

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

Band: 6 (1960)

Artikel: Generalbericht

Autor: Louis, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-6985>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.02.2026

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

sur 20 ponts en béton précontraint; il est ainsi en rapport étroit avec le thème considéré. En effet, la valeur de la contrainte, variable aléatoire, qui intervient dans la détermination de la probabilité de ruine, doit être celle qui se produit effectivement et qui est entachée d'un facteur de majoration due aux effets dynamiques. Le calcul tient compte de ce fait en donnant à ce facteur une valeur souvent conventionnelle en raison de l'absence d'investigations expérimentales suffisantes.

La question, qui n'a d'ailleurs jamais cessé de préoccuper les constructeurs, semble revenir à l'ordre du jour car l'O.R.E. (Office de Recherches expérimentales de l'Union Internationale des Chemins de fer) procède actuellement, avec le concours de plusieurs pays, à l'auscultation approfondie des effets dynamiques de divers types de pont de chemin de fer en acier.

Le rapporteur a fait un travail considérable en déterminant pour les ouvrages expérimentés la fréquence propre de vibration, le coefficient d'amortissement donné par le décrément logarithmique, les coefficients de chocs ainsi que la variation croissante de ces derniers et de l'amortissement en fonction de la fréquence propre. Les majorations relevées dues aux effets dynamiques sont parfois considérables, notamment en cas de circulation sur des ponts recouverts de neige. Les résultats obtenus attirent l'attention au moment où l'on recherche à tout prix l'allégement des ouvrages; cet allégement n'est possible que par la connaissance exacte des phénomènes et de leurs conséquences. Si l'on a foi dans les théories probabilistes, l'application de celles-ci n'est possible que sur la base d'une distribution connue des variables en jeu.

Aussi bien en ce qui concerne les matériaux intervenant dans la construction des ponts que les ouvrages eux-mêmes, il est indispensable de réaliser aussi vite que possible et à l'échelon international des recherches expérimentales bien programmées, ordonnées et coordonnées de caractère statistique portant sur les caractéristiques *réelles* des matériaux mis en œuvre et sur le comportement statique et dynamique des ponts, celui-ci comprenant le relevé des déformations d'ensemble et des tensions.

Generalbericht

a) Fortschritte und Rückschläge in der Konstruktion

Man kann behaupten, daß seit dem Kongreß in Lissabon befriedigende Fortschritte, sowohl im Eisenbeton wie auch im vorgespannten Beton, gemacht wurden.

Der Fortschritt scheint aber weniger in der Entwicklung ganz neuer Baumethoden als in der Verbesserung unserer Kenntnisse über die Folgen der Verwendung von widerstandsfähigeren Baustoffen und der Wahl von höheren Betriebsspannungen zu liegen.

Der inhomogene Charakter der für das Thema IV dieses 6. Kongresses eingereichten Mitteilungen erlaubt indessen nicht, die heutigen Tendenzen klar hervorzuheben.

Wir werden versuchen eine Zusammenfassung dieser Arbeiten zu geben, indem sie soweit als möglich nach entsprechenden Richtungen gegliedert werden sollen.

C. F. CASADO beschreibt einige Anwendungen der Vorfabrizierung beim Bau von 4 Eisenbetonbogenbrücken, von denen eine mit Zugband versehen ist.

Es handelt sich um auf dem Bauplatz oder in der Werkstätte in verschiedenen Teilen vorfabrizierte Bogen, deren Sehnen nach der Montage gleich groß oder kleiner als die überbrückte Spannweite sind. Im letzten Fall kragen die Widerlager der Träger von den Pfeilern aus.

Alle Bogen haben drei provisorische oder definitive Gelenke. Sie werden mit einem stählernen versteiften Turm, der als provisorisches Auflager im Scheitel wirkt, aufgerichtet.

Die vorfabrizierten Elemente haben manchmal ihre definitiven Abmessungen, manchmal bilden sie auch das Gerüst zur Erlangung des wirklichen Querschnittes, wobei sie im Bauwerk eingegliedert bleiben.

Die Verbindung der Bogen geschieht mittels vorfabrizierten, evtl. sogar vorgespannten Querrippen; in einem Fall ist auch die vorgespannte Fahrbahnplatte vorfabriziert.

Für zwei Bauwerke gestatteten Modellversuche die Stabilitätsbedingungen in allen Montagephasen zu bestimmen. Die Bauweise der Vorfabrikation ist prinzipiell interessant. Die Vorteile sind vor allem bekannt, wenn es sich darum handelt in großer Zahl identische Elemente herzustellen, wie zum Beispiel bei Autobahnüberbrückungen. In den besonderen sehr wichtigen und von C. CASADO mit großer Erfahrung untersuchten Fällen würde man gerne eine Abschätzung der erreichten Einsparung kennen, einschließlich derjenigen aus der Verbesserung der Betonqualität, die ihrerseits wiederum eine Verringerung des Gewichtes und der Kosten des Tragwerkes und der Fundation nach sich zieht.

E. GIBSCHMANN und N. LITWIN beschreiben den heutigen Stand in der UdSSR des Autobahnbrückenbaus in vorgespanntem Beton. Es zeigen sich zwei Tendenzen: die eine besteht im Ausbilden von Standardbrücken, die in großer Zahl hergestellt werden sollen, in der anderen werden für wichtige Bauwerke spezielle Lösungen gesucht, deren Konzeption von Fall zu Fall verschieden ist.

Die Vorspannkabel haben an ihren Enden stählerne Ankerkörper, in denen die vorgängig gekrümmten Drähte einbetoniert werden. Die Träger haben T, I oder Kastenquerschnitt und sind im allgemeinen $\frac{1}{20}$ der Spannweite hoch.

