

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 46

Artikel: Verbundbrücken mit äusserer Vorspannung
Autor: Badoux, J.-C. / Lebet, Jean-Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77553>

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: 01.04.2025

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

Verbundbrücken mit äusserer Vorspannung

Bereits zu Beginn der Projektierung von Bauwerken muss den mit der Dauerhaftigkeit in Zusammenhang stehenden Problemen erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die Wahl geeigneter Baustoffe, eine gute konstruktive Durchbildung und eine sorgfältige Ausführung tragen zur Sicherung der Dauerhaftigkeit bei. Bei Verbundbrücken hilft die geschickte Anwendung der Vorspannung mit, dieses Ziel zu erreichen. Das für die Verbundbrücken des Bois de Rosset zum ersten Mal in der Schweiz verwendete System einer äusseren Längsvorspannung kommt dafür als Beispiel zur Darstellung. Ausser auf die Tatsache, dass die Spannkraftverluste geringer sind als bei den bisher bei Verbundbrücken verwendeten Systemen, wird besonders auf die Vorteile der einfachen Kontrolle hingewiesen und die Möglichkeit, die Kabel gegebenenfalls auszuwechseln oder die Spannkraft zu verändern.

Einleitung

Die erst seit relativ kurzer Zeit vorhandene Erkenntnis, dass sich der Zustand von Ingenieurbauwerken im allgemeinen rascher als vorgesehen verschlechtert, hat zu einer intensiven Beschäftigung mit den damit verbundenen Problemen geführt. Diese ist gekennzeichnet durch eine Intensivierung der Überwachung und des Unterhalts der Bauwerke und durch die Entwicklung von neuen Techniken zur Reparatur von Bauelementen in schlechtem Zustand. Sie zeigt sich aber auch in der gesteigerten Aufmerksamkeit, die jetzt den Fra-

VON JEAN-PAUL LEBET,
LAUSANNE

gen der Dauerhaftigkeit der Bauwerke bereits bei ihrem Entwurf gewidmet wird. Schliesslich sind diese Fragen auch in die neuen Ingenieurnormen [1] und [2] eingegangen, die den Problemen des Verhaltens im Gebrauchszustand im allgemeinen und der Dauerhaftigkeit im besonderen einen grösseren Platz einräumen.

Obwohl die Stahlverbundbrücken zu denjenigen Bauwerken gehören, deren Zustand als besonders zufriedenstellend bezeichnet werden kann, sind sie nicht von der allgemeinen Frage ausgenommen, welche Massnahmen zur Verbesserung ihrer Dauerhaftigkeit zu ergreifen sind. Dies betrifft besonders die Fahrbahnplatte, deren eventuelle Abdichtungs- und Konstruktionsmängel zu einer raschen Verschlechterung des

Zustandes des Brückenüberbaues führen.

Häufig wird die Frage nach dem Vorhandensein von Rissen in der Fahrbahnplatte und deren Einfluss auf den Schadensverlauf gestellt. Die Antwort hängt einerseits von der Rissweite und andererseits davon ab, ob sie mit dem auf der Fahrbahn abfliessenden Wasser in Berührung sind und somit einen bevorzugten Abflussweg darstellen. Bei fein-

verteilten Rissen, mit geringer Rissweite ($<0,2$ mm) und genügender Umhüllung der Stahleinlagen, sollten hinsichtlich der Korrosion der Stahleinlagen, der Dichtigkeit und der Ästhetik keine Probleme auftreten. Diese Bedingung kann durch eine ausreichende Minimalbewehrung mit dünnen Bewehrungsstäben in geringem Abstand, durch eine sorgfältige Nachbehandlung des Betons und im Fall von Verbundbrücken durch die Herstellung der Platte mit einer geeigneten Folge der Betonieretappen erfüllt werden.

