



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

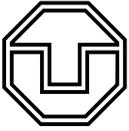
FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

Schriftenreihe
Konstruktiver Ingenieurbau Dresden
Heft 40



Manfred Curbach, Heinz Opitz,
Silke Scheerer, Torsten Hampel (Hrsg.)

8. SYMPOSIUM EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN VON BAUKONSTRUKTIONEN



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN

Manfred Curbach, Heinz Opitz,
Silke Scheerer, Torsten Hampel (Hrsg.)

**8. SYMPOSIUM
EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN
VON BAUKONSTRUKTIONEN**

Schriftenreihe
Konstruktiver Ingenieurbau Dresden
Heft 40

Herausgeber der Reihe

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
apl. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Graf
Prof. Dr.-Ing. Peer Haller
Prof. Dr.-Ing. habil. Ulrich Häußler-Combe
Prof. Dr.-Ing. habil. Michael Kaliske
Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine
Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann
Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller
Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd W. Zastrau

Institut für Massivbau
Technische Universität Dresden

D - 01062 Dresden

Tel.: 49 351 / 4 63-3 42 77
Fax: 49 351 / 4 63-3 72 89

Redaktion: Silke Scheerer
Korrekturen: Angela Heller
Gestaltung: Ulrich van Stipriaan
Titelfoto: Kathrin Dietz
Probebelastung an Fahnenstangen am Goldenen Reiter in Dresden

Diese Publikation gibt es auch Open Access auf www.qucosa.de

Druck: addprint AG · Am Spitzberg 8a · 01728 Bannewitz
Veröffentlicht: Dresden, September 2015

ISSN 1613-6934

Inhalt

DAfStb-Sachstandbericht <i>Mechanische Kennwerte historischer Betone, Betonstähle und Spannstähle für die Nachrechnung bestehender Bauwerke</i> <i>Jürgen Schnell, Michael Weber</i>	5
Dynamik von Stahlbetonbrücken – Messprojekte aus dem Eisenbahn- und Straßenverkehr <i>Lutz Auersch, Samir Said</i>	17
Messtechnische Überlegungen bei Fallversuchen <i>Tino Kühn</i>	31
Identifikation dynamischer Strukturparameter von Eisenbahnbrücken mittels terrestrischer Mikrowelleninterferometrie <i>Jens Schneider, Matthias Becker, Andrei Firus, Jiny Pullamthara, Michael Drass</i>	47
Einsatzmöglichkeiten der Schallemissionsanalyse im Bauwesen <i>Stephan Pirskawetz, Julia Wolf, Wolfram Schmidt, Andreas Rogge</i>	61
Hochgenaue 3D-Referenzmessungen als ein Beitrag der Geodäsie zur experimentellen Untersuchung des Systemverhaltens neugotischer Gewölbekonstruktionen <i>Jens-André Paffenholz, Ulrich Stenz, Ingo Neumann</i>	73
Experimentelle Untersuchung zum Systemtragverhalten neugotischer Gewölbekonstruktionen <i>Jens Piehler, Michael Hansen, Gerd Kapphahn</i>	81
Tragfähigkeitsuntersuchungen an historischen Fahnenmasten <i>Silke Scheerer, Sabine Wellner, Torsten Hampel, Bernd Eckoldt</i>	93
Pont Lagunaire, Togo – Experimentelle Tragwerksanalyse einer Stahlfachwerkbrücke zum Nachweis der Restnutzungszeit <i>Marc Gutermann, Werner Malgut, Klaus Ammermann</i>	103
Experimenteller Nachweis der Tragfähigkeit an der Kettenbrücke im Goethepark in Weimar <i>Erik Meichsner, Phillip Johann Jung, Oliver Hahn, Stefan Finke</i>	117
Untersuchungen und Maßnahmen an setzungsauffälligen Pfeilern der Saale-Elster-Talbrücke der Eisenbahnstrecke Erfurt–Leipzig/Halle <i>André Koletzko, Sandra Christein</i>	123
Bewertung bestehender Brücken unter besonderer Berücksichtigung der Verkehrsbeanspruchung durch Bauwerksmonitoring <i>Nico Steffens, Karsten Geißler, Ronald Stein</i>	135

