

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 1 (1932)

Artikel: Probleme der Brückendynamik: einleitendes Referat

Autor: Homann

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-461>

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: 04.10.2024

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

V 1

PROBLEME DER BRÜCKENDYNAMIK

LA DYNAMIQUE DU PONT

DYNAMICAL PROBLEMS OF BRIDGES

EINLEITENDES REFERAT

RAPPORT D'INTRODUCTION

INTRODUCTORY REPORT

Reichsbahnoberrat HOMANN,

Zentralbauamt der Gruppe Bayern der Deutschen Reichsbahngesellschaft, München.

Die Brückenvorschriften der meisten Länder tragen den dynamischen Wirkungen der Lasten bisher dadurch Rechnung, dass sie in der Form von Kurven oder Tabellen gewisse Zahlenwerte, « Stosszahlen », vorschreiben, mit denen die statisch ermittelten Bieugungsmomente und Querkräfte aus der Verkehrslast zu vervielfältigen sind. An diesen Stosszahlen muss auffallen, dass sie in den verschiedenen Ländern recht erheblich von einander abweichen. Schon diese Tatsache offenbart, dass ihnen Mängel anhaften und dass sie nicht als etwas Endgültiges angesehen werden können.

Und in der Tat müsste man, um einwandfreie Stosszahlen angeben zu können, entweder aus der Erfahrung wissen, welche dynamischen Beanspruchungen unter den verschiedensten Verhältnissen überhaupt vorkommen, und wie sie sich summieren können, oder man müsste in der Lage sein, diese Fragen theoretisch zu beantworten.

Wie steht es bis heute in dieser Hinsicht?

Die Erfahrung muss sich auf Messungen stützen, — Durchbiegungs- oder Spannungsmessungen —, sie muss also versagen, solange man nicht über Geräte verfügt, die die Messgrößen richtig aufzeichnen und solange die Beobachtungsergebnisse die Möglichkeiten der Schwingungserscheinungen nicht erschöpfen und zu ihrer Erklärung nicht ausreichen. Bis zu der Zeit, als die Stosszifferkurven entstanden, hat man aber einwandfreie Messgeräte noch nicht gehabt, und wenn sie auch inzwischen wesentlich verbessert worden sind, so reicht doch auch heute das Beobachtungsmaterial nicht aus, um die Lücken und Mängel der dynamischen Vorschriften zu beseitigen.

Was anderseits die Theorie betrifft, so stellt zwar die Mathematik wertvolle Hilfsmittel zur Verfügung, aber es bleiben doch genug Fragen offen, die durch die Theorie allein niemals beantwortet werden können, so die Frage, inwieweit unsere Bauwerke den idealisierten theoretischen Schwingungsgebilden

entsprechen, und welche Zahlenwerte für die Beiwerte der Formeln in die Rechnung einzuführen wären.

Hinsichtlich der wissenschaftlichen Begründung der Stosszahlen hat sich also in den letzten Jahren nicht viel geändert, obwohl zuzugeben ist, dass die Ausbildung der Messgeräte und die Forschungsmethoden erfreuliche Fortschritte zeigen. Es ist darum verständlich, dass Zweifel laut geworden sind, ob es überhaupt möglich ist, wissenschaftlich begründete Vorschriften aufzustellen, ob man sich nicht vielmehr lediglich an die Erfahrung halten müsse. Und wenn man bedenkt, wieviel Zeit, Mühe und Scharfsinn schon aufgewendet worden sind, so kann die Tatsache wohl nachdenklich stimmen, dass wir heute noch keine verwickeltere dynamische Schaulinie im einzelnen analysieren, geschweige denn die dynamischen Beanspruchungen voraus berechnen können. Wohl hat man interessante Einzelheiten festgestellt, wie Resonanzwirkungen oder Koppelungserscheinungen, aber, wenn man diese rechnungsmässig verfolgen wollte, so bliebe man auf allerlei Annahmen angewiesen, weil vielfach die Beobachtungen nicht ausreichen, der Berechnung sichere Unterlagen zu geben. Damit sollen diese Beobachtungen nicht herabgesetzt werden, — die bisherigen Forschungen behalten vielmehr schon deshalb ihren Wert, weil sie die Schwierigkeiten der Aufgabe erkennen liessen und so zum mindesten eine Vorbedingung für die Weiterarbeit schufen, aber die Zweifler können doch verlangen, dass man sich ernsthaft mit ihnen auseinandersetzt. Sie könnten darauf hinweisen, dass Resonanz- und Koppelungserscheinungen einen gesetzmässigen Charakter tragen, dass daneben aber andere auftreten, die so unregelmässig und von so vielen Umständen abhängig sind, dass ihnen durch Rechnung in keiner Weise beizukommen wäre. Nun will man zwar auf weitere Versuche nicht verzichten, aber man sieht das Weiterkommen nur in einer Art Grosszahlforschung. Es sollen, wenn wir recht verstehen, mit den vorhandenen Betriebsmitteln immer und immer wieder Spannungs- und Durchbiegungsmessungen gemacht werden, und die Erfahrung soll dann zeigen, in welchen Grenzen sich die dynamischen Beanspruchungen halten. Dieser Vorschlag möchte vielleicht hingenommen werden können, wenn die üblichen Messungen unter den verschiedensten Verhältnissen ein Bild ergeben würden, aus dem sich bestimmte Gesetzmässigkeiten erkennen liessen. Das ist jedoch nicht der Fall. Es kommen häufig Streuwerte vor, und diese Fälle erfordern Aufklärung, sonst bleibt die Unsicherheit für die Fassung der Vorschriften bestehen, und die Beruhigung, die sie geben sollen, wird nicht erreicht. Schon aus diesem Grunde müsste alles versucht werden, um über die bisherigen Erkenntnisse hinaus tiefer einzudringen. Wichtig wird dabei sein, ob in der Brückendynamik die Gesetzmässigkeiten oder Zufälligkeiten die grössere Rolle spielen, und ob man sich von letzteren, wenigstens teilweise, freimachen kann. Davon wird es abhängen, ob man, wie bei der Grosszahlforschung, auf statistische Methoden angewiesen bleibt, oder ob das Ziel höher gesteckt werden darf.

