

Dynamische Untersuchungen an Brücken- bauwerken der Nationalstrasse A9 am Simplon

Ph. Truffer, BIAG Beratende Ingenieure ETH/SIA/USIC AG, Visp

Dynamische Untersuchungen an Brückenbauwerken der Nationalstrasse A9 am Simplon

Philipp Truffer, dipl. Bauing. ETH/SIA

BIAG Beratende Ingenieure ETH/SIA/USIC, CH-3930 Visp



1. Ausgangslage und Auftrag

1.1. Ausgangslage

Für die Dimensionierung von Ingenieurbauwerken stehen verschiedene Grundlagen und Hilfsmittel zur Verfügung. So sind die anzusetzenden Lasteinwirkungen, sofern diese im entsprechenden Nutzungs- und Sicherheitsplan definiert worden sind, in der Norm SIA 160 [1] festgelegt worden. In dieser Norm sind u.a. auch die Strassenlasten und die Quantifizierung der Erdbebenersatzkräfte festgelegt. Bei der Überprüfung und Beurteilung der Tragsicherheit eines bestehenden Bauwerks z.B. im Rahmen der Bauwerkserhaltung oder bei Umnutzungen (Erhöhung der Lasteinwirkungen) kann, analog zur Bemessung eines neuen, auf diese Grundlagen zurückgegriffen werden.

Die Reaktion von Strassenbrücken auf die dynamischen Einwirkungen schwerer Lastwagen hängt einerseits von der Grundfrequenz der Brücke und andererseits von der Fahrbahnebenheit ab. In der entsprechenden Norm SIA 160 [1] wird ein unabhängig vom Tragsystem der Brücke konstanter dynamischer Beiwert $\phi_1=1.8$ vorgegeben. Damit geht

man bezüglich der Grundfrequenz der Brücke auf die sichere Seite und verlangt bei der Fahrbahnebenheit eine gewisse Minimalanforderung. Vielfach stellt sich jedoch im Zusammenhang mit der Überprüfung und Beurteilung eines bestehenden Tragwerks die Frage nach den effektiven Werten, da der konstante Normwert u.U. zu aufwändigen Verstärkungsmassnahmen führen würde. Eine Anpassung der Rechenwerte (aktualisierte Lastmodelle) kann allenfalls umfangreiche Verstärkungsmassnahmen verhindern helfen bzw. diese können optimiert werden. Mit der Bestimmung von verschiedenen dynamischen Kenngrössen direkt am Bauwerk ist es möglich, die hierzu erforderlichen Grundlagen bereitzustellen.

1.2. Auftrag

Die Sektion Nationalstrassen Oberwallis erteilte der Ingenieurgemeinschaft BIAG/Ziegler Visp/Zürich den Auftrag an verschiedenen Brückenbauwerken der Nationalstrasse A9 über den Simplon dynamische Kennwerte zu ermitteln, die es erlauben würden, den effektiven dynamischen Beiwert und die Eigenschwingungen der Brücke zu ermitteln. Dabei sollte das von der Ingenieurgemeinschaft vorgeschlagene Messkonzept auf seine Machbarkeit überprüft und allfällige Erkenntnisse im Hinblick für die Durchführung von entsprechenden Messungen bei anderen Bauwerke gesammelt werden.

Es wurden in einer ersten Phase insgesamt 10 Brücken unterschiedlichster Bauweise und Bauart untersucht. Die Messungen wurden im Sommer 2001 durchgeführt.

1.3. Ziel der Messungen

Experimentelle Untersuchungen zur dynamischen Systemidentifikation von Tragwerken erfordern in der Regel einen beachtlichen Aufwand an Material und Personal für die Erregung und Erfassung der Tragwerksreaktionen. Beim vorliegenden Projekt sollen nun aber mit relativ einfachen Mitteln (kostengünstig) und in kurzer Zeit interessante dynamische Datengrundlagen der (Brücken-)Bauwerke experimentell erfasst und messtechnisch ausgewertet werden. Mit den dynamischen Untersuchungen an den Brücken werden primär zwei Zielsetzungen angestrebt:

- einfache Erfassung der effektiven Eigenschwingungen der Bauwerke
- experimentelle Bestimmung des effektiven Stosszuschlages für vertikale Einwirkungen für das Lastmodell 1 gemäss [1]

Nebst dem Nachweis der Machbarkeit der vorgeschlagenen Messkampagne sollen auch Hinweise und Erfahrungen im Hinblick auf künftige analoge Messungen bei anderen Brückenbauwerken erarbeitet werden.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Dynamischer Beiwert

Der dynamische Beiwert als Grösse für die Empfindlichkeit eines Tragwerks gegenüber dynamischen Einwirkungen infolge Strassenlasten ist als Verstärkungsfaktor der statischen Einwirkungen definiert. Dieser Beiwert ist bauwerksspezifisch und hängt im we-

sentlichen von der Grundfrequenz der vertikalen Eigenschwingung des Tragwerks und von der Belagsqualität ab.

In der SIA-Norm 160 [1] wird hingegen für alle Tragwerke ein pauschaler Faktor von $\phi_1=1.8$ für das Lastmodell 1 (konzentrierte Wirkung einer Achsgruppe) definiert (4 09 52). Die dynamische Einwirkung beim Lastmodell 2 (Flächenlast für eine langsam fahrende Lastwagenkolonne) ist in den entsprechenden Kennwerten bereits berücksichtigt. Die ursprüngliche Definition des dynamischen Beiwertes als Funktion der Grundfrequenz der vertikalen Eigenschwingungen des Tragwerks wurde aufgegeben [2]. Der erwähnte Beiwert ist also eine Konstante, welche das Verhalten des Tragwerkes mit einer ungünstigen Grundfrequenz berücksichtigt. An den Belag werden minimale Anforderungen an die Ebenheit nach der entsprechenden VSS-Norm [8] gestellt.

