



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298378

x
2.265

J.

Ueber die
Erkenntniss abnormaler Zustände
in eisernen Brücken.

Vortrag

gehalten in der Wochenversammlung
des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins
am 12. Februar 1887

von

Joh. E. Brik

o. ö. Professor des Brückenbaues an der k. k. technischen Hochschule zu Brünn,
vormals Ober-Ingenieur der österreichischen Nordwestbahn.

Mit 11 Figuren im Text.

J. Nr. 18379



Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann

1891.

III. C. 6.

g.
2.265
18
41



|| 31875

Separat-Abdruck aus der Zeitschrift des österreichischen Ingenieur-
und Architekten-Vereines, Heft I, 1887.

Akc. Nr. 5316/50

Die Fragen über die Dauer und die Sicherheit der eisernen Brücken sind schon oft Gegenstand besonderer Erörterungen in Fachkreisen gewesen. Unzureichende Erfahrungen über die Einflüsse der Zeit auf diese wichtigen Objekte unseres modernen Kommunikationswesens erschweren eine bestimmte Beantwortung hinsichtlich der ersten Frage, die als reine Zeitfrage auch nur der Zukunft zur endgiltigen Lösung vorbehalten bleiben muss. Dagegen ist die Beantwortung der Frage nach der Sicherheit unserer Eisenbrücken eine unabweisbare Forderung der Gegenwart, welche umso dringender an uns herantritt, wenn Ereignisse von Zusammenbrüchen derartiger Bauwerke als drohende Mahnungen sich geltend machen. Unsere Bemühungen müssen deshalb dahin gerichtet sein, sowohl die Ursachen, welche die Sicherheit der Brücken zu beeinträchtigen vermögen, zu erforschen, als auch die Merkmale ausfindig zu machen, die zur Erkenntniss gefahrdrohender Zustände führen.

Die Behandlung dieser Aufgabe soll Gegenstand nachfolgenden Vortrages sein.

Eine jede Eisenbrücke ist nicht bloß als besonderes Individuum zu betrachten; sie ist auch einem Organismus vergleichbar, denn die wesentlichen Konstruktionsglieder haben bestimmte, den Bestand des Gesamtbauwerkes bedingende Aufgaben zu erfüllen, wodurch sie sich als gegenseitig abhängige Organe charakterisieren.

Soll der Gesamtorganismus seiner Bestimmung gemäss leistungsfähig sein und bleiben, so müssen dessen Einzelorgane an und für sich sowohl als auch in ihrem gegenseitigen Zusammenhange die ihnen zufallenden Leistungen zu erfüllen vermögen. Ist auch nur eines dieser Organe hiezu minder tauglich — sei dies schon ursprünglich

der Fall gewesen oder entstand dieser Zustand erst später durch Erschöpfung als Folge von Ueberanstrengung des Materiales oder der Organverbindungen — so werden die damit unmittelbar und mittelbar verbundenen Organe in Mitleidenschaft gezogen, indem denselben dadurch unzukömmliche und unangemessene Leistungen aufgebürdet werden, denen sie nicht immer in dem erforderlichen Grade zu genügen vermögen werden. In einem solchen Falle liegt ein Zustand lokaler Organschwäche vor, der einem Kranksein des Gesamtkörpers entspricht. Es wird dann ebensowohl von dem Grade des Ergriffenseins, als von der Wichtigkeit der betreffenden Organe abhängen, ob und inwiefern eine Gefährdung des Bestandes des Objectes zu befürchten sei.

Wir bezeichnen derartige Zustände, welche immer mit Spannungserhöhungen in den ergriffenen Organen in Verbindung stehen, überhaupt als „abnormale“ im Gegensatze zu jenen, welche den üblichen theoretischen und praktisch-konstruktiven Verhältnissen entsprechen, und die daher „normal“ genannt werden sollen.

Obwohl die Erkenntniss solcher „abnormaler“ Zustände für die Beurtheilung der Leistungsfähigkeit und des Werthes einer Brücke von hoher Wichtigkeit ist, so befindet sich dieser spezielle Zweig der Brückenbauwissenschaft dennoch erst in seinen Anfängen.

So wie die rationelle Diagnostik der Krankheiten nur auf Grundlage der Physiologie und der Pathologie möglich ist, so kann auch in unserem Falle nur die genaue Kenntniss der normalen Funktionen der einzelnen Brückenorgane und reiche Erfahrung über deren krankhafte Erscheinungen die Wege zur Begründung einer wissenschaftlichen Erkenntnisslehre in unserem Sinne ebnen.

Die gegenwärtig hochentwickelte Theorie der Brücken vermag wohl über die normalen Funktionen der Brückenorgane aufzuklären; die Kenntniss der Eigenschaften unseres Konstruktionsmateriales ist durch die epochemachenden Versuchsergebnisse Wöhler's, Bauschinger's und anderer Forscher schon sehr weit fortgeschritten; die Erfahrungen über krankhafte und gefahrdrohende Erscheinungen an Eisenbrücken sind dagegen nur äusserst dürftig und noch lange nicht ausreichend, um darauf eine spezielle Wissenschaft aufbauen zu können. Unsere Aufgabe ist es jetzt, Beobachtungsergebnisse zu sammeln. Empfindliche

Instrumente, wie der Fränkel'sche Dehnungszeichner u. A., sind Hilfsmittel, die es ermöglichen, durch direkte Messung Längenänderungen in bestimmten Orten der Brückenorgane zu ermitteln und so zu wichtigen Aufschlüssen über Spannungsvorgänge im Inneren dieser Organe während der Einwirkung von Belastungen zu gelangen.

Auf Grund zahlreicher Beobachtungsergebnisse dürfte es dann auch gelingen, nicht nur eine „Krankheitslehre“ — Pathologie — der Eisenbrücken zu schaffen, sondern auch die Kennzeichen festzustellen, welche als Symptome die verschiedenen Krankheiten begleiten.

Wenn wir uns die Aufgabe stellen, gewisse Vorkommnisse oder Verhältnisse zu ergründen, so werden wir immer bemüht sein, deren Ursachen zu entdecken; wenn dagegen in einem bestimmten Falle eine Reihe möglicher und bekannter Ursachen und deren Wirkungen zu gewärtigen ist, so wird es durch eine Aufeinanderfolge von Ausschliessungen (Exklusionen) unzutreffender Möglichkeiten gelingen, die Untersuchung auf ein beschränktes Gebiet der ursächlichen Möglichkeiten einzugrenzen, wo dann die weitere Untersuchung übersichtlicher und leichter verfolgt werden kann.

Wir wollen, diesem entsprechend, zunächst die wichtigsten Ursachen, welche abnormale Zustände in eisernen Brücken hervorbringen vermögen, aufzählen, dann deren Wirkungen und die sie begleitenden Erscheinungen besprechen, um auf Grund derselben zu einer Untersuchungsmethode zu gelangen, die geeignet sein kann, zur Entdeckung der gesuchten abnormalen Zustände zu führen.

I. Die Ursachen der abnormalen Zustände.

Es ist zweifellos, dass die Kenntniss der Ursachen dieser Zustände von grundlegender Wichtigkeit für die Erkenntniss derselben ist, und dass, je vollständiger die Reihe der möglichen Ursachen bekannt ist, auch die systematische Untersuchung sich leichter gestalten werde.