Um hier etwas klarer zu sehen und Stellung nehmen zu können, wollen wir, — obwohl wir damit nur bekannte Dinge wiederholen, einen Blick auf die dynamischen Vorgänge werfen, die sich in einer Brücke abspielen. Wir denken dabei in erster Linie an vollwandige Träger mit gleichbleibendem Trägheits-

moment, erinnern uns aber zugleich, dass sich, wie Theorie und Praxis zeigen, auch Fachwerkträger nicht wesentlich anders verhalten :

Die erste Betrachtung gilt gewöhnlich dem Fall der Belastung durch eine ortsfeste konstante Last. Indem das Tragwerk sich mit der Last ins Gleichgewicht zu setzen sucht, biegt es sich durch. Weil aber die Spannungen (Stabkräfte) allmählich von Null an wachsen, während die Last gleich in voller Grösse wirkt, bleibt die im Träger sich aufspeichernde potentielle Energie (Formänderungsarbeit) zunächst hinter der Arbeit der Last zurück. Der Überschuss der äusseren Arbeit geht in Bewegungsenergie der Trägermasse und der trägen Masse der Last über und diese Energie erreicht ihren Grösstwert, wenn der Träger seine statische Gleichgewichtsform angenommen hat.

Die angesammelte Bewegungsenergie treibt nun den Träger über diese Lage hinaus. Dabei senkt sich die Last weiter, sie leistet weiter Arbeit. Jetzt aber ist der Zuwachs der Formänderungsarbeit, die ja mit dem Quadrat der Durchbiegung wächst, — grösser als der Zuwachs der äusseren Arbeit: die schwingende Masse wird nun verzögert, und es tritt schliesslich, bei der doppelten statischen Durchbiegung, der Zeitpunkt ein, wo die Masse einen Augenblick zur Ruhe kommt und die Schwingung in die entgegengesetzte Richtung übergeht.

Diese Überlegung darf nicht zu der Annahme verleiten, dass auch eine über den Träger rollende Last die doppelte statische Durchbiegung hervorrufen müsse. Die Theorie zeigt vielmehr, dass in diesem Falle die dynamische Durchbiegung nur unwesentlich grösser wird, als die statische. Man gewinnt davon eine Vorstellung an dem Beispiele eines Trägers, der in der Mitte um das Mass f überhöht ist, um das ihn die Last Q durchbiegt. Die in der Trägermitte plötzlich angebrachte Last hat, wenn der Träger sich um f gesenkt hat, die Arbeit $Q \cdot f$ geleistet, die vom Auflager heranrollende Last Q aber hat gegenüber dieser Lage der Trägermitte gar keinen Niveauunterschied. Sie ist zwar, um die Durchbiegung f hervorbringen zu können, zunächst etwas gestiegen, aber nicht um das Mass f . Die Durchbiegung unter der rollenden Last wird dadurch beeinflusst, dass diese eine gekrümmte Bahn durchläuft, und Fliehkräfte in lotrechter Ebene entwickelt. Sobald Schwingungen eingesetzt haben, wird die Bahn der rollenden Last, die nicht mit der Biegelinie des Trägers oder mit einer Schaulinie der Durchbiegung eines Knotenpunktes verwechselt werden darf, sehr verwickelt. Sie zeigt mit letzteren eine gewisse Ähnlichkeit, indem einem mittleren Durchhang ein auf — und abgehender Wellenzug freier Eigenschwingungen des Trägers überlagert ist, sie ist aber nicht symmetrisch zur Trägermitte, sondern steigt gegen das Ablaufende steiler an. Je nachdem nun, ob die Bahnkurve gerade nach oben oder nach unten hohl ist, wird die Achslast durch die Fliehkraft vermehrt oder vermindert. Es besteht also die Möglichkeit, dass die Einflüsse mehrerer Lasten sich gegenseitig aufheben, und das ist auch meistens der Fall. Ausserdem bleibt zu beachten, dass die Grösse der Fliehkraft nicht von der Krümmung der Bahnen abhängt, die die Achsen beschreiben, sondern von der Bahn des Lastschwerpunktes, die infolge der Fahrzeugfederung flacher verläuft.

Zu den bisher betrachteten Schwingungen treten erzwungene Schwingungen, hervorgerufen durch die freien Fliehkräfte der zusätzlichen Gegenge-

wichte der Lokomotivtreib- und Kuppelachsen, unter Umständen auch durch die periodisch wechselnde lotrechte Seitenkraft das Kreuzkopfdruckes.