In der vorliegenden Untersuchung beschränkt man sich auf die Bestimmung des dynamischen Beiwertes unter vertikalen Einwirkungen.

Definition: **dynamischer Beiwert** $\phi_{dyn} = d_{dyn}/d_{stat}$

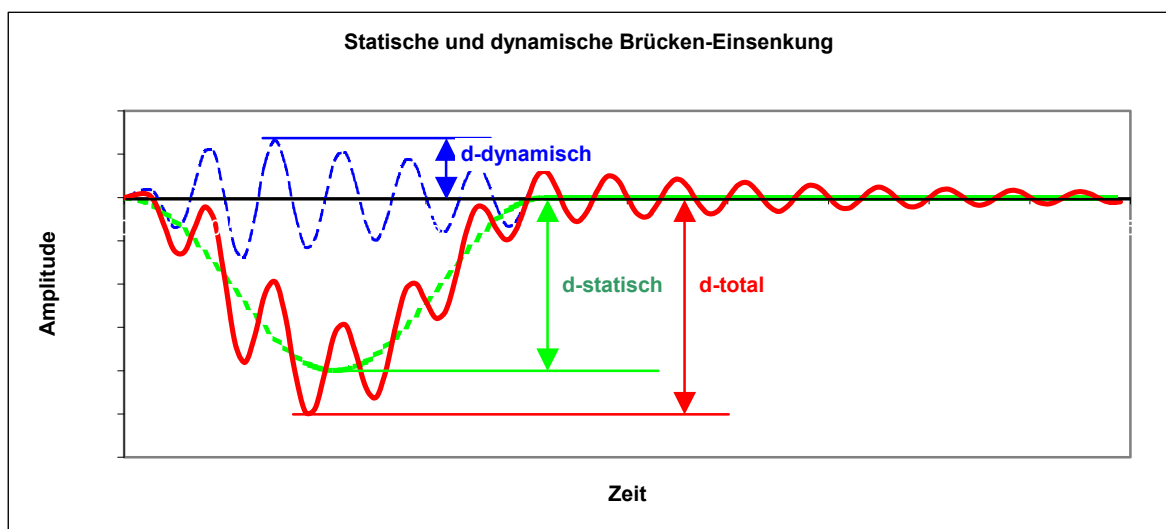


Abb. 2-1 Zeitsignal der Durchbiegung einer Brücke in Feldmitte, Definition der Messgrößen d_{stat} und d_{dyn} und Ermittlung des dynamischen Beiwerts ϕ_{dyn}

2.2. Eigenfrequenzen

Die Ermittlung der Beanspruchungen bei Erdbebeneinwirkungen auf Brücken kann grundsätzlich mit dem Ersatzkraftverfahren durchgeführt werden, falls nicht höhere Eigenschwingungsformen des Tragwerks massgeblich angeregt werden. Dabei werden die horizontalen Ersatzkräfte u.a. auch mittels den horizontalen Beschleunigungen in Abhängigkeit der Grundfrequenz des Bauwerks bestimmt. Diese sind in den elastischen Bemessungsspektren der Einwirkungs-Norm [1] dargestellt.

Mit der Bestimmung der effektiven Eigenfrequenzen der Brücken ist es folglich möglich die Berechnungsannahmen für die Erdbebenüberprüfung zu optimieren.

3. Messkonzept

3.1. Messausrüstung

Als Messeinrichtung zur Erfassung und Aufzeichnung der Schwingungen wurde ein MR-Messgerät von Syscom Typ MR2002 Standard Plus mit Geschwindigkeitssensoren MS2003 bzw. Beschleunigungsaufnehmer MS2002 eingesetzt. Die zur Anwendung gekommenen Geschwindigkeits-Sensoren haben eine erhöhte Empfindlichkeit mit einem Messbereich von 0.0003 bis 114 mm/s.



Abb. 3-1 MR2002-Messgerät mit triaxialem Geschwindigkeitsaufnehmer

Zusätzlich zu den Schwingungsaufnehmern wurden noch Wegaufnehmer für die Deformationsmessungen (siehe 3.2.3.) sowie ein dynamischer Erreger (siehe 3.3.3.) und ein fallendes Gewicht für die Impulserregung (siehe 3.3.3.) eingesetzt.

3.2 Dynamischer Beiwert

3.2.1. Vorgehensweise

Die für die Bestimmung der gesuchten Kenngrösse erforderlichen jeweiligen Messgrössen und die entsprechende Definition des dynamischen Beiwerts sind in Abb. 2-1 aufgeführt. Der dynamische Beiwert stellt per Definition einen Vergrößerungsfaktor für die statischen Einwirkungen dar, der die dynamischen Einflüsse aus der Fahrbahnunebenheit und der Fahrzeugbewegung berücksichtigt. Ein dynamischer Beiwert ist folglich immer auf ein statisches Lastmodell bezogen. Die Ermittlung des dynamischen Beiwerts erfolgte durch die experimentelle Bestimmung der statischen, und bei gleicher Last-Einwirkung, der dynamischen Durchbiegung des Bauwerks in Feldmitte der grössten Spannweite. Die Ermittlung der gesuchten Kennwerte erfolgte ausschliesslich an einem Punkt. Die gesuchte Messgrösse ergibt sich aus dem Quotienten der dynamischen zur statischen Durchbiegung (siehe 2.1.).