Bei Verbundbrücken kann dies auch mit Hilfe einer Vorspannung erreicht werden, die das Ziel hat, in der Platte genügend hohe Druckspannungen zu erzeugen, so dass im Gebrauchszustand keine oder nur geringe Zugspannungen auftreten. In Plattenquerrichtung ergibt sich die Höhe der Vorspannung im allgemeinen aus den Kriterien des Tragwiderstandes. In Plattenlängsrichtung sind die Kriterien der Gebrauchsfähigkeit und der Dauerhaftigkeit massgebend. Zum Vorspannen der Fahrbahnplatte einer Verbundbrücke in Längsrichtung gibt es verschiedene Verfahren. Im folgenden wird eine davon untersucht, nämlich die Vorspan-

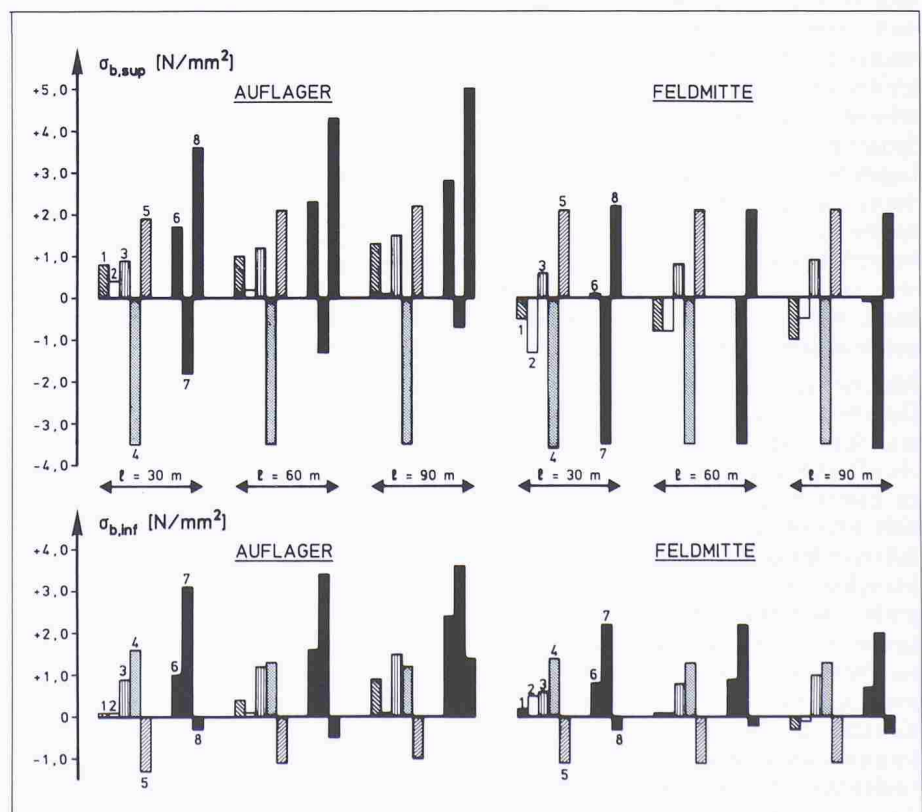


Bild 1. Spannungen in der Platte infolge ständiger und häufig auftretender Lasten

nung mit aussenliegenden Kabeln. Dieses Verfahren wurde früher manchmal zur Verstärkung von bestehenden Bauwerken benutzt. Es hat heute den Zweck, eine gute Dauerhaftigkeit zu gewährleisten. Vor der Beschreibung der Anwendung dieser Vorspanntechnik beim Viaduc du Bois de Rosset soll hier zunächst die Grösse der erforderlichen Längsvorspannung der Platte auf der Grundlage der Beanspruchung im Gebrauchszustand erörtert werden.