Die Wirkung der freien Fliehkräfte ist eine doppelte: Neben den lotrechten Impulsen üben sie auch ein periodisch wechselndes Drehmoment senkrecht zur Bauwerksachse aus, das die Hauptträger in Gegenphase zum Schwingen anregt. Diese periodischen Kraftwirkungen sind theoretisch und praktisch besonders beachtlich, da sie unter Umständen eine Brücke durch Resonanz zu starken Schwingungen aufschaukeln können. Diese sind praktisch wichtiger, als die weiterhin noch zu erwähnenden Resonanzerscheinungen bei Kopplung, weil an ersteren nur die im Tragwerk liegende Dämpfung zehrt, die immer gering ist.

Rhythmische Kraftwirkungen gehen auch von den Temperaturlücken der Schienen aus, indem an ihnen in mehr oder weniger regelmässigen Zeitabständen Stösse auf die Brücken ausgeübt werden.

Die so entstandenen erzwungenen Schwingungen setzen sich aus (gedämpften und daher abklingenden) Eigenschwingungen und aus erzwungenen Schwingungen zusammen. Dabei ist sehr wichtig, dass die Dämpfung in den Brückentragwerken klein ist; denn das hat zur Folge, dass die Eigenschwingungen, die sich den erzwungenen Schwingungen überlagern und bei Resonanz einen gewissen Schutz gegen das Aufschaukeln bilden, nur langsam abklingen, ja, da sie durch neue Anstösse erneut angeregt werden, wohl nie ganz zur Ruhe kommen.

Das Zeitmass der Eigenschwingungen ist bestimmt durch die Biegesteifigkeit des Trägers und durch Grösse und Verteilung der schwingenden Masse, letztere bestehend aus der gesamten Masse der Brücke und der jeweiligen, im Weiterfahren nach Grösse und Lage sich ständig ändernden Masse des Zuges. Diese Änderung der schwingenden Masse ist sehr wichtig, weil dadurch das Zeitmass der Schwingungen ständig geändert, also gestört wird. Aber auch noch in einem anderen Sinne bilden die Betriebslasten und ihre Massenkräfte kein konstantes, sondern ein veränderliches Lastsystem. Die einzelne Achslast nämlich besteht aus dem Gewicht der Achse und einem Federdruck, der innerhalb weiter Grenzen schwanken kann. Das tritt z. B. ein, wenn die Beschleunigung der Schwingungsbewegung der Brücke so gross wird, dass die Reibung in den Achsführungen und in den Federblättern der Fahrzeuge überwunden wird und die Tragfedern zum Schwingen kommen. Dann beeinflussen sich die abgefederten Massen der Fahrzeuge auf der einen und die Masse der Brücke zusammen mit den nicht abgefederten Massen der Fahrzeuge auf der andern Seite gegenseitig, und es entstehen freie Koppelschwingungen, die sich im allgemeinen aus zwei harmonischen Einzelschwingungen, einer langsameren und einer schnelleren zusammensetzen, aber auch aus nur einer der beiden bestehen können. Bei der langsamen Einzelschwingung schwingen die durch die Fahrzeugtragfedern gekoppelten Massen in gleichem Sinne, bei der schnellen in Gegenphase. In letzterem Falle ist es also so, als wenn die Fahrzeugmasse entgegengesetztes Vorzeichen hätte. Neben den freien können auch erzwungene Koppelschwingungen auftreten.

Wenn die Periode der schnellen Koppelschwingung mit der Periode der Fliehkräfte schnellfahrender Züge übereinstimmt, dann sind die Erregerkräfte

sehr gross, aber die Resonanzschwingungen sind dafür durch den Hinzutritt der Reibung zwischen den Federblättern und in den Achsführungen stärker gedämpft. Immerhin sind starke dynamische Wirkungen der schnellen Koppelschwingungen beobachtet worden. Auch kommen sie nicht nur bei Schnellzügen, sondern auch bei schnellfahrenden Güterzügen vor, da diese bei kleinerer Geschwindigkeit doch dieselbe Winkelgeschwindigkeit und dieselben Fliehkräfte, also gleiche Erregerfrequenz und gleiche Erregerkraft entwickeln.

Von vielfach zusammengesetzter Art sind die dynamischen Beanspruchungen eines Fachwerkstabes. Neben den Kräften, die er als Teil des Trägers aus dem Schwingungszustande des Trägers aufnimmt, erleidet er Spannungen aus Längs-, Quer- und Drehschwingungen, die er für sich ausführt, und noch weitere Spannungen ergeben sich für einzelne Querschnittsteile, wie abstehende Flanschen, die wieder bis zu einem gewissen Grade unabhängig vom geschlossenen Querschnitt für sich schwingen können.

Auch die Fahrbahnträger schwingen für sich und werden durch mancherlei Stosskräfte beansprucht.

Wie steht es nun mit all diesen Schwingungen, die in mannigfacher Kombination an ein- und derselben Schaulinie in Erscheinung treten können? Sind sie gesetzmässiger Natur und lassen sich mathematisch erfassen, oder sind sie mehr von Zufälligkeiten abhängig?