3.2.2. Messablauf

Für die Bestimmung der gesuchten Grössen, statische und dynamische Durchbiegung der Brücke, wurde bei sämtlichen Bauwerken folgender Ablauf durchgeführt. Dabei gilt es zu erwähnen, dass der nachfolgend beschriebene Versuchsablauf nicht normiert ist. Eine Rückfrage bei der EMPA ergab, dass dort grundsätzlich analog vorgegangen wird. Für die Durchführung konnte während der gesamten Messdauer auf den gleichen Lastwagen zurückgegriffen werden. Dabei handelte es sich um eine beladenen Zweiachser von rund 16 to Gesamtgewicht.

Die Durchbiegungen wurden dabei immer in Feldmitte im längsten Feld ermittelt. Beim Messablauf wurde die Brücke während der Lastwagenfahrt für den restlichen Verkehr kurzfristig gesperrt. Für die statische Durchbiegung fuhr der Lastwagen auf die Brücke bis zum Messpunkt, stoppte hier zum vollständigen Stillstand und fuhr danach wieder weiter. Dabei wurde die maximale statische Durchbiegung ermittelt (siehe 3.2.3.).



Abb. 3-2 LKW-Fahrt über ein Brett zur Bestimmung der dynamischen Durchbiegung

Zur Bestimmung der dynamischen Durchbiegung fuhr der gleiche Lastwagen mit einer Geschwindigkeit von rund 20 km/h über ein rund 50 mm dickes Brett. Bei einigen Brücken wurde die Geschwindigkeit auch auf rund 60 km/h erhöht. Bei den Durchfahrten wurden u.a. die Schwinggeschwindigkeiten erfasst und schliesslich ausgewertet (siehe 3.2.3.). Letztlich fuhr der Lastwagen noch mit rund 60 km/h ohne Brett über die Messstelle.

3.2.3. Ermittlung der Durchbiegungen

Nachfolgend ist die experimentelle Bestimmung bzw. messtechnische Erfassung der statischen Durchbiegung bei den Messobjekten beschrieben.

Für die Messung der **statischen Durchbiegung** d_{stat} der Brücken wurde ein Wegsensor von Temposonic eingesetzt. Der Sensor war - wie in Abb. 3-3 dargestellt - an zwei teleskopierbaren Rohren befestigt. Das äussere Rohr wurde mittels drei verstellbarer Beine auf dem Boden aufgestellt und vertikal justiert, während das innere Rohr an einer Kette an

der Brücke befestigt war. Die vertikale Einsenkung der Brücke konnte auf diese Weise mit dem Temposonic Wegsensor erfasst und mit dem Registriergerät MR2002 aufgezeichnet werden. Die Abbildungen 3-3 und 3-4 zeigen die Messeinrichtung, in Tabelle 3.1 und 3.2 sind die wichtigsten Kenndaten des Weg-Sensors und der Registrierung zusammengestellt.



Abb. 3-3 und 3-4 Wegsensor zur Messung der statischen Einsenkung d_{stat} der Brücke

Modell:	Temposonics Serie III
Messprinzip:	Magnetostruktive Messtechnik
Auflösung:	bis 2 μm
Messbereich:	0 bis 100 mm

Tabelle 3.1 Technische Daten zum Wegsensor

Modell:	MR2002 von Syscom
AD-Wandler:	400 Messungen pro Sekunde
Auflösung:	1.4 μm
Messbereich:	0 bis 50 mm

Tabelle 3.2 Technische Daten zur Registrierung



Abb. 3-5 Überfahrt von zwei Lastwagen über die Chritzibücke

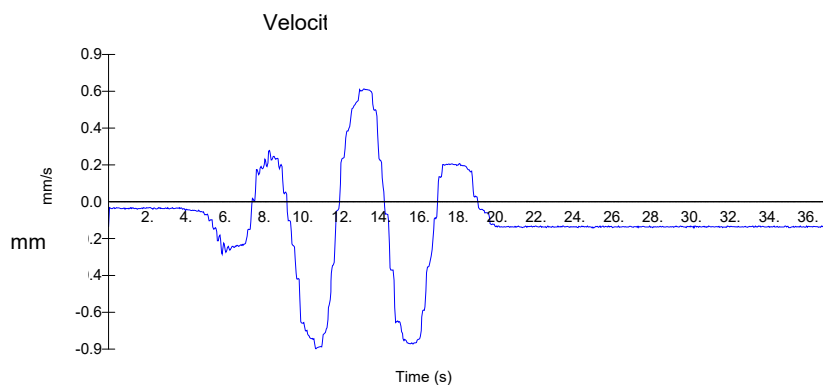


Abb. 3-6 Entsprechendes Verschiebungssignal der Durchfahrt der beiden Lastwagen

Die **dynamische Durchbiegung** d_{dyn} wurde durch einfache Integration der mittels einem Geophon gemessenen Geschwindigkeitswerte v_{dyn} ermittelt. Um den Einfluss der statischen Durchbiegung bei den dynamischen Werten zu eliminieren, wurden die ermittelten Signale mit einem Hochpassfilter bis 1 Hz, bei kurzen Spannweiten bis 2 Hz bearbeitet.

