

DIPL.-ING. J.-W. MORTELL

Prüfingenieur für Baustatik
Fachrichtung Stahlbau BauPrüfVO

Staatl. anerkannter Sachverständiger
für die Prüfung der Standsicherheit
Fachrichtung Metallbau

Beratender Ingenieur IK Bau NRW

Von der IHK Ruhr zu Essen
öffentlich bestellt und vereidigter
Sachverständiger für Stahlbau

Dipl.-Ing. Mortell, Sollinger Str. 16a, 45481 Mülheim an der Ruhr

Stadt Mülheim an der Ruhr Tiefbauamt
Abteilung Brücken- und Ingenieurbau
Herrn Grunert
Hans-Böckler-Platz 5
45468 Mülheim an der Ruhr

Sollinger Str. 16a
45481 MÜLHEIM AN DER RUHR
Telefon (0208) 47 10 14
Telefax (0208) 47 89 18

Internet www.mortell-ing.de
eMail info@mortell-ing.de

Datum 20.11.14/Sto
Bearbeiter Herr Mortell
Direktwahl 0208/59025-75

**13 G 12-02: Gutachterliche Begleitung der Einrichtung eines
Monitoring-Systems an der Brücke Hauskampstraße
in Mülheim an der Ruhr
hier: Auswertung der Monitoring-Ergebnisse**

1. Einführung und Beschreibung der Maßnahme

Die Brücke Hauskampstraße in Mülheim/Ruhr ist auf 30 t zul. Fahrzeuggesamtgewicht beschränkt. Durch die gleichzeitige Beschränkung der benachbarten Thyssenbrücke auf 7,5 t wird die Brücke Hauskampstraße auch von Schwerlastfahrzeugen als Ausweichroute befahren. Das Ziel der nachfolgend beschriebenen Untersuchung ist es, zu ermitteln, ob hierdurch die Standsicherheit der Brücke Hauskampstraße beeinträchtigt ist (z.B. durch Überbeanspruchung).

Im April 2014 wurde daher an der Brücke Hauskampstraße durch die TÜV Rheinland IGA Bautechnik GmbH ein Monitoring-System zur Brückenüberwachung installiert. Hierzu wurden an insgesamt vier vorher bezeichneten Stellen Messpunkte eingerichtet, die die Dehnung bzw. die Temperatur aufnehmen. Die Funktion und die genaue Lage der einzelnen Messpunkte ist den Berichten des TÜV Rheinland zu entnehmen.

Die Dauer der Überwachung ist zunächst für sechs Monate vorgesehen (Mai bis Oktober 2014).

2. Beschreibung der Messpunkte

Als geeignete Messstellen wurde im Vorfeld die in Richtung Widerlager West aufgezogene Diagonale des Hauptfachwerkes in Brückenmitte sowie die Nebenträger unterhalb der Fahrbahnplatte ausgewählt, da es sich um die rechnerisch am höchsten ausgenutzten Bauteile handelt.

Die Messpunkte MP1 - MP4 liegen in beiden Hauptträgern jeweils am gehwegseitigen Profil des aufgelösten Querschnittes (hier: Doppel-U-Profil mit Spreizung und Bindeblechen (Rücken nach außen)).

In Zuge der Verstärkung der Brücke Hauskampstraße in 1991 durch Einbau einer zusätzlichen Stützung in Brückenmitte musste diese Diagonale (nunmehr druckbeansprucht) verstärkt werden. Hierzu wurde an die Rücken beider U-Profile jeweils ein Flachstahl hinzugefügt und bis in die Knotenbleche geführt.

Die Messpunkte liegen jeweils im gehwegseitigen Profil innen und außen, d.h. es liegt je ein Messpunkt am U-Profil bzw. an der Verstärkungslasche. Auf diese Weise kann gleichzeitig überprüft werden, in welchem Umfang sich der zusätzliche Querschnitt an der Lastabtragung beteiligt.

Die Messpunkte MP5 - MP10 liegen unterhalb der Fahrbahnplatte an den Nebenträgern U400, hier jeweils an den Ober- und Untergurten des Profils, um die vorhergesagte Biegebeanspruchung ausmessen zu können.