Lagrange-Multiplikator-Test zur Detektierung von zunehmender Strukturschädigung:
Experimentelle Verifikation

Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Petra Kubowitz, Werner Daum,

Detlef Hofmann, Frank Basedau 147

Zustandsbewertung von Stahlbetonbauteilen mithilfe der dynamischen Eigenschaften

F. Weisleder, M. Waltering 159

Softwareunterstützte Nachrechnung und Ertüchtigung von Brückenbauwerken

Stefan Kimmich, Eckhard Held 175

Experimenteller Nachweis der Tragfähigkeit an der Kettenbrücke im Goethepark in Weimar

Erik Meichsner¹, Phillip Johann Jung², Oliver Hahn³, Stefan Finke⁴

Kurzfassung. Die sogenannte „Schaukelbrücke“ wurde 1833 als Hängebrücke mit ca. 14 m Spannweite über die Ilm in Weimar gebaut. Im Zuge der Instandsetzung konnte die Standsicherheit der handwerklich hergestellten originalen Kettenglieder aus Schweißseisen nicht nachgewiesen werden. Um möglichst alle historischen Bauteile zu erhalten wurden experimentelle Nachweise der Tragfähigkeit durchgeführt. Mit dem stufenweisen Vorgehen und experimentellen Nachweis konnte vor dem Hintergrund neuer Sicherheitskonzepte die originale Bausubstanz erhalten werden.

Experimental proof of the sustainability of the Chain Bridge at the Goethe Park in Weimar – Abstract. *The so called „Schaukelbrücke“ is a suspension bridge with a span of 14 m and was built over the Ilm in Weimar in 1833. As part of the rehabilitation the structural integrity of the hand made wrought iron chain links could not be proven. To preserve all of the historical components their bearing safety was proven experimentally. The stepwise approach combined with the experimental load testing ensured that all original components could be preserved.*

1 Die neue Brücke aus Eisen

Die Kettenbrücke überquert die Ilm am südwestlichen Rand des Parks an der Ilm. Der von 1778 bis 1828 unter dem Großherzog Carl August angelegte Landschaftspark am Rande der Weimarer Altstadt gehört seit 1998 zum UNESCO Welterbe „Klassisches Weimar“.

Unter Maria Pawlowna, der Frau des Herzogs Carl Friedrich, wurde der Park umgebaut und erweitert. Der vorhandene Holzsteg über die Ilm musste einem repräsentativen Bauwerk weichen. Der Hofbaumeister Karl Friedrich Christian Steiner ließ 1833 eine „echte“ Hängebrücke errichten. Dabei wird das Hängewerk mit 1 bis 2 m langen Kettengliedern zwischen den Pylonen aufgespannt. Kurze Glieder über den massiven Natursteinpylonen und äußere Zugbänder leiten die Zugkräfte in massive Natursteinblöcke, die als Widerlager im Baugrund verankert sind.

Die damals neue Konstruktionsweise der Hängebrücken mit eisernen Kettengliedern wurde in England ab 1741 und zu Beginn des 19. Jahrhunderts auch in Nordamerika ausgeführt [1]. Mit der einsetzenden Industrialisierung konnte in diesen Ländern ab dem Ende des 18. Jahrhunderts Schweißseisen bzw. Puddelstahl in größeren Mengen hergestellt werden, z. B. [2].

1 Dipl.-Ing. (FH), Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung Weimar GmbH

2 Dipl.-Ing. Arch., Klassik Stiftung Weimar

3 Dipl.-Ing., Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung Weimar GmbH

4 B.Sc., Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung Weimar GmbH



Bild 1: Historische Zeichnung der Schaukelbrücke um 1835

Quelle: Archiv Klassik Stiftung Weimar

In den ersten Jahren nach der Errichtung wurde die neuartige Konstruktion zum beliebten Ausflugsziel der Bürger in und um Weimar. Die Kettenbrücke über die Ilm war aufgrund des „Schaukelns“ eine Sensation gegenüber den bekannten steinernen Bogenbrücken oder Holzstegen, wodurch sich die noch heute gebräuchliche Bezeichnung Schaukelbrücke etablierte.