Die Träger der meisten Standardbrücken sind vorfabriziert und werden mit geeigneten Hebwerkzeugen versetzt; ihr Gewicht variiert je nach der Spannweite zwischen 52 und 80 Tonnen; die Träger sind entweder monolithisch

oder bestehen aus Elementen, die in einer Stahlschalung betoniert wurden und durch die Vorspannung verbunden werden. Alle Bauwerke werden vor der Betriebsübergabe geprüft und systematisch kontrolliert.

Für die kleinen Bauwerke wird oft ein oben offener Kasten vorgesehen, mit welchem eine vorfabrizierte Platte auf der Baustelle verbunden wird.

Die größeren Balkenbrücken werden oft auskragend montiert, sei es mit einem Gelenk in Feldmitte oder mit einem eingehängten, statisch bestimmten Balken. Die Konsole bestehen manchmal aus Einzelteilen, die nach und nach durch oben liegende Vorspannkabel zusammengezogen werden. Ein bevorzugtes System für große Spannweiten ist die mit obenliegender Fahrbahn versehene Brücke, die aus Halbbogen besteht, die auf den Auflagern gelenkig gelagert und durch ein Spannkabel in Fahrbahnebene zurückgehalten werden. Die Abspaltung wird durch das Gewicht des Halbbogens beansprucht und erhält nach der Montage der Elemente der Fahrbahnplatte eine weitere Vorspannung.

Die Autoren betrachten die Ausführung von Durchlaufträgern, ausgehend von einfachen Balken, die nach der Montage über den Auflagern durch Vorspannkabel verbunden werden, als wirtschaftlich. Zuletzt machen sie noch Angaben über die Ausführung von Brückenpfeilern, die im Überwasserteil aus hohlen Fertigteilen bestehen, die zusammengespannt und mit Ortsbeton gefüllt werden.

R. MACCHI schlägt eine neue Verankerungsart für Vorspannglieder, die aus Drähten bestehen, vor. Das Verfahren gehört zum Typ Verankerung mit beweglichem, in geeignetem Stahl ausgeführtem Ankerkörper, in welchem die Einzeldrähte fixiert werden. Verschiedene der schon bekannten Verankerungsarten setzen die Bearbeitung der Drähte durch Stauchung einer Art Nietkopfes voraus, wobei eine Diskontinuität zwischen Drahtende und dem Draht selber entsteht.

R. MACCHI führte hingegen eine Abflachung des Drahtes nach zwei krummen symmetrischen Flächen aus, wobei gleichzeitig eine progressive Abnahme der Drahtabmessung in der Ebene, in welcher die Deformationsbeanspruchung wirkt, und eine fortschreitende Verbreiterung dieser Abmessung nach einem Kegel in der dazu senkrechten Ebene entsteht.

Der bewegliche Ankerkörper besitzt eine Anzahl Lagerungen konischer Form entsprechend den Drähten des Vorspannkabels.

Das Interessante dieser Anordnung besteht in der Unveränderlichkeit des Drahtquerschnittes; dazu ist die Ölpresse, die diese Kopfform ausbildet, nicht sehr sperrig und auf der Baustelle leicht verwendbar. Es ist möglich, wie übrigens auch für die Drähte mit gestauchtem Kopf, auf der Spannseite zwei Ankerkörper, die ungefähr um die Verlängerung des Drahtes auseinander liegen, vorzusehen. Der Autor macht darauf aufmerksam, daß die Kaltverformung der gebrauchsüblichen Stähle, einschließlich des sogenannten harmonischen Stahles, nach seinem Verfahren keine Versprödung oder Riß-

empfindlichkeit des Materials nach sich zieht. Günstige statische und Ermüdungsversuche bestätigen nach seiner Ansicht die Sicherheit dieses Verankерungsverfahrens.

Es ist bekannt, daß die Bearbeitung des Drahtendes als Nietkopf durch Stauchung in der Drahtachse, für gewisse Stahlkategorien, Längsrisse wegen der Bildung von zur Druckbeanspruchung senkrechten Zugspannungen ergibt. Diese Risse scheinen nicht gefährlich zu sein, solange sie längsgerichtet bleiben, obgleich noch keine Sicherheit besteht über eine eventuelle Ausbreitung in Querrisse, die sehr zu fürchten sind.

Im Fall der Flachpressung des Drahtes nach R. MACCHI sind die für die Kaltverformung notwendigen Kräfte wahrscheinlich weniger hoch, müssen aber theoretisch zu Zugspannungen in der Drahtachse führen. Es wäre wichtig, Auskünfte über die sichere Vermeidung von Rissen aus diesen Spannungen zu erhalten, da diese Risse zur Drahtbeanspruchung querstehen würden; dazu müßte auch noch eine Sicherheit über den Schutz des Drahtes bei der Injizierung der Kabel vorhanden sein.

Die Arbeit von K. SZÉCHY befaßt sich mit einem allgemeinen Problem, das Anwendung auf alle Balkenbrücken bei jeglichem Baustoff finden dürfte: es handelt sich um Entwurf und Berechnung der im Bodenkontakt stehenden Endwiderlager.

Man kann mit dem Beweggrund, der den Autor zu diesen Arbeiten angeregt hat, einig gehen bei der Betrachtung, daß der Oberbau Gegenstand gründlicher Behandlung und Untersuchung war, was zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und des Aussehens führte, während der Unterbau sich in Entwurf und Berechnung kaum entwickelt hat.

