Stosswirkungen bei eisernen Eisenbahnbrücken

Autor(en): **Bühler, A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **81/82 (1923)**

Heft 1

PDF erstellt am: **02.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-38840

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Stosswirkungen bei eisernen Eisenbahnbrücken. — Das Gebäude der Schweizerischen Nationalbank in Zürich. — Neue Versuche über die Aerodynamik des Kraftwagens. — Miscellanea: Um unsere Bautradition. Ehrung von Arch. Prof. Hans Bernoulli. Internationale Ausstellung für Bautechnik in Barcelona. — Konkurrenzen: Zentralfriedhof am Hörnli bei Basel. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein. Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Tafel 1 bis 4: Das Gebäude der Schweiz. Nationalbank in Zürich.

Band 81. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 1.**

Stosswirkungen bei eisernen Eisenbahnbrücken.

Von *A. Bühler*, Brückeningenieur der S. B. B., Bern.[1])

Die Frage der *Stosswirkungen der Verkehrslasten bei eisernen Eisenbahnbrücken* ist heute noch nicht vollständig abgeklärt, obschon darüber von verschiedenen Seiten umfangreiche Untersuchungen in theoretischer und experimenteller Hinsicht vorgenommen worden sind. Diese Ausführungen sollen daher nur einen Ueberblick über den heutigen Stand der Angelegenheit geben und andeuten, auf welche Weise weitere Versuche angeordnet werden müssen, um die Wirkung der Stösse der Verkehrslasten auf unsere eisernen Eisenbahnbrücken klarzustellen.

Obschon wohl niemand diese Stosswirkungen in Abrede stellen möchte, wird dennoch zur Berechnung der Tragwerke in ausschliesslicher Weise von den Gesetzen der Statik Gebrauch gemacht. Ja, manche Ingenieure, die eiserne Brücken berechnen, haben es beinahe verlernt, sich stets zu vergegenwärtigen, dass sie eigentlich nicht „Statiker", sondern „Dynamiker" heissen sollten. Einzig bei Schutzbrücken wo fallende Lasten in Frage kommen, haben bis jetzt die dynamischen Gesetze sich Geltung verschafft.

In der Tat enthalten die Vorschriften zur Berechnung der eisernen Brücken der Mehrzahl der Staaten keine Angaben bezügl. Stosswirkungen von Verkehrslasten; auch der in der schweizerischen Brückenverordnung vorgeschriebene sogenannte „Zuschlag" von 2 (15 — l) % zu den ruhenden Lasten, bei Trägern unter 15 m Stützweite, nennt die Sache nicht beim Wort und lässt Zweifel darüber aufkommen, was damit gemeint ist, sodass vielfach die Ansicht geäussert wurde, man dürfe allenfalls bei neuen Lokomotiven, insbesondere bei den elektrischen, die Achsdrücke um den entsprechenden Betrag schwerer halten.

Indessen wird nicht überall die Stosswirkung der Verkehrslasten vernachlässigt, also angenommen, dass sie im Sicherheitsbeiwert, der eher „Unwissenheitsbeiwert" heissen sollte, enthalten sei. Auch hierin ist Amerika dem alten Europa vorausgegangen; es gibt dort wohl keine neueren Vorschriften mehr, die es unterlassen, den anzunehmenden Belastungen einen Stossbeiwert beizufügen, der der Natur ihrer Wirkungsweise entspricht. Die übrigen Länder englischer Sprache und Beeinflussung, wie z. B. Indien, folgten seit längerer Zeit diesem Beispiel nach, und schliesslich hat auch England, das Geburtsland der Eisenkonstruktionen, diesem Bestreben nach zweckmässigen Vorstellungen bei der Berechnung eiserner Brücken beigepflichtet. Inzwischen ist ferner Deutschland zu jenen Ländern übergegangen, die die „Dynamik" in ihren Vorschriften zum Ausdruck gebracht haben, und über kurz oder lang wird niemand mehr diese zweifellos richtigen Anschauungen unbeachtet lassen können, sodass auch wir unsere Brückenverordnung in diesem Sinne werden abändern müssen.

Ohne auf die geschichtliche Entwicklung der Frage der Stossbeiwerte oder der Stossziffern einzutreten, soll doch erwähnt werden, dass schon bald nach der Erstellung der ersten eisernen Eisenbahnbrücken die Wichtigkeit der Stosswirkungen auf deren Beanspruchung und daher auch auf deren Bemessung erkannt wurde. In letztgenannter Hinsicht haben wir zwei grundsätzlich verschiedene, aber öfters vermengte Anschauungen zu nennen, nämlich die Bemessung auf Grund der *Ermüdungsformeln* in Verbindung mit einem Sicherheitswert und jene unter Berücksichtigung der *Stossziffern*, in Verbindung mit einer für alle Stützweiten gleichen zulässigen Spannung.

Die Berechnungsverfahren, die sich auf die Ermüdungsformeln stützen, lassen sich in letzter Linie auf die Wöhler'schen Versuche zurückführen, die in neuester Zeit von der Experimental-Station der Universität von Illinois und dem National Physical Laboratory in London ergänzt wurden. Nach diesen Untersuchungen wäre die Brinell'sche Härteziffer die beste, leicht gewinnbare Vergleichsbasis für die Feststellung der Dauergrenze, die nach amerikanischer Deutung richtiger als Beginn des inneren Zerfalles des Eisens bezeichnet würde.