Wir haben schon erwähnt, dass die dynamische Wirkung einer rollenden Einzellast der theoretischen Behandlung nicht unzugänglich ist. Das gleiche gilt von dem Einfluss eines Zuges aus Einzellasten. Man kann aber die Fliehkraftwirkung der bewegten Last auch ganz fernhalten oder jedenfalls praktisch unschädlich machen, indem man die Träger so überhöht, dass ihre Biegelinie bei Vollbelastung zur Geraden wird. Dann wird eine grosse Schwierigkeit ausgeschaltet. Die übrigen Schwingungserscheinungen lassen sich leichter verfolgen, sowohl theoretisch, als versuchstechnisch. Und zwar liegt auf der versuchstechnischen Seite das Schwergewicht. Man wird hoffen dürfen, dass es wissenschaftlichen Versuchen gelingt, die Grenzen festzulegen, innerhalb deren sich die einzelnen schwingungerregenden Ursachen auswirken. Wenn die bisherigen Versuche hierauf, soweit wir übersehen können, keine bestimmte Antwort gegeben haben, so liegt das wohl daran, dass praktisch, wenn man keine Vorsorge dagegen trifft, immer mehrere Ursachen zusammenwirken, die sich gegenseitig stören.

Wenn man sicher wäre, dass immer gegenseitige Störungen aufträten, die die Ausbildung grosser Schwingungs ausschläge (grosser dynamischer Beanspruchung) verhinderten, dann könnte man wohl von planmässigen wissenschaftlichen Versuchen absehen und sich mit Grosszahlforschung begnügen. Leider aber ist man nicht sicher, dass es nicht auch einmal anders sein kann. Wir brauchen also eine Vertiefung unserer Kenntnisse, und diese wird man sich davon versprechen können, dass man versucht, den Einfluss der einzelnen Ursachen zunächst zu trennen und dann ihr Verhalten zueinander zu beobachten. Zu dieser Hoffnung scheinen die Fortschritte zu berechtigen, die in den letzten Jahren die Ausbildung der Messgeräte und die Forschungsmethoden genommen haben. Die Forderung, dass die Geräte unverzerrte Aufzeichnungen liefern müssen, kann heute wohl als erfüllt angesehen werden. Damit ist bei

der Bedeutung, die die Streuwerte für die Vorschriften haben, eine ganz wichtige Tatsache gegeben, insofern als man es in Zukunft nicht mehr mit vermeintlichen, auf falschen Aufzeichnungen beruhenden, sondern nur noch mit wirklichen Streuwerten zu tun haben wird, die vielleicht in engeren Grenzen bleiben, als man bisher annehmen musste. Weiter bietet die Schwingmaschine, wie sie z. B. bei den englischen Versuchen des Jahres 1923 zur Anwendung kam und heute von der Deutschen Reichsbahn verwendet wird, die Möglichkeit, eine Brücke auf alle praktisch wichtigen Eigenfrequenzen hin abzutasten; der Schweizerische Einachswagen erlaubt es, die gegenseitigen Störungen mehrerer Achsen auszuschalten um die Wirkung einer konstanten Last zu untersuchen und der von Professor Kulka in der Bautechnik 31, Heft 26 vorgeschlagene Durchbiegungsmesser gibt ein Verfahren an die Hand, mit dem man die Schwingungen aller Knotenpunkte einer Gurtung gleichzeitig aufzeichnen und daraus die Schwingungsformen der Träger ableiten kann. Gestützt auf diese Verbesserungen lässt sich ein umfassendes Versuchsprogramm aufstellen. Die Kenntnis aller Eigenfrequenzen hilft dazu, bei den Versuchen unerwünschte Einflüsse fernzuhalten und erleichtert die Auswertung der Schaulinien, da die Perioden der Einzelschwingungen bekannt sind, aus denen sich die Schaulinien aufbauen. Eine andere notwendige und erfolgversprechende Aufgabe liegt in der Ausdehnung der Beobachtungen auf die Ermittlung der Dämpfungsverhältnisse von Brücke und Fahrzeug. Die Grösse der Dämpfungen muss zahlenmässig geklärt werden. Bisher scheiterte, wie schon erwähnt, die rechnerische Verfolgung mancher Beobachtungen an der Ungewissheit, die in dieser Hinsicht bestand.

Dagegen wird es niemals möglich sein, für eine bestimmte Brücke und gegebene Belastungen die dynamischen Beanspruchungen in einzelnen vorauszurechnen. Im praktischen Falle wirken, wie gesagt, stets mehrere schwingungserregende Ursachen zusammen, die von so vielen Umständen abhängen, dass ihr zeitliches Zusammentreffen durch kein mathematisches Gesetz erfasst werden kann. Das Ziel der Versuchsforschung kann nur darin liegen, Stosszahlen aufzustellen, die, wie schon heute, die ungünstigste Summierung der einzelnen dynamischen Beanspruchungen berücksichtigen, aber besser begründet sind, als die bisherigen.