3.3. Eigenfrequenzen

3.3.1. Messverfahren

Die Bestimmung der gewünschten dynamischen Parameter des Tragwerks wie Eigenfrequenzen, Dämpfungsgrößen oder dynamischer Beiwert kann mit unterschiedlichen Methoden und Verfahren ermittelt werden. Eine ausführliche Darlegung und Beschreibung der dynamischen Systemidentifikation macht Cantieni in [9]. Grundsätzlich sind zwei Ansätze möglich. Diese werden in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert.

3.3.2. Ambient Vibration Testing AVT

Beim Ambient Vibration Testing AVT wird die zu untersuchende Struktur nicht künstlich angeregt. Es werden jene Tragwerksschwingungen gemessen und ausgewertet, die von natürlichen Quellen wie Wind, Verkehr oder Mikroseismik dauernd angeregt werden.

Bei den Messungen am Simplon wurden einerseits ambiente Messungen unter Verkehr und andererseits solche ohne Verkehr durchgeführt. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass ambiente Messungen zur Bestimmung der Eigenfrequenzen nur ohne Verkehr sinnvoll waren. Insbesondere der schwere Lastwagenverkehr (Einfluss Lastwagenfederungen) beeinflusste bzw. verfälschte die Resultate der Messungen erheblich.

3.3.3. Forced Vibration Testing FVT

Bei diesem Verfahren wird das Tragwerk in einem Punkt mit einer kontrollierten Kraft angeregt und seine Reaktionen gemessen.

Bei den dynamischen Messungen am Simplon wurden bewusst verschiedene Messverfahren eingesetzt. Ziel war es, Erkenntnisse aus den einzelnen Verfahren zu erhalten und die Resultate miteinander vergleichen zu können. Die Bestimmung der Eigenfrequenzen der Brücke erfolgte ohne und mit Fremdanregung der Struktur.

Bei diesem Verfahren wurde eine Fremderregung durch nachfolgende Arten erreicht:

- **Überfahrten LKW über ein Brett** (siehe Abb. 3-2)
- **Dynamischer Erreger** (siehe [10])
Beim zum Einsatz kommenden elektrodynamischen Erreger handelt es sich um einen Longstroke-Erreger von APS. Eine Masse von 30.8 kg wird durch die Gummibänder in der Null-Lage gehalten und wird unter der Wirkung der Magnetkräfte 10 cm nach oben und nach unten bewegt. Mit einem Frequenzgenerator und einem Leistungsverstärker kann eine Schwingung zwischen 0.2 und 200 Hz erzeugt werden. Der dynamische Erreger kam ohne Verkehr zum Einsatz. Während der Messung wurde der Verkehr kurzfristig angehalten.

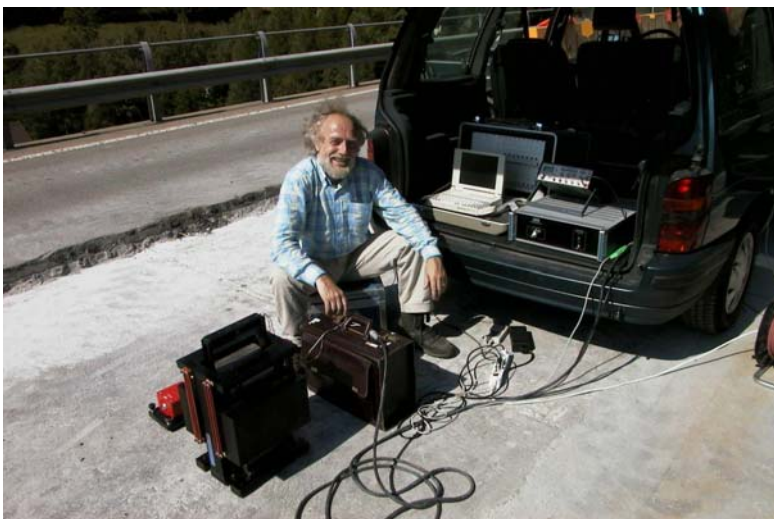


Abb. 3-7 Dynamischer Erreger im Einsatz bei der Chritzibücke

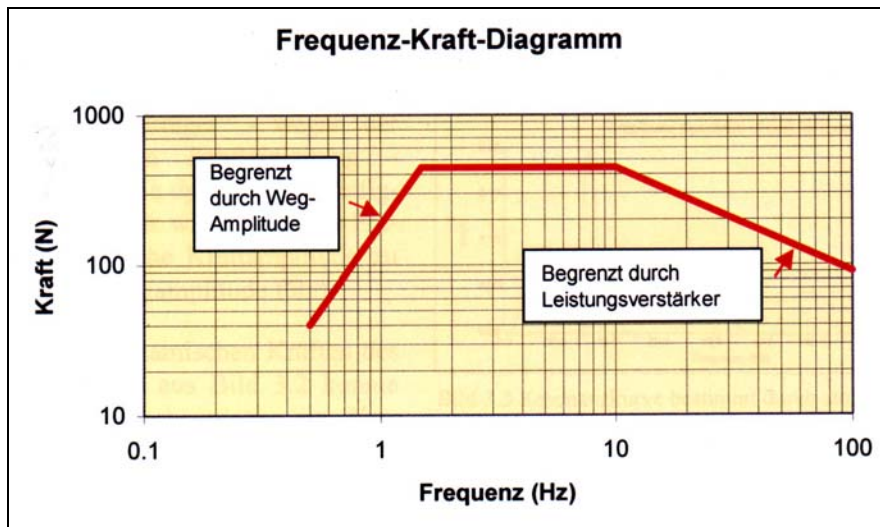


Abb. 3-8 Frequenz-Kraft-Diagramm des dynamischen Erregers

Im Bereich von 1.5 bis 10 Hz entfaltet der Erreger seine volle Kraft von 445 N. Die Masse erreicht dabei eine maximale Beschleunigung von 14.5 m/s^2 . Unterhalb 1.5 Hz ist die Kraft durch die maximal mögliche Wegamplitude begrenzt, oberhalb 10 Hz durch die Kapazität des Leistungsverstärkers.