Die Forschungen von K. SZÉCHY sind noch nicht beendet, sollen aber nach drei Gesichtspunkten ausgeführt werden:

1. Zweckmäßiger Gestaltung der Widerlager, um eine bessere Ausnutzung des Baustoffes und die Ausscheidung jeglicher Fehlstellen in den einzelnen Elementen zu erreichen.
2. Entwicklung einer verbesserten Berechnungsmethode, die den monolithischen Charakter dieses Bauteiles berücksichtigt.
3. Verbesserte Bestimmung der Hinterfüllungswirkung mit Berücksichtigung der Verformbarkeit der Widerlagerwand, die mit den Flügelmauern monolithisch zusammenhängt.

Für die Bauwerke mit kleinen Spannweiten können die Widerlager und der auf die Auflager gestellte Oberbau, der aber keine Fuge zum Widerlager hat, als Rahmen betrachtet werden. Die an den Enden gelenkig gelagerten Träger übernehmen die Druckbeanspruchung am Widerlagerkopf, während die Widerlagerwand selbst als in der Fundation eingespannt betrachtet wird.

Bei wachsender Spannweite (16—20 m) werden die Wirkungen aus der

Temperaturänderung so bedeutend, daß eine andere Lösung vorgesehen werden muß.

Die geraden oder schrägen Flügelmauern werden verankert, um jegliche Gesamtbewegung, verursacht durch den Erddruck auf das Widerlager, zu verhindern. Sie werden damit zu seitlichen Auflagern für die Widerlagerwand, die als unten eingespannte, seitlich auf die Flügelmauern, von denen sie Momente aus der Erdeinwirkung auf diese Mauern bekommt, abgestützte und oben freiliegende Platte betrachtet wird. Nur die Horizontalkomponente des Erddruckes wird berücksichtigt, während die Wirkungen aus zentrischem Druck und Zug (Flügelmauern) vernachlässigt werden.

Der Autor verwendet dann die Näherungsmethode von Marcus für die Plattenberechnung, bestehend im Gleichsetzen der Durchbiegungen der horizontalen und vertikalen Wandstreifen, und gibt dann die Momentenflächen über die ganze Platte an. Diese Theorie ließ sich mit befriedigender Genauigkeit mit den Ergebnissen einer tensometrischen Untersuchung an Stahlblechmodellen vergleichen; diese gestatteten auch die Wirkung des belastenden Erdkörpers, begrenzt durch Widerlagerwand und Flügelmauern, zu bestimmen, die offensichtlich verschieden ist von der Wirkung eines unendlichen Erdkörpers.

Die vom Autor vertretenen Ansichten wurden in mehreren in Ungarn ausgeführten Bauwerken realisiert und haben zu einer wesentlichen Einsparung in den Fundationskosten geführt.

Diese an sich interessante Untersuchung knüpft an ein Prinzip an, das im allgemeinen zu wenig angewendet wird, und das darin besteht, daß soweit als möglich ein Kunstbauwerk (hier die Flügelwände) mehrere Funktionen ausführen soll: seine eigene Aufgabe erfüllen und an der allgemeinen Lastaufnahme teilnehmen.

Es sei uns hier gestattet, auf das Konstruktionsprinzip einer 20 m weitgespannten, in Belgien ausgeführten Autobahnbrücke über einen Fluß aufmerksam zu machen. Sie ist eine Rahmenbrücke, deren in vorgespanntem Beton ausgeführte Fahrbahnplatte mit den Widerlagern eins ist, die sich im Boden mittels Eisenbetonpfählen fortsetzen. Bei der Berechnung dieses Bauwerks wurden der Druck der Widerlagerhinterfüllung und die angeschlossenen Pfähle berücksichtigt. Offenbar mußten Annahmen über die Erddruckbeiwerte gemacht werden, die in Funktion der Bauwerksdeformationen festgelegt wurden.

Dieser zweifellos ziemlich originelle Entwurf gestattete, eine nicht vernachlässigbare Einsparung für die Fahrbahntafel zu erreichen, indem die Widerlager nicht nur ihre übliche Rolle der Erdeindämmung, sondern hauptsächlich einen aktiven Anteil an der Arbeitsweise der Brücke erfüllen.

Seit dem letzten Kongreß waren die Berechnungsmethoden im Eisenbeton Gegenstand wichtiger Arbeiten, und es wurden effektive Fortschritte erzielt in den sogenannten Bruchberechnungsmethoden. Wenn, wenigstens nach unserem Wissen, diese Methoden in der Brückenberechnung noch keine Anwendung

finden, muß der Grund darin gesehen werden, daß trotz der sehr umfangreichen Versuche diese nicht genügend zusammenhängend durchgeführt wurden und daß weiterhin gewisse erstrangige Faktoren für die Brücken, wie Zeit und Wechselbelastung, noch kaum Gegenstand von Forschungen waren. Eine sichere Tatsache ist das Einsetzen immer höherer Betriebsspannungen für die gleichzeitig immer härter werdenden Bewehrungseisen. Diese Erhöhung führt zu zwei wichtigen Problemen: dasjenige der Rissebildung im Beton und das der Haftung der Bewehrung am Beton.

Die Untersuchungen, die sich auf die Rissebildung richteten, sind sehr zahlreich, hauptsächlich was Rißabstände und -öffnungen betrifft. Scheinbar führt die Anwendung der verschiedenen für dieses Problem ausgearbeiteten Theorien in den meisten der gewöhnlichen Fälle auf gleichwertige Näherungen.

Effektiv besteht das Interesse dieser Arbeiten hauptsächlich darin, daß die den Konstrukteuren bekannte Notwendigkeit, sich besonders bei Verwendung von Stählen höherer Festigkeit gegen die Rissebildung zu schützen, die durch die erhöhten Betriebsspannungen gefördert wird, wieder einmal klar zutage tritt.