Die Ergebnisse liegen in Form von Kurven vor (Verlauf der Dehnungen bzw. der Temperatur über die Zeit). Weitere bereits rechnerisch bearbeitete Ergebniskurven zeigen zeitabhängig absolute und auch bereits um den Temperatureinfluss bereinigte Spannungswerte.

Die Messergebnisse wurden seitens des Unterzeichners durch Vergleich mit der vorliegenden Bestandsstatik sowie mit eigenen Vergleichsrechnungen ausgewertet und auf Plausibilität geprüft.

Unter Berücksichtigung der Ablesungenauigkeit in den Tabellen sind die gemessenen Werte nachvollziehbar.

3. Auswertung der Messpunkte MP1 - MP4 (Diagonale Hauptfachwerk)

Die Messwerte in den Messpunkten MP1/MP2 bzw. MP3/MP4 sind bei fahrzeugüberfahren annähernd deckungsgleich. Dies bedeutet, dass auch die Spannungsverteilung im zusammengesetzten Querschnitt (hier: verstärkter Querschnitt bestehend aus U400 und Flachstahlergänzung)

gleichmäßig ist. Dieses Ergebnis bestätigt die erwartete und ordnungsgemäße Funktionalität der Verstärkung.

Bei Fahrzeugüberfahrten treten vornehmlich Druckspannungen auf. Auch dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen und stimmt insofern mit der statischen Berechnung überein.

Die Auswertung der Messergebnisse für die Diagonalen am Mittelaufleger bestätigt zunächst nur, dass die aus den Messwerten errechnete Beanspruchung der Diagonale geringer ist als nach statischer Berechnung unter Vollast erwartet.

Eine genauere Bewertung ist mit den vorliegenden Messergebnissen nicht möglich, da die gemessenen Werte nicht direkt einer definierten Lastannahme zugeordnet werden können, mit der dann eine rechnerische Überprüfung möglich wäre.

Für die quantitative Verifizierung der Annahmen ist eine Ausweitung des Messprogramms in Verbindung mit einer rechnerischen Modellierung des Gesamtsystems unter Berücksichtigung der Steifigkeit der Stahlbetondecke erforderlich.

4. Auswertung der Messpunkte MP5 - MP10 (U400)

An den Kabinenlängsträgern U400 treten aus Verkehrsbelastung nur Zugspannungen auf. Die Spannungszunahme ist einheitlich an den Untergurtmesspunkten größer als an den Obergurtmesspunkten.

Eine Auswertung an MP9/MP10 (Seite Süd) für ein einzelnes Ereignis (Überfahrt vom 22.03.2014, ca. 08:53:07 Uhr) ergibt, dass sich die gemessene Spannung im Wesentlichen durch die Einwirkung von Normalkräften ergibt. Der Momentenanteil ist relativ gering. (Aus Rückwärtsrechnung ermittelt: $N=70$ kN, $M=408$ kNm).

Die maximale Erhöhung der Randspannung ergibt sich bei diesem Ereignis an benachbarten Träger (Messpunkt MP8) zu $+13$ N/mm². Die Aufholzung in Normalkraft bzw. Momentenanteil kann hier nicht berechnet werden, da sich am Obergurt dieses Trägers kein Messpunkt befindet.

Bei Auswertung der Messstellen MP5 - MP/10r ein Einzelereignis (Überfahrt vom 19.03.2014, Überquerung in Richtung Sayrum) ergibt sich ein vergleichbares Bild.

Die vorstehend beschriebenen und ausgewerteten Einzelergebnisse lassen sich zunächst nicht direkt einer Belastungsart (Straßenbahn bzw. Schwerlastfahrzeug) zuordnen. Aus anderen grafischen Auswertungen (hier z.B. Bild 9 für MP5, Seite 13 im Bericht 01) lässt sich bei Betrachtung eines längeren Zeitraumes jedoch die Anzahl und die Art der Belastungen aus Straßenbahnüberfahrt entnehmen.

Die Darstellung zeigt deutlich den Unterschied zwischen Tag und Nacht (Betriebsruhe der Straßenbahn) und, da die Darstellung von Samstagmorgen bis Montagabend reicht, den Unterschied zwischen Wochenende und Arbeitswoche.