Mit den originalen Hängegliedern ist die Kettenbrücke in Weimar, neben dem Kettensteg in Nürnberg von 1824, eine der ältesten erhaltenen Hängebrücken auf dem europäischen Kontinent.

2 Die Brücke hält nicht mehr



Bild 2: Hochwasser Juni 2013

Aufgrund der ausgeschlagenen Bolzenverbindungen der Hängeketten gab es die Bestrebungen, die Schaukelbrücke instand zu setzen. Durch das Hochwasser im Juni 2013 wurde die Konstruktion, der bereits wegen Sicherheitsmängeln gesperrten Brücke, stark in Mitleidenschaft gezogen.

Die Planung der Instandsetzung sah einen Rückbau des Hängewerkes mit der Erneuerung des Belages und der Wiederherstellung

der restaurierten Kettenglieder vor. Der Statiker ermittelte in den Kettengliedern die maximalen Zugkräfte unter den Einwirkungen für Fußgängerbrücken nach dem DIN-Fachbericht. Bauzeitliche Planungsunterlagen liegen nicht vor. Für die handwerklich hergestellten Kettenglieder aus Schweißseisen existieren keine Normungen oder Richtlinien, aus denen die Streckgrenze des Stahls abgeleitet werden kann. Mit der für den Vollquerschnitt angesetzten zulässigen Spannung für Puddelstahl von 75 N/mm^2 ist der rechnerische Nachweis der Tragfähigkeit nicht möglich.

Für die weitere Planung war daraufhin der Nachbau der Kettenglieder mit modernem Stahl vorgesehen. Diese Rekonstruktion wäre jedoch nur ein Behelf, um die Konstruktionsweise zu erhalten und würde von der denkmalpflegerischen Zielstellung abweichen.

3 Restauratorische Begleitung

Bei Voruntersuchungen an den Hängeketten bestätigte sich, dass es sich um bauzeitliche Kettenglieder handelt, die handwerklich hergestellt wurden. Die Streckgrenze konnte an dem ca. 2 cm großen zerstörungsarm gewonnenen Probestück nicht ermittelt werden. In einer zweiten Untersuchungsstufe wurden zwei Kettenglieder ausgebaut, um die Herstellungstechnologie für die Anfertigung der Rekonstruktionen zu erkunden. Auf der Grundlage dieser Technologie wurde mit einem modernen Baustahl durch einen Schmied ein Kettenglied rekonstruiert (Bild 3) und somit die Möglichkeit eines Nachbaus bestätigt.

An den ausgebauten Stäben waren nach der Reinigung im Bereich des Übergangs zu den „Augen“ starke Gefügeschäden sichtbar (Bild 4). Eine Ermittlung der Streckgrenze durch zerstörungsfreie Zugversuche für den rechnerischen Nachweis war aufgrund des unbekanntem Materialquerschnittes im Rissbereich nicht möglich.



Bild 3: Ausgebauete Kettenglieder und rekonstruiertes Kettenglied (rechts)

Foto: Erik Meichsner



Bild 4: Detailaufnahmen des Kettengliedauges mit Rissbildungen / Gefügeschäden

Fotos: Erik Meichsner

4 Sind Lastverformungsuntersuchungen geeignet?

Um den Austausch der originalen Kettenglieder gegen rekonstruierte zu vermeiden, wurden durch den Bauherrn alternative Betrachtungen und Nachweise angeregt. Nach ersten Vorüberlegungen und Auswertung der Voruntersuchungen wurde ein stufenweises Vorgehen gewählt. In Vorversuchen sollte die Möglichkeit geprüft werden, ob ein experimenteller Nachweis der Tragfähigkeit durch Lastverformungsuntersuchungen zerstörungsfrei möglich ist. Aufgrund der Vorschädigung der Kettenglieder sind die Ermittlung der Streckgrenze für den rechnerischen Nachweis der Tragfähigkeit und eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Kettenglieder nicht möglich.