Die Haftung zwischen Bewehrung und Beton bestimmt zum großen Teil das Rissebild und hauptsächlich die Übertragung der Bewehrungsbeanspruchungen auf den Beton.

Ihr Mechanismus und ihre Größe wurden auch weitgehend untersucht; die heutigen Ergebnisse aber sind widersprechend, und es scheint sogar nach H. RÜSCH, daß die Divergenzen sich aus einer verschiedenen Auffassung des Phänomens ergeben. Die Verwendung von Stählen höherer Festigkeit in Form von gewalzten Stäben, die mit einer Oberflächenprägung versehen sind, verlangt einerseits eine erhöhte Haftung, gestattet aber andererseits diese Erhöhung je nach der Art dieser Prägung in unterschiedlichem Maße zu erzielen.

Wir hoffen, den entscheidenden Einfluß der Oberflächenrauhigkeit oder noch allgemeiner des Oberflächenzustandes der Stäbe auf den Gleitwiderstand bestätigen zu können. Neuere, an der Universität von Lüttich unternommene und noch unveröffentlichte Versuche über die Haftung von Vorspanndrähten zeigen einen grundsätzlichen Unterschied im Verhalten des glatten und des rostigen Drahtes. Ob es sich um den Pull-out-Versuch oder ob es sich um Versuche an Biegeträgern handelt, wo die Bewehrung natürlich in der Zugzone liegt, ist der Haftungsbruch (in dem die Haftung in ihrem allgemeinsten Sinne eingesetzt wird: eigentliche Haftung vor jedem Gleiten + Reibungshaftung + Haftung infolge einer zufälligen Verzahnung im Beton) bei einem unveränderten Walzstab total vom ersten Gleiten an, oder besser beim ersten Gleiten nimmt die Beanspruchung (Zugkraft auf den Draht beim Pull-out-Versuch oder Biegung des Trägers) sehr schnell ab. Hingegen wenn der Draht rostig ist, nimmt die Last weiterhin zu und erreicht im Moment des vollumfänglichen Gleitens den zwei- bis dreifachen Wert, den sie beim ersten Gleiten betrug.

Dazu ist das Verhalten des rostigen Drahtes gleich demjenigen eines frisch

gewalzten, also noch nicht angerosteten, geprägten Drahtes, wie er üblicherweise in den Bauwerken, wo die Vorspannung durch die Haftung der Bewehrung erhalten bleibt, eingesetzt wird.

Wir haben versucht, durch einen Faktor die Oberflächenbeschaffenheit des rostigen Drahtes festzuhalten und wir haben eine ziemlich gute Beziehung zwischen diesem Faktor und der Last, bei der die ganze Haftung verloren geht, aufgestellt; die Anzahl unserer Versuche aber ist noch zu beschränkt.

Es ist nicht unmöglich, daß systematische Untersuchungen in dieser Richtung gestatten würden, die Oberflächenbeschaffenheit eines Drahtes vom Haftungsstandpunkt aus zu bewerten, unter der Bedingung, diese Beschaffenheit objektiv und auf dem Bauplatz definieren zu können. Das Rißbildungproblem, abhängig von der Haftung und sich aus dem Einsatz von Stählen höherer Festigkeit ergebend, ist für sich selber interessant sowie auch weil es ein Licht auf die Vorsichtsmaßnahmen wirft, die für die Erhaltung der Bauwerke zu treffen sind. In Bestätigung der Auffassung dagegen, die Prof. G. WÄSTLUND verschiedentlich vertreten hat, denken wir, daß die Verformung der Tragwerke in vielen Fällen mehr Unannehmlichkeiten ergibt als die Rissebildung infolge Biegung oder Querkraft. Unter dem Einfluß der Lasten und des sich ergebenden Kriechens kann die Verformung viel bedeutender anwachsen als die Rissebreite. Die Verformung der Bauwerke muß parallel zur Rissebildung und zur Haftung untersucht werden, denn sie ist ebenfalls von den Auswirkungen der Verwendung Stähle höherer Festigkeit untrennbar.

Im Zusammenhang mit dem Einsatz dieser Stähle ist es nützlich, auf die günstigen Ergebnisse von Prof. GRANHOLM bei der Verwendung von schrägen Flußstahlbügeln als Schubbewehrung aufmerksam zu machen. Außer, daß es schwierig und oft unmöglich ist, die Zugstäbe aus hochwertigem Stahl abzubiegen, ist das Einbringen des Betons bedeutend erleichtert durch das Wegfallen von unter 45° aufgebogenen Stäben. Wenn sich diese Schlußfolgerung bestätigen sollte, würde sie eine allgemeine Berücksichtigung verdienen.

Die Anwendungen des vorgespannten Betons auf statisch unbestimmte Systeme sind heutzutage sehr zahlreich.

Diese Bauwerke erheben neben anderen Problemen auch dasjenige der Reibung infolge der Krümmungsänderung der Kabel, verbunden mit der Anpassung an die Momentenfläche. Beim Entwurf sollen die Reibungswerte insofern ins Auge gefaßt werden, als die aus Rechnung und Kabellage herkommenden Gründe, die bei der Ausführung zu Reibungsanteilen führen, auf ein Minimum reduziert oder ganz aufgehoben werden sollen. Es darf wohl als bekannt vorausgesetzt werden, daß bei Unterschätzung der Reibungsverluste eine ernst zu nehmende Abminderung des Sicherheitsfaktors vorliegt, daß bei einer mit einer erhöhten Vorspannkraft verbundenen Überschätzung hingegen sich eine bedeutende Erhöhung der Zugspannungen ergeben kann.

