

Ermüdungs- und verschleißfreie Schwingungs- dämpfer für die Hongkong-Zhuhai-Macau-Brücke

Laminare Strömungen strapazieren die 35 km lange Brücke über das Perflussdelta.

Zhuhai, München. Von Hongkong aus entsteht derzeit die 35 km lange Hongkong-Zhuhai-Macau-Brücke über das Perflussdelta. Die Stahldecks sind laminaren Strömungen durch Wind ausgesetzt, die die Eigenfrequenz der Brücke anregen und so zu gefährlichen Schwingungen führen können. MAURER entwickelte zur Bedämpfung ein dauerhaft ermüdungs- und verschleißfreies TMD-System (Tuned Mass Dampers), das vor Ort auf die tatsächlichen Frequenzen angepasst wird. Besondere Herausforderungen waren die niedrigen Frequenzen bis 0,33 Hz, die reibungsfreie vertikale Führung großer Massen bis zu 6.250 kg und das beengte Raumangebot in den Brückendecks.

Die Hongkong-Zhuhai-Macau-Brücke (HZMB) entsteht derzeit als Straßenverbindung mit je drei Spuren in jede Richtung zwischen Hongkong, Zhuhai und Macau. Die Brücke über das Perflussdelta ist 35 km lang. 2009 war die Grundsteinlegung, die Eröffnung ist für 2017 geplant.

Laminare Strömungen in exponierter Lage

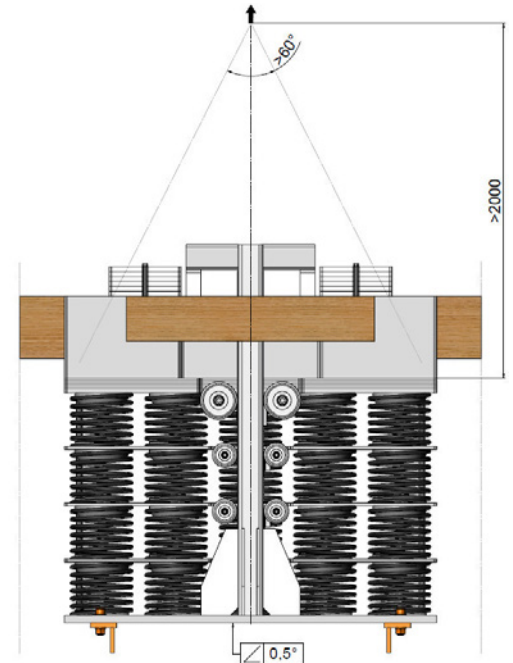
Die Brücke muss wegen ihrer exponierten Lage bedämpft werden. Über das Perflussdelta streichen regelmäßig mehr oder weniger starke laminare Windströmungen. Durch pulsierenden Strömungsabriss am Brückendeck kann es zu ernsthaften vertikalen Vibrationen der Fahrbahn kommen. Da einige Stahlbaubrücken über wenig Eigendämpfung verfügen, müssen die betroffenen Brückenabschnitte bedämpft werden.

Drei Herausforderungen

Die Planer entschieden sich für eine Ausstattung mit passiven Schwingungsdämpfern (Tuned Mass Dampers, TMD). Sie müssen drei Anforderungen erfüllen:

- Vertikale Schwingungen verringern,
- das Bauwerk insgesamt dämpfen bzw. beruhigen und
- sich in die limitierte Geometrie des Stahlbrückendecks einfügen.

Eine spezielle Herausforderung war dabei, TMD-Systeme zu entwickeln, die einerseits auf die niedrige Frequenz von 0,33 Hz reagieren und andererseits die TMD-Masse um bis zu ± 350 mm schwingen lassen. Hier kam MAURER seine Erfahrung vom Wolgograd-Projekt zugute. Die als „tanzende Brücke“ bekannte Stahlkonstruktion musste nach Inbetriebnahme unter extrem beengten Raumverhältnissen nachträglich bedämpft werden.



Darstellung der größten Schwingungsdämpfer für die Jianghai Navigation Bridge mit ihrer niedrigen Frequenz von 0,33 Hz. Die ungespannte Federnlänge beträgt 4.000 mm, gedrückt sind sie nur noch 960 mm hoch. Die Gesamtmaße bei vollem vertikalen Ausschlag: 1.500 x 1.730 x 1.880 mm.

Grafik: MAURER

Kontakt für die Presse

MAURER AG

Judith Klein

Leitung Marketing & Kommunikation
Frankfurter Ring 193, 80807 München
Telefon + 49.89.323 94-159
Telefax + 49.89.323 94-306
klein@maurer-soehne.de, www.maurer.eu

In der Summe beruhigen die Dämpfer das Brückendeck, was Ermüdungserscheinungen vorbeugt und die Lebensdauer der Brücke erhöht. Mit Blick auf die Gesamtbaukosten sind Dämpfer ökonomischer als bauliche Aussteifungen.