Als „abnormale“ Zustände können wir jene definiren, welche überhaupt mit Ueberanstrengungen des Materiales einzelner Konstruktionsglieder in Verbindung stehen. Hiernach kommen vornehmlich die folgenden Ursachen in Betracht:

1. Ungenügende Dimensionen der Konstruktionsglieder, unzu-

reichende Konstruktion der Anschlussverbindungen, Konstruktionsfehler überhaupt, mangelhafte Deckung der Stösse insbesondere.

2. Unrichtigkeiten in der Höhenlage der Stützpunkte bei kontinuierlichen Balkenträgern; Differenzen der Spannweiten zwischen den Pfeilern und der ursprünglichen Sehne des Metallbogens bei Bogenträgern mit weniger als drei Gelenken.

3. Fehler des Konstruktionsmaterials und Arbeitsmängel.

4. Rostbildung.

5. Sekundärspannungen in der Ebene der Tragwände, veranlasst durch die Steifheit der Verbindungen, so wie durch exzentrische Kraftübertragung überhaupt.

6. Sekundärspannungen normal zur Trägerebene, in Folge exzentrischer Kraftübertragung im Allgemeinen, namentlich jedoch durch die Querträger und deren Biegung. Bei „schiefen“ Brücken insbesondere die Torsionswirkungen. Hierher gehören auch die seitlichen Ausbiegungen, welche in Folge ungenügender Steifigkeit gedrückter Konstruktionstheile entstehen; in dieser Hinsicht sind namentlich die Druckgurte „offener“ Brücken in Betracht zu ziehen.

7. Einflüsse der Temperatur-Differenzen.

8. Montirungsspannungen in Folge von zwangweise in die Konstruktion eingefügten Konstruktionsgliedern. Hierher gehören somit auch alle Einflüsse der sogenannten Anfangsspannungen.

9. Die schädlichen Einwirkungen des Transportes fertig montirter Brücken durch Ueberschiebung.

10. Einfluss der Zeit, des Alters.

II. Die Wirkungen jener Ursachen und die sie begleitenden Erscheinungen.

Die Widerstandsäusserungen der von Kräften affizirten Konstruktionsglieder sind stets begleitet von kleinen Längen- bzw. Gestaltsänderungen dieser Organe, so zwar, dass diese Deformationen als Wirkung jener Widerstandsäusserungen in Erscheinung treten. Obzwar diese Deformationen im Allgemeinen nur sehr klein sind, so entziehen sie sich dennoch nicht der Möglichkeit der Messung und daher auch nicht der Beobachtung.

ad 1. Als „ungenügend“ dimensionirte Konstruktionsglieder be-

zeichnen wir solche, welche nach den Resultaten der Theorie und feststehender Konstruktionsprinzipien auf die Ueberanstrengung des Materiales schliessen lassen. Diese Konstruktionsglieder werden daher auch verhältnissmässig grössere Längenänderungen annehmen und — wenn auf Druck beansprucht — seitliche Ausbiegungen zeigen. Derartige Zustände bewirken dann mittelbar die Deformation der mit diesen Organen verbundenen Nachbarorgane und des ganzen Trägers.

Von gleicher Wirkung zeigt sich die unzureichende Widerstandsfähigkeit der Verbindungskonstruktion zwischen den einzelnen Organen. Ein Nachgeben dieser Verbindungen bringt denselben Effekt hervor, wie eine Längenänderung des verbundenen Organes selbst. Es gehören hieher namentlich die Wirkungen, welche in Folge übermässigen Stauchdruckes in den Nietlochwänden entstehen. Diese Wirkungen sind begleitet von länglich in der Druckrichtung ausgedehnten Nietlöchern, mitunter auch von Einrissen längs der Schweissnähte, Fig. 1, u. s. w. Gestanzte Nietlöcher, insbesondere solche, die nicht nachgebohrt wurden, erweisen sich in dieser Hinsicht jedenfalls ungünstiger als gebohrte. Es liegt dies in der durch das Stanzen bedingten gewaltsamen Alteration des Materiales am Nietlochumfange, weshalb der zulässige Stauchdruck für diese Ausführung beträchtlich niedriger gehalten werden sollte als bei gebohrten Löchern.



Fig. 1.

Die Berechnung ergibt für den maximalen Stauchungsdruck gegen die Nietlochrückwand bei einschnittigen Nieten:

$$\max k = \frac{d}{\delta} t$$

und für doppelschnittige Niete:

$$\max k = 2 \frac{d}{\delta} t,$$

wobei d der Bolzendurchmesser, δ die Blechstärke und t die Beanspruchung des Nietes auf Scheerfestigkeit. Der durchschnittliche spezifische Stauchdruck auf die projizierte Druckfläche $d\delta$ verhält sich zum maximalen Stauchdrucke wie 3 : 4. Die örtliche Ueberanstrengung

des Materials des Stehbleches an den Knotenpunkten von Fachwerken, namentlich in der Ebene der äussersten Nietreihe der Zugstäbe, wo die zur Walzrichtung senkrechten Spannkkräfte sich ansammeln, kann bei ungenügender Stärke des Stehbleches oder bei mangelhafter Schweissung daselbst zu Längsrissen Veranlassung geben. — Konstruktionsfehler überhaupt und ungenügende Stossdeckungen können lokale, übermässige Anstrengungen des Materiales bewirken; derartige Fehler bedingen alsdann örtliche Schwächungen, welche dem Vorhandensein von Fehlstellen im Materiale gleichzuachten sind.

ad 2. Fehler in der Höhenlage der Stützpunkte kontinuierlicher Träger beeinflussen die Spannungen und die Deformation der Träger wesentlich. Die theoretisch ermittelten maximalen Einsenkungen kontinuierlicher Träger zeigen gewöhnlich eine ziemlich gute Uebereinstimmung mit den entsprechenden bei Belastungsproben erhobenen Grössen. Diesbezügliche Differenzen führten mich jedesmal auf wirklich vorhandene Fehler in der Höhenlage der Stützpunkte.

Bei Bogenträgern mit weniger als drei Gelenken dürfte der Vergleich zwischen der rechnerisch ermittelten Einsenkung mit der gemessenen — unter Berücksichtigung der Temperaturverhältnisse, d. i. der Temperatur während der Trägerlagerung und jener zur Zeit der Messung der Einsenkung — ebenfalls zu Schlussfolgerungen über allfällige Differenzen zwischen der ursprünglich angelegten und der ausgeführten Bogensehne führen.

ad 3. Obwohl Qualitätsfehler des Materiales von den verhängnissvollsten Folgen begleitet sein können, so ist doch der Zusammenbruch eiserner Brücken in den bisher bekanntgewordenen Fällen nur selten dieser Ursache allein zugeschrieben worden. Meist waren grobe Konstruktionsfehler, Ueberanstrengungen des Materiales, mechanische Einwirkungen, Durchrostung u. s. w. die Ursachen solcher Katastrophen. So wenig Schwierigkeiten es bereitet, die Qualität des Konstruktionsmateriales an und für sich zu beurtheilen, ebenso schwer ist es dagegen, dieselbe in fertigen Brücken zu prüfen. In den meisten Fällen wird es sogar unmöglich sein, dieser Aufgabe zu genügen, wenn nicht schon äusserlich wahrnehmbare Fehler zum Vorschein kommen oder theilweise Demontirungen vorgenommen werden dürfen.

Die Wirkungen von Materialfehlern lassen sich im Allgemeinen mit Bestimmtheit nicht angeben; sie hängen ebensowohl von der Art und Bedeutung dieser Fehler, als von dem Orte, in welchem sie vorhanden sind, ab. Auf jeden Fall sind diese oft sehr schwer konstatirbaren Uebel als die gefährlichsten Feinde der Eisenkonstruktion zu betrachten, gegen die nur eine gewissenhaft ausgeübte Kontrolle und verschiedentliche Erprobungen des Konstruktionseisens vor dessen Verwendung zu schützen vermögen.