Wenn es in Auswertung der im « Report Of The Bridge Stress Committee ¹ » veröffentlichten hervorragenden englischen Versuche gelungen ist, Lokomotivtypen zu erkennen und auszuschneiden, die sich für die Brücken als schädlich erwiesen, so darf man wohl hoffen, dass es auch gelingen wird, aus planmässigen Versuchen Gesichtspunkte für die bauliche Durchbildung der Brücken zu gewinnen, durch die eine Summierung ungünstiger dynamischer Wirkungen verhindert wird. Im Hinblick auf die lotrechten Fliehkräfte ist das ja schon angedeutet; das weitere Streben muss darauf gerichtet sein, das Auftreten von Streuwerten auszuschliessen. Die Aufgabe, die sich hiernach für die Versuchsforschung abzeichnet, ist gross und mühsam. Sie kann nicht gelöst werden ohne planmässige wissenschaftliche Vorbereitungen, und mit den Versuchen muss, wenn sie die Aufgabe erschöpfen wollen, zugleich der weitere Ausbau der Theorie Hand in Hand gehen. Im Laboratorium lassen sich die Versuche nicht

1. London, published under the authority of his Majesty's Stationery Office, 1928.

durchführen, sondern nur an wirklichen Brücken und mit den Fahrzeugen des Verkehrs. Es leuchtet auch ein, dass die Spannungen, die man aus den Messungen gewinnt, nicht verglichen werden können mit den Spannungen, die man nach den üblichen vereinfachenden Berechnungsverfahren erhält, wobei die Knotenpunkte der Fachwerke als Gelenke angesehen werden, sondern, wenn die Stosszahlen, die man sucht, Wert haben sollen, so muss man sie auf statische Spannungen beziehen, die der Wirklichkeit so genau wie möglich entsprechen. Das heisst, man muss die Steifigkeit der Knotenpunkte und der Stäbe in die Rechnung einführen. Wenn diese Arbeit sehr zeitraubend ist, so hat sie doch das Gute, dass man gezwungen ist, sich gründlich mit den Nebenspannungen zu beschäftigen und dass dadurch zugleich auf dieses Gebiet mehr Licht fallen wird, dass man jedenfalls praktisch klarere Vorstellungen von der Grösse dieser Spannungen erhält. Ist das erreicht, so mag man die Nebenspannungen einbeziehen und die Stosszahlen wieder zu den statisch errechneten Grösstkräften in Beziehung setzen.

Nach dem eben Gesagten kann es nicht zweifelhaft sein, dass die Durchführung der Arbeit nicht von dritter Seite kommen wird, sondern der Initiative der Eisenbahnverwaltungen überlassen bleibt.

Bei dieser Sachlage ist es zu begrüssen, dass sich aus den Reihen der Kongressmitglieder stets Kräfte gefunden haben, die bereit sind, der Wissenschaft zu dienen und Mittel für die Forschung bereitzustellen. Und deshalb ist es vielleicht auch nicht abwegig, wenn unter dem Thema des allgemeinen Berichtes einmal die Frage aufgeworfen wird, ob die « Internationale Vereinigung » die Forschung nicht auch dadurch fördern könnte, dass sie ein die Grundlagen der Brückendynamik umfassendes Sammelwerk bearbeiten lässt. Das Bedürfnis nach einem solchen dürften schon viele Fachgenossen gefühlt haben, denn heute liegen die Dinge so :

Wer das dynamische Verhalten der Brücken beherrschend verstehen oder auch nur das Schrifttum mit vollem Nutzen verfolgen will, muss über umfangreiche Kenntnisse aus Mathematik, Mechanik, Maschinenbau und Gerätekunde verfügen. Ein Brückeningenieur, der diese Spezialkenntnisse nicht aus der Studienzeit oder der praktischen Arbeit mitbringt, der sich vielleicht jahrelang ausschliesslich mit Statik beschäftigt hat, und sich nun mit Brückenschwingungen und dynamischen Messungen vertraut machen will, sieht sich vor eine überaus mühselige Arbeit gestellt. Fast unübersehbar kann sie ihm zunächst erscheinen, wenn er sich an das vorhandene Schrifttum wendet. Es gibt unzählige Bücher, die sich mit dem Gegenstande beschäftigen, aber nirgends findet er das, was er braucht, in bequemer Form, nein, aus einer Unzahl von Lehrbüchern und Abhandlungen muss er sich's zusammensuchen. Hierunter leiden zunächst die Kontrollingenieure, denen die Prüfung und ständige Beobachtung der Brücken im Betrieb anvertraut ist; sie müssen mit allerlei Geräten hantieren, deren Theorie sie nicht beherrschen und sie gewinnen Aufzeichnungen, die ihnen vielleicht Rätsel aufgeben.

Dieser Zustand widerspricht ganz der sonstigen Übung der Eisenbahnverwaltungen. Überall sonst gibt man den Bediensteten Dienstvorschriften in die Hand, die in verständlicher Weise den Wissensstoff zusammenfassen, den sie brauchen. Hier fehlt das — aus verständlichen Gründen. Mit einer kurzen

Anweisung ist's eben nicht getan, sie würde ohne eingehende Spezialkenntnisse aus den Hilfswissenschaften nicht verstanden werden. Man braucht eine Anweisung, die zugleich die wissenschaftlichen Grundlagen einbezieht und auch denen etwas gibt, die an leitender Stelle stehend, für wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Fortschritt zu sorgen haben.