Diejenigen Berechnungsverfahren, die die Stossziffern für die Verkehrslasten einführen, gehen zumeist von einer für alle Stützweiten und alle Stäbe, einschliesslich der Wechsel- und Knickstäbe, gleichbleibenden, unter der Proportionalitätsgrenze liegenden zulässigen Grundspannung aus.

Dieses Bemessungsverfahren, das von Waddell seit dem Jahre 1890 warm verteidigt wurde, dürfte wohl das zweckmässigere sein, indem, wie heute als wahrscheinlich angenommen werden darf, eine Ermüdung des Materials bei den in der Praxis vorkommenden Beanspruchungen, die stets unter der Proportionalitätsgrenze liegen müssen, nicht in Frage kommt, oder zum wenigsten vermieden werden kann. Dies wird meistens so nachzuweisen versucht, dass Proben schwach und stark beanspruchten Trägerstellen entnommen und untersucht werden. Solche Nachweise aus der Praxis sind wiederholt erfolgt, so z. B. von Dr. Bohny, von den S. B. B., sowie von Pegram, dem Präsidenten der New-Yorker Hochbahn, der bei einem Brückenteil, der ungefähr 100 Millionen Radschläge erlitten hatte, eine Ermüdung des Materials nicht feststellen konnte. Gegenteilige Beweise sind bisher wohl nicht gelungen, indem sich die Brüche meistens auf örtliche Ueberanstrengungen infolge von Materialfehlern oder durch die Fabrikation erklären liessen. Immerhin scheint Bach bei Probestäben aus der 60 Jahre alten, stark befahrenen Canstatter Eisenbahnbrücke über den Nekar gefunden zu haben, dass ausgeglühte Proben eine etwas geringere Streckgrenze aufwiesen als nicht ausgeglühte, was schliesslich als Ermüdungszeichen gedeutet werden könnte.

Da es also wahrscheinlich ist, dass wir auf Generationen hinaus bei unseren Brückenbauten mit Ermüdungs-Erscheinungen nicht zu rechnen haben, sofern die Beanspruchungen innerhalb bestimmer Grenzen liegen, sollte nun alles getan werden, um darüber endgültigen Aufschluss zu erhalten. In diesem Sinne sollten einerseits die Dauerversuche weiter geführt und insbesondere ausgedehnt werden auf die geschweissten und genieteten Verbindungen, sowie auf die stossweisen Belastungsarten und die Folgen der dauernden Wirkung des Eigengewichtes, was insbesondere bei grösseren Brücken wichtig ist, ferner auf den allfälligen Unterschied zwischen Druck- und Zugbeanspruchungen. Anderseits wären die *Stosswirkungen der Verkehrslasten*, die einen ganz erheblichen Anteil an der Beanspruchung unserer eisernen Brücken ausmachen, im ganzen Umfange abzuklären.

Die Abbildung 1 zeigt, in welchem Masse die Stösse der Verkehrslasten bei unseren neueren, eisernen Brücken beteiligt wären, wenn die amerikanische Pencoydformel zutreffend sein würde. Daraus geht hervor, dass bei der Annahme der Proportionalitätsgrenze von 2 t/cm² als obere Spannungsgrenze, für die anderen Kräfte, mit denen beim Baue der eisernen Brücken gerechnet werden muss, kein

[1]) Nach dem Vortrag, gehalten an der Hauptversammlung der Technischen Kommission des Verbandes Schweiz. Brücken- und Eisenhochbaufabriken am 29. Sept. 1922 in Zürich. Wir werden in den nächsten Nummern über die fachwissenschaftliche Aussprache an dieser Tagung eingehend berichten. *Red.*

reichliches Spiel mehr vorhanden wäre; insbesondere gilt dies von den Nebenspannungen, die auf einer niedrigen Grenze gehalten werden müssten.

Die Frage, was eigentlich unter der *Stossziffer* zu verstehen ist, ist folgendermassen zu beantworten: Die Stossziffer umfasst alle Wirkungen, die bei einer Kraft, einem Biegungsmoment, oder einfacher gesagt, bei irgend einer Spannung sich ergeben als *Unterschied zwischen den Werten für die ruhend aufgebrachten (einschliesslich Fliehkraftwirkung) und für die bewegten Verkehrslasten.* Sie enthält daher folgende Wirkungen:

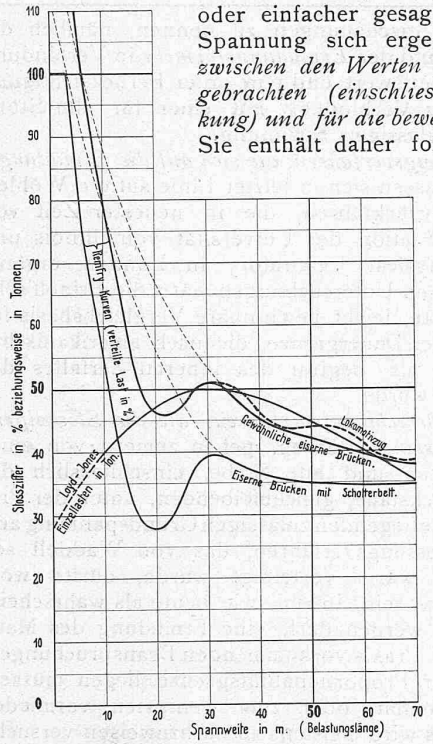

Abb. 2. Stossziffer-kurven Remfry und Lloyd-Jones.

stimmend wird im allgemeinen angenommen, dass die aus diesen Mängeln der Fahrzeuge entstehenden Stösse sich in einer eisernen Brücke bald verlieren und nicht gefährlich seien.