Als „Arbeitsmängel“ bezeichnen wir im Allgemeinen das Nichtübereinstimmen der Ausführung im Detail mit den Absichten des Konstrukteurs. Sie können bestehen in Fehlern hinsichtlich der geometrischen Gestaltung der Träger, in Ablängungsfehlern einzelner Konstruktionstheile, in Fehlern der Niettheilung — „verbohrten“ Löchern — mangelhaft ausgeführter Nietung u. i. A. m.

Arbeitsmängel zeigen sich oft äusserlich an; so durch Verbiegungen der Wandglieder bei fehlerhafter Ablängung derselben, durch schlaffe, schlotternde Zugbänder, durch zickzackförmigen Linienzug der Gurte im horizontalen und vertikalen Sinne u. s. w. Ablängungs- und Niettheilungsfehler von Konstruktionselementen, die miteinander durch Nietung verbunden werden müssen und bei welchen erst ein gewaltsames Aufdornen die erforderliche Koinzidenz der Nietlöcher herbeiführt, bewirken das Auftreten von oft sehr bedeutenden Spannungsdifferenzen zwischen den verbundenen Theilen. Das Konstruktionsstück enthält alsdann „innere“ Spannungen, die umso schädlicher werden können, je geringer die Dehnbarkeit des Materials ist. Von einer gleichmässigen Spannungsvertheilung im Querschnitte eines solchen Konstruktionstheils, wie sie die Theorie voraussetzt, kann dann keine Rede mehr sein.

Diese Fehler haben die Bedeutung von Qualitätsfehlern und können ebenso schwer wie diese bei fertigen Brücken erkannt werden. — Mangelhaft ausgeführte Nietarbeit, d. i. unvollständige Ausstauchung der Nietbolzen in den Nietlöchern, hat das Auftreten von Verschiebungen der vernieteten Theile bei Kraftübertragungen zur Folge. Diese Arbeitsmängel sind die häufigste Ursache „bleibender“ Deformirung der Brückenträger. Lose — lockere — Niete sind allemal Beweise für schlecht ausgeführte Nietung.

ad 4. Der Rost gilt seit jeher als Hauptfeind des Eisens und daher auch der Eisenbrücken. Seine schädliche Wirkung besteht in der fortschreitenden Zerstörung des Konstruktionsmaterials und entspricht daher einer Verminderung der Konstruktionsquerschnitte, also einer Schwächung der Konstruktion. Glücklicherweise verräth diese zehrende Krankheit ihr Dasein durch Rostflecke und Rostflüsse, so dass bei einiger Aufmerksamkeit dieselbe kaum übersehen werden kann. Lichter Anstrich der Konstruktion erleichtert jedenfalls das Auffinden solcher Stellen.

Rostspuren können mitunter zur Entdeckung vorhandener Risse, lockerer Niete u. dergl. führen, in welchem Falle sie als werthvolle Symptome dieser Krankheiten anzusehen sind.

ad 5. Die Sekundärspannungen der Konstruktionsglieder in der Ebene der Trägerwand entstehen in Folge der starren Knotenpunktverbindungen bei der Deformirung der Träger. Während bei

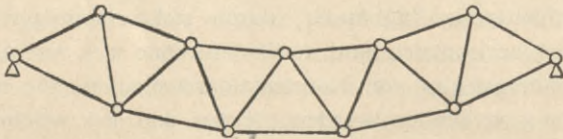


Fig. 2.

gelenkförmigen Knotenpunkten die einzelnen Konstruktionsglieder bei der Deformirung der Träger gerade bleiben, Fig. 2, müssen dieselben

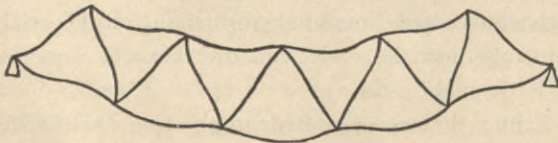


Fig. 3.

bei starrer Verbindung Biegungen, Fig. 3, annehmen, die umso stärker ausfallen werden, je geringer die Steifigkeit des Trägers an sich ist. Exzentrische Kraftübertragung oder ein eben solcher Anschluss eines Konstruktionsgliedes bewirkt dessen Biegung und Inanspruchnahme auf zusammengesetzte Festigkeit.

Neben den ursprünglichen — primären — Axialspannungen kommen alsdann noch die sekundären Biegungsspannungen, welche sich zu den ersteren summieren, in Betracht. Diese Sekundärspannungen können unter Umständen die Spannungen des Materials lokal sehr beträchtlich erhöhen und sogar zu schädlichen Ueberanstrengungen führen.

ad 6. Die exzentrische Befestigung der Fahrbahnquerträger an den Gurtungen, sowie die Biegungstendenz der belasteten und mit den Gurtungen in fester Verbindung stehenden Querträger bewirken ein Verdrehen der Gurte um ihre Längsachse und seitliche Ausbiegungen derselben, Fig. 4. Namentlich bei Brücken mit „unten“liegender Bahn — sogen. „offenen“ Brücken, — bei welchen die Obergurte nicht gegenseitig verbunden und dadurch abgesteift werden können, erleiden dieselben seitliche Biegungen gegen die Brückenachse, Fig. 4a. In Folge dessen werden nicht nur die Gurte abnormal beansprucht, sondern auch die Wandglieder erleiden Biegungen normal zur Trägerebene. Namentlich bei **I I**-förmigen Gurten wird dieser Einfluss sehr bedeutend. Die für einen derartigen speziellen Fall durchgeführte Rechnung ergab eine Mehrspannung der auf der Innenseite befindlichen Zugdiagonalen eines Parallelgitterträgers von 46—80% gegenüber den äusseren.

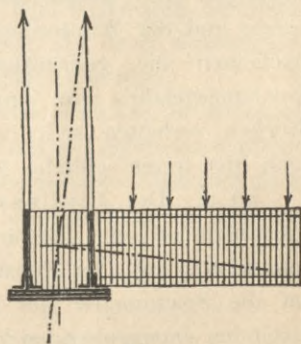


Fig. 4.

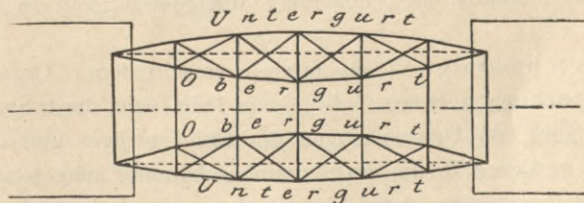


Fig. 4a.