An Wochenende liegen die Spitzenwerte der Spannungszunahme infolge Verkehr gleichmäßig um $4,5 \text{ N/mm}^2$. Hierbei handelt es sich mit großer Sicherheit um die Zusatzspannung aus Straßenbahnüberfahrt (Eigengewicht der leeren Straßenbahn ohne nennenswerte Nutzlastanteile). Am Montag zeigen sich über den ganzen Tag verteilt deutlich größere Ausschläge, die als Überfahren von Schwerlastfahrzeugen gedeutet werden können.

Die Spannungszunahme aus PKW-Verkehr ist kaum messbar.

Ausgehend von dieser Betrachtung werden die oben untersuchten Einzelergebnisse nicht einer Straßenbahnüberfahrt, sondern einer Überfahrt eines Schwerlastfahrzeuges zugeordnet. Leider kann aus den vorliegenden Messwerten und mit den bisher zur Verfügung stehenden Messpunkten kein Rückschluss auf das Gesamtgewicht des Fahrzeuges erfolgen, das die oben beschriebenen maximalen Spannungsdifferenzen verursacht hat. Hierzu wäre eine Ausweitung des Messprogrammes durch Installation zusätzlicher Messpunkte erforderlich.

Die Ergebnisse der Auswertung für die Messpunkte MF0 - MF10 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die an den Messpunkten der Fahrbahnlängsträger U400 ermittelten maximalen Spannungsdifferenzen aus Verkehr liegen deutlich unter den rechnerisch erwarteten Werten (Messung $\sigma_{\text{max}} = 13,2 \text{ N/cm}^2 < 124 \text{ N/mm}^2$ gemäß Statik). Dies liegt mit großer Wahrscheinlichkeit daran, dass die Verkehrslasten abweichend vom Modell der statischen Berechnungen abgetragen werden, indem benachbarte Bauteile verstärkt zur Lastabtragung herangezogen werden. Im vorliegenden Fall der Fahrbahnlängsträger U400 findet offensichtlich durch die Betonplatte eine weitgehende Verteilung von Radlasten auf mehrere Längsträger statt. Bezogen auf das Modell der statischen Berechnung bedeutet dies, dass der Lastantrag nicht direkt (Radlast über Fahrbahnlängsträger zu Querträger zu Hauptträger zu Auflager) erfolgt, sondern indirekt über die Aktivierung benachbarter Bauteile. Diese Abweichung vom Rechenmodell ist im Sinne der Standortenergie unschädlich.

2. Abweichend von der statischen Berechnung weist sich die Zusatzspannung aus Verkehr in den untersuchten Fahrbahnlängsträgern U400 zu wesentlichen Teilen aus Normalspannung und nicht wie angenommen aus Biegespannung zusammen.

Eine Erklärung hierfür ist die Überlegung, dass die Beanspruchung im globalen System der Fachwerkhauptträger in der Untergurtebene nicht nur von den Querschnitten des Hauptträgers, sondern in Teilen auch von den benachbarten Fahrbahnlängsträgern übernommen wird. Hier weicht die tatsächliche Tragwirkung ebenfalls vom angenommenen Modell der statischen Berechnung ab. Diese Abweichung ist hinsichtlich der Standsicherheit noch zu untersuchen, da die Nebelängsträger und deren Anschlüsse eine unplanmäßige Zusatzbeanspruchung erfahren.

Eine Überprüfung dieser Annahme ist mit den vorhandenen Messpunkten alleine nicht möglich. Hier müsste zusätzlich überprüft werden, ob die Untergurte der Hauptfachwerke tatsächlich geringer beansprucht sind als berechnet und ob die Normalkraftbeanspruchung bei den in Brückenlängsachse liegenden Fahrbahnlängsträgern geringer ist als bei den untersuchten außen liegenden Fahrbahnlängsträgern (Rückgang des vermuteten Effektes der Lastumlagerung zur Brückenmitte hin).