5. Lastvermehrungen, beziehungsweise regelmässige Stosseinwirkungen erzeugen die *nicht vollständig ausgewuchteten Triebwerke der Dampflokomotiven, sowie der elektrischen Lokomotiven, in arbeitendem oder nicht arbeitendem Zustande,* wodurch übrigens auch das äusserlich sichtbare Nicken und Schlingern der Maschinen hervorgerufen werden. Bei uns soll bei den neueren Dampflokomotiven die Auswuchtung der Triebwerke so sein, dass der statische Raddruck, bei der grössten Geschwindigkeit, um nicht mehr

Stosswirkungen bei eisernen Eisenbahnbrücken.

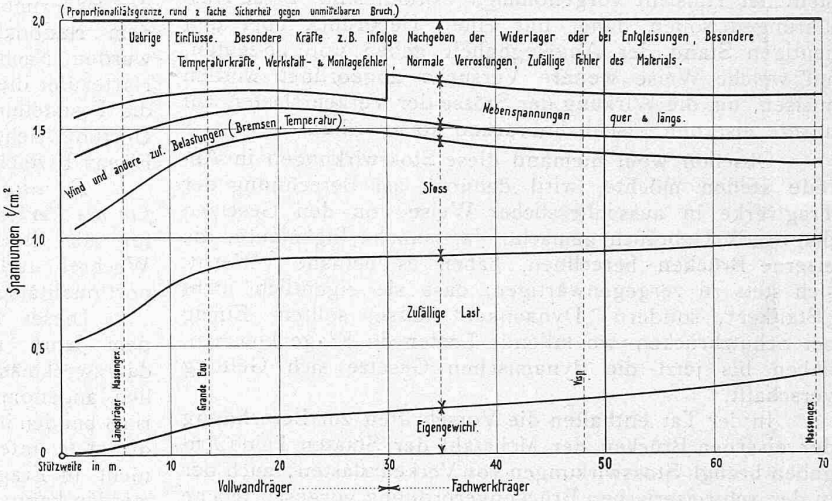

Abb. 1. Schematische Darstellung der auf eine eiserne Brücke wirkenden Einflüsse.

1. Die Lastvermehrung, die sich ergibt aus dem *Durchlaufen einer gekrümmten Bahn,* herrührend von der Durchbiegung des Tragwerkes oder seiner Teile. Diese Krümmung der Bahn kann zum Teil durch eine passend gewählte Ueberhöhung ausgeglichen werden.

2. Die Lastvermehrung, die sich dadurch ergibt, dass die *Lastübertragung nur mit der Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung im Eisen erfolgt,* d. h. mit 5300 m/sek. Dieser Umstand fällt bei unseren kleinern Brücken kaum in Betracht, wäre aber bei grossen Brücken, wie z. B. über den Firth of Forth, wohl einer genaueren Untersuchung wert. Dass der rasche Kräftewechsel sich mit grosser Geschwindigkeit überträgt, geht auch daraus hervor, dass bei den Versuchen zur Bestimmung der Ermüdungsgrenze rotierender Stäbe erst von 2000 Umdrehungen in der Sekunde an ein namhafter Abfall der „Dauergrenze" stattfand.

2. Die Spannungsvermehrungen, die *die Schläge infolge eines rauhen,* oder *schlecht liegenden Oberbaues, insbesondere aber die Schienenstösse auslösen.* Durch Schweissung der letztgenannten, und durch Verwendung kräftiger, gut gelagerter Schienen könnten zweifellos wesentliche Stossmilderungen erzielt werden. Schlecht liegender Oberbau ist besonders bei Kurvenbrücken ungünstig. Die Schienenstösse können ferner zu regelmässigen Schlagwirkungen Anlass geben.

4. Die Spannungsvermehrungen, die durch *exzentrische, unrunde, oder flache Stellen aufweisende Räder der Fahrzeuge hervorgerufen werden.* Die flachen Stellen der Räder, die meistens bei den handgebremsten Wagen in Güterzügen auftreten, dürfen eine Pfeilhöhe bis zu 5 mm besitzen, ohne dass die damit behafteten Wagen aus dem Betriebe genommen werden müssen. Bei Lomomotiven kommen flache Stellen an den Radbandagen seltener vor. Exzentrizitäten der Radlaufkreise in Bezug auf die Achsager bis zu 2 mm können ebenfalls eintreten. Uebereinals 15 % vergrössert wird; hierbei sind die Raddruckvermehrungen der Triebachsen, infolge der lotrechten Komponenten der Schubstangendrücke, nicht inbegriffen. Dieser letztgenannten Mehrbelastung der Triebachsen entspricht indessen immer eine gleiche Entlastung der andern Achsen der Lokomotive. Den aus diesen Ursachen entstehenden Stössen wird der Hauptbeitrag dazu zugeschrieben, dass die nach statischen Gesetzen ermittelten Kräfte einer Brücke wesentlich erhöht werden können. Dass dem so sein dürfte, beweist auch der Umstand, dass eine Ueberwuchtung von 10 kg im Triebwerk einer elektrischen Lokomotive bereits einen unruhigen Gang zur Folge hatte. Die Gefährlichkeit regelmässiger Lastimpulse, die bei der sogenannten kritischen Geschwindigkeit im Tempo der Brückenschwingungen auftreten, hat schon früh der Einsturz von Hängebrücken bewiesen. Beim Bahnbetriebe sind diese Lastimpulse allerdings weniger bedenklich, und zwar, wie die Erfahrung beweist, erheblich weniger als bei Strassenbrücken; entweder wirken nämlich die Stösse nicht genügend kräftig oder ausreichend lang, oder es stören sich die verschiedenen Stosseinflüsse gegenseitig.