Bei „schiefen Brücken“, wo die Querträger und die Querverbände in der Regel normal zu den Tragwänden angeordnet werden,

senken sich unter der Belastung die durch Querträger verbundenen gegenüberliegenden Punkte der Gurte in verschiedener Grösse; die Steifigkeit der Querverbände bewirkt alsdann eine förmliche Torsion

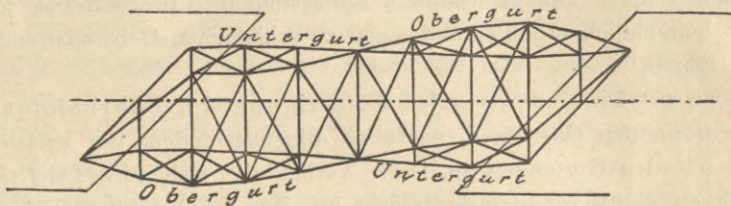


Fig 5.

der ganzen Brücke um ihre Längsachse und damit seitliche Ausbiegungen der Gurte, Fig. 5. Die hiedurch entstehenden Torsionswirkungen sind sowohl auf die Gurte als das Gitterwerk der Tragwände und der Windverstrebrungen ziemlich bedeutend; insbesondere erscheinen die gedrückten Gurte hiedurch wegen der erhöhten Knickungsgefahr sehr ungünstig beansprucht. — Doppelgeleisige Brücken verhalten sich bei Belastung nur eines Geleises ähnlich; auch hier treten seitliche Ausbiegungen der Gurte in Erscheinung.

ad 7. Der Einfluss der Temperatur ist bei allen Eisenkonstruktionen sehr beträchtlich. Selbst eine gleichmässige Temperaturänderung aller Konstruktionsglieder ist nur dann ohne Wirkung auf die Spannungen der Konstruktion, wenn die den Temperaturzuständen entsprechenden Volumänderungen ohne Widerstand vor sich gehen können. Bei Balkenträgern z. B. gibt der Gleitungswiderstand der Auflager, bei Gelenkbogenträgern der Reibungswiderstand an den Gelenken Anlass zur Entstehung von Spannungen in der Konstruktion.

Ungleichmässige Temperaturen verschiedener Organe rufen ebenfalls Spannungen hervor. In jedem Falle sind diese Spannungen immer begleitet von Deformationen der Brückenträger und deren Organen. So werden z. B. die der Sonnenbescheinung ausgesetzten Obergurte von Balkenträgern, deren Untergurte von der Bahndecke geschützt sind, eine Biegung der Brückenträger nach oben, Fig. 6, bewirken und Ausbiegungen der schwächeren Wandglieder veranlassen. Besonders auf kontinuierliche Balkenträger äussert sich dieser Einfluss

von Temperaturdifferenzen sehr bedeutend, wie dies seinerzeit von Prof. Steiner rechnerisch nachgewiesen worden ist.

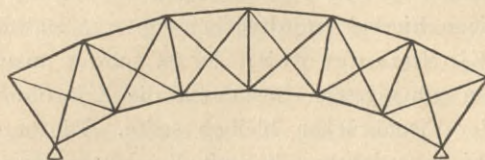


Fig. 6.

ad 8. Durch Montirungsspannungen werden künstlich hervorgebrachte innere Spannungen in die Konstruktion eingeführt, und es können durch die Summirung derselben mit den von äusseren Kräften erzeugten in einzelnen Konstruktionsgliedern ausserordentliche Mehrbeanspruchungen daselbst entstehen. Die Wirkungen derartiger Montirungsspannungen sind dann ähnlich jenen, die durch ungenügend dimensionirte Konstruktionsglieder hervorgebracht werden.

ad 9. Beim Transporte fertig montirter Brücken in Richtung ihrer Längsachse, wie dies oft bei kontinuierlichen Trägern Anwendung findet, erleiden die Brückenträger meist übermässige Anstrengungen. Insbesondere sind es die Untergurte und die schwächeren Streben, die hiedurch oft genug geschädigt wurden.

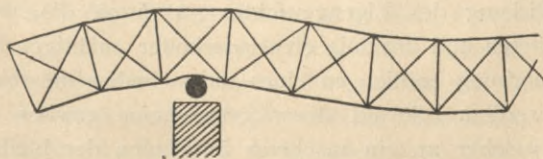


Fig. 7.

Die grossen, konzentriert in einzelnen Punkten zur Wirkung kommenden Drücke — namentlich jene der äussersten Stützpunkte — beanspruchen die Untergurte zwischen den Knotenpunkten überaus ungünstig, Fig. 7, und bringen daselbst oft bleibende Verbiegungen und damit auch bleibende innere Spannungen hervor, die nicht mehr gut zu machen sind.

Aehnlich ungünstige, wenn auch dem Grade nach geringere

Wirkungen entstehen auch in Folge nachgiebiger Montirungsstützpunkte, was oft der Fall ist, wenn die Montirung auf nicht völlig konsolidirtem Boden — auf Anschüttungen — und bei Vernachlässigung der nöthigen hierbei erforderlichen Obsorge stattfindet.

ad. 10. Einfluss der Zeit. Es ist schwer anzunehmen, dass selbst unter den günstigsten Umständen die Zeit ohne Einfluss auf den Zustand der Eisenbrücken bleiben sollte. Die ununterbrochene Wirkung des Eigengewichtes, die mit Erschütterungen und Stößen auftretenden Verkehrslasten, das unaufhörliche Spiel der Temperaturwirkungen werden die Dauer der besten Eisenkonstruktion sicherlich zu beschränken vermögen. Schon Vicat hat den Einfluss der Zeit bei der dauernden Einwirkung von Belastungen auf Eisendrächte durch einige Versuche zu bestimmen gesucht. Er fand, dass bei ausgeglühten Drächten, die mit ein Drittel der Bruchbelastung belastet waren, während 33 Monaten eine Zunahme der Dehnung von 2.75 *mm* pro Meter Länge, bei ein Halb der Bruchbelastung eine solche von 4.09 *mm* und bei drei Viertel der Bruchbelastung eine solche von 6.13 *mm* stattfand.

Ohne hieraus direkte Schlussfolgerungen auf das Verhalten von Eisenbrücken zu ziehen, wird doch kaum bezweifelt werden können, dass die mit den in Betracht kommenden Belastungen in Verbindung stehenden, wenn auch Anfangs kaum messbaren, kleinen bleibenden Längenänderungen der Konstruktionstheile sowohl durch die fortwährende Wirkung des Eigengewichtes als durch die, von Oszillationen begleiteten und unzählig oft wiederholten zufälligen Belastungen in ihrer Summirung endlich zu einer wahrnehmbar messbaren Grösse anwachsen werden. Sobald diese jedoch eine gewisse Grenze erreicht, von welcher an ein rascheres Zunehmen der bleibenden Deformirung bemerkbar wird, wird auch die fernere Dauer des Bauwerkes nur mehr eine zweifelhafte sein können.

Es ist hiernach wahrscheinlich, dass die Wirkungen des Alters — die Altersschwäche — ihren Ausdruck in der zunehmenden bleibenden Deformirung der Brückenträger finden dürfte.

III. Untersuchung der Brücken.

Ueberall pflegt man die fertiggestellten Brücken, bevor dieselben zur Benützung zugelassen werden, einer Prüfung zu unterziehen.

In der Regel beschränkt man sich hiebei jedoch darauf, eine sogenannte Probelastung vorzunehmen und das Verhalten der Brückenträger unter diesen Belastungen zu beobachten, wobei die Grösse der Einsenkungen in der Brückenmitte gemessen wird. Bei Eisenbahnbrücken kommen hiezu noch weitere Erprobungen mit bewegter Last und die Beobachtung der dadurch erzeugten vertikalen und seitlichen Schwankungen der Konstruktion. Ergeben diese Proben ein befriedigendes Verhalten der Gesamtkonstruktion, so werden dieselben als verkehrssicher angesehen und der Benützung freigegeben.

