

Die Problematik der winderregten Schwingungen an Brückenhängern in Theorie und Praxis

Karsten Geißler¹ und Matthias Mager¹

¹ Fachgebiet Entwerfen und Konstruieren - Stahlbau, Technische Universität Berlin

ZUSAMMENFASSUNG

Die Windquerschwingungsanfälligkeit von schlanken Bauteilen, beispielsweise der Hänger von Stabbogenbrücken, und die damit verbundene Ermüdungsbeanspruchung sowie weiterhin die eventuelle Anfälligkeit hinsichtlich Galopping stellen nach wie vor ein Problem in der Baupraxis dar. Im folgenden Aufsatz wird auf dieses Thema in Theorie und Praxis eingegangen und es werden die möglichen konstruktiven Dämpfungsmaßnahmen diskutiert.

1 Einführung

Während im Rahmen des Brückenentwurfes für kurze Spannweiten vorwiegend vollwandige Balkenbrücken oder Rahmen geplant werden, sind für große und sehr große Stützweiten Hänge- und Schrägseilbrücken alternativlos. Für mittlere Spannweiten hingegen stellen Stabbogen- und Fachwerkbrücken eine wirtschaftliche Alternative zu den vollwandigen Balkenbrücken dar. In jüngster Zeit wurden auch einige Netzwerkbogenbrücken als Variante des Stabbogens geplant und ausgeführt. Die Stabbogenbrücke ist u. a. dadurch charakterisiert, dass die Hänger innerhalb des statischen Systems als reine Zugglieder wirken und unter voller Ausnutzung hoher Stahlfestigkeiten sehr schlank und Material sparend ausgeführt werden können. Stabbogenbrücken können mit Rundstahlhängern oder auch Flachstahlhängern ausgeführt werden. Jedoch ergibt sich insbesondere für die langen Hänger mit entsprechend niedrigen Eigenfrequenzen auch wegen der für Stahltragwerke meist charakteristischen sehr geringen Dämpfung eine ausgeprägte Anfälligkeit gegenüber verschiedenen Phänomenen winderregter Schwingungen.



Abbildung 1: Stabbogenbrücke Ronneburg und Netzwerkbogenbrücke über die Oder in Frankfurt

2 Winderregte Querschwingungen - Stand der Technik

Anfällig gegenüber winderregten Schwingungen sind alle Typen schlanker Konstruktionen oder Teile von diesen. Neben Brücken sind hier vor allem Bauwerke mit vertikaler Orientierung wie zum Beispiel Türme, Maste oder Hochhäuser zu nennen. Entsprechend des Anregungsmechanismus wird oft zwischen fremderregten bzw. erzwungenen und selbsterregten Schwingungen unterschieden. Von Fremderregung spricht man, wenn die Schwingung unabhängig von der Bewegung der Struktur angefacht wird. Hierzu zählen die wirbelerregten Querschwingungen sowie die böenerregten Schwingungen. Selbsterregte Schwingungen können nur angefacht werden, wenn zusätzlich zur Anströmung durch den Wind auch noch eine Eigenbewegung der Struktur stattfindet. Hierzu zählen Flattern, Galopping und Regen-Wind-induzierte Schwingungen. Böenerregung und Flattern sind eher für das Gesamttragwerk zu beachten und werden an dieser Stelle daher nicht weiter betrachtet.

Wirbelinduzierte Querschwingungen treten sowohl bei Rund- als auch bei Rechteckquerschnitten auf. Sie entstehen durch Wirbelablösung im Nachlauf eines angeströmten Körpers. Falls diese Ablösung periodisch auftritt, bildet sich infolge der resultierenden Druckänderung eine Kraftkomponente in Querrichtung der Anströmung.

Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der Karman'schen Wirbelstraße. Diese Kraft ist relativ klein, kann jedoch für den Fall, dass die Ablösefrequenz der Wirbel mit einer – in der Regel der ersten – Eigenfrequenz übereinstimmt, durch resonante Vergrößerung signifikante Amplituden hervorrufen.