Aber weiter : Werfen wir einen Blick auf die neueren Abhandlungen in den technischen Zeitschriften. Wird man nicht den Eindruck haben müssen, dass hier ein Missverhältnis besteht zwischen der Summe an Arbeit und Wissen, den sie einschliessen und dem Nutzen, den sie stiften ? Wenn der Leser die Gesetzmässigkeiten der Schwingungslehre nicht mathematisch beherrscht, dann wird ihm so manche wertvolle Bemerkung verloren gehen, er wird aus Widersprüchen und Unklarheiten nicht herauskommen. Und vielleicht darf man sogar noch einen Schritt weitergehen und etwas aussprechen, was nicht als Kritik an den Forschungsarbeiten selbst empfunden werden möge : Wenn man die verschiedenen Abhandlungen liest, so kann sich wohl die Frage aufdrängen, ob die Forscher, selbst sich in den Grundanschauungen über die Wege zum Erfolg einig sind. Wie wäre es wohl, wenn es darüber einmal zu einer Aussprache käme ? Wäre man sicher, dass nicht Meinungsverschiedenheiten bestehen würden ? Und nun bedenke man, wie gross, zeitraubend und kostspielig noch die Aufgabe der Forschung ist. Eine einzelne Verwaltung, geschweige denn ein einzelner, kann sie nicht leisten, nur gemeinsame Anstrengung nach wissenschaftlich begründetem Plane kann sie bewältigen. Ehe aber von einem wohl überlegten gemeinsamen Plane die Rede sein kann, müssen alle Meinungsverschiedenheiten beseitigt werden und das könnte geschehen, wenn das, was Grundlage und Ausgangspunkt sein muss, einmal ausgesprochen wird in einer Form, die sich der Kritik stellt. Meinungsstreit zu entfesseln und auszutragen, könnte eine erste nützliche Aufgabe des Entwurfes der « Grundlagen der Brückendynamik » werden. Der Entwurf sollte Gegenstand der Diskussion sein, bis er nach übereinstimmendem Urteil der besten Sachkenner das geworden ist, was er sein soll : der sichere Führer und Ratgeber und Ausgangspunkt für die Forschung.

Unter der Annahme nun, dass eine Sammlung der Grundlagen der Brückendynamik das Interesse der Vereinigung finden könnte, seien im Folgenden einige Gedanken über Inhalt und Form eines solchen Werkes entwickelt.

1. Die Gesetze der Schwingungslehre lassen sich mit elementaren Hilfsmitteln nicht einwandfrei ableiten. Es müssen also gewisse mathematische Kenntnisse, einschliesslich der Elemente der höheren Analysis vorausgesetzt werden. Der mathematische Teil würde danach mit den einfachen harmonischen Schwingungen beginnen und weiter die gedämpften freien und die erzwungenen Schwingungen behandeln. Schon hier aber muss das Werk, Hand in Hand mit der Forschung, selbständig seinen Weg gehen. Die mathematischen Lehrbücher begnügen sich damit, für die Dämpfung bequeme Annahmen zu machen und Buchstabengrössen einzuführen. Der Brückenbauer braucht Zahlenangaben und muss wissen, inwieweit seine Bauwerke den theoretischen Annahmen gerecht werden. Die Theorie der erzwungenen Schwingungen fragt hauptsächlich nach dem Beharrungszustand und interessiert sich für die begleitenden Eigenschwingungen nur insofern, als sie zur

Angabe des allgemeinen Integrals der Schwingungsgleichung nötig sind. Für den Brückenbauer aber sind gerade die durch das Hinzutreten der Eigenschwingungen charakterisierten Anfangsbewegungen wichtig, weil die Eigenschwingungen der Brücken sehr schwach gedämpft sind, also lange anhalten und zudem immer auf's neue erregt werden.

Während bis hierher die Schwingungslehre mehr Vorstufe und die Grundlage für das Verständnis der Brückenmessgeräte bildet, geht die Betrachtung eines Trägers als eines elastischen Stabes schärfer auf die Feinheiten der Bewegungsvorgänge ein. Dieses Gebiet ist nicht ganz einfach und weder nach der mathematischen noch nach der versuchstechnischen Seite hin als abgeschlossen zu betrachten. Auf Grund der bisherigen Beobachtungen wissen wir z. B. nicht viel darüber, ob ein Träger als Ganzes, oder u. U. auch in mehreren Wellen, also mit Knoten, schwingt. Das zu wissen, ist aber sehr wichtig, denn, wenn man aus den Durchbiegungen auf die Spannungen schliessen will, macht es einen bedeutenden Unterschied, ob eine bestimmte Durchbiegung Pfeil der Grundwelle oder einer Oberwelle ist. Man kann also Durchbiegungsmessungen zu Spannungsberechnungen nur gebrauchen, wenn man die Schwingungsform eines Trägers genau kennt, wie es das oben genannte Verfahren von Professor Kulka erstrebt.

Auch in diesem Zusammenhange sehen wir wieder, dass es nicht mit Auszügen aus dem vorhandenen Schrifttum getan ist, sondern dass selbständiges wissenschaftliches Arbeiten verlangt wird.

Ein Fall, für den die Schwingungsform eine besondere Rolle spielt, und der bisher auf besonders unsicheren Grundlagen beruht, ist die Berechnung der Schutzbrücken, die den Stoss herabfallender Lasten von Förderbahnen und dergl. auffangen sollen. Wohl gibt es dafür eine Reihe von Vorschlägen, aber alle Berechnungen beruhen auf theoretischen Annahmen, denen die versuchstechnische Bestätigung fehlt. Hier darf man sich wohl von der Kulka'schen Methode besondere Erfolge versprechen. Wenn der Zeiss-Kulka-Durchbiegungsmesser in die Versuchsforschung Eingang findet, so erwächst für die Bearbeiter der « Grundlagen » die Aufgabe, die Entwicklung zu verfolgen und die Auswertung der Messungsergebnisse vorzuführen, d. h. gewisse Gebiete der Interpolations- und Differenzenrechnung zu behandeln.

