daraus folgende, im Verhältnis zu einer solchen Stützweite schmale Brückenbreite. Diese Anordnung sicherte die bil-

Vergleichende Zusammenstellung von Stützweite und Auflagerbreite einiger Eisenbrücken.

Brücke	Max. Stützweite <i>l</i>	Auflagerbreite <i>b</i>	<i>l</i> : <i>b</i>	System
	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	
Müngstenviadukt	170	25,7	6,6	Eingespannter Bogen
Viaurviadukt	220	33,4	6,6	Drei Gelenkbogen
Garabitviadukt	165	20,0	8,2	Zwei Gelenkbogen
Forthbrücke	521,2	35	15	Cantileverbrücke
Cernavodabrücke ü. d. Donau	140	9	15	dto.
Quebecbrücke	548	19	29	dto. eingestürzt.
Prov. Adourbrücke in Tarbes	45	1,5	30	Blecbalken, eingestürzt.

¹⁾ Band XXVIII, Seite 117.

²⁾ Band XXX, Seite 139.

ligste Ausführung, einfache Werkstattarbeit, leichten Anschluss der Windverstreben, leichtere Montierung. Der Hauptnachteil bestand aber in der ungünstigen Wirkung des Winddruckes auf die Gurtungen, der bedenkliche Querbewegungen und Torsion der Brücke befürchten liess. Nach den nun bekannten Grundlagen für die Dimensionierung geht als Bestätigung der obigen Aeusserung hervor, dass der Winddruck in dem ausgeknickten Druckglied nach dem Entwurf $\pm 64\%$ der Kraft vom Eigengewicht betragen konnte und $\pm 158\%$ der Kraft von der angenommenen maximalen Nutzlast. Das abnormale Verhältnis der Oeffnung zur Brückenbreite an den Auflagern zeigt nebenstehende Tabelle.

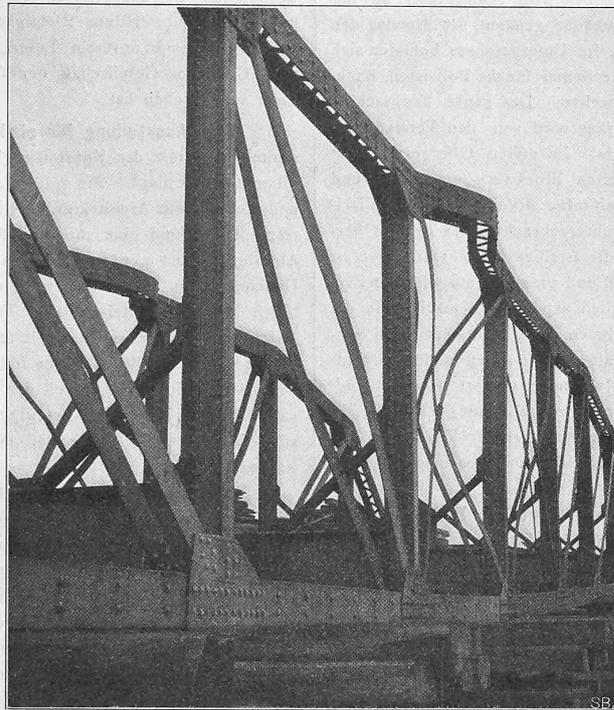


Abb. 8. Ansicht der zerdrückten Eisenkonstruktion der Forstbrücke bei Neisse.

Die fünf ersten Eisenbahnbrücken der Tabelle haben Hauptträger in geneigter Ebene, die Quebecbrücke hingegen solche in vertikaler Ebene.

In dem Bestreben, das bisher gebräuchliche zu übertreffen, darf der Ingenieur nicht zu sehr gehemmt werden; im Falle der Quebecbrücke sind aber solche Neuerungen, betreffend zulässige Inanspruchnahme des Eisens, Ermittlung der Nutzlasten, Verhältnis von Stützweite zu Auflagerbreite, eingeführt worden, dass Bedenken über die Zweckmässigkeit des Projektes hätten erwachen sollen. Die bisherige Untersuchung hat gezeigt, dass die Versteifung der auf Druck beanspruchten Glieder des Baues noch be-

denklicher war; sollte diese teure Erfahrung die Zukunft vor ähnlichen Vorkommnissen bewahren, so wäre das als ein günstiges Ergebnis dieses traurigen Ereignisses zu verzeichnen.

Zürich, Nov. 1907.

F. Schüle.

Miscellanea.

Die **Wasserkräfte Bayerns** behandelt eine kürzlich erschienene, im Auftrage des bayerischen Ministeriums des Innern von der obersten Baubehörde verfasste Denkschrift, die sich aus zwei Teilen zusammensetzt. Der *allgemeine Teil* behandelt folgende Kapitel: Geschichtlicher Rückblick; Technische Grundlagen; Wirtschaftliche Grundlagen der Wasserkraftausnützung; Die Wasserkraftausnützung im Auslande und im Deutschen Reiche mit Ausnahme von Bayern. Der *besondere Teil* beschäftigt sich mit den Verhältnissen Bayerns in folgenden Abschnitten: Tabellarische und graphische Zusammenstellung der ausgenützten und noch verfügbaren Wasserkräfte des Landes, nach Stromgebieten geordnet (die hiezu gehörenden Karten und Pläne sind auf 145 Tafeln in einem besondern Bande vereinigt); Die Benützung der bayerischen Alpenseen als Stauweiher; Rechtsverhältnisse; Grössere Projekte, deren Ausführung in Aussicht genommen ist (mit Planbeilagen); Leitende Gesichtspunkte für die Wasserkraftausnützung in Bayern. Den Schluss bildet eine Uebersichtskarte der Flüsse Bayerns. Das Werk enthält in dem betreffenden Kapitel Erläuterungen und Vorschläge für acht verschiedene grössere Wasserkraftanlagen, von denen die letzte und bedeutendste das *Walchenseeprojekt* betrifft. Hier handelt es sich nach dem Projekte der bayerischen Staatsbauverwaltung darum, das Wasser der Isar unterhalb Wallgau und das des Rissbaches zu fassen und beide in getrennten Stollen dem Walchensee zuzuführen. Zwei weitere Stollen sollen aus dem Staubecken des Walchensees nach dem 202 m tiefer liegenden Kochelsee führen, wo das Hauptkraftwerk errichtet würde. Die hierbei zu gewinnende Gesamtwasserkraft wird mit 56 000 PS angegeben und die Baukosten auf rund 22 Millionen Fr. veranschlagt. Die Kraft wäre in erster Linie dem elektrischen Bahnbetrieb vorbehalten, der Ueberschuss würde der Industrie zu