Zu beachten ist eine Synchronisation zwischen Erreger- und Eigenfrequenz im Resonanzbereich, die als „lock-in“ oder Zieheffekt bezeichnet wird und zu einer deutlichen Aufweitung des kritischen Schwingungsbereiches über den eigentlichen Resonanzpeak hinaus führt. Dieses Phänomen lässt sich als dynamische Stabilität deuten, bei dem das schwingende System nach einer kleinen Änderung der Erregerfrequenz wieder in den stabilen Zustand der Resonanz zurückkehrt. Aufgrund der Dämpfung wird die Schwingung jedoch mit wachsender Amplitude zunehmend unterdrückt, sodass die maximalen Beanspruchungen meist deutlich unterhalb der statischen Beanspruchbarkeit liegen. Die Windgeschwindigkeiten, bei denen die (geschwindigkeitsproportionale) Wirbelablösefrequenz und die Eigenfrequenz zusammenfallen, sind aber vor allem bei langen Hängern niedrig und es besteht durch die hohen Lastwechselzahlen die Gefahr von Ermüdungsrissen in den am stärksten beanspruchten Konstruktionsteilen – den Hängeranschlüssen. Nach dem anzuwendenden Regelwerk des Brückenbaus DIN-Fachbericht 103, Anhang II-H [1], müssen die ermüdungsrelevanten Beanspruchungen infolge wirbelerregter Querschwingungen mit denen infolge Verkehrsbeanspruchung überlagert werden. Hierzu wird das gängige Verfahren der DIN 1055-4 [2] bzw. des ursprünglichen Leitfadens zum DIN-Fachbericht 103 der Bundesanstalt für Wasserbau [3] aufgegriffen, bei dem die Stabendmomente im Bereich der Hängeranschlüsse mittels einer statischen Ersatzlast ermittelt werden.

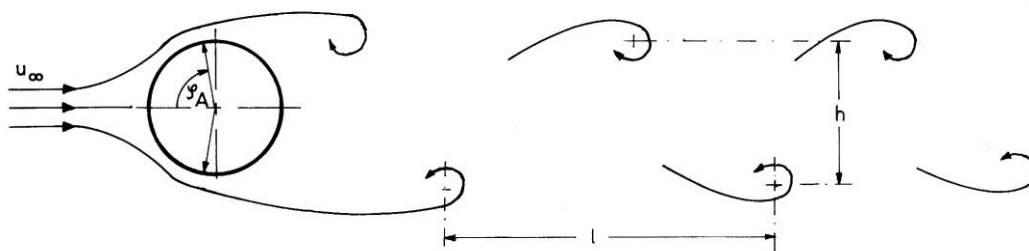


Abbildung 2: Prinzip der Wirbelerregung bei einem Kreisquerschnitt [4]

Rechteckquerschnitte können jedoch auch zu sogenannten Galoppingschwingungen angeregt werden. Hierbei handelt es sich um eine Schwingung mit einem Freiheitsgrad bei der sich Struktur und Strömung gegenseitig beeinflussen. Bei gedrungenen Querschnitten tritt Galopping als reine Biegeschwingung auf. Etwa ab einem Querschnittsverhältnis von 3:1 kommt es zu einem Auskippen des Querschnittes verbunden mit einer Torsionschwingung. Ursache des Galoppings ist das ungleichmäßige Ablösen der Strömung an der Ober- und Unterseite des Querschnittes, die entsteht, wenn ein Körper angeströmt wird und sich gleichzeitig in Bewegung befindet. Der resultierende schräge Strömungsvektor bewirkt über die ungleiche Druckverteilung auf der Ober- und Unterseite des Querschnittes eine Kraft quer zur Strömung. Diese Quertriebskraft wird auch als aerodynamische oder „negative“ Dämpfung bezeichnet, da die Strukturbewegung im Gegensatz zur eigentlichen „positiven“ Dämpfung schwingungsanfachend wirkt. Die Amplitude wächst so lange an, bis die elastischen Rückstellkräfte die schwingungsanfachende Kraft übersteigen. Dann kommt es zur Richtungsumkehr und der Vorgang wiederholt sich von Neuem. Das heißt, die aus struktureller und aerodynamischer Dämpfung zusammengesetzte Gesamtdämpfung muss ein negatives Vorzeichen haben, um Schwingungen anzufachen. Formuliert man diese Bedingung als Stabilitätskriterium, so erhält man eine Beziehung für die Einsetzgeschwindigkeit von Galopping-Schwingungen. Diese Formulierung wird auch für die Nachweisführung im Anhang II-H des DIN-Fachberichts 103 [1] aufgegriffen. Im Gegensatz zur Wirbelerregung ist die Schwingung nicht an eine Eigenfrequenz gebunden und es können sehr große Amplituden entstehen.