Entwicklung auf Maß

MAURER entwickelte für diverse Brückenabschnitte des „Deep Water Viaduct“ und der „Jianghai Bridge“ insgesamt 96 TMDs, passgenau für die jeweiligen Abschnitte. Die Schwingungen reichen von 0,33 bis 0,806 Hz und die Massen von 3.000 bis 6.250 kg, die mit Amplituden von 280 bis 350 mm schwingen.

Alle TMDs mussten so ausgelegt werden, dass sie in einen Raum von 1.500x2.000x3.500 mm passten. Zudem mussten einige in Teilen konfektioniert werden, damit sie durch die Wartungsöffnungen der bereits fertiggestellten Brückendecks transportiert und innen montiert werden konnten.

Jianghai Brücke

Ein Kernstück ist die Jianghai Brücke, eine 700 m lange Schrägseilbrücke mit zwei Hauptspanweiten von 258 m. Sie barg die größten Herausforderungen, weil dort die größten TMDs (6.250 kg) mit der niedrigsten Schwingung (0,332 Hz), also dem weichsten und damit größten Federsystem, unterzubringen waren. Zudem müssen zwei Modi bedämpft werden, weshalb hier je zwei TMDs für jede Schwingform dort platziert werden müssen, wo deren Amplitude am größten ist.

Die Abschnitte des Deep Water Viaduct sind 660, 550 oder 440 m lang und mittels Auflagern in jeweils 110 m lange Sektionen unterteilt. Die Dämpfer wurden jeweils in der Mitte dieser Sektionen eingebaut, am Ort der maximalen Schwingungsamplitude.

Auslegung der TMD-Komponenten

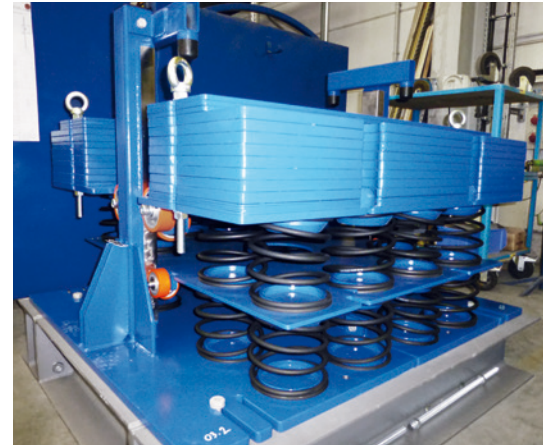
Grundsätzlich bestehen die TMDs aus Masse, Federn, Führungssystem, Rotationsdämpfereinheit und Basisplatte. Eine Besonderheit ist, dass die Massen nicht an Zugfedern hängen, sondern auf mehreren Druckfedern stehen. Dieses Konstruktionsprinzip reduziert deutlich die Höhe des Masse-Feder-Pakets, so dass jetzt auch die größten TMD-Systeme an der Jianghai-Brücke in den Querschnitt der Brücke passen. Hängende Federn hätten zudem den Nachteil, dass sie beim Schwingen Wechsellastungen ausgesetzt sind, was Ermüdungseffekte begünstigt und die Lebensdauer verkürzt.

Kontakt für die Presse

MAURER AG

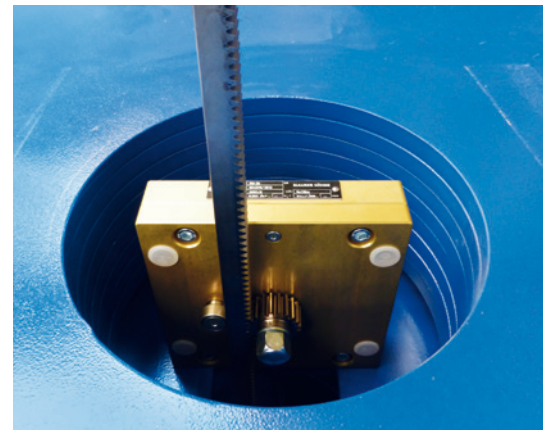
Judith Klein

Leitung Marketing & Kommunikation
 Frankfurter Ring 193, 80807 München
 Telefon +49.89.323 94-159
 Telefax +49.89.323 94-306
 klein@maurer-soehne.de, www.maurer.eu



Die Hälfte der Federn haben eine Links-, die anderen eine Rechtswindung: Das verhindert Dreheffekte in der Auf- und Ab-Bewegung der Masse.

Foto: MAURER



Rotationsdämpfereinheit im Schwingungsdämpfer mit Zahnstange.

Foto: MAURER

Ermüdungsfreies Federsystem

Die Spiralstahlfedern bestehen aus 54SiCr6 (EN10089). Das Material gilt als extrem elastisch und ermüdungsresistent und wurde mit einem speziellen Korrosionsschutzsystem ausgestattet. Die Federn wurden intensiv getestet. Die Federkräfte zeigten nach dem Test nur extrem kleine Abweichungen, d.h. die Federparameter blieben unverändert. Deshalb können die Federn als praktisch ermüdungsfrei gelten.

Um Dreheffekte in der Auf- und Ab-Bewegung der Masse zu verhindern, haben die Hälfte der Federn eine Links-, die anderen eine Rechtswindung.