Gegebenenfalls soll man auf Kabel mit Gegenkrümmung verzichten und

besondere Kabel zur Aufnahme der Beanspruchungen über den Auflagern vorsehen.

In vielen Durchlaufträgerbrücken findet man es oft wünschenswert, wenigstens zum Teil den Schwindeinfluß, die Verformungen einer auf das ganze Bauwerk angesetzten Vorspannung und die zusätzlichen, statisch unbestimmten Auflagerkräfte infolge einer durchgehenden Vorspannung, zu eliminieren. Man macht die Träger während der Bauausführung statisch bestimmt durch Bildung von provisorischen Fugen und Gelenken, die später mit einer Betonfüllung blockiert und nachträglich vorgespannt werden, um die Kontinuität wieder herzustellen; diese provisorische Unterteilung ist andererseits unumgänglich wenn man zur Vorfabrikation der Träger übergeht. Die Stöße müssen soweit als möglich im Momentennullpunkt der gleichmäßigen Last und nicht bei den Auflagern ausgeführt werden. Der Zusammenbau der Trägerteile wird mit sogenannten Kontinuitätskabeln ausgeführt (Guyon); eine Bewehrung mit hochwertigem Stahl mit erhöhter Haftung kann die Verbindung ebenfalls herstellen, es muß dann nur eine genügende Betonierlänge und -tiefe vorhanden sein, um die Verbindung der beiden Trägerteile durch Haftung dieser Bewehrung zu gewährleisten.

Die Berechnungsmethoden des vorgespannten Betons sind bedeutend vertieft worden, hauptsächlich was die Druck- und Biegungsbeanspruchung betrifft. Es wäre jedoch nützlich, den Widerstand gegenüber einer zweiachsigen Beanspruchung besser zu kennen, da diese Art Beanspruchung immer in den Brückenfahrbahnplatten vorhanden ist, sei es unter der Wirkung von Längs- und Quervorspannung, wenn sie gleichzeitig vorhanden sind, sei es unter der Wirkung der Längsvorspannung und der Lasten.

Die Bruchberechnungen waren Gegenstand von wichtigen Arbeiten, die die statischen Gleichgewichtsbedingungen und die Deformationen berücksichtigen. Dagegen bleibt die Schubfestigkeit auf Grund ihrer Komplexität am wenigsten untersucht.

Wie im Eisenbeton führt die Verwendung von Beton und Drähte hoher Festigkeit zu einer spürbaren Verminderung der Tragwerksabmessungen, was wichtige Probleme stellt, die bis heute wenig angegangen wurden: wir denken hier besonders an die Instabilitätserscheinungen, wie das Kippen der Gurte von großen vorfabrizierten Trägern bei der Handhabung und wie das Verhalten und die Aussteifungen der relativ dünnen Stege von Kastenträgern.

Was die Erhöhung der Drahtspannungen betrifft, ist es nicht ohne Interesse, die von F. DUMAS, Chefingenieur der Ponts et Chaussées¹⁾, kürzlich in Belgien ausgedrückte Meinung der französischen Richtung hier zu vermerken:

«Schließlich ist die Tatsache der Vollausnützung der Stähle, indem diese Stähle bis zum Höchstwert gespannt werden, den die Bruchgrenze und die

¹⁾ F. DUMAS: La résistance et la sécurité du béton précontraint. Annales des Travaux Publics de Belgique 1959-5.

Spannbedingungen zulassen, nachdem sie mindestens bis zum gleichen Wert kaltgezogen wurden, ein wichtiger Sicherheitsfaktor für die Bauwerke. Eine Abminderung der Vorspannungswerte hingegen ist dieser Sicherheit abträglich».

Es wäre wünschenswert, daß im Zeitpunkt des Kongresses besonders die Fragen aufgeworfen würden, die durch die Vorfabrizierung von Brücken in vorgespanntem Beton, durch die Verwendung von Vorspanngliedern, bestehend aus Stangen mit großem Durchmesser, durch die Verwirklichung der Vorspannung in mehreren Stufen gestellt werden.

Es sei mir gestattet, abschließend auf zwei Bauwerke aufmerksam zu machen, die von der Administration Belge des Ponts et Chaussées ausgeführt wurden und deren Entwurf von unserem Kollegen D. VANDEPITTE, Professor der Universität Gand, stammt.

Es handelt sich um dreifeldrige eigenverankerte Hängebrücken in Beton, deren Vorspannung durch das Tragkabel hergestellt wird.

In einem Durchlaufträger, in dem die Eigengewichtslasten groß im Vergleich mit der beweglichen Last sind, ist es vernünftig, den Vorspannkabeln so große Exzentrizitäten zu geben, daß sie aus dem Trägerquerschnitt heraus treten.

Durch Anordnung der Vorspannkabel über dem Träger, ausgenommen in den Endpartien, und durch Festlegung eines parabolischen Verlaufes in jedem Felde, was allgemein eine logische Form ist, erhält man einen aufgehängten, durch das Tragkabel vorgespannten Betonträger, der stark an den Träger der klassischen Hängebrücke erinnert.

Dieses System hat zwei Vorteile:

1. Es ergibt einen Träger, der durch Kabel mit großer Exzentrizität, die bei großer Spannweite notwendig ist, vorgespannt wird.
2. Im Gegensatz zum klassischen Träger erzeugt die bewegliche Last im Tragkabel einen nicht vernachlässigbaren Zuwachs der Zugbeanspruchung; dieser Zuwachs arbeitet dazu mit einem großen Hebelarm in bezug auf das Betonprisma und ergibt damit ein Biegemoment, das das durch die bewegliche Last direkt erzeugte Biegemoment vermindert.