6. Schliesslich kann die Brücke selbst und deren Gründungen durch Besonderheiten den Stosswirkungen Vorschub leisten. In erster Linie sind die Uebergänge des Geleises an den Widerlagern zu nennen, die häufig in schlechtem Zustande sich befinden. Sodann kommt die Konstruktion der Brücke selbst in Frage, wie Abstände der Quer- und Längsträger, Steifigkeit aller Stäbe usw. So sind kontinuierliche Längsträger zweckmässig, ebenso reichlich verstrebte, durchwegs vernietete Tragwerke.

*

Bei einer Festsetzung von Stossziffern spielen also eine Menge Einflüsse mit, die sich rechnerisch nicht fassen lassen, ohne dass in weitgehendem Masse das Experiment zu Hülfe kommt. Es wird zwar nicht leicht möglich sein, eine einfache Formel zu finden, die alle Beteiligten befrie-

digt. Abnormale Fälle könnten voraussichtlich nur dann berücksichtigt werden, wenn für jeden der vorgenannten Beiträge eine besondere Formel angesetzt würde. *Vermutlich dürfte dies auch der einzige Weg sein, um Klarheit in die Angelegenheit zu bringen.* Auf alle Fälle ergibt sich, dass die Stossziffer gewissermassen eine Funktion der Konstruktion und des Zustandes der Bahnanlage und der Fahrzeuge ist; die Stossziffern werden daher offensichtlich für die verschiedenen Länder verschieden ausfallen müssen.

Trotz der verwickelten Sachlage ist versucht worden, für die Stossziffern theoretische Herleitungen aufzustellen. Ohne die bezüglichen Untersuchungen unterschätzen zu wollen, muss doch gesagt werden, dass sie die wirklichen Vorgänge nur in vereinfachter Weise betrachten. Sowohl in *theoretischer* als auch in *experimenteller Hinsicht* treffen wir Lösungen an, die sich entweder mit *mittlern, auf die ganze Brücke bezogenen, oder mit örtlichen Stossziffern befassen.* Als Mittelwerte der Beeinflussung der ganzen Brücke sind die aus Winkeländerungen oder die aus Durchbiegungen in Brückenmitte oder andern Trägerpunkten abgeleiteten Stossziffern zu betrachten, während die örtlichen Stossziffern aus Spannungsmessungen hervorgehen. Da zweifellos die Stossziffer von Stelle zu Stelle einer Brücke sich ändert, so muss offenbar die in zweiter Linie genannte Untersuchungsmethode als die richtigere angesehen werden; sie ist leider vorderhand noch sehr umständlich.

Was die theoretischen Bestimmungen der Stossziffern anbelangt, so hat Professor *Melan*, wohl angeregt durch die vom Jahre 1881 an vorgenommenen amerikanischen Versuche, als erster eine vollständige Analyse der Stossziffern gegeben. Obschon er zum Teil von nicht ganz zutreffenden Annahmen ausging, erhielt er eine mit den wirklichen Verhältnissen nicht schlecht übereinstimmende Formel für die Stossziffer, in Funktion der Belastungslänge, nämlich:

$$J = 0{,}20 + \frac{8}{10 + l}.$$

Die interessanteste aller Studien dürfte *Remfry*, Consulting Engineer in Calcutta, zu verdanken sein. Er gelangte durch Beachtung aller vorgenannten Einflüsse zu Stossziffer-Kurven, die in der Abbildung 2 dargestellt sind. Der Verlauf seiner Kurven ist ein sehr eingenartiger, der aber durchaus als natürlich zu betrachten ist, indem wirklich zu erwarten steht, dass, mit der Wirkung einer zweiten Lokomotive, die Stossziffer für gewisse Belastungen wieder zunimmt, sodass für einen Lokomotivzug eine wellenförmige Stossziffer-Kurve entstünde; im übrigen ist den Stossziffer-Kurven jeweilen ein durch zwei Lokomotiven geführter Zug zu Grunde gelegt. Remfry betont auch, dass, mit Rücksicht auf die Stosswirkungen, alle Brücken unter 12 m Stützweite mit einem Schotterbett versehen werden sollten und weist nach, dass dieses bis zu 30 m Stützweite noch einen ausreichend grossen Nutzeffekt hat.

Eine weitere lehrreiche Untersuchung der Stossziffern rührt her von *Lloyd-Jones*, Chief Engineer of the Nizam State Railway. Er geht von der jedenfalls zutreffenden Betrachtung aus, dass die Stossziffer am besten durch Einzellasten, am Orte der Lokomotive wirkend, ausgedrückt werde, weil ja die nicht ausgewuchteten Triebwerke der Lokomotiven die Hauptursache der Stösse bilde. Ausgehend von Beobachtungen an Brücken erhielt er Stossziffern, die von 15 bis 25 t an kleinern Brücken bis zu 30 bis 50 t bei mittlern Brücken ansteigen und hierauf bei grössern Stützweiten