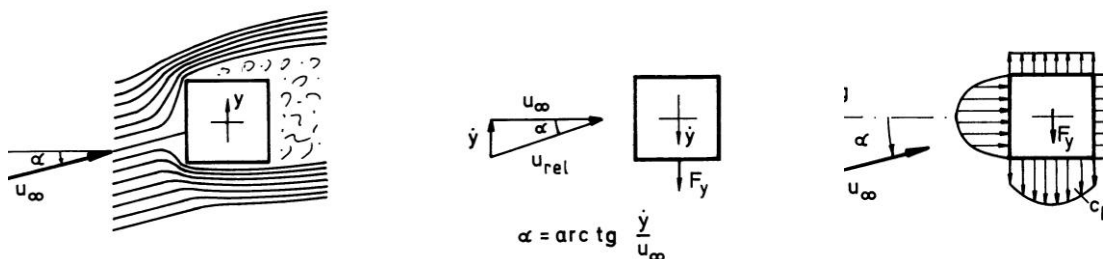


Abbildung 3: Anregungsmechanismus beim Galopping [4]

Einen Sonderfall der Galoppingschwingungen stellen die Regen-Wind-induzierten Schwingungen dar. Diese Schwingungen treten an geneigten Hängern oder Seilen kreisförmigen Querschnitts unter der gleichzeitigen Einwirkung von Regen und Wind auf und erzeugen dabei relativ große Amplituden.

Hierbei kommt es infolge von Rinnsalbildung auf der Oberfläche zur Entartung des eigentlich galoppingstabilen Rundquerschnitts. Die Schwingungen werden durch die Oszillation der Rinnsale um den Querschnitt zusätzlich angefacht. Der Anregungsmechanismus ist mittlerweile recht gut erforscht und die von Verwiebe getroffene Unterteilung in drei Anregungstypen [5] gilt als momentaner Stand der Kenntnis.

3 Windkanalversuche

Winderregte Schwingungen stellen ein komplexes Problem mit vielen Unbekannten und zu bestimmenden Randbedingungen dar. Geschlossene analytische oder numerische Lösungen sind daher ohne Untersuchungen im Windkanal heute kaum möglich. Im Folgenden soll über Windkanalversuche zur Untersuchung des Schwingungsverhaltens von Flachstahlhängern berichtet werden.

Die Untersuchungen wurden in der Peter-Behrens-Versuchshalle des Instituts für Bauingenieurwesen der TU Berlin durchgeführt. Zur Anwendung kommt ein Windkanal Eiffeler Bauart mit offener Luftführung und einer geschlossenen Messstrecke von etwa 7,50m Länge. Der Messquerschnitt beträgt 1,60m mal 1,00m in Breite und Höhe. Die maximale Anströmgeschwindigkeit beträgt etwa 35m/s. Der Kanal kann durch einfache Umbauten sowohl als Grenzschichtwindkanal als auch als „glatter“ Kanal mit laminarer Strömung betrieben werden.

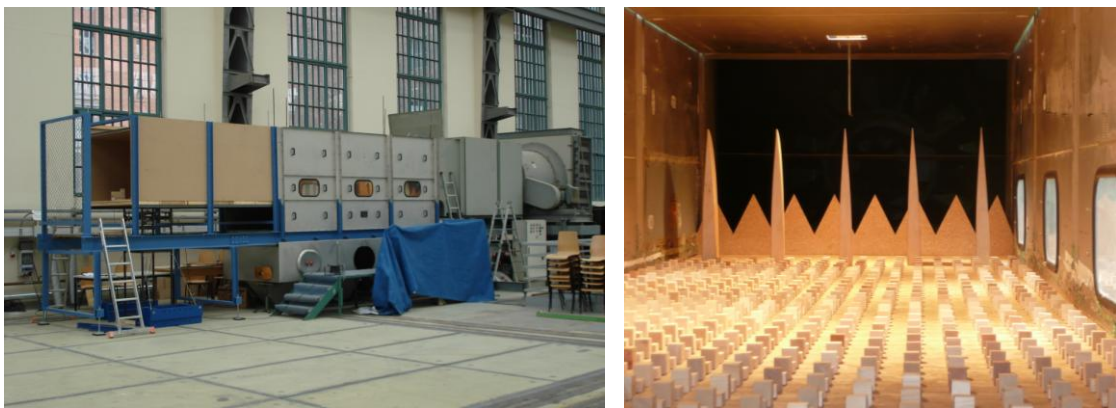


Abbildung 4: Windkanal FG Stahlbau der TU Berlin, links: Ansicht, rechts: Einbauelemente zur Grenzschicht-erzeugung

Die ersten wissenschaftlichen Arbeiten am Fachgebiet wurden in Form von Diplomarbeiten zu den Phänomenen der Regen-Wind induzierten Schwingungen an Zuggliedern [6] und winderregten Schwingungen allgemein [7] durchgeführt. Neben dem Beleuchten des theoretischen Hintergrundes wurden im Windkanal Untersuchungen an Abschnittsmodellen mit verschiedenen Querschnittsformen durchgeführt und ein Vergleich mit bestehenden Rechenmodellen gezogen. Insbesondere wurde der Einfluss der Dämpfung auf das Auftreten winderregter Schwingungen mit entsprechender statistischer Auswertung betrachtet [8].