Wenngleich diese Proben ein nicht zu unterschätzendes Hilfsmittel zur Beurtheilung des durchschnittlichen Verhaltens der Gesamtkonstruktion bieten, so darf doch nicht ausser Acht gelassen bleiben, dass die unter der Probelast gemessene Durchbiegung in der Brückenmitte ein Resultat der Längenänderung sämmtlicher Konstruktionstheile ist, wobei durchaus nicht ausgeschlossen ist, dass ein oder das andere Konstruktionsglied an und für sich eine übermässige Längenänderung erleidet, während andere vielleicht wieder mit relativ geringeren Beiträgen an dieser Durchbiegungsgrösse sich betheiligen, wodurch die Wirkung der ersteren dermassen kompensirt werden kann, dass deren übermässige Anstrengung in der Gesamteinsenkung nicht zum Ausdrucke kommt.

Zu dem kommt weiters die Erwägung, dass den grössten Beitrag zur Einsenkung die Längenänderung der Gurtungen leistet, während der Einfluss der Wandglieder hierauf wesentlich geringer ist, weshalb auch Ueberanstrengungen der letzteren die Grösse der Einbiegung in der Brückenmitte nicht auffällig vermehren.

Es ist bekannt, dass die Berechnung der Einsenkung der gewöhnlichen Parallelgitterträger meist unter Vernachlässigung des Einflusses des Gitterwerkes vorgenommen zu werden pflegt, und dass trotz dieser Vernachlässigung der Unterschied zwischen der so berechneten Einbiegungsgrösse und der bei der Belastungsprobe erhobenen in der Regel sehr geringfügig ausfällt.

Ich habe diesfalls für einen 40 m weiten Warrenträger den Einfluss der Längenänderung einer Diagonalen auf die Einbiegung in der Trägermitte für den Fall einer Reduktion des Querschnittes des betreffenden Gliedes auf die Hälfte des nothwendigen berechnet

und habe gefunden, dass hiedurch die Einsenkung in der Mitte für die maximale Belastung und das Eigengewicht nur um 1.0 mm gegen die normale sich vergrössern würde. Da die normale Einsenkung in der Trägermitte für die betreffende Belastung 37.5 mm betrug, so würde wohl kaum Jemand im Stande gewesen sein, aus der nun auf 38.5 mm erhöhten Einbiegung auf das Vorhandensein einer so bedeutenden Abnormität zu schliessen. Es können hienach also sogar höchst bedenkliche Anstrengungen einzelner Konstruktionsglieder bestehen, ohne dass die Einbiegungsgrösse in der Trägermitte dadurch auffällig vermehrt würde.

Die Sicherheit einer Brückenkonstruktion hängt jedoch von der Widerstandsfähigkeit aller wesentlichen Konstruktionsglieder ab, so zwar, dass ein Nachgeben irgendeiner Druckstrebe durch seitliches Ausbiegen oder eines Zugbandes, z. B. durch Lockerung seiner Knotenverbindung ebensowohl einen Zusammenbruch des Trägers bewirken kann, wie beispielsweise das Reißen des Zug- oder das Ausknicken des Druckgurtes. Ein instruktives Beispiel von der Unzuverlässigkeit einer Folgerung aus der Grösse der Einbiegung in der Brückenmitte auf die Sicherheit der Konstruktion bietet die, am 13. November 1884 unter der Probelast eingestürzte, schweizerische Strassenbrücke über den Werdenberger Binnenkanal bei Salez. Die genannte Brücke, deren Stützweite 35.5 m bei einer Trägerhöhe von 5.2 m betrug, zeigte bei der aufgebrachten Last von 52.000 kg , d. i. bei 81% der vollen Probelast eine Einbiegung von nur 10 mm in der Brückenmitte, als ohne irgendwelche bedrohliche Anzeichen der totale Zusammenbruch der Brücke plötzlich erfolgte.

Die Grösse der Einbiegung in der Trägermitte ist sonach kein Maassstab für die Sicherheit einer Brückenkonstruktion. Dennoch ist dieselbe nicht werthlos zur Beurtheilung des durchschnittlichen Verhaltens der Träger und insbesondere dann, wenn es sich um den Vergleich verschiedener Brücken ihrer Güte nach handelt. Unter sonst gleichen Umständen wird man jedenfalls jene Brücke als die „bessere“ bezeichnen können, deren Einbiegungsgrösse die kleinere ist. Die Gründe hierfür sind die folgenden:

1. Die kleinere Einbiegung zeugt von grösserer Steifigkeit der

Konstruktion überhaupt; es werden somit auch die Sekundärspannungen in der Trägerebene geringer sein.

2. In Folge der grösseren Steifigkeit der Träger werden die vertikalen Schwingungen unter der bewegten Last ebenfalls relativ kleiner ausfallen, daher wird die Brücke unter den dynamischen Einflüssen weniger leiden und somit auch eine längere Dauer erwarten lassen.

Was jedoch den Werth der üblichen Belastungsproben zur Beurtheilung der Sicherheit der Brücke anbelangt, so ist zu den früheren Erwägungen noch hinzuzufügen, dass die unter der Probelast zum Vorschein kommenden elastischen Durchbiegungen nur als Resultate dieser Belastung in Betracht kommen, während der Einfluss des Eigengewichtes, der Montirungsspannungen u. s. w. der Beobachtung entzogen bleiben.

Alle diese Erwägungen berechtigen zu dem Ausspruche, dass die üblichen Belastungsproben nicht das sind, was sie sein sollen: Prüfungen der Brücke auf ihre Sicherheit.

In dieser Hinsicht wird immer die beste Gewähr gesucht werden müssen in einer korrekten Dimensionirung und Detailanordnung, in der gewissenhaft ausgeübten Kontrolle hinsichtlich der Zulassung guten Materiales, in präziser Anarbeitung, zwanglosem, solidem Zusammenbau und sorgsamer Ueberwachung.

Handelt es sich jedoch um die Untersuchung einer fertigen Brücke, so kann an der Hand der oben aufgezählten „Ursachen abnormaler Zustände“ diese Untersuchung systematisch ausgeführt werden, wie im Folgenden dargelegt werden soll.

Vor allem Anderen muss jedoch eine Voraussetzung gemacht werden, und diese ist die eines ursprünglich guten, fehlerlosen Konstruktionsmateriales, denn die Untersuchung nach dieser Richtung dürfte — wenn nicht äusserlich sichtbare Mängel zu Tage treten — kaum gestattet und jedenfalls schwer durchführbar sein.

Würden die Längenänderungen der einzelnen Brückenorgane, welche dieselben seit der Zeit ihrer Einschaltung in den Organismus der Brücke überhaupt und unter der Einwirkung der Belastungen, der Temperaturdifferenzen u. s. w. insbesondere zu erleiden hatten, durch Messung genau festgestellt werden können, so könnte in jedem

Falle sowohl die gesammte Deformirung der Träger abgeleitet, als auch die Grösse der inneren Spannungen — wenigstens näherungsweise — berechnet werden.

Nachdem jedoch derartige Messungen praktisch kaum ausführbar sind, so bleibt nichts Anderes übrig, als dass man sucht, auf anderem Wege dem Ziele nahe zu kommen.

Nach unserem Plane würde die Untersuchung der Brücken nach folgenden Anhaltspunkten auszuführen sein:


1. Untersuchung der Konstruktion rücksichtlich der Dimensionirung aller ihrer Konstruktionstheile durch Berechnung unter Berücksichtigung allfälliger exzentrischer Anschlüsse und eben solcher Kraftübertragung, so wie im Zusammenhalte mit feststehenden Konstruktionsprinzipien. — Untersuchung auf Konstruktionsfehler, mangelhafte Stossdeckung etc.