- **Impulsanregung mit einem Hammer**

Bei der Impulsanregung wurde die Fremdanregung durch ein herabfallendes Gewicht erzeugt. Eine Masse mit einem Gewicht von insgesamt 100 kg wurde dabei von einer Höhe von 1.0 Meter fallengelassen und die Kräfte in die Brücke eingeleitet.

4. Resultate

4.1. Zusammenfassung

4.1.1. Dokumentation der Ergebnisse

Im Rahmen des Mandates dynamischen Untersuchungen an Brückenbauwerken der Nationalstrasse A9 über den Simplon wurden insgesamt 10 Brücken untersucht. Die dabei erzielten Resultate sind nachfolgend zusammengefasst und mit anderen zur Verfügung stehenden Messauswertungen (z.B. nach [7]) verglichen. Zu jeder einzelnen Brücke wurde ein dazugehöriger Bericht mit einer eigenen Auswertung der Resultate erstellt. Die Berichte sind nachfolgend aufgeführt und können für vertiefte Analysen eingesehen werden.

4.1.2. Synthese der Resultate

Grundlage für die nachfolgenden Darstellungen bilden die ausgewerteten dynamischen Versuche bei den erwähnten Brücken. Eine Übersicht der Resultate sind in der Beilage 1 in tabellarischer Form dargestellt.

Korrelationen

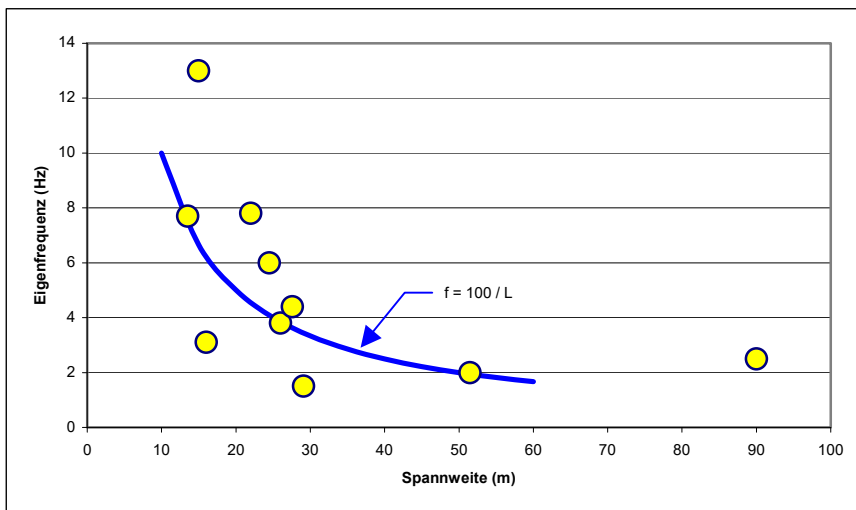


Abb. 4-1 Vertikale Eigenfrequenzen als Funktion der Spannweite

Abb. 4-1 zeigt die Korrelation zwischen Eigenfrequenz und Spannweite für die 10 gemessenen Brücken. Die blaue Kurve stellt die häufig verwendete Gleichung zu Abschätzung von Eigenfrequenzen bei Brücken ($f = 100/L$) dar (mit $L = \text{max. Spannweite}$). Gut zu erkennen ist die Abnahme der Eigenfrequenzen mit der Zunahme der Spannweite.

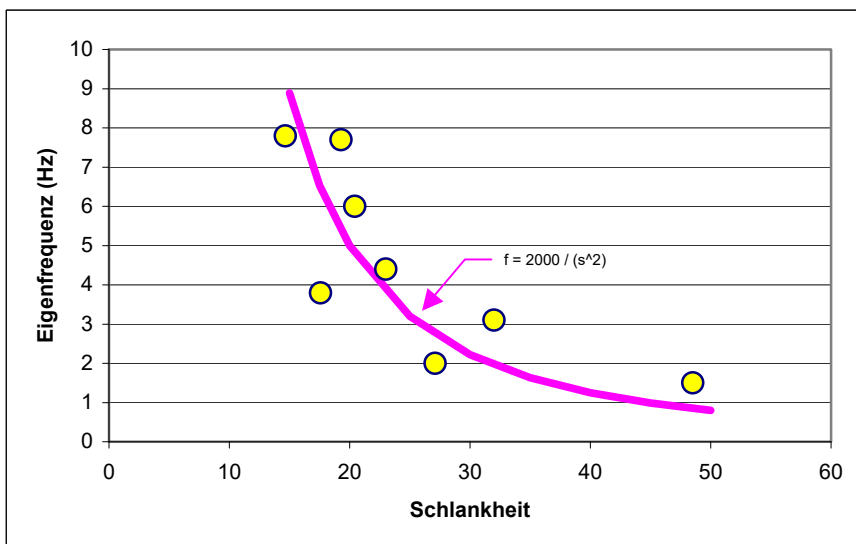


Abb. 4-2 Vertikale Eigenfrequenzen als Funktion der Schlankheit

In ähnlicher Weise kann die Eigenfrequenz als Funktion der Schlankheit dargestellt werden. Als Funktion zur Bestimmung der Eigenfrequenz könnte die Gleichung $f = 2000/s^2$ verwendet werden (mit $s = \text{Schlankheit}$).