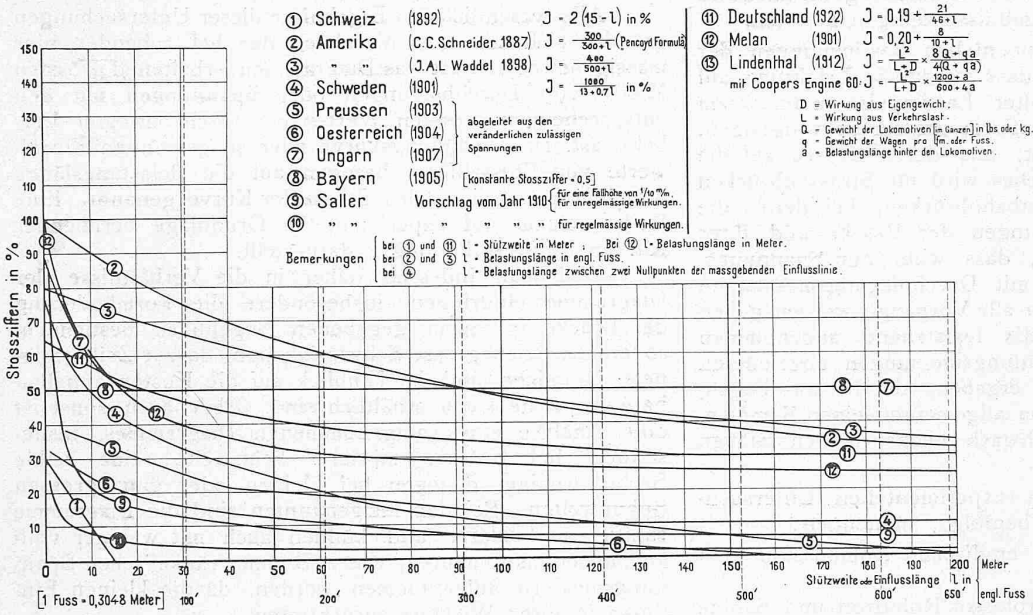

Abb. 3. Auf theoretischer Grundlage abgeleitete Stossziffer-Kurven.

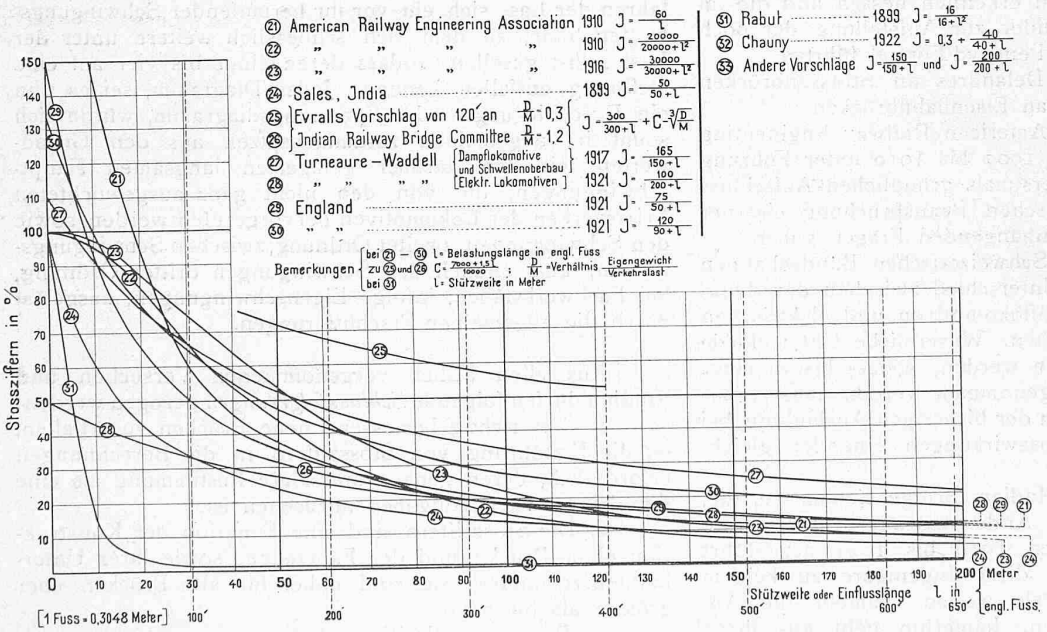

Abb. 4. Aus Versuchsergebnissen abgeleitete Stossziffer-Kurven.

langsam abfallen. Der Verlauf einer solchen Stossziffer-Kurve ist ebenfalls in der Abbildung 2 angegeben.

Daneben bestehen noch eine Reihe älterer und neuerer Studien, die aber unseres Erachtens die Aufgabe der Bestimmung der Stossziffer nicht in so umfassender Weise behandeln, wie die zuvor erwähnten Untersuchungen. Die Abbildung 3 gibt eine Zusammenstellung der bekanntesten Stoffziffer-Kurven, die allerdings, genau genommen, nicht immer auf rein theoretischer Grundlage abgeleitet sind. Daraus ist ferner ersichtlich, dass veränderliche zulässige Spannungen schliesslich auch auf Stossziffern umgeformt werden könnten. Diese Vermengungen von Ermüdungsformeln und Stossziffer-werten sollten aber sonst vermieden werden; die vergleichenden Eintragungen sollen nur daran erinnern, dass schliesslich beide Bemessungsverfahren in gewissen Fällen ähnliche Ergebnisse zeitigen könnten.