Weiter hatten wir oben auf Kopplungserscheinungen hingewiesen. Dass die gegenseitige Beeinflussung von Brücke und Fahrzeug von Bedeutung werden kann, haben die grossen englischen Versuche, über die in dem schon genannten « Report » berichtet ist, bewiesen. Man kann also an den Kopplungserscheinungen nicht vorübergehen. Auch hierbei wird an den Bearbeiter die Forderung selbständigen wissenschaftlichen Schaffens gestellt, denn die bisher vorliegenden, — nicht für den Brückenbauer bestimmten, sondern anderen Problemen gewidmeten — Abhandlungen reichen nicht hin, die naheliegenden praktischen Fragen des Brückenbaues zu beantworten.

Selbstverständlich kann eine Sammlung der mathematischen Grundlagen nicht an der harmonischen Analyse als dem unentbehrlichen Hilfsmittel für die Zergliederung und Deutung der aufgenommenen Schaulinien vorübergehen. Die Annäherung gegebener Linienzüge durch endliche und unendliche trigonometrische Reihen müsste besonders eingehend behandelt werden.

Schliesslich könnte sich das Sammelwerk ein Verdienst erwerben, wenn es Auszüge aus den wertvollsten Arbeiten der rückliegenden Zeit brächte, soweit diese nicht ohnedies zur Vervollständigung der Theorie Verwendung finden müssten. Man findet ja häufig Hinweise auf berühmte Arbeiten, aber das genügt nicht; der Leser braucht eine ausführliche Besprechung, die neben den Ergebnissen die Gedankengänge der Untersuchung klar erkennen lässt, und die Voraussetzungen herausarbeitet, auf denen sie beruht. Die Beschäftigung mit älteren Arbeiten ist deshalb oft so fruchtbar, weil sie gewisse Grundfragen, die in neueren Lehrbüchern der Fülle des Stoffes wegen nur kurz gestreift werden, besonders klar behandeln. Auch dahingehende Hinweise sind wertvoll.

Auch über die Form ist vielleicht eine Bemerkung am Platze:

Eine Darstellung, die sich darauf beschränkt, die Formeln zu entwickeln und zu diskutieren, kann dem Praktiker nicht genügen. Sich Formeln gegenwärtig zu halten und ihre Tragweite zu überblicken, ist nicht jedermann's Sache. Die Beschäftigung mit der Theorie gewährt grösseren Gewinn, wenn die Hauptergebnisse in Worte gefasst werden. Sie erhalten dadurch mehr Leben und prägen sich leichter ein. Dass man mit solchen Mitteln arbeiten kann, darin liegt die eigentümliche Stärke einer wissenschaftlichen Darstellung, die sich auf ein engeres Gebiet beschränkt.

2. In neueren Abhandlungen, namentlich von russischer Seite, ist darauf hingewiesen worden, dass die Schaulinien von Spannungen und Durchbiegungen auch dann äusserlich den Charakter von Schwingungen tragen müssten, wenn die Formänderungen ohne Massenwirkungen nach rein statischen Gesetzen vor sich gingen. Man denke an die unseres Wissens von Rabut eingeführten Summeneinflusslinien für Lastgruppen. Hiermit erhält man für die theoretischen Linienzüge irgendwelcher Messgrössen, z. B. für das Biegemoment oder für die Durchbiegung in einem Punkte der Fahrbahnträger, in der Tat gezähnte Linienzüge, die den dynamischen Schaulinien, wie sie von den Messgeräten praktisch aufgezeichnet werden, sehr ähneln. Das gilt schon für konstante Lasten. Nun aber sind die Achslasten nicht konstant, sondern sie schwanken um die Änderungen des Federdruckes. Bei Eisenbahnbrücken kommt hinzu, dass die Achsdrücke der Treib- und Kuppelachsen um den Betrag der freien Fliehkräfte periodisch zu- und abnehmen. Solcher Lastschwankungen der rollenden Lasten gibt es, wie wir schon eingangs ausführten, noch mehr, und sie müssen, schon statisch betrachtet, auf alle Schaulinien einen ähnlichen Einfluss ausüben, wie vorhin der Wechsel der Laststellungen.

Wenn nun auch sicherlich die Formänderungen der Brücken nicht bloss ein statisches Abbild der eben skizzierten statischen Lastschwankungen sein können, so zeigt doch einerseits die Theorie, dass die Schwingungsweiten der von den rollenden Lasten erzwungenen Schwingungen und der Einfluss der Trägheitskräfte der rollenden Massen im allgemeinen rechtgering sind, andererseits die Erfahrung, dass die periodischen Schwankungen der Achsdrücke sich in den Schaulinien deutlich ausprägen, ohne im allgemeinen zu einem Aufschaukeln zu führen. Darum wäre es sicher von Interesse, wenn im Sinne der russischen Anregungen die Forschung auch auf die Feststellung ausgedehnt würde, inwieweit die Schaulinien aus den Einflusslinien für Lastgruppen unter Berücksichtigung der oben erwähnten Lastschwankungen erklärt werden können.