2. Untersuchung der geometrischen Gestalt der Träger durch genaues Nivellement mindestens je eines Gurtes in allen Knotenpunkten. Man erhält hiedurch die unter dem Eigengewichte und dem Einflusse der Temperaturen entstandene Deformirung der Träger; bei kontinuierlichen Trägern eine Kontrolle der Höhenlage der Stützpunkte.

3. Untersuchung der Geradheit der Konstruktionsglieder, insbesondere der auf Druck beanspruchten mittelst feiner, längs derselben gespannten Drähte und Untersuchung der Gurte nach allfälligen seitlichen Ausbiegungen aus der Trägerebene entweder mittelst Visuren parallel zur Brückenachse und horizontal an die Gurtstehbleche gehaltener Nivellirlatte oder mittelst Absenkelung der Achse des Obergurtes auf den Untergurt u. dergl.

4. Besichtigung der Konstruktion in allen ihren Theilen; Beachtung der Stösse und ihrer Deckungen, allfälliger Rostbildung etc., Zuhilfenahme der Perkussion gezogener Diagonalen, insoferne dieselben beim leichten Anschlag einen Klang geben, um aus der Klanghöhe auf die Gleichheit oder Verschiedenheit der Spannung solcher Zugbänder zu schliessen, die rechnungsgemäss gleiche Spannungen haben sollen. Auch allfällige Fehlstellen derartiger Konstruktionsglieder könnten möglicherweise durch unreinen Ton sich erkennbar machen.

5. Untersuchung der Niete auf ihr Festsitzen, was in bekannter Weise durch leichte Hammerschläge gegen den Schliess-

kopf und gleichzeitiger Berührung des Setzkopfes mit den Fingern der zweiten Hand geschieht. Empfindlicher als dies erwies sich mir die Anwendung eines einfachen aus 8 mm starkem Eisendraht hergestellten Ringes sammt Handhabe von nebenstehender Gestalt . Indem der Ring (dessen innerer Durchmesser kleiner sein muss als der Nietkopfdurchmesser) an den Setzkopf angelegt und der Griff in der einen Hand gehalten wird, werden leichte Hammerschläge gegen den Schliesskopf geführt. Weniger festsitzende Niete machen sich alsdann durch die Empfindung von Vibrationen in der den Ring haltenden Hand erkennbar.

6. Ausführung von Belastungsproben derart, dass jedes wesentliche Konstruktionsglied hiedurch die ungünstigste Inanspruchnahme erleidet. Bei diesen Belastungsproben ist die Deformirung je eines Gurtes in allen Knotenpunkten durch genaues Nivellement aufzunehmen und zur Erhebung der jeweilig sich ergebenden bleibenden Deformirung nach jeder Entlastung diese Aufnahme zu wiederholen. Es dürfte sich empfehlen, in allen Knotenpunkten fest mit den Trägern verbundene vertikale Maasstäbe, die nach Art der Nivellirlatten, jedoch mit Millimeter-Eintheilung versehen sind, anzuwenden. Diese Maasstäbe sollten entweder bleibend an den Trägern befestigt werden oder doch so konstruirt sein, dass sie jedesmal genau in dieselbe Lage gebracht werden können.

Neben diesen Erhebungen der Deformirung der Träger müsste die Aufmerksamkeit auch auf die Druckglieder gerichtet bleiben, indem deren allfällige Ausbiegungen mittelst der obenerwähnten feinen, längs derselben gespannten Drähte beobachtet werden.

7. Direkte Messung der Längenänderung einzelner Konstruktionsglieder unter der Probelast, insbesondere mit Bezug auf Sekundärspannungen mittelst Fränkel'scher Dehnungszeichner.

8. Vornahme von Temperaturmessungen der Luft, namentlich aber der Ober- und Untergurte an verschiedenen Trägerorten gleichzeitig. Dies ist unschwer durchzuführen, wenn in den geeigneten Orten je ein Nietbolzen mittelst Zentrumborher zentrisch bis auf entsprechende Tiefe und in einer Weite von 12—15 mm ausgebohrt würde; in die so entstandenen Löcher würde Quecksilber einzugiessen sein, in welches dann für die Temperaturmessung der

Gurte ein Thermometer eingesenkt werden kann. Gewöhnliche Kautschukpfropfen dienen zum Verschlusse der Quecksilberbehälter.

Prof. Steiner berechnete für die in Folge von Temperaturunterschieden in Ober- und Untergurt von Parallelträgern auftretenden Krümmungen den Biegungspfeil in der Trägermitte mit

$$f = \frac{\alpha \Delta t}{8} \cdot \frac{l^2}{h};$$

wo α der Ausdehnungs-Koeffizient des Eisens = 0.0000118 pro 1° C., Δt die Temperaturdifferenz zwischen Ober- und Untergurt, l die Stützweite und h die Trägerhöhe ist.

Direkte Temperaturmessungen verbunden mit Nivellements der Gurtungen werden den Einfluss dieser Temperaturdifferenzen auf die Deformirung am sichersten bestimmen lassen.

9. Um die Einflüsse der Zeit und der während derselben stattgefundenen Einwirkungen der Belastungen verfolgen zu können, müssten nach bestimmten Zeitintervallen die Nivellements der Gurtungen wiederholt werden, wobei nie unterlassen werden dürfte, die Temperaturen am Ober- und Untergurte zu messen. Zum Vergleiche der aufgenommenen geometrischen Gestaltung der Gurtungen mit jener, die bei der ersten Untersuchung gefunden worden war, müssen Reduktionen für die jeweilig bestehenden Temperaturdifferenzen vorgenommen werden. Sind nun Beobachtungsdaten über die von derartigen Temperaturdifferenzen hervorgebrachten Deformirungen vorhanden, so wird es nicht schwer fallen, diese erforderlichen Reduktionen proportional den Temperaturdifferenzen vorzunehmen.

10. Ingenieur Ebert*) schlägt unter Anderem vor, ein oder das andere Konstruktionsglied auf seine totale innere Spannung durch dessen vollständige Entlastung mittelst einer Hilfskonstruktion und Messung der Längenänderung zu untersuchen. Es ist keine Frage, dass in zweifelhaften Fällen dieses radikale Untersuchungsmittel zu einem sicheren Resultate führen würde.

11. Als nothwendig erscheint die Anlage eines protokollarischen

*) „Ueber Eisenbrücken“, Vortrag, gehalten im polytechnischen Vereine in München von E. Ebert, Brücken-Ingenieur. „Bayrisches Industrie- und Gewerbeblatt.“ 1886.

Individual-Registers für jede Brücke. In demselben müssten alle auf das Objekt bezüglichen Daten eingetragen werden, so insbesondere auch die jedesmaligen Resultate der Untersuchung u. dergl. m.

IV. Schlussfolgerungen.

Die durch die Untersuchung gewonnenen Resultate hinsichtlich der Dimensionen der Konstruktionsglieder, der Höhenlage der Stützen kontinuierlicher Träger, allfälliger Konstruktionsfehler, der Arbeitsmängel u. s. w. geben ohne Weiteres Aufschluss über die bezüglichen, sozusagen zu Tage liegenden „abnormalen“ Zustände.

Es erübrigen jene Resultate, welche sich auf die inneren Zustände beziehen.

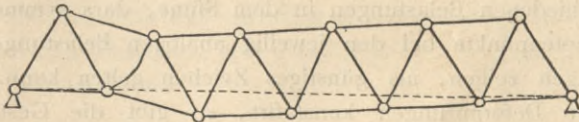


Fig. 8.