Explizit wurde weiterhin der Einfluss des b/t - Verhältnisses auf das Querschwingungsverhalten von Bauteilen mit Rechteckquerschnitt, z. B. für Flachstahlhänger von Stabbogenbrücken, untersucht [9]. Das Entwurfskriterium, wonach ab einem b/t - Verhältnis von ca. 4:1 signifikante Querschwingungen um die schwache Achse nicht mehr auftreten, konnte dabei bestätigt werden.



Abbildung 5: Windkanalversuch mit Abschnittsmodell eines Brückenhängers

Aktuell werden Untersuchungen speziell zum Schwingungsverhalten langer Flachstahlhänger durchgeführt. Ziel ist es, einen genaueren Ansatz zur Berücksichtigung der Dämpfung zu finden und den Einfluss der Normalkräfte zu untersuchen.

4 Bauwerksmessungen

Für bestehende Bauwerke kann das Tragverhalten durch dynamische Messungen oft deutlich realitätsnäher als durch die Rechnung charakterisiert werden. Deshalb wurde beispielsweise für bestehende Eisenbahnbrücken in der Richtlinie 805 [10] für den Fall der rechnerisch zunächst nicht nachweisbaren Sicherheit die Nachweisstufe 4 „Rechnerischer Nachweis auf der Basis messtechnischer Untersuchungen“ eingeführt und ein entsprechendes Modul für die Anwendung messtechnischer Untersuchungen bereitgestellt. Dieses Modul 805.01.04 wurde durch aktuelle Untersuchungen weiter entwickelt und befindet sich derzeit in der bauaufsichtlichen Einführung. Messtechnische Bauwerksuntersuchungen sollten danach zum Beispiel durchgeführt werden (folgend Zitat aus der Vorschrift):

- „- wenn die theoretischen Last- und Modellannahmen insbesondere bei komplizierten statischen Systemen nicht verlässlich erscheinen,
- wenn bei der Nachrechnung bestehender Bauwerke keine ausreichende Tragsicherheit, Ermüdungssicherheit oder das geforderte Verhalten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden kann,
- zur Erfassung spezifischer Eigenschaften der Bauwerke, z. B. Eigenfrequenzen bzw. Dämpfungen von Hängern zur besseren Einschätzung von deren Windschwingungsanfälligkeit oder auftretender Einwirkungen (Temperaturen, Bremskräfte) und deren Abtragung im Bauwerk,
- zur Ermittlung der dynamischen Überhöhung bzw. der Resonanzgefahr von Tragwerken,
- im Rahmen von Probelastungen für Neubauten sowie für bestehende Bauwerke nach erfolgten Sanierungen / Verstärkungen zum Nachweis der Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen.“

Die messtechnischen Bauwerksuntersuchungen können für den Brückenbau prinzipiell unterschieden werden in

- Kurzzeitmessungen als Systemmessungen,
- Traglastversuche,
- Dauermessungen (Bauwerksmonitoring).

Damit wird für den Bereich des Eisenbahnbrückenbaus erstmalig die Anwendung des Bauwerksmonitorings in einer Vorschrift legitimiert.

Durch das Fachgebiet Stahlbau wurden in den letzten Jahren zahlreiche Schwingungsmessungen an den Hängern ausgeführter Stab- und Netzwerkbogenbrücken durchgeführt bzw. ausgewertet, siehe z. B. [11], [12]. Mit den Schwingungsmessungen können mehrere Ziele verfolgt werden. Zum einen werden mit Kurzzeitmessungen die Eigenformen der Hänger mit den Eigenfrequenzen und den zugehörigen Dämpfungswerten bestimmt. Die Eigenfrequenzen lassen sich zwar auch analytisch ermitteln, indem der Hänger als schwingende Saite betrachtet wird. Jedoch birgt diese Methode gewisse Unsicherheiten hinsichtlich der Systemwahl, insbesondere wegen des Einspanngrades in den Anschlussbereichen.