Beanspruchung im Gebrauchszustand

Die Grösse der in der Fahrbahnplatte einer Verbundbrücke zur Begrenzung oder Unterdrückung von Zugbeanspruchung im Gebrauchszustand erforderlichen Längsvorspannung wird mit Hilfe der Einwirkungen festgelegt, die während des Betriebes im Bauwerk tatsächlich auftreten. Als Beispiel sind in Bild 1 die Längsbeanspruchungen der Fahrbahnplatte einer Verbundbrücke als Ergebnis der Spannungsanalyse unter solchen Einwirkungen dargestellt. Die Berechnungen wurden mit den Werten von etwa 15 gebauten oder projektierten Verbundbrücken mit Spannweiten zwischen 30 und 90 m für die folgenden Einwirkungen durchgeführt:

Fall 1: Eigengewichte nach Herstellung des Verbundes, wie Fahrbelag, Randabschlüsse, technische Installationen

Fall 2: Verkehr mit häufig auftretender Last aus Schwerverkehr, d.h. Lastwagen von 250 kN Gesamtgewicht

Fall 3: Schwinden von 0,15 Promille unter Berücksichtigung der relativen Luftfeuchtigkeit und der an Probekörpern grosser Abmessungen durchgeführten Messungen [3]

Fall 4: Positive Temperaturverteilung, wie sie häufig bei Verbundbrücken an Sonnentagen gemessen wurde (Bild 2a)

Fall 5: Negative Temperaturverteilung, deren Verlauf und Werte auf einer grösseren Zahl von Messungen basiert (Bild 2b)

Die Analyse der Spannweite auf der Plattenoberseite (σ_b , sup) und der Plattenunterseite (σ_b , inf) über dem Auflager und in Feldmitte ergibt die folgenden Beobachtungen:

- Von den vier untersuchten Einwirkungen sind die positiven oder negativen Spannungen aus der Temperatur die höchsten. Ausserdem ist für diese Spannungen charakteristisch, dass sie sich in Trägerlängsrichtung und in Abhängigkeit von der Spannweite nur wenig ändern. Die Feststel-

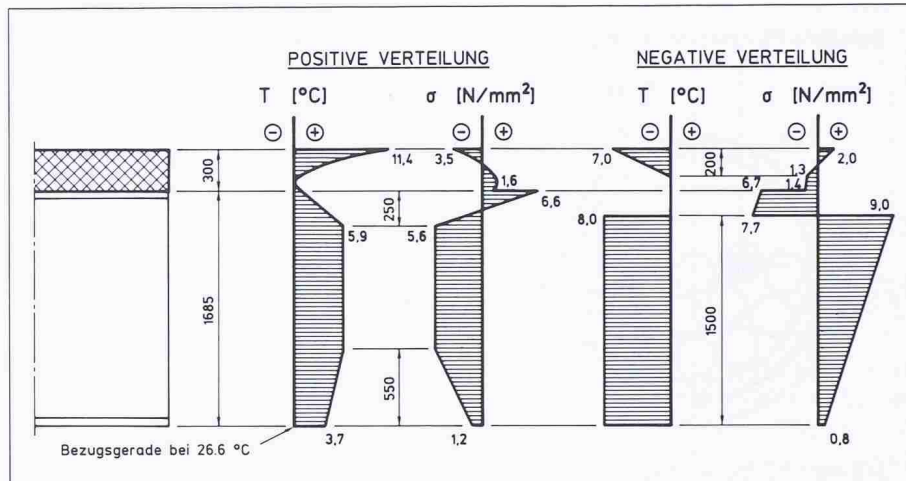


Bild 2. Positive und negative Temperaturverteilung mit entsprechenden Spannungen in einem Verbundquerschnitt

lung gilt für die untersuchten Temperaturverteilungen, d.h. solche, die über die Plattendicke stark veränderlich sind. Bei Verbundbrücken verhindert die im Vergleich zur Platte grosse Biegefestigkeit des Stahlträgers die Verformung der Platte, was die praktisch unveränderliche Grösse der Spannung in der Platte infolge Temperatureinwirkung erklärt.