Hinsichtlich der experimentellen Bestimmungen der Stossziffer ist zu bemerken, dass zuerst die Erfahrung auf die Gefährlichkeit wiederholter Lastimpulse aufmerksam gemacht hat und zwar in der Form grosser Schwingungen. Es lag daher am nächsten, aus deren Grösse auf die Stossziffern zu schliessen. Dies wird für Strassenbrücken eher zutreffen als für Eisenbahnbrücken, bei denen die Schwingungen und Erzitterungen der Brücke und ihrer Teile so mannigfaltig sind, dass wohl nur Spannungsmessungen in Verbindung mit Durchbiegungsmessungen einwandfreien Aufschluss über alle Vorgänge werden geben können. Ausserdem darf als feststehend angenommen werden, dass die aus Spannungsmessungen abgeleiteten Stossziffern grössere Werte ergeben, als die aus Durchbiegungen bestimmten, die im allgemeinen einen Summenausdruck von stark und schwach beanspruchten Stäben darstellen.

Von den vorliegenden experimentellen Untersuchungen sind, in zeitlicher Reihenfolge, zu nennen:

a) Die Versuche einer englischen Kommission vom Jahre 1849.

b) Die Versuche von Professor Robinson und Sabine vom Jahre 1881 an, die den Zusammenhang zwischen den Grundschwingungen der Brücken und den Triebwerk-Umdrehungen der Lokomotiven erkennen liessen und die im Jahre 1887 durch C. Schneider zur Aufstellung der noch heute vielfach gebrauchten Pencoyd-Formel führten.

c) Die Versuche von Delandres an Strassenbrücken und von Rabut und Sales an Eisenbahnbrücken.

d) Die Versuche der American Railway Engineering Association in den Jahren 1907 bis 1910 unter Führung von Prof. Turneaure, die erstmals gründlichen Aufschluss über alle mit der dynamischen Beanspruchung eiserner Eisenbahnbrücken zusammenhängenden Fragen gaben.

e) Die Versuche der Schweizerischen Bundesbahnen vom Jahre 1917, die den Unterschied zwischen der dynamischen Wirkung von Dampflokomotiven und elektrischen Lokomotiven feststellen sollten. Wesentliche Unterschiede konnten aber nicht gefunden werden, sodass bis zu einer weiteren Untersuchung angenommen werden muss, dass diese Lokomotivgattungen in der bisherigen Ausbildung bei uns in Bezug auf die Stosswirkungen einander gleichwertig seien.

f) Die Versuche des Indian Bridge Committee, die, durch eine Veröffentlichung Andersons angeregt, in origineller Weise in den Jahren 1918 bis 1921 ausgeführt wurden. Leider gelangten diese Ingenieure zu keinem abschliessenden Ergebnis; sie wollen vielmehr die Angelegenheit weiter verfolgen. Immerhin geht aus ihren Berichten schon jetzt hervor

dass Einzellasten den Stoss besser zum Ausdruck bringen dürften, als verteilte Lasten,

dass die Stossziffern grösser sind bei direkter Schwellen-Lagerung als beim Vorhandensein einer Fahrbahn,

dass die Stossziffern, abgeleitet aus Spannungsmessungen, grösser sind, als die aus Durchbiegungsmessungen bestimmten, und

dass eine Brücke sowohl als Ganzes, als auch mit Knotenbildungen schwingen kann, wobei die Knoten mit der Belastung sich verschieben und neu bilden können.

g) Auch die englischen Versuche vom Jahre 1920 sind sehr wertvoll; sie ergaben, dass bei einer Brücke neben langsamen Schwingungen auch solche von höheren Frequenzen vorkommen. Da unseres Erachtens die Auswahl der erprobten Brücken sich nicht ausschliesslich auf einfache, eingeleisige Ueberbauten beschränkte, so konnten auch die Ergebnisse nicht zu klaren Erkenntnissen führen.

h) Auch die deutsche Reichsbahn hat im Jahre 1921 verschiedene Stossversuche unternommen, wohl im Zusammenhang mit der Ausarbeitung ihrer neuen Brücken-Verordnung; eingehendere Mitteilungen darüber sind indessen nicht bekannt geworden.

Alle wesentlichsten Ergebnisse dieser Untersuchungen gründen sich auf einen Vergleich der bei ruhender oder mässig bewegter Last aus Diagrammen erhaltenen grössten Werte von Durchbiegungen oder Spannungen mit den entsprechenden grössten Werten bei rasch bewegter Verkehrslast. Die Umhüllungskurve aller so gewonnen Einzelwerte von Stossziffern, bezogen auf die Belastungslänge oder die Stützweite, wird Stossziffer-Kurve genannt. Eine Reihe solcher auf experimenteller Grundlage beruhender Kurven ist in Abbildung 4 dargestellt.

Will man indessen näher in die Verhältnisse der Diagramme eindringen, insbesondere die Formänderung der Brücke in einem gegebenen Augenblick bestimmen, so erheben sich grosse Schwierigkeiten, da zur Zeit geeignete, handliche und im Hinblick auf die Kosten annehmbare Apparate kaum erhältlich sind. Aber auch sonst ist eine Analyse eines aufgenommenen Diagrammes, insbesondere bei Brücken mittlerer Stützweite, eine heikle Sache, weniger dagegen bei kleinen oder ganz grossen Spannweiten. Bei den letzgenannten sind die Diagramme ruhiger und klarer und können auch mit weniger vollkommenen Instrumenten, wie z. B. den Fränkel'schen Spannungsmessern aufgenommen werden, da die kleinen Einflüsse in ihrer Wirkung zurücktreten.