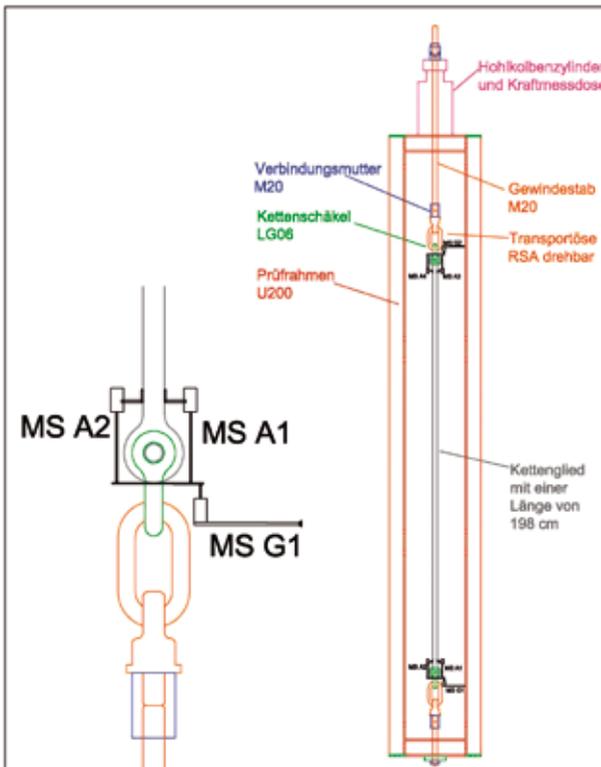


Bild 5: Mess- und Belastungsaufbau des Kettengliedes im Versuchsstand

Durch die Reduzierung des Querschnittes im Bereich der Risse würden sich die eingeleiteten Spannungen im Bereich der Streckgrenze ergeben. Weiterhin konnte ein sprödes Versagen aufgrund der vorhandenen Gefügeschäden nicht ausgeschlossen werden. Um dennoch die Vorversuche zerstörungsfrei durchzuführen, wurde im abgestimmten Mess- und Belastungskonzept als Abbruchkriterium eine bleibende Dehnung von $> 0,2\%$ festgelegt. Zur Sicherstellung dieser Grenzdehnung sollten während der abgestuften hydraulischen Lasteinleitung Wegmessungen durchgeführt werden. Die Induktiven Wegmesstaster wurden separat über den Kettenaugen und den gesamten Stab entsprechend des Mess- und Belastungsaufbaus Bild 5 angeordnet. Um Imperfektionen im Stab auszugleichen wurden die Wegmesstaster

jeweils paarweise angeordnet und für die weitere Verarbeitung gemittelt. Während des Versuches erfolgte die Darstellung des Kraft-Dehnungs-Diagramms für beide Kettenaugen und den Gesamtstab in Echtzeit.

In dem projektbezogen hergestellten Versuchsstand konnte die Prüfung bis zur Ziellast an den beiden historischen Kettengliedern bis 43 kN und am rekonstruierten Stab bis 80 kN durchgeführt werden. Bei den Versuchen wurden die Grenzdehnungen lokal im Bereich des geschädigten Kettenauges eingehalten und eine maximale Gesamtverformung von 0,2 mm für den gesamten Stab ermittelt. Durch die Vorversuche hatte sich bestätigt, dass ein zerstörungsfreier Nachweis der Tragfähigkeit möglich ist und dass der Versuchsstand sowie die eingesetzte Messtechnik geeignet sind.

5 Der experimentelle Nachweis der Tragfähigkeit

Da der Umfang der Vorschädigung an den historischen Kettengliedern erst nach dem Ausbau und der Reinigung ersichtlich war, wurde in der Planung die Rekonstruktion eines Teils der Kettenglieder zwischen den Pylonen sowie aller seitlichen Zugbänder und Umlenkglieder auf dem Pylon vorgesehen.

Bei dem schonenden Rückbau der Hängebrücke wurden alle Kettenglieder entsprechend einer Codierung nummeriert. Neben dem späteren Wiederaufbau konnte damit sichergestellt werden, dass jedes Kettenglied mit der entsprechend statischer Berechnung am Hängewerk ermittelten Kraft geprüft wird.