- Infolge der Eigengewichte und des Schwindens (*Fall 6*) ist die Platte sowohl im Feld als auch über dem Auflager vollkommen zugbeansprucht. Für diesen ständigen Beanspruchungszustand ist die Grösse der Zugspannungen, besonders bei den Auflagern, proportional zur Spannweite.
- Der Einfluss der Temperatur bewirkt mit den vorstehend beschriebenen ständigen Beanspruchungen die folgenden Spannungen:

Bei positiver Temperaturverteilung (*Fall 7*) Zugspannungen im unteren Bereich der Platte in der Grössenordnung von 3 N/mm² über dem Auflager und von 2 N/mm² im Feld. Der obere Teil der Platte bleibt sowohl über dem Auflager als auch im Feld druckbeansprucht.

Bei negativer Temperaturverteilung (*Fall 8*) Zugspannungen im oberen Bereich der Platte in der Grössenordnung von 4 bis 5 N/mm² über dem Auflager und von 2 N/mm² im Feld. Der untere Bereich der Platte bleibt druckbeansprucht im Feld und schwach zugbeansprucht über dem Auflager.

- Die Überlagerung des geringen Einflusses der Verkehrslast mit den vorstehend beschriebenen Beanspruchungen hat keinen massgebenden Einfluss auf das Ergebnis.
- Hinsichtlich der Rissursachen erlaubt diese Spannungsanalyse die

Feststellung, dass die direkten Einwirkungen (Eigengewicht und Verkehr) zum kleineren Teil - weniger als 30 Prozent - der Zugbeanspruchungen beitragen, während den grössten Einfluss die indirekten Einwirkungen (Schwinden und Temperatur) haben.

Für die Anwendung der Längsvorspannung zeigt die Auswertung von Bild 1 die Notwendigkeit, die Platte auf die gesamte Länge und nicht nur im Auflagerbereich vorzuspannen. Die Höhe der aufzubringenden Vorspannung soll in der Platte eine über die gesamte Dicke wirkende Vorspannung von 3 bis 4 N/mm² erzeugen, wodurch die Platte im Gebrauchszustand praktisch voll druckbeansprucht bleibt. Die Erfahrung zeigt, dass die Vorspannung so rasch wie möglich nach dem Betonieren der Platte aufzubringen ist, um die vorzeitige Rissbildung, besonders im Sommer, zu verhindern.

Viaduc du Bois de Rosset

Diese sich gegenwärtig im Bau befindliche Verbundbrücke hat die Besonderheit einer sogenannten äusseren Längsvorspannung, bei der die Kabel nicht wie bei der traditionellen Vorspannung in der Platte einbetoniert, sondern ausserhalb derselben angeordnet sind. Die Längsvorspannung ist ein Teil der Massnahmen zur Erreichung einer grösseren Dauerhaftigkeit des Bauwerkes. Die Vorspannung erzeugt zur Zeit unendlich in der Platte Druckspannungen in der Grössenordnung von 3 N/mm². Wie im Bild 1 gezeigt, gewährleistet dies bei einer mittleren Spannweite von 42 m praktisch eine ständige Druckvorspannung in der Platte.