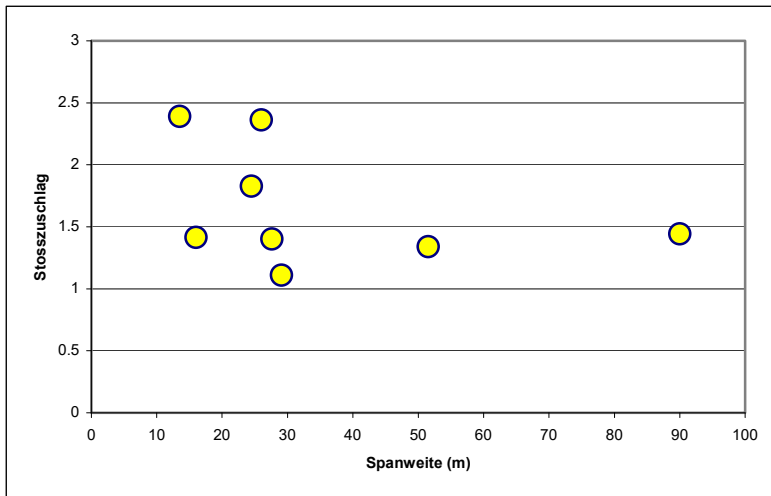


Abb. 4-3 Stosszuschlag (20 t LKW mit Brett) als Funktion der Spannweite

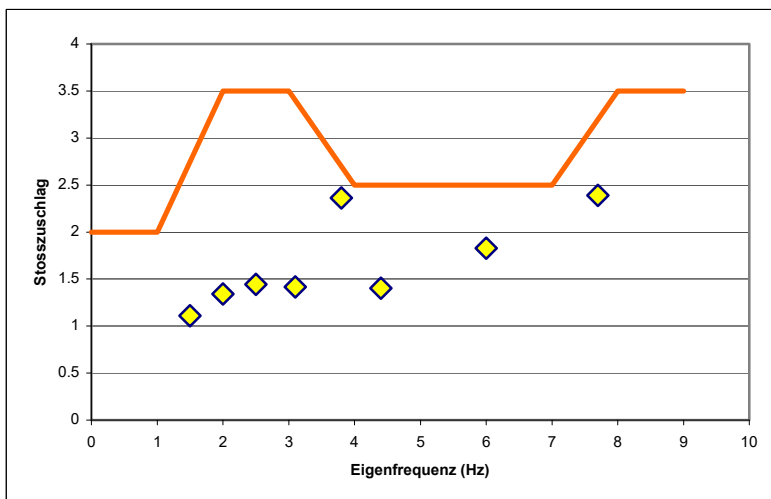


Abb. 4-4 Stosszuschlag (20 t LKW mit Brett) als Funktion der vertikalen Eigenfrequenz. (Rote Linie: Grenzwert nach Cantieni [7])

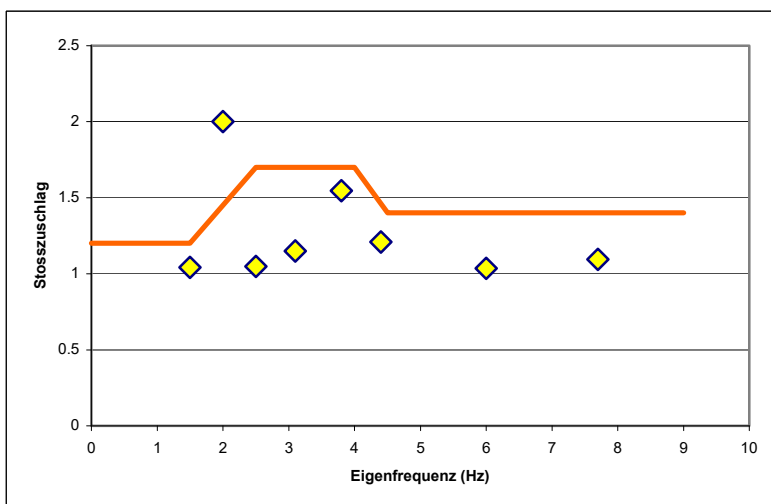


Abb. 4-5 Stosszuschlag (20 t LKW ohne Brett) als Funktion der vertikalen Eigenfrequenz. (Rote Linie: Grenzwert Cantieni [7])