Für unser Handbuch entspringt daraus aber die Aufgabe, die störenden Bewegungen der Lokomotiven, soweit sie nicht innerhalb der Maschinen selbst oder innerhalb der Schienen ausgeglichen werden, sondern auf die Brücken übergehen, zusammenfassend zu behandeln. Für Strassenbrücken, bei denen die Resonanzerscheinungen noch eine grössere Rolle spielen, als bei den Eisenbahnbrücken, käme dazu der Bau der Strassenfahrzeuge und die Untersuchung ihrer dynamischen Eigenschaften.

3. Wenn so die mathematischen und technischen Grundlagen zusammengefasst sind, so fehlt für das volle Verständnis des Schrifttums als Drittes nur noch die Lehre von den Messgeräten und ihre Theorie. Es würde genügen, wenn die neuen Geräte und Messverfahren behandelt würden, aber es bleibt wünschenswert, dass auch diese Kenntnisse auf eine breitere Grundlage gestellt würden, indem auch die Messtechnik im allgemeinen zur Behandlung käme.

TRADUCTION

par M. GOSSIEUX, Ing., Paris.

Jusqu'à maintenant et dans la plupart des pays, les Règlements concernant les Ponts introduisent dans les calculs les influences dynamiques exercées par les charges, en prescrivant l'emploi, sous forme de courbes ou de tableaux, de coefficients déterminés, dits « coefficients de choc », par lesquels il faut multiplier les moments fléchissants déterminés statiquement et les efforts tranchants qui résultent de l'intervention des charges roulantes. Il convient d'ailleurs de remarquer que ces coefficients diffèrent très sensiblement entre eux d'un pays à l'autre. Ce fait montre déjà leur caractère empirique et indique que ces coefficients ne peuvent pas être considérés comme quelque chose de définitif.

En fait, pour pouvoir indiquer des coefficients de choc qui soient rigoureux, il faudrait savoir par l'expérience quels sont les efforts dynamiques qui prennent naissance, dans les diverses conditions de la pratique et être en mesure de les introduire dans les calculs, ou bien être à même de résoudre le problème par des voies théoriques.

Où la question en est-elle, à ce point de vue ?

L'expérience doit s'appuyer sur des mesures, mesures de déformations ou mesures d'efforts. Elle est donc en défaut tant que l'on ne dispose pas d'appareils qui permettent de déterminer exactement les grandeurs à mesurer et tant que les résultats fournis par les observations ne permettent pas de pénétrer à fond les phénomènes oscillatoires et de les expliquer entièrement. Jusqu'au moment où furent publiés des règlements tenant compte des phénomènes de choc, on n'avait pas encore disposé d'appareils de mesure satisfaisants ; si ces appareils ont, depuis, subi des perfectionnements notables, on ne possède toutefois pas encore aujourd'hui des résultats expérimentaux suffisants pour pouvoir combler les lacunes et remédier aux imperfections des prescriptions qui concernent le point de vue dynamique.

Par ailleurs, en ce qui concerne la théorie, la science mathématique met à la disposition des investigateurs des moyens puissants ; il existe toutefois un

Zusammenfassung.

Die bisherigen Bestimmungen der Brückenvorschriften über die Berechnung der dynamischen Wirkung der Lasten können nicht als endgültig angesehen werden.

Theoretische Betrachtungen allein können eine vertiefte Erfassung der dynamischen Vorgänge nicht erschliessen, sondern nur planmässige, durch wissenschaftliche Überlegung geleitete praktische Versuche, Hand in Hand gehend mit dem Ausbau der Theorie. Beschränkung auf Grosszahlforschung mit den bisherigen Methoden bedeutet wissenschaftlichen Verzicht, zu dem kein Zwang vorliegt, solange man hoffen kann, durch Versuche mit wissenschaftlicher Fragestellung tiefer einzudringen. Die Schwierigkeiten, Mühen und Kosten der Forschungsaufgaben weisen auf internationale Zusammenarbeit hin. Der Forschung wäre auch gedient mit einer Zusammenstellung und zweckmässigen Bearbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen der Brückendynamik.

Résumé.

Dans les prescriptions actuelles relatives aux ponts, les règlements concernant la détermination de l'action dynamique des charges ne peuvent pas être considérés comme définitifs.

Ce n'est pas par des considérations théoriques seules qu'on arrivera à une conception plus approfondie des procédés dynamiques, mais seulement par des essais pratiques bien organisés et guidés par des considérations scientifiques, allant de pair avec le développement de la théorie. Se restreindre à des analyses d'essais exécutés en grand nombre avec les méthodes actuelles signifie un renoncement scientifique, auquel on n'est nullement contraint tant qu'on peut avoir quelque espoir de pénétrer plus profondément ces questions par des essais de base scientifique. Les difficultés, le labeur et les frais des recherches exigent une collaboration internationale. Le groupement et l'étude judicieuse des principes fondamentaux de la dynamique des ponts seraient également de grande utilité.

Summary.

Stipulations hitherto laid down in bridge specifications regarding calculating the dynamic effect of the loads cannot be regarded as final.

A fuller conception of the dynamic action cannot be obtained from theoretical considerations alone, but only from systematic practical experiments, conducted according to a scientific plan, proceeding hand in hand with the development of the theory. Limiting oneself to searching for empirical formulae with the methods hitherto used, means an abandonment of scientific principles, for which there is no justification as long as one can hope to learn more by conducting tests, with scientific enquiry as to the meaning of the results. The difficulties, trouble and cost of research point to the necessity of international cooperation. Research would also be assisted by the bringing together and suitably working up of the scientific bases of the dynamics of bridges.