In der Regel ergibt sich jedoch eine gute Übereinstimmung zwischen rechnerisch und messtechnisch ermittelten Eigenfrequenzen. Die Dämpfung birgt hingegen ein großes Fehlerpotenzial, da sie nur auf Grundlage von Erfahrungswerten ermittelt werden kann. Beschrieben wird sie in der Regel durch das logarithmische Dämpfungsdekrement, das heißt das logarithmisch skalierte Verhältnis aufeinander folgender Schwingungsamplituden. Der DIN-Fachbericht 103 [1] erlaubt den Ansatz einer Mindestdämpfung von 1,5%. Nicht selten wird bei Messungen aber selbst dieser geringe Wert nicht erreicht.

Zum zweiten können durch Dauermessungen genaue Beanspruchungskollektive für die Nachweise der Ermüdungssicherheit oder der Tragfähigkeit ermittelt werden. Der Zeitraum für diese Messungen muss so gewählt werden, dass der Einfluss jahreszeitlicher Schwankungen in den Windereignissen möglichst gering bleibt. Damit ergibt sich ein Messzeitraum von mindestens 3 Monaten. Drittens kann durch Messungen die Wirksamkeit ausgeführter Maßnahmen zur Schwingungsabwehr wie beispielsweise Seilverspannungen nachgewiesen werden.

Bei Kurzzeitmessungen zur Ermittlung der dynamischen Eigenschaften wird der Hänger in Schwingung versetzt. Bei entsprechender Weichheit lassen sich Schwingungen in der ersten Eigenform gut anregen. Das Frequenzspektrum zeigt dann einen deutlichen Peak in der angeregten Eigenform und aus der Abklingkurve können Eigenfrequenz und Dämpfung direkt abgeleitet werden. Im Regelfall kann die Schwingung aber nur breitbandig erregt werden, beispielsweise durch Anschlagen mit einem Gummihammer. Das Frequenzspektrum zeigt dann viele Peaks. Neben den Eigenformen des Hängers können dabei auch solche der angrenzenden Bauteile mit

schwacher Intensität angeregt werden. In diesem Fall wird durch Fast Fourier Transformation (FFT) das Frequenzspektrum gebildet und die einzelnen Schwingungsanteile durch Bandpassfilterung voneinander getrennt. Besondere Aufmerksamkeit muss auf die Zuordnung der einzelnen Eigenfrequenzen gelegt werden. Neben der Intensität der Peaks ist hier auch der Vergleich mit den rechnerischen Eigenfrequenzen hilfreich. Aus den gefilterten Kurven kann dann das logarithmische Dämpfungsdekrement abgeleitet werden. Hier ist gegebenenfalls zwischen der tatsächlichen Dämpfung und der Kurzzeitdämpfung zu unterscheiden. Dabei kommt es zu einem Energieaustausch zwischen benachbarten Bauteilen, der sogenannten Schwebung. Nur die tatsächliche Dämpfung liefert eine Aussage über das Dissipationsvermögen der Konstruktion, das heißt die Umwandlung der Schwingungsenergie in Wärme. Abb. 6 zeigt exemplarisch die Vorgehensweise bei der Auswertung anhand von Messungen an der Eisenbahnüberführung über die Oder in Frankfurt.

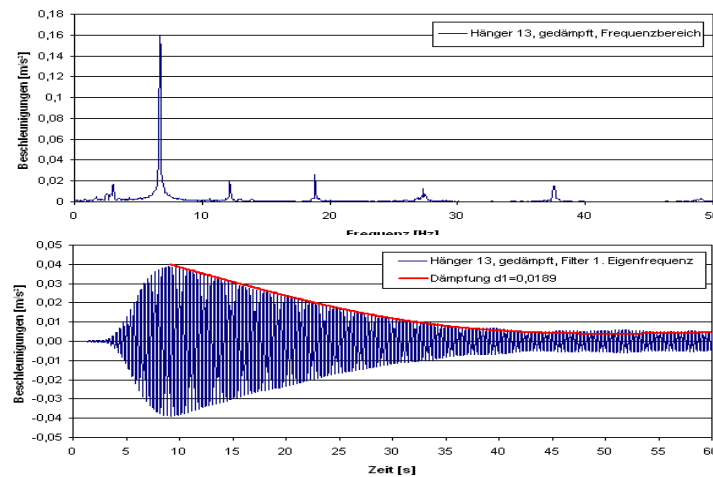


Abbildung 6: Schwingungsmessungen: oben: Darstellung im Frequenzbereich, unten: herausgefilterte 1. Eigenfrequenz mit Abklingkurve (Dämpfung)

An den bis zu 25 Meter langen schrägen Hängern der als Netzwerkbogen ausgeführten zweigleisigen Eisenbahnbrücke über die Oder wurde eine Seilverspannung zur Dämpfung zuvor aufgetretener wirbelerregter Querschwingungen ausgeführt. In Abb. 7 ist zu erkennen, wie wirkungsvoll eine Seilverspannung in der Hängerebene sein kann. Das Dämpfungsdekrement steigt etwa auf den zehnfachen Wert an.