Nach der Reinigung und Inspektion durch den Metallrestaurator wurden die 52 hängenden Kettenglieder zwischen den Pylonen im modifizierten Versuchsstand geprüft. Bei allen Kettengliedern konnte zerstörungsfrei die Ziellast entsprechend der Vorgabe des Statikers von bis zu 58 kN nachgewiesen werden. Entsprechend des Kraft-Dehnungs-Diagramms (Bild 6) blieben die bleibenden Verformungen weit unterhalb der vorgegebenen Grenzdehnung. Exemplarisch ist das Kraft-Dehnungs-Diagramm für den Stab L2.4 im Bild 6 dargestellt.

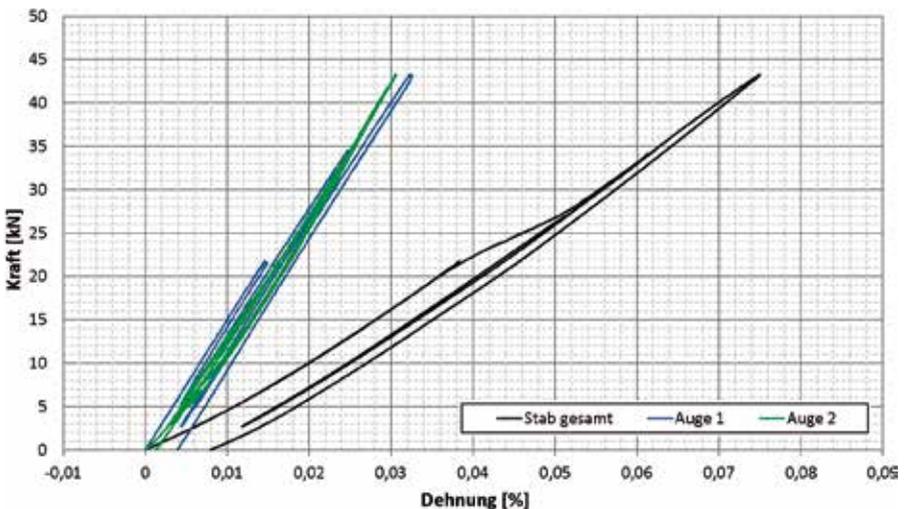


Bild 6: Darstellung Kraft-Dehnungs-Diagramm, exemplarisch für Stab L2.4



Bild 7: Ansicht der „Schaukelbrücke“ nach der Instandsetzung, 2015 Foto: Erik Meichsner

Ermutigt durch die positiven Erfahrungen wurde angeregt, die ursprünglich als Rekonstruktion geplanten seitlichen Zugbänder und die kurzen Umlenkkettinglieder über dem Pylon im Versuchsstand zu prüfen. Auch bei diesen insgesamt 48 originalen Kettengliedern konnte die Ziellast unter Berücksichtigung der Grenzdehnung nachgewiesen werden. Die teilweise vorhandenen plastischen Verformungen und ungewöhnlichen Verläufe des Kraft-Dehnungs-Diagramms konnten auf verbogene Kettenglieder und Gefügeschäden zurückgeführt werden.

6 Fazit

Nach der Sanierung der Natursteinpfeiler und Erneuerung des Belages sowie der vertikalen Abhänger und Verschleißteile wurden die konservierten Kettenglieder wieder zu einer Hängebrücke zusammengefügt. Die Brücke ist im neu gestalteten Umfeld entsprechend Bild 7 für die Besucher des Parks an der Ilm wieder nutzbar.

Mit dem stufenweisen Vorgehen und experimentellen Nachweis der Tragfähigkeit konnte vor dem Hintergrund neuer Sicherheitskonzepte die originale Bausubstanz erhalten werden. Dabei wurden die wirtschaftlichen und denkmalpflegerischen Zielstellungen erreicht.

Literatur

- [1] Walter, U.: Der Kettensteg in Nürnberg. In: Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg.), Denkmalpflege Themen – Brücken in Bayern – Geschichte, Technik, Denkmalpflege, Nr. 2, 2011. S. 74–75.
- [2] Helmerich, R.: Alte Stähle und Stahlkonstruktionen – Materialuntersuchungen, Ermüdungsversuche an originalen Brückenträgern und Messungen von 1990 bis 2003, Forschungsbericht 271, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, 2005.