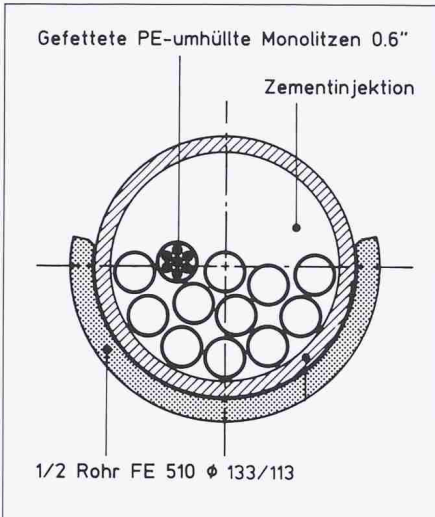


Bild 4. Spannkabel auf einem Umlenk-sattel bei einem Zwischenauflager

Der Viaduc du Bois de Rosset befindet sich in der Linienführung der Autobahn N1 Lausanne-Bern bei Avenches. Er besteht aus zwei parallelen Brücken von 617,25 m Gesamtlänge mit 15 Spannweiten von 23,00 m, 34,20 m, $11 \times 42,75$ m, 51,30 m und 38,50 m. Jede Brücke hat eine 13 m breite Betonplatte, die von einem Stahlhohlquerschnitt mit geneigten Stegen und 2,00 m Höhe getragen wird. Jeder Hohlquerschnitt hat 4 Kabel, d.h. je 2 Kabel bei jedem Steg. Die Queraussteifungen des Hohlquerschnitts sind im allgemeinen alle 8,50 m angeordnet. Sie sind als Fachwerke und über den Auflagern als Rahmen ausgebildet. Die Queraussteifungen über den Auflagern und die 8,50 m beidseitig von diesen entfernten Aussteifungen haben Umlenksättel für die Kabel und die für die Einleitung der Umlenkkräfte in den Hohlquerschnitt notwendigen Konstruktionselemente (Bild 3).

Die Längskabel befinden sich bei den Auflagern unmittelbar unter der Platte, verlaufen geneigt längs der Stege und erreichen in Feldmitte den Boden des Hohlquerschnitts. Jedes Kabel besteht aus 12 Litzen zu je 7 Drähten, die in einem Hüllrohr aus Polyäthylen angeordnet sind. Jedes Kabel ist rund 200 m lang und überdeckt sich mit dem folgenden Kabel. Der Schutz der Kabel wird durch das Hüllrohr und die Fettverpressung jeder Litze sowie durch die Zementinjektion der Polyäthylenrohre gewährleistet (Bild 4).

Die Montage der Stahlkonstruktion erfolgte abschnittsweise vom Boden aus (Bild 5). Die Platte wurde auf einem Schalwagen betoniert und in Querrichtung in 2 Etappen eine Woche nach dem Betonieren vorgespannt. Der mit Kopfbolzendübeln realisierte Verbund wurde unmittelbar während der Betonhärtung erzeugt. Die Längsvor-