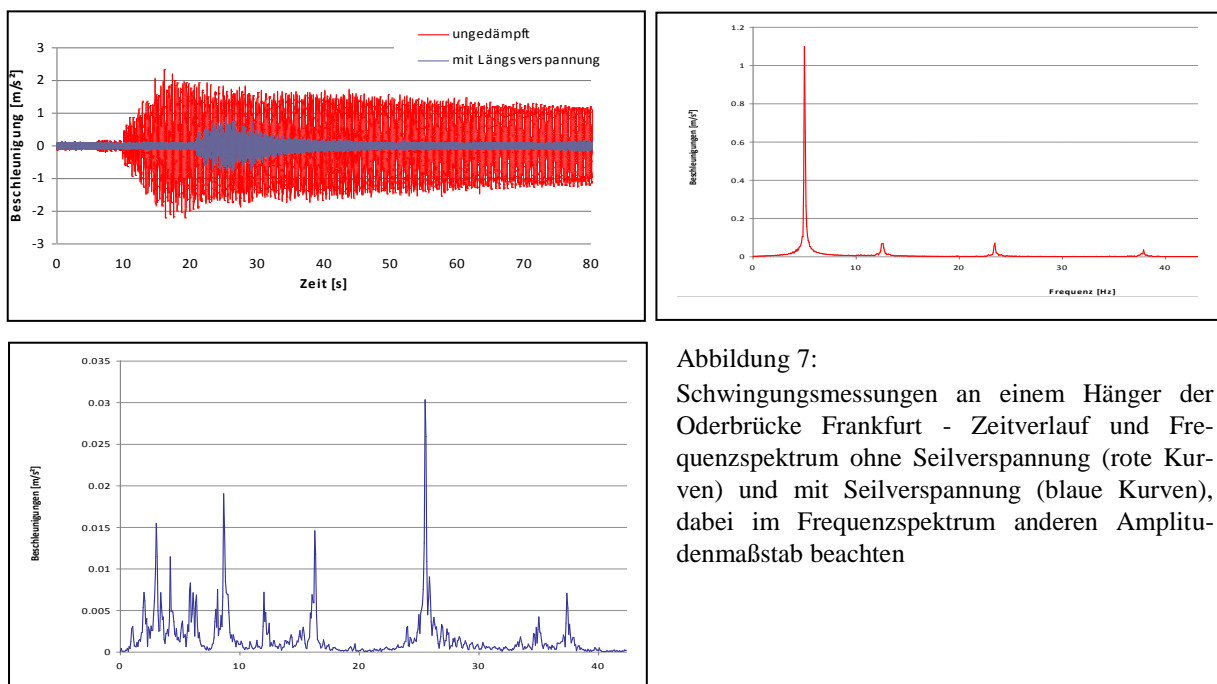


Abbildung 7: Schwingungsmessungen an einem Hänger der Oderbrücke Frankfurt - Zeitverlauf und Frequenzspektrum ohne Seilverspannung (rote Kurven) und mit Seilverspannung (blaue Kurven), dabei im Frequenzspektrum anderen Amplitudenmaßstab beachten

5 Schwingungsreduzierende Maßnahmen

Durch die zuvor beschriebenen Windkanalversuche und Bauwerksmessungen können die Erkenntnisse aus der Schwingungstheorie im Wesentlichen bestätigt werden. Insbesondere lange Hänger sind anfällig sowohl für wirbelerregte Querschwingungen als auch für Torsionsgalopping. Die Ursachen der Schwingungen liegen wie beschrieben in den relativ niedrigen Eigenfrequenzen und der für Stahlbaukonstruktionen typischen sehr niedrigen Dämpfung. Durch Änderungen der Konstruktion lassen sich höhere Steifigkeiten und damit auch höhere Eigenfrequenzen erzielen. Derartige Maßnahmen sind aber unwirtschaftlich, da sie zu deutlichen Überdimensionierungen der Bauteile führen. Wesentlich wirkungsvoller ist eine Erhöhung der Dämpfung, das heißt eine gezielte Umwandlung der mechanischen Schwingungsenergie in Wärme. Für die hier betrachteten Brückenhänger lässt sich dieses Ziel vor allem durch die folgenden drei Methoden erreichen:

- Einbau von Schwingungsdämpfern,
- Einbau von Seilverspannungen oder
- Variationen in der Hängeranschlusskonstruktion.