Die Belastungsprobe kann nur jene Deformationsresultate ergeben, die aus dem Hinzutreten der durch die Probelast erzeugten Spannungen zu den bereits bestehenden erfolgen. In dem Falle, wo die durch das Eigengewicht, die Montirungsspannungen und die Temperatureinflüsse erzeugten Spannungen durch jene der Probelast zu ihrem Maximum gesteigert werden, in dessen Folge die Anstrengung des Materiales die ursprüngliche Elastizitätsgrenze überschreitet, erleiden die betreffenden Theile bleibende Längenänderungen. Diese sind jedoch immer sichere Beweise des Vorhandenseins abnormaler Zustände.

Aber auch dort, wo bleibende Längenänderungen nicht zur Wahrnehmung gelangen, können abnormale Zustände durch allfällige elastische Deformationen der Konstruktionsglieder bei der Probelastung offenbar werden. So z. B. bei seitlichen Ausbiegungen, welche gedrückte Konstruktionsglieder zeigen u. s. w. Deshalb halten wir die Ausführung von Belastungsproben für werthvoll zur Beurtheilung von Eisenbrücken überhaupt und für neue Brücken insbesondere. Wir

können diese Proben jedenfalls als Hilfsmittel zur Hervorrufung von Deformierungen der Gesamtkonstruktion und der Längenänderungen der Konstruktionsglieder ansehen, wobei insbesondere die bleibenden Längenänderungen und Deformierungen wichtige Anhaltspunkte für die Beurtheilung der Konstruktion bieten.

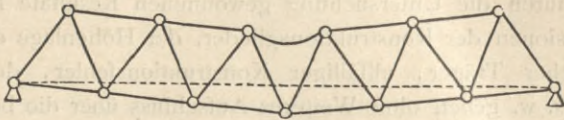


Fig. 9.

Was die Deformierung der Träger anbelangt, so sei bemerkt, dass eine gleichmässige Gestaltung der Biegungspolygone bei den verschiedenen Belastungen in dem Sinne, dass symmetrisch belegene Knotenpunkte bei den jeweilig analogen Belastungen gleiche Einsenkungen zeigen, als günstiges Zeichen gelten kann. Werden bleibende Deformierungen konstatiert, so gibt die Gestalt dieses Biegungspolygons oft einen werthvollen Anhalt für die Richtung, nach welcher weitere detaillirte Untersuchungen mittelst direkter Messung von Längenänderungen vorzunehmen seien.

Bleibende Längenänderungen einzelner Konstruktionsglieder bringen auch bleibende Deformierungen der Brückenträger hervor. Nebenstehende Skizzen, Fig. 8, 9, 10 und 11, stellen den Einfluss der Längenänderung je eines Konstruktionsgliedes dar. Man sieht, dass der Längenänderung eines Gliedes immer eine Knickbildung der Gurte entspricht, so dass umgekehrt auch aus dem Vorhandensein einer solchen auf die Längenänderung des dieselbe bedingenden Gliedes geschlossen werden kann.

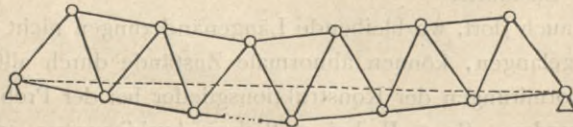


Fig. 10.

Wenn auch in der Praxis die Verhältnisse nicht so einfach liegen wie in den skizzirten Fällen, so wird doch das Vorhandensein etwaiger

Knickbildungen in den gerade angelegten Gurtungen als ein zu beachtendes Symptom gelten können und zwar unsomehr dann, wenn diese Erscheinung erst in Folge der Probelastung sich einstellen würde.

Die bleibende Durchbiegung der Brückenträger kann im Allgemeinen aus zweierlei Ursachen entspringen.

1. Aus Arbeitsmängeln, insbesondere in Folge unvollkommener Nietarbeit. Die aus vielen Elementen zusammengesetzten Gurtungen decken in dieser Hinsicht meist den grössten Antheil an der bleibenden Durchbiegung. Das hiedurch entstehende Biegungspolygon ist dann gleichmässig symmetrisch gestaltet. Es ist wahrscheinlich, dass die aus dieser Ursache stammende und durch die Probelastung hervorgerufene Deformirung ihrer Grösse nach konstant bleibt, weil angenommen werden kann, dass die Wirkungen des Eigengewichtes und der Probelast ein scharfes Aneinanderpressen zwischen den verbundenen Elementen und den Nietbolzen in einem ausreichenden Grade herbeiführen.

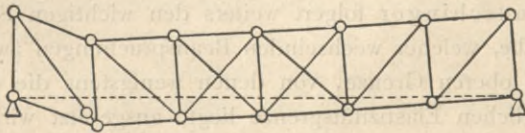


Fig. 11.

Ein unter dem Einflusse der Zeit und der von Erschütterungen begleiteten zufälligen Belastungen etwa auftretendes weiteres Anwachsen der aus obiger Ursache abzuleitenden bleibenden Einbiegungen dürfte jedenfalls nur nach einer fallenden Reihe zu gewärtigen sein.

2. Aus den bleibenden Längenänderungen der Konstruktionsglieder.

Obwohl selbst geringe Anstrengungen des Materiales schon von bleibenden Längenänderungen begleitet werden, so sind diese doch insolange, als die natürliche Elastizitätsgrenze nicht überschritten wurde, so klein, dass diese Grössen mit den bei Belastungsproben anwendbaren Instrumenten kaum gemessen werden können. Ueberschreitet jedoch die Spannung, welche aus der Summenwirkung des

Eigengewichtes, der Montirungsspannung, des Temperatureinflusses und der Probelast resultirt, diese Grenze, so ergeben sich bleibende Längenänderungen von messbarer Grösse.

Nach Prof. Bauschinger charakterisirt sich das Ueberschreiten der Elastizitätsgrenze folgendermaassen:

„Während die bleibenden Längenänderungen innerhalb der Elastizitätsgrenze nur klein sind und nur ganz allmähig mit der Belastung wachsen, werden sie nach Ueberschreitung jener Grenze mit einem Male bedeutend grösser. Während bei wiederholtem Hin- und Hergehen zwischen der Belastung Null und einer innerhalb der Elastizitätsgrenze gelegenen, immer wieder dieselben bleibenden und totalen Längenänderungen erhalten werden, steigen beide bei einer oberen Belastung, die über der Elastizitätsgrenze liegt, bei jedem neuen Wechsel zwischen Belastung und Null. Während weiter für Belastungen innerhalb der Elastizitätsgrenze die Zeit keinen Einfluss zeigt, findet bei Ueberschreitung dieser Grenze eine elastische Nachwirkung statt.“

Prof. Bauschinger folgert weiters den wichtigen Satz: „Wenn in einem Stabe, welcher wechselnden Beanspruchungen zwischen einer unteren und oberen Grenze, von denen wenigstens die letztere über der ursprünglichen Elastizitätsgrenze liegt, ausgesetzt wird, die Lage der Elastizitätsgrenze nicht verändert oder erhöht wird, so muss durch solche Anstrengungen, wie sie oft genug wiederholt werden, schliesslich der Bruch erfolgen. Denn jede neue Anstrengung bringt eine neue Vergrösserung der Längenänderung hervor. Wenn aber umgekehrt beide Grenzen der wechselnden Beanspruchungen unter der Elastizitätsgrenze liegen und liegen bleiben, so kann auch durch noch so lange fortgesetzte Wiederholung der Anstrengungen der Bruch nicht erfolgen.“

Nun kann allerdings die Elastizitätsgrenze durch ruhige Dehnungen mit Belastungen, die über der Elastizitätsgrenze aber unter der Streckgrenze liegen, gehoben werden; derartig ruhige Beanspruchungen kommen jedoch bei Brücken nicht vor, wo nicht blos die zufällige Last oft plötzlich, sondern auch mit starken Stosswirkungen verbunden auftritt. Auch der günstige Einfluss der Ruhepausen bei völlig entlasteten Stäben, wie dies die Versuche Bau-

schinger's lehren, kann wegen der permanenten Wirkung des Eigengewichtes bei Brückengliedern nicht zur Geltung gelangen.