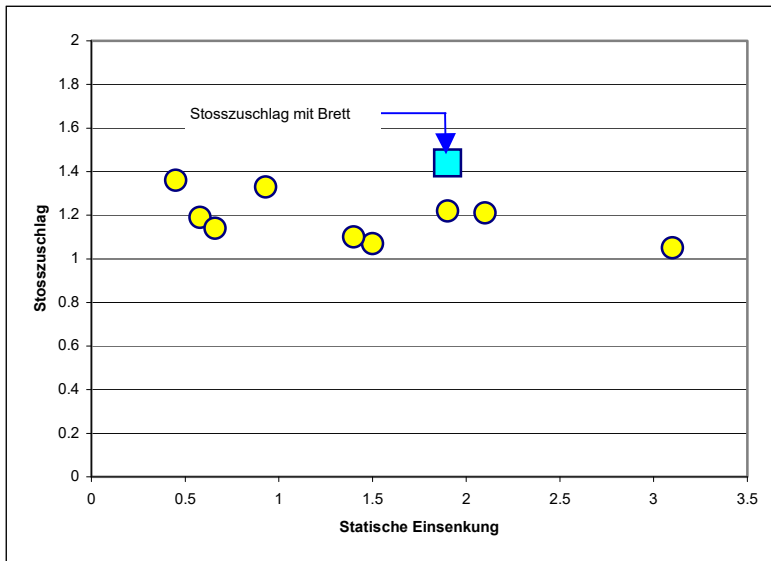


Abb. 4-6 Stosszuschlag bei der Brücke „Gunziggraben“ für verschiedene LKW's (ohne Brett)

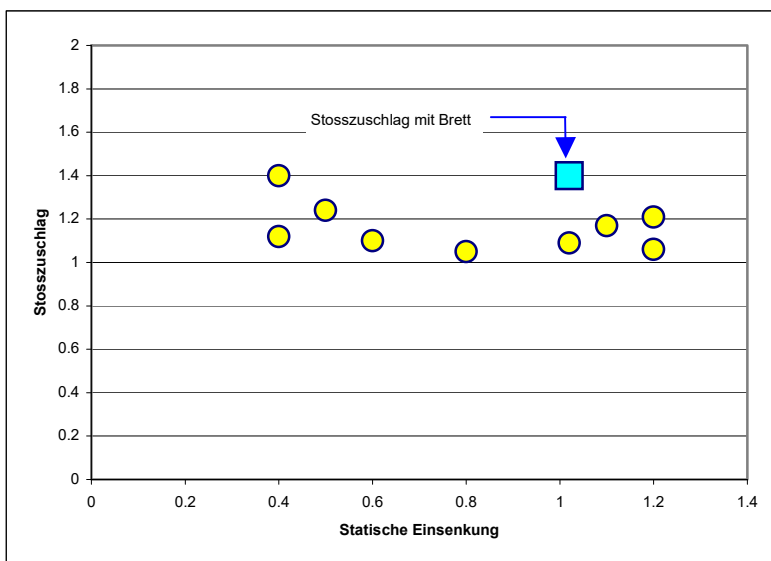


Abb. 4-7 Stosszuschlag bei der Brücke „Ledischleif“ für verschiedene LKW's (ohne Brett)

Die Abbildungen 4-6 und 4-7 zeigen den Einfluss des Lastwagengewichts (in Form der statischen Brückeneinsenkung) auf den Stosszuschlag. Leichtere Lastwagen ergeben einen höheren Stosszuschlag. Mit einem 16to-LKW, der über ein Brett fährt, wird offensichtlich ein sinnvoller oberer Grenzwert erzeugt.

5. Erkenntnisse und Hinweise

5.1. Erkenntnisse aus den durchgeführten Messungen

Die aufgrund der realisierten Messungen an den zehn Brücken gemachten Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Mit den Messungen konnte grundsätzlich die Machbarkeit der gewählten Verfahren belegt werden.
- Die ermittelten Werte sind bis auf wenige Ausnahmen gut interpretierbar und nachvollziehbar.
- Die Messungen können ohne grossen Aufwand und ohne grosse Beeinträchtigung des Betriebes gemacht werden. Kurzfristige (jeweils ca. 2-4 Min.) Sperrungen der Brücken sind empfehlenswert um allfällige Störgrössen auszuschalten.
- Die Ermittlung der Eigenfrequenzen ist mit der zum Einsatz gekommenen Messausrüstung sowohl ambient oder mit Fremdanregung möglich, sofern die unter Punkt 5.2. erwähnten Voraussetzungen erfüllt sind. Im Gegensatz zur ambienten Messungen können aber bei der Messung mit dem dynamischen Erreger die höheren Eigenfrequenzen besser ermittelt werden.
- Die angestrebten Ziele der Messkampagne konnten bis auf wenige Ausnahmen (siehe 5.3.) einfach und erfolgreich erreicht werden.

5.2. Messvoraussetzungen

Um die oben beschriebenen Messaufgaben bei einem konkreten Objekt erfolgreich durchführen zu können, müssen bestimmten Randbedingungen und Voraussetzungen erfüllt sein. Nachfolgend sind stichwortartig die wesentlichsten Punkte aufgeführt. Diese können im Einzelfall massgebend sein oder durch spezifische Umstände ergänzt werden:

- Die Brücke muss als Messobjekt zugänglich sein.
- Die Lage der Brücke im Gelände spielt für die Durchführung der Messungen an sich keine grosse Rolle. Es gibt keine eigentliche Höhenbeschränkung. Hingegen sollte das Mittelfeld nicht über einem Gewässer sein, da ansonsten die für die Ermittlung des Stosszuschlages erforderlichen Deformationsmessungen nicht durchgeführt werden können (fehlender Bezugspunkt).
- Die Art der Nutzung der Brücke während der Messung ist entscheidend für die erforderlichen Sicherheitsmassnahmen. So gilt es entsprechend Rücksicht auf den Verkehr zu nehmen (Absperrung, Signalisation).
- Die zuständige Behörde (z.B. Strassenunterhalt) ist vorgängig über die geplanten Messungen und deren Ablauf zu informieren.