Weiterhin ist auch die Verwendung von Litzenseilen mit den entsprechend besseren Dämpfungseigenschaften im Seil selbst zumindest bedenkenswert.

Der Einbau von Schwingungsdämpfern, auch als Dämpfertöpfe bezeichnet, stellt eine wirkungsvolle Methode zur Schwingungsreduzierung dar. Die Funktionsweise entspricht einer Zusatzmasse, die an das Bauteil federelastisch angekoppelt wird und einem zwischengeschalteten Dämpferelement. Die Dämpfung wird dabei beispielsweise durch Reibung in einer viskosen Flüssigkeit oder einem trockenen Korngemisch realisiert.

Die Dämpfer werden im Regelfall auf der freien Hängertlänge im Bereich der Schwingungsmaxima angebracht. Bei langen Hängern sind deshalb manchmal sogar zwei oder mehr Dämpferelemente erforderlich, um auch höhere Eigenformen wirkungsvoll bedämpfen zu können. Nachteilig an dieser Methode ist neben den hohen Herstellungskosten der relativ hohe Aufwand für Installation und Wartung. Auch können die derart ertüchtigten Bauwerke ästhetisch nicht immer voll zufriedenstellen.



Abbildung 8: Dämpfer an den Rundstahlhängern der Brücke über den Britzer Verbindungskanal in Berlin

Die Seilverspannung ist ein vielfach erprobtes und bewährtes Verfahren, um unerwartet aufgetretene Schwingungen schnell und wirkungsvoll zu reduzieren. Die Funktionsweise entspricht einer Verstimmung des Systems durch Kopplung der Hänger in der Hauptträgerebene. Dabei kommt es jedoch im eigentlichen Sinne kaum zu einer Verstimmung der Eigenfrequenzen, da die Steifigkeit der Verspannung klein gegenüber den Hängersteifigkeiten bleibt. Vielmehr kommt es zur Verteilung der Schwingungsenergie auf mehrere Hänger. Da benachbarte Hänger in der Regel unterschiedliche Längen und damit auch unterschiedliche Eigenfrequenzen besitzen, werden sie nicht bei derselben Windgeschwindigkeit zu Schwingungen angeregt. Der nicht angeregte Hänger wirkt also wie ein angekoppeltes Dämpferelement.

Im Regelfall ist die Seilverspannung in der Bogenebene ausreichend, da bei den üblichen Hängerabmessungen und der Orientierung der starken Querschnittsachse in Brückenlängsrichtung signifikante Schwingungen vor allem in dieser Ebene stattfinden.

Die Seile sind so anzuordnen, dass alle kritischen Eigenformen wirkungsvoll gedämpft werden können. Das bedeutet beispielsweise, dass eine Seillage in Hängermittte wirkungslos gegenüber Schwingungen in der zweiten Eigenform ist, da diese genau hier ihren Schwingungsknoten haben. Insbesondere bei großen Brücken mit entsprechend langen Hängern und niedrigen Eigenfrequenzen sind daher häufig zwei Seillagen erforderlich.



Abbildung 9: Detail der Seilverspannung an den Hängern des Netzwerkbogens EÜ Rosenbachtal

Eine Verspannung in Brückenquerrichtung hingegen ist schwieriger einzubauen bzw. teilweise gar nicht möglich. Ist bei sehr langen Brückenhängern mit dem Auftreten von Torsionsgalopping zu rechnen, muss die Verspannung in Längsrichtung so geführt werden, dass auch bei einer Querschnittsverdrehung Rückstellkräfte und damit Dämpfung aktiviert werden.

Dies lässt sich beispielsweise durch - in Brückenquerrichtung betrachtet - exzentrische Anschlüsse der Spannseile an die Hänger bewerkstelligen. Da die Verspannungen immer mit sehr dünnen Seilen realisiert werden, sind die optischen Beeinträchtigungen nicht sehr groß, s. beispielsweise Abb. 10.



Abbildung 10: Eisenbahnbrücke über den Mittellandkanal als Netzwerkbogen (Florabrücke), die Elemente an den Hängern kennzeichnen die Führung der Seilverspannung

Bei Netzwerkbogenbrücken kann alternativ auch eine direkte Kopplung der Hänger in den Kreuzungspunkten durch spezielle Verbindungselemente erfolgen, s. Abb. 11.