Diese Vorteile vergrößern sich mit wachsender Spannweite; daraus ergibt sich, daß dieser Brückentyp hauptsächlich für große Feldweiten angebracht ist und daß er für kürzere Spannweiten unwirtschaftlich werden kann.

Die Eigenverankerung, die in einer stählernen Hängebrücke zu einer Verstärkung des unter einer großen Druckkraft stehenden Versteifungsträgers führt, ist im Falle eines Betonversteifungsträgers günstig, da hier die Druckkraft die Vorspannung gewährleistet. In diesem letzten Falle wächst das Verhältnis des Kabeldurchhangs zur Spannweite mit dieser, wogegen es bei einer Stahlbrücke wenig variiert.

Diese Konzeption wurde bei zwei Bauwerken in der Nähe von Gand angewendet: die erste Brücke hat Feldweiten von 18—56—18 m; die zweite (siehe

Photographie Seite 549) hat solche von 40—100—40 m und eine Breite von 18 m. Wenn im ersten Falle die Grenze der Wirtschaftlichkeit, die aber doch vorhanden ist, erreicht wird, ist die Einsparung im zweiten Fall bedeutend.

Die Vorspannung wurde durch Anheben mit hydraulischen Pressen der über den Stützen befindlichen Portale erreicht, die die ungespannt montierten und von der Fahrbahn unabhängigen Kabel tragen. Die Fahrbahn selbst hat in ihrem Querschnittsbereich keine Vorspannkabel. Der Beton der beiden Fahrbahnen wurde auf einem festen Gerüst eingebracht, was eine wirtschaftliche Lösung war, da der überbrückte Kanal zu diesem Zeitpunkte noch nicht ausgehoben war. Nichts widersetzt sich aber einer schrittweisen Betonierung im Freivorbau mit provisorischen Abspannungen.

Spannweiten von 300—500 m können wirtschaftlich mit solchen Bauwerken, die eine größere Steifigkeit als die Stahlhängebrücke aufweisen, überbrückt werden.

Als Abschluß dieser Bemerkungen über Eisenbeton- und vorgespannte Brücken muß man bedauern, daß Zwischenfälle in der Ausführung gewisser Bauwerke verschwiegen werden. Ob es sich nun um Schwächen des Entwurfs, der Berechnung oder der Ausführung, oder um Unfälle, die sich beim Aufbringen der Vorspannung, unter Frost, infolge Bewehrungskorrosion usw. ergaben, handelt, sind alle diese Zwischenfälle immer sehr lehrreich; ihr Studium ist geeignet, zu nützlichen Untersuchungen, wenn nicht sogar zu direktem Fortschritt zu führen. Auf jeden Fall wäre ihre Kenntnis für die Gemeinschaft der Brückenbauer nützlich.

b) Sicherheit

Der Sicherheitsuntersuchung der Bauwerke muß heute gleiches Gewicht gegeben werden wie der Untersuchung der Bauwerke selber, von der sie ein integrierender Anteil ist. Dieses Arbeitsfeld ist sehr weitläufig und wird früher oder später Gegenstand einer wirklichen Spezialisierung im Rahmen der Fachgebiete des Ingenieurs werden.

Der Begriff Sicherheit wird oft als weitgehendere Untersuchung der Bauwerkswirtschaftlichkeit verstanden; es ist dies eine einschränkende und sogar trügerische Auffassung, da als unwirtschaftlich im Zeitpunkt ihrer Ausführung angesehene Bauwerke sich unter Beanspruchung, die ein Vielfaches der rechnerischen Last betragen, bewährt haben.

Alles soll dagegen nicht revidiert werden, da manchmal die versuchstechnische Erforschung der Bauwerke zeigt, daß die wirklichen Beanspruchungen von gewissen Elementen wie die gedrückten Obergurten von Brücken mit nicht verstieften Hauptträgern nicht weit von denjenigen abweichen, die mit den noch heutzutags klassischen Methoden berechnet wurden.

Andererseits gestatten viele, mehrere Jahrzehnte alte Bauwerke, die als schwer und überdimensioniert angesehen werden, die Überfahrt von sicher

seltenen, aber regelmäßigen, überschweren Lastenzügen nur mit größter Vorsichtsmaßnahme oder sogar mit provisorischen Verstärkungen.

Man darf auch nicht aus den Augen verlieren, daß die Baustoffe mit höheren Leistungen, die in der Nähe ihrer Grenzwerte verwendet werden, größere Streuungen als die Baustoffe üblicher Qualität aufweisen können; wir denken im besonderen an die hoch- und höchstwertigen Stähle, die im Beton- wie im Stahlbau immer breitere Anwendung finden. Diese ersten Betrachtungen zielen dagegen nicht darauf ab, die Notwendigkeit einer grundsätzlichen Revision des heutigen Begriffs des Sicherheitsfaktors und der zulässigen Spannungen in Hinblick auf die Wahrscheinlichkeitstheorien der Sicherheit, die ein Einsturzrisiko unter der Bedingung der gleichzeitigen Berücksichtigung der Streuung des angenommenen Sicherheitskriteriums und der als gefährlich betrachteten Beanspruchung annehmen, abzulehnen.

Die Sicherheit eines Bauwerkes hängt von einer so großen Zahl zufälliger Variablen ab, die in allen Stadien von der Berechnung bis zur Betriebsübergabe vorkommen, daß der Sicherheitsfaktor selber, wie es A. M. FREUDENTHAL vorsieht, als zufällige Variable betrachtet werden muß.