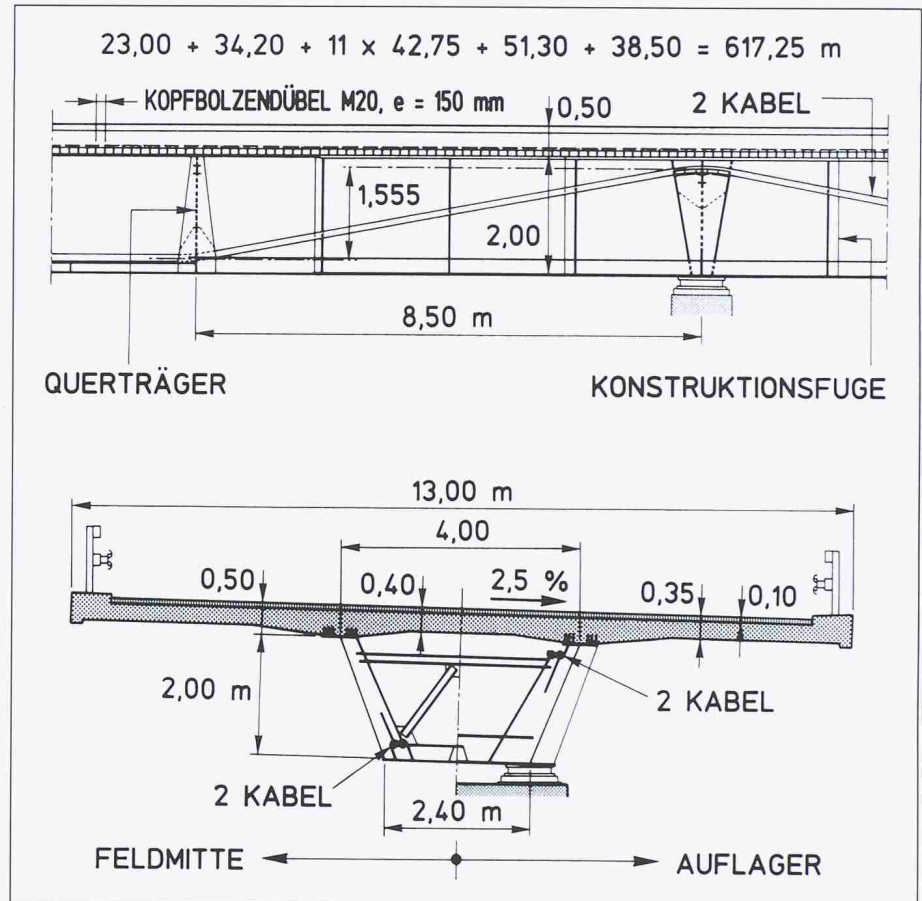


Bild 3. Längs- und Querschnitt des Viadukts «Bois de Rosset»

spannung erfolgte, nachdem die gesamte Platte betoniert war.

Im Auftrag des Autobahnbüros des Kantons Waadt erfolgte an diesem Bauwerk eine Reihe von Messungen. Die vom «Institut de statiques et structures» (ICOM-Construction métallique) der ETH Lausanne durchgeführten Messungen haben das Ziel, die Beanspruchungen des Bauwerkes im Ausgangszustand und während einer gewis-

sen Zeit zu verfolgen. Es handelt sich dabei insbesondere um die folgenden Größen:

- Verformungen des Hohlquerschnittes und der Platte mit elektrischen Dehnmessstreifen und Stahlsaiten
- Auflagerreaktionen auf einem Widerlager und einem Pfeilerpaar mit Kraftmesslagern
- Vorspannkraft am Ende von 2 Kabeln mit 4 Kraftmesszellen



Bild 5. Viadukt «Bois de Rosset» während der Montage

Literatur

- [1] SIA-Norm 160, Einwirkung auf Tragwerke, Ausgabe 1989, Zürich, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, 1989.
- [2] SIA-Norm 162, Betonbauten, Ausgabe 1989, Zürich, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- [3] *Lebet, J.-P.*, Comportement des ponts mixtes acier-béton avec interaction partielle de la connexion et fissuration du béton. Lausanne, Ecole polytechnique fédérale, 1987 (Thèse 661).

- Temperaturmessungen am Bauwerk und an den Kabeln mit Temperaturfühler.

Die Messungen wurden bei allen massgebenden Bauetappen durchgeführt. Weitere Messungen sind noch während einigen Jahren vorgesehen.

Dieses Bauwerk ist die erste Verbundbrücke mit äusserer Vorspannung in der Schweiz. Die Wahl dieses Vorspannsystems wurde durch die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit bedingt, wobei gleichzeitig eine einfache visuelle Kontrolle der Kabel und der Spannkraften möglich ist. Die durchgeführten Messungen sind ein Beitrag zu einer genaueren Kenntnis der Beanspruchungen und deren zeitlichen Veränderung in diesem speziellen Brückenbauwerk. Es besteht die berechtigte

Hoffnung, dass die bei der Projektierung dieser Verbundbrücke gemachten Anstrengungen diesem Bauwerk zusätzliche günstige Eigenschaften verleihen, die eine höhere Dauerhaftigkeit garantieren und die zu Beginn erforderlichen Investitionen in der Schlussbilanz bei weitem kompensieren.

Adresse der Verfasser: Prof. Dr. J.-C. Badoux und Dr. J.-P. Lebet, ICOM-Construction métallique, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, GC-Ecublens, 1015 Lausanne.

Sind Spannbetontragwerke schwingungsanfällig?

Dr. h.c. Max Birkenmaier hat der Spannbetontechnik entscheidende Impulse gegeben und wesentliche Beiträge zu deren Entwicklung und Anwendung geleistet. In der von ihm mitgeprägten ersten Zeit der Erfindungen und innovativen Weiterentwicklungen des Spannbetons stand vorerst die Ausbildung des Tragwerks für statische Einwirkungen im Vordergrund. Bald aber mussten in bestimmten Fällen auch das Schwingungsverhalten und die dynamische Bemessung in Betracht gezogen werden. Zu solchen Fragestellungen werden im folgenden einige grundsätzliche Überlegungen dargestellt.