Vertikales Masse-Führungssystem

Für eine perfekt-vertikale TMD-Masse-Bewegung wurde ein reibungsfreies Führungssystem für alle Schwingungsdämpfer entwickelt. Die niedrigste Frequenz der Jianghai-Brücke (0,33 Hz) erforderte für die ungespannten TMD-Federn eine Ausgangshöhe von etwa 4.000mm(!). Unter dem Eigengewicht der TMD-Masse werden die Federn bis auf 960mm zusammengedrückt – eine enorme Herausforderung. Deshalb wurde jede Feder in vier Einheiten geteilt, die übereinander stehen. Zwischen die Einheiten wurden Querplatten eingefügt, die seitlich mit PE-Rollen mit hochpräzisen Kugellagern an vertikalen Schienen auf rostfreiem Stahl entlanggeführt werden. Das minimiert die Reibung und stabilisiert die Federn gegen Knicken.

Feinabstimmung der TMDs

Trotz numerisch hochgenauer dynamischer Schwingungsberechnungen, können die tatsächlichen Brückendeckschwingungen von den Berechnungen abweichen. Daher kann die TMD-Frequenz vor Ort auf zwei Wegen angepasst werden.

- Zusätzliche Tuning-Federn erlauben eine Nachjustierung um $\pm 12\%$.
- Die Dämpfermasse kann um bis 6% vergrößert oder verkleinert werden, was ca. $\pm 3\%$ Frequenzanpassung bedeutet.

Rotationsdämpfereinheit

Die Dämpfung bzw. Amplitudenreduzierung der TMD-Masse auf max. ± 350 mm erfolgt über spezielle Rotationsdämpfer. Sie bestehen hauptsächlich aus einer Scheibe, die sich in Hydrauliköl dreht. Die Dämpfungseffekte entstehen infolge der Scherkräfte zwischen rotierender Scheibe, Öl und Gehäuse.

Kontakt für die Presse

MAURER AG

Judith Klein

Leitung Marketing & Kommunikation
Frankfurter Ring 193, 80807 München
Telefon +49.89.323 94-159
Telefax +49.89.323 94-306
klein@maurer-soehne.de, www.maurer.eu



Test eines originalen Schwingungsdämpfers für das am Deep Water Viaduct im Testlabor in Wuhan. Er zeigte exakt das geforderte Frequenz- ($\pm 1\%$) und Dämpfungsverhalten ($\pm 10\%$).

Foto: MAURER

Die Rotation wird durch ein Zahnrad erzeugt, das über eine vertikale Zahnstange mit der TMD-Masse verbunden ist. Die Dämpfereinheiten wurden für Temperaturen von -10, 20 und 60 °C getestet, wobei es keinen nennenswerten Kennwertschwankungen gab.

Tests der kompletten Schwingungsdämpfer

Ein originaler Schwingungsdämpfer, wie dieser auch später am Deep Water Viaduct zum Einsatz kommt, wurde im Testlabor in Wuhan erfolgreich getestet. Der TMD zeigte exakt das geforderte Frequenz- ($\pm 1\%$) und Dämpfungsverhalten ($\pm 10\%$).

Die Stahlplatten für die Massen der TMDs wurden aus Kosten- und Logistikgründen in China hergestellt, MAURER lieferte das Design, die Bodenplatte, das Führungssystem, die Federpakete und die Dämpfer. Im Mai 2016 waren fast alle TMDs eingebaut. Das Tuning soll im Herbst 2016 erfolgen.

Text: 7.188 Anschläge

Kontakt für die Presse

MAURER AG

Judith Klein

Leitung Marketing & Kommunikation
Frankfurter Ring 193, 80807 München

Telefon + 49.89.323 94-159

Telefax + 49.89.323 94-306

klein@maurer-soehne.de, www.maurer.eu

Kurzinfo MAURER AG

Die MAURER Gruppe ist ein führender Spezialist im Maschinen- und Stahlbau mit weltweit über 1.000 Mitarbeitern. Das Unternehmen ist Marktführer im Bereich Bauwerksschutzsysteme (Brückenlager, Fahrbahnübergänge, Erdbebenvorrichtungen). Es entwickelt und fertigt darüber hinaus professionelle Achterbahnen und Riesenräder sowie Sonderkonstruktionen im Stahlbau.

Zu den erwähnenswerten Großprojekten gehört die gesamte brückentechnische Ausrüstung der Russki Brücke in Wladiwostok, der weltweit größten Schrägseilbrücke. Im Stahlbau zählen die BMW Welt und das Flughafen-terminal II in München zu den Vorzeigeobjekten. Spektakuläre Fahrgeschäfte sind z. B. die Rip-Ride-Rocket-Achterbahn in den Universal Studios Orlando, Dragon Legend, der erste Green Coaster im Romon U-Park in Ningbo China, und der Fiorano GT Challenge in Abu Dhabi.

Kontakt für die Presse**MAURER AG****Judith Klein**Leitung Marketing & Kommunikation
Frankfurter Ring 193, 80807 München

Telefon + 49.89.323 94-159

Telefax + 49.89.323 94-306

klein@maurer-soehne.de, www.maurer.eu