Seine Werte verteilen sich nach einem Gesetz, das wiederum von der Verteilung der anderen Variablen, das heißt von der Lastintensität S und dem ins Auge gefaßten Widerstandskriterium R , abhängt. Bei Annahme des Verteilungsgesetzes S der Belastungen, das von der Beobachtung abhängt, und desjenigen von R , das aus praktischen Versuchen hervorgeht, kann das Verteilungsgesetz des Sicherheitsfaktors angegeben werden und folglich für einen Wert des letzteren gleich 1 die Bruchwahrscheinlichkeit.

A. M. FREUDENTHAL führt den Begriff der «Wiederholungsperiode» eines außerordentlichen Lastenzuges ein, ausgedrückt in Zahl von Beobachtungen anhand von Spannungsmessungen.

Das Anbringen einer Last mit einem Wert $\geq S$ wird keinen Bruch verursachen solange nicht die Bedingung $S > R$ erfüllt ist oder der Sicherheitsfaktor kleiner als 1 wird.

Nach meiner Ansicht decken sich die Auffassungen von A. M. FREUDENTHAL mit denen, die R. LEVI und M. PROT schon oft und mit großer Autorität vertreten haben.

Der Begriff des Einsturzrisikos eines Bauwerkes, gekennzeichnet durch die Wahrscheinlichkeit des Zusammenfallens der Umstände, die diesen Einsturz verursachen, ist bedeutend weniger willkürlich als derjenige des Sicherheitsgrades.

Dieser Begriff wurde kürzlich in Belgien ins Auge gefaßt bei der Aufstellung von neuen zulässigen Spannungen für die Stahlbauten, ausgehend von den Ergebnissen einer umfassenden statistischen Untersuchung über die untere elastische Grenze der Stähle.

Der Einsturz des Bauwerkes wird dann erfolgen, wenn in irgendeinem Schnitt die tatsächliche Spannung R die Elastizitätsgrenze R_e erreicht oder

überschreitet, das heißt wenn die Bedingung $Re - R \leq 0$ erfüllt ist, wobei Re und R zwei unabhängige zufällige Variablen sind.

Wenn σ die Standardabweichung ist und wenn Re und R nach dem normalen Gesetz verteilt sind, wobei \bar{Re} und \bar{R} die Mittelwerte sind, erhält man:

$$\bar{Re} - \bar{R} = t \sqrt{\sigma_{Re}^2 + \sigma_R^2}.$$

Nach R. LEVI nimmt man an, daß $\sigma_R = 0,125 \bar{R}$ beträgt. Re und σ_{Re} werden durch die statistische Untersuchung der Elastizitätsgrenze bestimmt.

Offensichtlich stellt man fest, daß für einen bestimmten Stahl die Einsturzwahrscheinlichkeit, gekennzeichnet durch t , größer wird wenn \bar{R} , d. h. die zulässige Spannung anwächst. Diese Vergrößerung ist aber in keinerlei Verhältnis mit der proportionellen Abnahme des traditionellen Sicherheitsfaktors $s = \frac{\bar{Re}}{\bar{R}}$. Man sieht wiederum, daß es keinen Sinn hat, Stähle zu verwenden mit einem hohen \bar{Re} -Wert, wenn die Streuung der Elastizitätsgrenze σ_{Re} zunimmt.

Ähnliche Untersuchungen sind, wie es R. LEVI gezeigt hat, für Eisenbeton und vorgespannten Beton möglich; sie setzen aber die Ausführung von statistischen Versuchsreihen voraus, die nach sehr sorgsam ausgearbeitetem Programm aufgestellt werden müssen; diese Versuche sind tatsächlich unerlässlich zur Ergänzung und zur Präzisierung der Wahrscheinlichkeitsmethoden sowie zu ihrer Anwendung in praktischer und allgemeiner Weise. Andererseits schließt dies an die von K. WAITZMANN und Z. ŠPETLA in ihrer Abhandlung angestellten Überlegungen an. An 22 Bauwerken wurden zerstörungsfreie Versuche angestellt, die gestatteten, die Betonqualität nach einem von ihnen in der Tschechoslowakei entwickelten Verfahren zu bestimmen. Indem sie sich auf die Ergebnisse ihrer statistischen Untersuchungen stützen, geben sie einerseits im Detail die Abschätzung der ungünstigsten Beanspruchungskombination eines Tragwerkschnittes und schätzen andererseits, ausgehend von den Bruchtheorien, die minimale Tragfähigkeit dieses Querschnittes. Aus ihren für Druck und einfache Biegung ausgeführten Berechnungen leiten die Autoren den effektiven Sicherheitsgrad ab.

Diese Arbeit von K. WAITZMANN und Z. ŠPETLA ist besonders interessant, da sie sich auf die tatsächlichen Eigenschaften vieler Bauwerke stützt.

Die Mitteilung von H. C. ERNTROY ist im vollen Umfange einer statistischen Untersuchung der Betonfestigkeit, ausgehend von Probewürfeln aus 300 Baustellen, gewidmet.

Das ursprüngliche Ziel war eine Beziehung zwischen der minimalen und der mittleren Würfeldruckfestigkeit zu finden. Auf Grund der Verschiedenheit der Baustellen wurden neun Kontrolltypen nach der Dosierungsart von Zement und Zuschlagsstoffen festgehalten. Eine Normalverteilung der Ergebnisse annehmend, wurde der Minimalwert gleich dem Mittelwert – 1,75 mal die Standardabweichung festgelegt!.