3. Die Brücke Hauskampstraße ist bezüglich der zulässigen Fahrzeuggewichte auf 30 t beschränkt. Unter der Annahme, dass diese Begrenzung eingehalten wird, kann das Ergebnis der Messung im Bezug auf die Fahrbahnlängsträger U400 darauf interpretiert werden, dass für dieses Profil gewisse Reserven bestehen, da die rechnerisch nachgewiesenen Spannungen nicht ausgenutzt werden. Hierdurch entsteht eine Reserve für die Kompensation von Werkstoffalterungseffekten und Querschnittsschwächungen in Folge von Korrosion.

Auf das Gesamtbauwerk bezogen handelt es sich um eine punktuelle Untersuchung an ausgesuchten Bauteilen. Hieraus kann nicht geschlossen werden, dass die Brücke generell Tragreserven besitzt.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

Für die Durchführung des Max. Testings wurden Bauteile ausgesucht, die gemäß statischer Berechnung die höchste Ausnutzung aufweisen. Dies sind hier die druckbeanspruchten Diagonalen, die auf das im Zuge der Sanierung neu erstellte Mittelauflager des Überbaues zulaufen, und die Nebelängsträger U400 unterhalb der Stahlbetondecke.

Für diese Bauteile ergibt sich nach Auswertung der Messergebnisse, dass die tatsächliche Ausnutzung unter Verkehrslasten geringer ist als in der statischen Berechnung angenommen (U400) bzw. dass die mechanische Beanspruchung im Untersuchungszeitraum nicht erreicht wurde (Diagonalen).

Dies liegt für die Nebenlängsträger U400 mit großer Wahrscheinlichkeit daran, dass die Verkehrslasten nicht wie angenommen auf direktem Wege, sondern unter Lastverteilung durch die Stahlbetondecke und über Mitwirkung benachbarter Bauteile zu den Auflagern geführt werden. Dies führt zu einer Entlastung der untersuchten Nebenlängsträger.

Die untersuchten Diagonalen sind für die ungünstige Kombination aus Eigengewicht und Verkehrslast gemäß DIN 1072 ausgelegt (SLW bzw. Stab zzgl. gleichmäßig verteilte Lasten auf der restlichen Brückenfläche und auf den Gehwegen).

Diese Lastkombination ist sehr selten und erwartungsgemäß im Beobachtungszeitraum nicht aufgetreten.

Nach Einsichtnahme in die Bestandsunterlagen und Auswertung der Messergebnisse wird festgestellt, dass die im Beobachtungszeitraum aufgetretene Belastung die in der Berechnung angenommenen Lasten nicht überschreitet und insofern von der Tragkonstruktion sicher aufgenommen werden kann. Hierbei wird vorausgesetzt, dass das Bauwerk sich in ordnungsgemäßer Zustand befindet.

Rückschlüsse auf eventuell vorhandene Reserven im Gesamttragwerk sind mit den vorliegenden Daten nicht möglich.

Die Beschränkung des zulässigen Fahrzeuggesamtwichtes auf 30 t (Brückenkategorie 30/30) muss bestehen bleiben und ist einzuhalten. Eine Fortsetzung des Monitorings (als Dauerüberwachung) ist unter diesen Randbedingungen aus Sicht des Unterzeichners nicht erforderlich.

6. Ausblick und Empfehlung

Aus der Vergangenheit ist bekannt, dass die Brücke Hauskarpalstraße infolge der gleichzeitigen Beschränkung der Thyssenbrücke auf 7,5 t vermehrt von Schwerlastfahrzeugen überfahren wird, deren Gesamtgewicht 30 t vermutlich deutlich übersteigt.

Aus diesen Grunde und im Hinblick auf den bevorstehenden Neubau der Thyssenbrücke und den damit einhergehenden Baustellenverkehr wird empfohlen, das zur Zeit noch installierte Monitoringsystem zu nutzen, um durch gezielte Belastungsversuche mit der Straßenbahn und mit einem definierten Schwerlastfahrzeug weitergehende Daten über das Tragverhalten der Brücke zu erlangen.

Die Verbindung mit einer rechnerischen Untersuchung am Gesamtsystem kann so ggf. eingeschätzt werden, ob die Mißachtung der Beschränkung auf 30 t die Standsicherheit der Brücke gefährden.

Mülheim an der Ruhr, 20.11.2014

Dipl.-Ing. J.-W. Mortell
obw Sachverständiger für Stützwerke