Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 137 (2011)
Heft: 24: Brücken mit Geschichte

Artikel: Filigranes Stahlfachwerk
Autor: Gisler, Felix / Habenberger, Jörg / Braun, Dorothée
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-154170

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

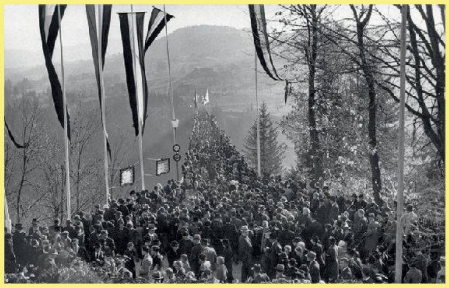
Download PDF: 20.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

FILIGRANES STAHLFACHWERK

Die 1937 eröffnete und vom Luzerner Bauingenieur Rudolf Dick gebaute Haggenbrücke über die Sitter bei St. Gallen ist einer der höchsten Fussgängerstege in Europa. Bereits bei der Einweihung aber erwies sie sich als sehr schwingungsanfällig, sodass sie auch nach Nachbesserungen nur teilweise für die vorgesehene Nutzung freigegeben werden konnte. Von 2009 bis 2010 setzten Basler & Hofmann das Bauwerk instand – unter strengen technischen Anforderungen und ebensolchen Auflagen seitens des Umwelt- und Denkmalschutzes sowie mit akrobatischen Arbeitsbedingungen.

Titelbild
Die Haggenbrücke im Kanton St. Gallen
(Foto: Michael Ruf, Basler & Hofmann)



01

Richtig freuen konnten sich die Gäste bei der Einweihung der vom Luzerner Bauingenieur Rudolf Dick erbauten Haggenbrücke am 24. Oktober im Jahr 1937 kaum: Die Menschenmassen, die das spektakuläre Bauwerk mit seinen bis zu 80 m hohen Stützen besichtigen wollten, versetzten die Brücke in starke Schwingungen (Abb. 1). Schnell kamen Zweifel an ihrer Tragsicherheit auf. Dick bemass die Profile des ursprünglichen Fachwerks sehr knapp und stufte sie äusserst fein ab, um das dazumal wertvolle Material effizient einzusetzen. Projektänderungen während der Ausführung, wie die Vergrösserung der Spannweite eines Feldes, erhöhten die Ausnutzung der Querschnitte zusätzlich. Fritz Stüssi, damals Professor an der ETH Zürich, stellte mit einer statischen Überprüfung fest, dass die Bemessung nicht nur knapp war, sondern die zulässige Spannung in einzelnen Fachwerkstäben überschritten wurde. Bereits zwei Jahre nach dem Eröffnungsfest wurden deshalb einzelne Diagonalen und Gurtstäbe im Endfeld des Oberbaus sowie Stützenköpfe und Stützen verstärkt. Weil das Schwingungsverhalten damit aber nicht verbessert werden konnte, durfte die Brücke, die ursprünglich für Fuhrwerke bis zu 8 t ausgelegt war, in der Folge nur noch mit Ausnahmegenehmigung befahren werden und diente vor allem als Fuss- und Veloverbindung zwischen den beiden Gemeinden St. Gallen und Stein im Kanton Appenzell Ausserrhoden. Der Volksmund nannte die Brücke passend «Ganggelibrogg».

ZUSTANDSERFASSUNG

70 Jahre später – im Jahr 2007 – wiesen Fahrbahnplatte und Fundamente Schäden auf. Zwar war der Korrosionsschutz der Stahlkonstruktion in den 1980er-Jahren erneuert worden, sie zeigte aber bereits wieder starke Verschleisserscheinungen. Aus diesem Grund wurde eine vollständige Instandsetzung unumgänglich. Die Stadt St. Gallen und die Gemeinde Stein erteilten dem Ingenieurbüro Basler & Hofmann Ende 2007 den Auftrag, eine Zustandserfassung, eine statische Überprüfung und ein Instandsetzungsprojekt auszuarbeiten. Ziel war es, das Bauwerk längerfristig als Geh- und Radwegbrücke zu erhalten und es so instand zu setzen, dass es den heutigen Sicherheitsanforderungen entspricht. Das Schwingungsverhalten der Brücke sollten die Ingenieure deutlich verbessern.
Für die Erfassung des Istzustandes nahmen die Bauingenieure die Schäden auf (Abb. 6), untersuchten das Material und überprüften die Statik. Sie liessen sich von der Feuerwehr abseilen und inspizierten die gesamte Brücke visuell. Bereits vom Geotechniker erstellte Untersuchungen der Fundamente und Filmaufnahmen vom Überbau zogen sie in die Beurteilung mit ein. Die Fundamente waren vor allem durch Steinschlag, Unterspülung durch die Sitter und Erddruck gefährdet. Am Stahlfachwerk zeigten sich zum Teil grossflächige Korrosionsschäden und Auftreibungen, d.h. Verformungen von eng aneinanderliegenden Blechen infolge Volumenzunahme durch Korrosionsprodukte. Die auf dem Fachwerkträger liegende Stahlbeton-Fahrbahnplatte wies Betonabplatzungen an der Unterseite, freiliegende Bewehrungseisen, undichte Fugen und Übergänge sowie einen abgenutzten Belag auf. Die Entwässerung leitete zudem das Wasser direkt auf das Stahlfachwerk.