Der Autor hat dann eine Beziehung zwischen Mittelwert und Standard-

abweichung aufgestellt; es ergibt sich, daß bei jedem Prüfungstyp das Verhältnis zuerst linear ist und dann konstant wird, wobei scheinbar das Alter des Betons keinen nennenswerten Einfluß ausübt. Nachdem er eine fast lineare Beziehung zwischen dem Verhältnis $\frac{e}{c}$ und dem Mittelwert der Festigkeit feststellen konnte, faßt H. C. ERNTROY die Auswirkungen von mehreren Variablen (Erhärtungsgeschwindigkeit, versuchsbedingte Fehler usw.) ins Auge. Er zeigt, daß die Verhältnisse $\frac{e}{c}$, die notwendig sind zur Erreichung des beobachteten Mittelwertes und des geschätzten Minimalwertes, untereinander proportional sind, wobei der Proportionalitätsfaktor vom Prüfungstyp der Materialmengen bei der Dosierung und hauptsächlich von der Kontrollqualität abhängig ist.

Diese versuchstechnische Forschung ist eher mit der Betonqualität und mit ihrer konkreten Bestimmung, ausgehend von einer geeigneten Zusammensetzung, verbunden als mit der Sicherheit der Tragwerke. Trotzdem knüpft diese Untersuchung an das behandelte Problem an, wenn man bedenkt, daß für die Sicherheitsbetrachtungen im weiteren Sinne eine vertiefte statistische Kenntnis der tatsächlichen Eigenschaften der verwendeten Baustoffe grundlegend ist.

Die Arbeit von Dr. A. RÖSLI behandelt die dynamischen Wirkungen, die an zwanzig Brücken in vorgespanntem Beton gemessen wurden; sie ist damit in engem Zusammenhang mit dem behandelten Thema. Tatsächlich soll der Vorspannungswert, der eine ungewisse Variable ist, die an der Bestimmung der Einsturzwahrscheinlichkeit teilnimmt, der tatsächlich auftretende Wert sein; dieser Vorspannungswert ist aber mit einem Vergrößerungsfaktor wegen den dynamischen Auswirkungen behaftet. Die Berechnung berücksichtigt diesen Umstand durch Festlegung dieses Faktors mit einer oft konventionellen Größe, da keine genügende versuchstechnische Grundlage vorhanden ist.

Die Frage, die übrigens nie aufhörte die Konstrukteure zu beunruhigen, scheint wieder an die Tagesordnung zu kommen, da das O.R.E. (Büro für versuchstechnische Forschung der internationalen Vereinigung der Eisenbahnen) unter Mitarbeit von verschiedenen Ländern zur vertieften Untersuchung der dynamischen Wirkungen bei verschiedenen stählernen Eisenbahnbrücken schreitet.

Eine bedeutende Arbeit wurde vom Referenten geleistet mit der Bestimmung bei den untersuchten Bauwerken der Frequenz der Eigenschwingung, des Dämpfungskoeffizienten, der durch das logarithmische Dekrement gegeben wird, der Stoßzahlen wie auch der zunehmenden Änderung dieser letzten Werte und der Dämpfung in Funktion der Eigenfrequenz.

Die gemessenen Vergrößerungsfaktoren, die von dynamischen Wirkungen stammen, sind manchmal beträchtlich, namentlich bei Verkehr auf schneebedeckten Brücken. Die erhaltenen Ergebnisse ziehen die Aufmerksamkeit auf sich, wenn man die Gewichtsverminderung der Tragwerke um jeden Preis

sucht: diese Verminderung ist nur möglich bei genauer Kenntnis der Phänomene und ihrer Folgen. Wenn man in die Wahrscheinlichkeitstheorien Vertrauen hat, ist deren Verwendung nur möglich auf Grund einer bekannten Verteilung der mitspielenden Variablen.

Sowohl was die im Brückenbau vorkommenden Baustoffe betrifft, als auch was die Tragwerke selbst angeht, ist es unerlässlich, so schnell als möglich auf internationaler Ebene gut programmierte versuchstechnische Forschungen zu verwirklichen. Dies sollen geordnete und koordinierte Versuchsreihen statistischen Charakters sein, die die tatsächlichen Eigenschaften der eingesetzten Baustoffe und das statische und dynamische Verhalten der Brücken, letzteres einschließlich der allgemeinen Verformungen und der Spannungen, erfassen.

General Report

a) Progress and Failures in Bridge Building

It may be stated that fairly satisfactory progress has been achieved since the Lisbon Congress, both in regard to reinforced concrete and prestressed concrete.

It would seem, however, that such advances as have been made consist not so much of the development of entirely novel techniques, as of improvement in our knowledge of the consequences of the use of materials of greater strength and in the choice of higher working stresses. The non-homogeneous character of the papers submitted makes it impossible, however, to give any definite indications of present tendencies.

We shall first of all attempt to make a synthesis of these reports and associate them as far as possible with a general trend.

M. C. FERNANDEZ CASADO describes some applications of prefabrication to the construction of four reinforced-concrete arch bridges, one of them being of the bow-string type.

The arches in question were precast, in the workshop or on the site, in several sections for which the chord after erection is equal to or less than the actual span of the arch, and in the latter case the butt-ends of the spans are constructed by corbelling out from the supports. In all cases the arches have 3 hinges which may be temporary or permanent, and raising is carried out by means of a wind-braced steel tower, which permits of a temporary crown support of the arches.

The precast members are given their final dimensions in some instances, while in others they form the centring for the construction of the actual section and in such cases they remain embedded in the structure.

The arches are connected by means of precast transverse beams which may be prestressed, if necessary; in one case, the prestressed deck slab for the