Durch sorgfältigste Zeitmarkierung glaubt das Indian Bridge Committee nachgewiesen zu haben, dass beim Auffahren der Last sich ein vor ihr herlaufender Schwingungsknoten bilde, zu dem sich schliesslich weitere unter der Last selbst gesellen, sodass deren einer bis vier auf eine Oeffnung entfallen können. Jedes Diagramm, sei es nun ein Durchbiegungs- oder Spannungsdiagramm, würde sich somit im allgemeinen zusammensetzen aus den Grundwerten mit den darüber gelagerten langsamen Hauptschwingungen, die von den nicht ganz ausgewuchteten Triebwerken der Lokomotiven hervorgerufen werden, sowie den Schwingungen zweiter Ordnung, zwischen Schwingungsknoten, und endlich den Schwingungen dritter Ordnung, bei Fachwerkstäben, infolge Eigenschwingungen, ausgelöst durch die allgemeinen Erschütterungen.

*

Aus allen bisher vorgenommenen Versuchen und Studien dürfen folgende *Schlussfolgerungen* gezogen werden:

1. Um richtig bemessene neue Brücken zu erhalten, ist die Einführung von Stossziffern in die Berechnungen erforderlich, deren genaue und klare Bestimmung als eine der dringendsten Aufgaben anzusehen ist.

2. Die Stossziffern sind eine Funktion der Konstruktion einer Brücke und der Fahrzeuge, sowie ihres Unterhaltungszustandes; sie sind daher für alte Brücken eher grösser als für neue.

3. Da nach allseitiger Auffassung, wenigstens bei grösseren Brücken, die nicht vollständig ausgewuchteten Triebwerke der Lokomotive den Hauptbeitrag zur Stossziffer abgeben, braucht eine Stossformel die Fahrgeschwindigkeit des Zuges nicht zu enthalten, da stets eine *kritische* Geschwindigkeit gemeint ist, bei der die Triebräder der Lokomotiven im Takt mit den Brückenschwingungen arbeiten. Bei mittlern und grössern Brücken kann eine kritische Geschwindigkeit erreicht, oder gar überschritten werden, je

nach der Zugsgattung; bei kleineren Brücken (15 m) wird sie nicht erreicht; dort sind zur Bildung der Stossziffer die übrigen, zuvor genannten Einflüsse überwiegend.

4. Als roheste Stossformeln dürfte jene anzusehen sein, die nur die Spannweite als veränderliche Grösse enthalten; bessere Ergebnisse dürfte die Einführung der Belastungslänge zeitigen, insbesondere für Wechselstäbe, und schliesslich wird der Vorschlag für die Annahme von Einzellasten als Zusatzlasten zu den Lokomotiven, und zwar als Funktion der Brücken- und der Lokomotiv-Gattung, die wirklichen Verhältnisse noch richtiger treffen.

5. Bei mittlern Verhältnissen dürfte die alte Pencoyd-Formel noch immer als gute Annäherung zu betrachten sein, obschon sie für kleine Spannweiten eher zu kleine, für grosse Spannweiten eher zu grosse Werte liefert. Als die heute vorhandenen Untersuchungen besser berücksichtigende Formel dürfte die der American Railway Engineering Association vom Jahre 1916 anzusehen sein.

6. Um ein klares Bild zu erhalten, sollten die allgemeinen Stossformeln in ihre Einzelbestandteile zerlegt werden, damit die jeweilen vorliegenden Verhältnisse zutreffender eingeschätzt werden könnten, was für die sichere Beurteilung bestehender Bauten von ausserordentlicher Tragweite wäre.

7. Zur Verminderung der Stossziffer trägt bei: die Verwendung von langen Schienen, mit allenfalls verschweissten Stössen und hölzernen Querschwellen auf ausreichend von einander abstehenden Längsträgern; die Anordnung kontinuierlicher Längsträger und einer sonst gut ausgesteiften Fahrbahn- und Hauptträger-Konstruktion, sowie allenfalls, bis zu ungefähr 30 m Stützweite, die Durchführung des Schotterbettes, zur Erhöhung der Masse. Ferner kommt eine kräftige Ausbildung der Windverbände in Frage, um zu verhindern, dass ein Zusammentreffen lotrechter und seitlicher Schwingungen ein sogenanntes Schlottern der Brücke bewirkt. Endlich wäre zu erwähnen die Vermeidung offener, sowie schiefer Brücken.

*

Zum Schluss sei noch beigefügt, dass bis heute für die Arbeiten zur Ermittlung der Stossziffern bedeutende Mittel aufgewendet worden sind. Weit grössere Aufwendungen sind aber für die ausserordentliche Anzahl von Belastungsproben, sei es anlässlich der Abnahme von Brücken, sei es bei den in einzelnen Ländern üblichen periodischen Prüfungen gemacht worden, ohne dass eigentlich ein klares Bild der verschiedenen Einflüsse der Stosswirkungen erhalten worden wäre. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Proben zu zahlreich, dafür aber zu wenig eingehend vorgenommen worden sind und darum schliesslich ergebnislos verlaufen mussten.