5.3. Grenzen

Mit dem beschriebenen Messverfahren können in kurzer Zeit wichtige Baukennwerte wie der effektive dynamische Beiwert oder die Eigenfrequenzen des Tragwerks ermittelt werden. Dem Verfahren sind jedoch auch bestimmte Grenzen gesetzt:

- Mit dem vorliegenden Messverfahren werden keine Eigenformen ermittelt.
- Die Bestimmung der Längsschwingung ist problematisch. Bei Brücken mit festen Lagern, bei blockierten Lagern (z.B. keine viskose Dämpfung infolge Korrosion) und bei

Bogenbrücken lassen sich die Eigenfrequenzen in Längsrichtung mit den hier beschriebenen Methoden nicht bestimmen (zu geringe Anregungskraft).

5.4. Offene Fragen

Mit den durchgeführten Messungen konnten die gestellten Zielsetzungen mehr oder weniger erreicht werden. Es stellen sich jedoch auch im Hinblick auf die weitere Anwendung dieses Verfahrens noch einige offene Fragen, deren Beantwortung den Rahmen dieses Mandates gesprengt hätte. Dabei geht es primär um die Bemerkungen von Cantieni [7]:

- Beim vorliegenden Projekt beschränkte man sich auf die Erfassung der Messwerte in einem Punkt (Feldmitte der grössten Spannweite). Cantieni beschreibt, dass aus dem Verhalten der Brücke in einem bestimmten Feld nicht direkt auf das Verhalten in den anderen Feldern geschlossen werden kann. Er nennt eine Reihe von Gründen:
 - Die Relationen unter den modalen Amplituden der massgebenden Eigenschwingungen sind unterschiedlich.
 - Die dynamisch wirksame Masse der Brücke und damit die Koppelung zwischen Fahrzeug und Brücke sind unterschiedlich.
 - Das Längenprofil der Brücke ist unterschiedlich.
 - Der Schwingungszustand zu Beginn der Überfahrt ist für jedes Feld anders.
- Der Einfluss der Fahrtrichtung der Überfahrten auf das dynamische Inkrement.
- Berücksichtigung der ermittelten Werte bei der Bemessung. Genügt ein deterministischer Ansatz mit einem bestimmten ermittelten Wert oder wären zusätzlich Überlegungen hinsichtlich einer möglichen statistischen Verteilung (probabilistische Betrachtung) erforderlich (siehe hierzu ebenfalls [5, 6]).

5.5. Kosten

Mit dem beschriebenen Messkonzept können in relativ kurzer Zeit und ohne grosse Einschränkungen des Verkehrs zerstörungsfrei verschiedenste Baukennwerte ermittelt werden. Für die Ermittlung der beschriebenen Kenngrössen ist mit folgenden Kosten pro Brücke zu rechnen.

Bei den nachfolgenden Angaben handelt es sich um Richtpreise, die je nach Bauwerk und Randbedingungen mehr oder weniger von den angegebenen Werten abweichen können. Pro Brückenbauwerke ist mit einer maximalen **Messdauer** von ca. einem halben Tag zu rechnen.

• Grundlagenanalyse	Fr.	500.-
• Messvorbereitung und Organisation, Anreise	Fr.	1'500.-
• dynamische Messkampagne inkl. Gerätemiete	Fr.	2'000.-
• Auswertung	Fr.	1'000.-
• Berichterstattung	Fr.	1'000.-
		1'000.-
Total pro Brücke (exkl. MWSt.)	Fr.	6'000.-

Zusätzlich einzurechnen sind der Einsatz von Hilfspersonal (mind. 1 Person) während den Messungen, der Einsatz eines beladenen Lastwagens (Gesamtgewicht 16 – 20 to) sowie die erforderliche Signalisation der Einsatzstelle.

Grundlagen- und Literaturverzeichnis

- [1] Einwirkungen auf Tragwerke
SIA-Norm 160 (1989)
- [2] Einführung in die Norm SIA 160 „Einwirkungen auf Tragwerke“ und in die Empfehlung SIA 169 „Erhaltung von Ingenieurbauwerken“
SIA-Dokumentation D041 (1989)
- [3] Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke
SIA-Richtlinie 462 (1994)
- [4] Erhaltung von Bauwerken
SIA-Norm 469 (1997)
- [5] Modèles de charge actualisés pour l'évaluation de la sécurité structurale de ponts-routes existants
Bez, Bailey, Haesler
ICOM, EPF Lausanne, 1995
- [6] Lastfaktoren für Eigenlast und Auflast zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken
Bassetti, Bailey, Banz
ICOM, EPF Lausanne, 1998
- [7] Beitrag zur Dynamik von Strassenbrücken unter der Überfahrt schwerer Fahrzeuge
Reto Cantieni
EMPA Dübendorf, 1992
- [8] Ebenheit
VSS-Norm SN 640 521 b (1995)
- [9] Dynamische Probleme bei Brücken- und Hochbauten
SIA-Dokumentation D0138, 1996
- [10] Einsatz eines dynamischen Erregers in der Bauwerksdynamik
Dr. A. Ziegler, Ziegler Consultants, Zürich
4. MR2002-Symposium Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessungen,
EMPA Dübendorf, Mai 2002