Abbildung 11: Mögliche Lösung zur direkten Kopplung der schrägen Hänger beim Netzwerkbogen mit Elastomerelementen

In den letzten Jahrzehnten wurden Hängeranschlüsse in Deutschland fast ausschließlich als geschweißte Konstruktionen ausgeführt. Der Anschluss erfolgt am Versteifungsträger im Regelfall an das durch den Obergurt geführte Stegblech und am Bogen über ein Querschott. Diese Variante ist durch eine sehr geringe Dämpfung gekennzeichnet, da innerhalb der Konstruktion kaum Reibung auftritt. Früher wurden Hängeranschlüsse häufig auch als geschraubter Zuglaschenstoß ausgeführt. Durch die geschraubten Anschlüsse ist deutlich mehr Dämpfung aktivierbar. In den alten Richtzeichnungen der Deutschen Bundesbahn fanden sich beide Varianten gleichberechtigt nebeneinander. Im Berliner Raum wurden in den letzten 10 Jahren noch mindestens vier Eisenbahnüberführungen mit geschraubten Hängeranschlüssen ausgeführt, s. beispielsweise Abb. 12. Im angelsächsischen Raum stellt diese Variante sogar die häufigere Ausführung dar. Deshalb wurden beide Anschlussvarianten hinsichtlich verschiedener Kriterien, darunter Ermüdung, Dämpfung, Montage und Dauerhaftigkeit, systematisch miteinander verglichen [12]. Eindeutige Vorteile für eine der beiden Varianten lassen sich nicht feststellen.



Abbildung 12: Hängeranschlusskonstruktionen - links: geschweißt (EÜ Teltowkanal Berlin), rechts: geschraubt (EÜ Berliner Straße Berlin)

6 Zusammenfassung

Unter einer ermüdungsgerechten Konstruktion versteht man eine Konstruktion mit ausreichender Toleranz gegenüber Wechselbeanspruchungen infolge Verkehrslasten mit hohen Lastspielzahlen. Auf der Basis langjähriger Erfahrungen werden die Brücken entsprechend bemessen.

Winderregte Schwingungen, die insbesondere für schlanke Einzelbauteile gleichfalls zu ermüdungsrelevanten Beanspruchungen führen können, sind in diesen Grundsatz einzubeziehen. Allerdings hängen die infolge Wind resultierenden Beanspruchungen stark von der aktivierten Dämpfung für das Bauteil ab. Die Anschlusskonstruktionen für die Hänger sollten also im Optimum sowohl kerbarm als auch dämpfungswirksam ausgebildet sein.

7 Literatur

- [1] DIN-Fachbericht 103 – Stahlbrücken, Beuth-Verlag Berlin, 2009
- [2] DIN 1055-4 – Einwirkungen auf Tragwerke – Windlasten, Beuth-Verlag Berlin, 2005
- [3] Leitfaden zum Anhang II-H Hänger von Stabbogenbrücken des DIN-Fachberichts 103: Schwingungsanfällige Zugglieder im Brückenbau. BAW 2007
- [4] Ruscheweyh, H.: Dynamische Windwirkungen an Bauwerken, Bd. 2 Praktische Anwendungen, Bauverlag Wiesbaden, 1982
- [5] Verwiebe, C.: Neue Erkenntnisse über den Erregermechanismus Regen-Wind induzierter Schwingungen, Stahlbau 65 (1996), S. 547-550
- [6] Brendike, A.: Überprüfung des Schwingungsverhaltens von Zuggliedern in Bauwerken unter Anregung durch Regen und Wind. Diplomarbeit Technische Universität Berlin, 2005
- [7] Stichnoth, F.: Ermittlung der dynamischen Effekte winderregter Schwingungen durch Vergleich von Theorie und Versuch. Diplomarbeit Technische Universität Berlin, 2006
- [8] Mager, M.: Dynamik winderregter Schwingungen unter Berücksichtigung der Dämpfung. Diplomarbeit Technische Universität Berlin, 2006
- [9] Schlagowsky, B.: Windkanaluntersuchungen zum Schwingungsverhalten stabförmiger Bauteile mit verschiedenen Querschnitten. Diplomarbeit Technische Universität Berlin, 2007
- [10] Richtlinie 805 – Bewertung bestehender Eisenbahnbrücken Modulfamilie 805: Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken, DB AG, 2007
- [11] Seffen, B.: Schwingungsmessungen an den Hängern von Stabbogenbrücken, Bachelorarbeit Technische Universität Berlin, 2009
- [12] Dittmann, R.: Anschlussmöglichkeiten der Hänger von Stabbogenbrücken, Diplomarbeit Technische Universität Berlin, 2010