Besondere Versuche wären künftig an *bestimmten Brückengattungen* vorzunehmen, wobei jede Gattung mit einer Reihe verschiedener Stützweiten vertreten sein müsste. Bei jeder dieser Brücken wäre der Einfluss verschiedener Oberbauarten, sowie verschiedener Lokomotiv- und Wagen-Arten zu untersuchen. Hierbei wären die Oberbauarten mit und ohne Schienenstösse zu verlegen; die Wahl der Fahrzeuge wäre so zu treffen, dass auch aus dem Zusammenhang zwischen den Fachlängen der Brücken, den Radständen und den Schienenlängen sich Resonanz-Erscheinungen einstellen könnten. Schliesslich wären auch die Fahrzeuge und Oberbauarten so zu wechseln, dass die Einflüsse ungünstiger, im Betriebe vorkommender Zustände, wie Flachstellen bei Rädern, rauher, schlecht gelagerter Oberbau, unvollkommene Federungen usw. festgestellt werden könnten. Schliesslich wäre auch noch auf einen Vorschlag des Indian Bridge Committee aufmerksam zu machen, der dahin geht, die zu untersuchenden Brücken mit einem auf einem Wagen montierten schwingenden Gewicht zu erproben, um die Schwingungszeit, sowie den Dämpfungsfaktor genau bestimmen zu können.

Sodann dürfte es kaum zweifelhaft sein, dass nur Spannungsmessungen zur Bestimmung der Stossziffern herbeigezogen werden dürften, und dass die Messungen von Durchbiegungen oder Winkeländerungen nur zur Nachprüfung und zur Bestimmung allfälliger Schwingungsvorgänge benützt werden sollten.

Zur Bestimmung der Spannungen, Durchbiegungen und allenfalls auch der Winkeländerungen wären die besten aller erhältlichen Messapparate zu verwenden. Auch hier wären zweifellos noch grosse Fortschritte möglich, wenn alle im Apparatenbau gemachten Erfahrungen zur Anwendung gelangen könnten. Grosse Schwierigkeiten bestehen allerdings, da der beobachtende Brückenbauer seine Messungen nicht fein säuberlich im geschlossenen Zimmer, sondern oft im Wind und Wetter, manchmal sogar in gefährlicher Lage ausführen muss.

Aus den Messungen selbst wären die Stosszuschläge zu bestimmen und zwar sowohl für die Grundspannungen, als auch für die Nebenspannungen im Längs- und Quersinne, indem den durch die Fahrbahn beeinflussten Nebenspannungen eine höhere Stossziffer beigelegt werden muss. Schliesslich wären die Stossziffern für die verschiedenen Brückenglieder nach Brückenarten gesondert aufzutragen, um schliesslich die Erkennung eines gesetzmässigen Aufbaues zu ermöglichen. Es scheint mir, dass die letztgenannte Arbeit für alle bisher ausgeführten Stossversuche nachgeholt werden sollte, deren Ergebnisse grossen Nutzen verspräche.

Der Weg bis zu voller Abklärung der Frage der Stossziffern wird allerdings noch weit sein. Er wird aber zurückgelegt werden müssen, wenn wir unsere eisernen Brücken, denen unsere stete Sorge gilt, gründlich kennen lernen wollen. Die Aufgabe ist so umfangreich, dass sie wohl kaum von Einzelnen, sondern nur durch ein Zusammenarbeiten aller Beteiligten gelöst werden kann. Die Angelegenheit ist ausserordentlich wichtig, nicht nur für neue, sondern vielleicht noch mehr für vorhandene Brücken, deren Bestand manchmal weiterhin gesichert werden könnte, wenn wir in alle mit der Stossziffer zusammenhängenden Verhältnisse genauen Einblick hätten. Gelegenheit zu Brückenproben ist reichlich vorhanden, selbst dort, wo nur die neu erstellten Brücken erprobt werden. Es gilt nur, die Gelegenheit richtig zu benützen und System in die Messungen zu bringen, um in kürzester Zeit eine Menge wertvoller Angaben zu erhalten, die die Bestimmung zuverlässiger Stossziffern erlauben würden. Diese Stossziffern wären von einer Stelle zu sammeln, sowie zu verarbeiten und allen Beteiligten in geeigneter Form wiederum bekannt zu geben. Wenn diese Ausführungen die Aufmerksamkeit der in Frage kommenden Fachleute auf die Wichtigkeit der klaren Bestimmung der Stossziffern hingelenkt haben und in der einen oder andern Form einer Zusammenarbeit der Beteiligten die Wege zu ebnen vermögen, so ist ihr Zweck erfüllt.

Das Gebäude der Schweizerischen Nationalbank in Zürich.

Arch. B. S. A. *Gebrüder Pfister* in Zürich.

(Mit Tafeln 1 bis 4.)

Nachdem 1904 die Gründung der Schweizerischen Nationalbank mit juristischem und administrativem Sitz in Bern und Sitz des Direktoriums, der eigentlichen geschäftsleitenden und ausführenden Behörde in Zürich, von den eidgenössischen Räten beschlossen worden war, galt es, dem Institut in Zürich ein würdiges Heim für die umfangreichen Abteilungen zu schaffen. Die mancherlei Kämpfe, welche die Abtretung des Bauplatzes im hintern Teil der Stadthausanlage an der schönsten Stelle des Bankenviertels an der obern Bahnhofstrasse erreichten, sind noch nicht ganz überwunden. Die Verbindung von Bank und Park kann später einmal inniger gestaltet werden, wenn die Einsicht allgemein wird, dass auch fremde Dinge, wie Anlage und Bankgebäude, sich gegenseitig in ihrer Wirkung steigern können.

Die erste Klärung der Baufrage geschah durch ein Vorprojekt von Prof. Dr. K. Moser und wurde weiter durch