Dynamische Probleme sind für viele Bauingenieure etwas, das man scheut, um das herum wenn immer möglich ein «grosser Bogen» gemacht wird. Tatsächlich ist die Ausbildung des Bauingenieurs geprägt durch ein «statisches Denken», d.h. durch ein auf statische Einwirkungen ausgerichtetes Vorgehen bei Entwurf, Berechnung, Bemessung und konstruktiver Durchbildung der Tragwerke.

VON HUGO BACHMANN,
ZÜRICH

Beispielsweise ist es bei statischen Einwirkungen üblich, Unsicherheiten durch Sicherheitsbeiwerte abzudecken, eine Massnahme, die bei periodischen dynamischen Einwirkungen (Resonanzprobleme) nicht zum Ziel führt. Oder man ist sich gewohnt, für statische Kräfte zu dimensionieren, ohne Betrachtung des plastischen Verformungsvermögens und der entsprechenden Energiedissipation des Tragwerks, was bei Stoss- und Erdbebenproblemen meist unzulänglich ist. Erforderlich für die erfolgreiche Lösung dynamischer Probleme ist demgegenüber ein «dyna-

misches Denken», d.h. ein auf die Besonderheiten des Tragwerkverhaltens bei dynamischen Einwirkungen ausgerichtetes Vorgehen in der Ingenieurarbeit.

Im folgenden werden – im Sinne dieses dynamischen Denkens – einige grundsätzliche Überlegungen zur Schwingungsanfälligkeit von Ingenieurtragwerken und insbesondere von solchen in Spannbetonbauweise dargestellt. Zum Vergleich werden auch Tragwerke in anderen Bauweisen, insbesondere in Stahlbeton-, Verbund- und Stahlbauweise, herangezogen. Die folgenden Einflussparameter werden diskutiert:

- Eigenfrequenzen,
- Dämpfung,
- Steifigkeit,
- zu bewegende Masse.

Die dynamischen Einwirkungen werden als gegeben und nicht beeinflussbar vorausgesetzt.

Eigenfrequenzen

Die meisten Schwingungsprobleme bei Tragwerken entstehen, indem Resonanz bzw. resonanzähnliche Zustände

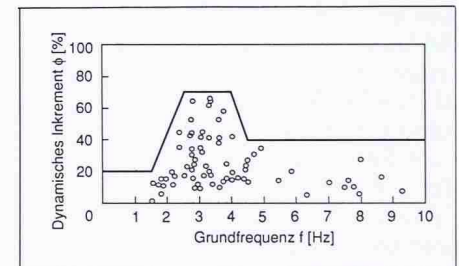


Bild 1. Empfindlichkeit der Haupttragwerke von Strassenbrücken auf die dynamischen Wirkungen eines einzelnen Lastwagens in Abhängigkeit von ihrer Grundfrequenz [1]

aufzutreten. Dies ergibt sich, wenn bei einer einigermaßen stationären Tragwerksschwingung eine Anregungsfrequenz mit einer Tragwerksfrequenz exakt bzw. mehr oder weniger übereinstimmt. Ein Tragwerk ist somit umso schwingungsanfälliger, je «resonanzträchtiger» es ist, d.h., je grösser die Wahrscheinlichkeit ist, dass eine seiner Eigenfrequenzen – massgebend ist meist die Grundfrequenz – im Bereich einer auftretenden Anregungsfrequenz liegt.

Ein Tragwerk ist um so schwingungsanfälliger, je resonanzträchtiger es ist.

Als Beispiel für einen resonanzähnlichen Zustand zeigt Bild 1 aufgrund von Untersuchungen der EMPA die Empfindlichkeit der Haupttragwerke von Strassenbrücken auf die dynamischen Wirkungen eines einzelnen Lastwagens in Abhängigkeit von ihrer Grundfrequenz [1]. Aufgetragen ist das dynamische Inkrement, das Verhältnis der Differenz zwischen der dynamischen und der statischen Durchbiegung zur statischen Durchbiegung (beide