Es wird also nicht anzunehmen sein, dass allfällig über die natürliche Elastizitätsgrenze reichende Anstrengungen der Konstruktionsglieder eiserner Brücken eine Hebung der Elastizitätsgrenze bewirken werden. Die bleibenden Längenänderungen, welche auf die Ueberschreitung der Elastizitätsgrenze zurückzuführen sind, werden demnach nicht konstant bleiben; dieselben werden vielmehr unter wiederholten Belastungen Vergrößerungen in steigender Progression erfahren.

Im Allgemeinen ist also die bleibende Deformirung der Brückenträger als Summenwirkung zweier verschiedener Ursachen zu betrachten, wobei die Wirkung der ersteren nahezu konstant bleibt oder doch mit der Zeit bloß nach fallender Reihe wächst, die der letzteren jedoch in steigender Progression mit der Zeit sich vergrößert.

Es ist daher unbedingt nothwendig zeitweise Beobachtungen in dieser Hinsicht vorzunehmen, um über die Natur und Bedeutung vorhandener, bleibender Deformirungen Aufschlüsse zu erlangen.

Besondere Probelastungen sind hiezu nicht erforderlich, da die Verkehrslasten solche ohnedies besorgen.

Ueber die Grösse der bei den gewöhnlichen Belastungsproben an Balkenträgern gemessenen bleibenden Einsenkungen in der Brückenmitte sei bemerkt, dass dieselben zwischen 0 bis etwa $\frac{1}{5000}$ der Stützweite gefunden wurden. Die Brücken der Oesterr. Nordwestbahn ergaben hiefür in keinem Falle mehr als $\frac{1}{10000}$ der Stützweite.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.

Zur Erkenntniss „abnormaler“ Zustände in eisernen Brücken führen neben den rechnerischen Ermittlungen genaue Untersuchungen der Brücken in Hinsicht auf die geometrische Gestalt der Gurte in horizontalem und vertikalem Sinne, dann auf alle Details in konstruktiver Beziehung und auf allfällig äusserlich wahrnehmbare Arbeitsmängel, Rostbildung u. s. w.

Das Vorhandensein verbogener, von inneren Spannungen be-

dingten Abnormitäten in einzelnen Brückenorganen kann durch zweckmässige Belastungsproben zur Offenbarung gebracht werden, indem dabei die Druckglieder auf ihre Steifigkeit gegen seitliches Ausbiegen beobachtet, Deformirungen der Brückenträger und die Längenänderung einzelner Konstruktionsglieder mit besonderer Beachtung der bleibenden Gestaltsänderungen gemessen werden. Bei der Deformirung der Brückenträger ist auf die Ungleichmässigkeiten in der Gestaltung der Biegungspolygone hinsichtlich symmetrisch gelegener Knotenpunkte unter analogen Belastungen und auf auffällig bleibende Knickbildungen der Gurtungen vornehmlich zu achten.

Direkte Messungen der Längenänderung von Konstruktionsgliedern hinsichtlich der daselbst auftretenden Sekundärspannungen mittelst Fränkel'scher Dehnungszeichner werden die vorzunehmenden Untersuchungen wesentlich vervollständigen.

Periodisch zu wiederholende Nivellements des Linienzuges der Gurtungen unter Berücksichtigung des jeweiligen Einflusses der Temperatur, werden Aufschluss geben über allfällige Aenderungen der Deformirung. Bei Abwesenheit von Materialfehlern ist das konstante Erhalten der bleibenden Deformirung als charakteristisches Merkmal der Sicherheit der Konstruktion anzusehen. Führen dagegen die abnormalen Zustände zu bleibenden Deformationen, die mit der Zeit an Grösse progressiv zunehmen, so müsste die Prognose als „zweifelhaft“ oder „ungünstig“ gestellt werden, und es wären dann alle Vorsichtsmaassregeln zu treffen, die geeignet sind einer möglichen Katastrophe vorzubeugen.

Wir haben unsere Betrachtung ausschliesslich auf die Hauptträger der Brücke gerichtet und den Fahrbahnträgern bisher keine Beachtung geschenkt, wenngleich die Sicherheit des Verkehrs auch von der dauernden Leistungsfähigkeit dieser, die Lasten unmittelbar aufnehmenden und auf die Hauptträger übertragenden Organe abhängig ist und auch in denselben abnormale Zustände vorhanden sein können. Ohne auf eine besondere Erörterung diesbezüglich einzugehen, wird die Untersuchung der Fahrbahnträger beschränkt werden können auf eine rechnerische Prüfung der Dimensionen und Be-

festigungen und auf die Untersuchung der Konstruktionsdetails. Es wird zu beachten sein, ob die Querträgerwände nicht etwa durch ungenau abgelängte Längsträger horizontal verbogen erscheinen u. s. w. Zur Ermittlung der inneren Spannungen unter der Probelast dürfte es genügen, wenn für einen oder den anderen Quer- und Längsträger mittelst Fränkel'scher Dehnungszeichner Längenänderungsmessungen unter der bewegten Last vorgenommen werden.

Es versteht sich von selbst, dass die gründliche Untersuchung der Brücken nicht vollständig sein würde, wenn sich dieselbe nicht auch auf die Zwischenkonstruktionen, die Wind- und Querverbände und namentlich auf die Auflagerkonstruktion erstrecken würde.

Die beste Bürgschaft für die Sicherheit eiserner Brücken im Allgemeinen liegt — rationelle Anordnung und wohlerwogene Detailkonstruktion vorausgesetzt — in der Güte der Anarbeitung. Sorgfältige Ausführung, gewissenhafte Kontrolle, dann gute Erhaltung, sorgsame Ueberwachung und Beobachtung bieten die zuverlässigste Gewähr für die dauernde Sicherheit der Eisenkonstruktionen. — Die verderblichsten Folgen entstehen jedoch nach unverständigem Sparen an Material bei jenen Konstruktionstheilen und an solchen Orten, deren Spannungen nicht berechnet werden können und für deren Dimensionirung nur Erfahrungsergebnisse Anhaltspunkte bieten. Mangelnde Umsicht und Erfahrung seitens des Konstrukteurs kann leicht zu solchen, mitunter verhängnissvollen Fehlern führen.

Nach den vorgeführten Darlegungen würde die Untersuchung der Eisenbrücken viel Zeit, Mühe und Sachkenntniss erfordern; dennoch ist es im Interesse der Sicherheit und insbesondere auch dann, wenn die Beurtheilung eines Brückenbauwerkes in Hinsicht auf seinen Zustand verlangt wird, geboten, kein Opfer an Zeit und Mühe zu scheuen, und damit das Bewusstsein zu erlangen, Alles gethan und nichts unterlassen zu haben, was zur Klärung der Verhältnisse und zur Förderung der eigenen Erkenntniss beitragen könnte. Auch hier, wie überall hat der alte klassische Spruch Geltung: „Vor die Tugend setzten die ewigen Götter den Schweiß“.



Druck von Pöschel & Trepte in Leipzig.

S. 61 *



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

31875

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10,000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298378