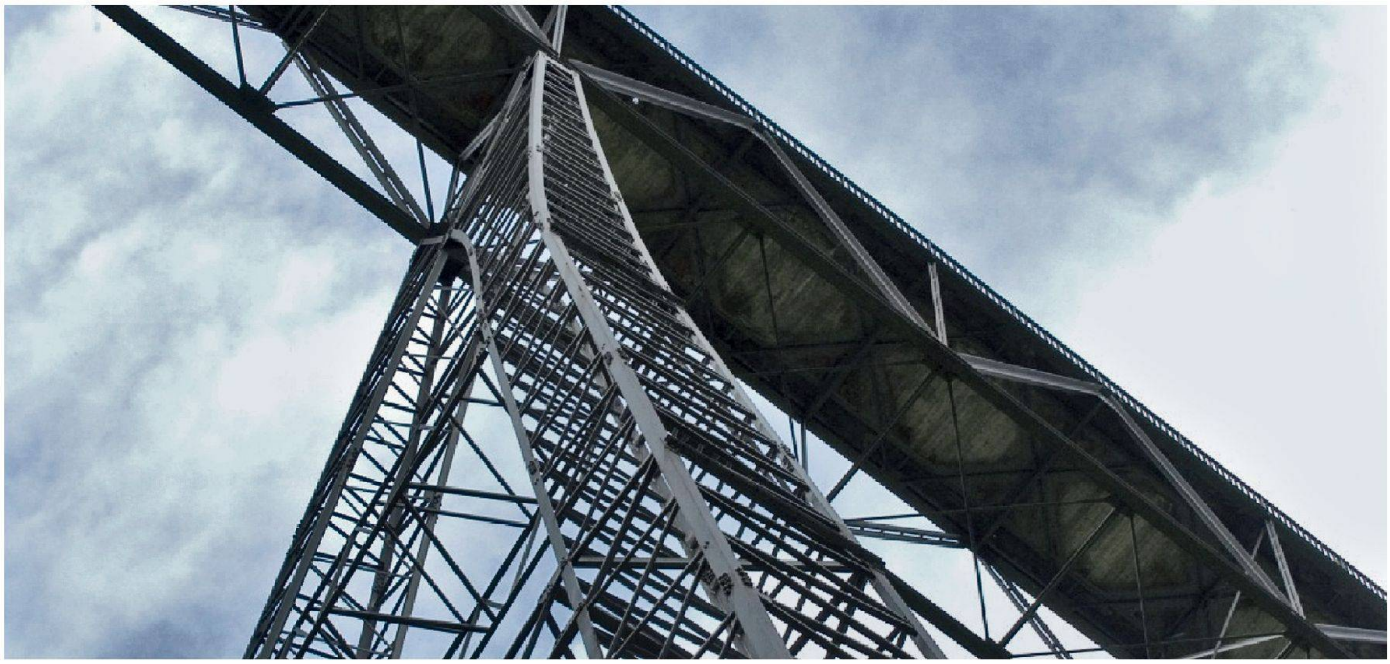
AM BAU BETEILIGTE HISTORISCHE BRÜCKE

Bauherrschaft: Stadt St. Gallen, Gemeinde Stein, AR
Planer: dipl. Ing. Rudolf Dick, Luzern
Stahlbau: Ernst Scheer, Herisau

AM BAU BETEILIGTE INSTANDSETZUNG

Bauherrschaft: Stadt St. Gallen, Tiefbauamt; Gemeinde Stein, AR
Planer: Basler & Hofmann AG, Zürich
Bauleitung: Borgogno Eggenberger + Partner, St. Gallen
Ausführung: Höhenarbeit CH AG, Grabs; Implenia Bau AG, Zürich; Fritz Bruderer AG, St. Gallen; Jakob AG, Trubschachen

02



03

Um die Tragsicherheit des Stahlfachwerks beurteilen zu können, entnahm man einen Diagonalstab, den die Empa Dübendorf auf Zugfestigkeit, Kerbschlagzähigkeit, chemische Zusammensetzung und Aufbau des Korrosionsschutzes untersuchte. Aufgrund der chemischen Analyse konnte das untersuchte Profil einem Thomasstahl zugeordnet werden, der nach SIA 263 einem heutigen Stahl S 235JR entspräche. Der alte Korrosionsschutz war zweischichtig, mit stark variabler Stärke von 130 µm bis 900 µm. Es wurden beträchtliche Zinkgehalte (40 g/m²), aber nur geringe Blei- (5 g/m²) und praktisch keine PCB-Gehalte gemessen.

ZEUGE DER ST. GALLER INDUSTRIEBAUKUNST

Die Brücke ist im schweizerischen Inventar der Kulturgüter als Objekt von nationaler Bedeutung eingetragen. Denn sie ist mit ihrer äusserst filigranen und materialsparenden Konstruktionsart Teil des Ensembles der St. Galler Industriekeimzellen und gilt als wichtiger Zeuge der Ingenieurbaukunst im letzten Jahrhundert – obwohl sie eigentlich eine technische Panne ist. Die notwendig gewordenen Eingriffe in das bestehende Fachwerksystem sollten gemäss dem Denkmalschutz bei vertretbaren Sicherheitsrisiken vermieden oder zumindest minimiert werden. Die Struktur, das genietete Geländer und die Kandelaber sollten erhalten bleiben.

01 Die Haggenbrücke bei der Einweihung 1937. Bereits beim Eröffnungsanlass traten starke Schwingungen auf
(Foto: Baudokumentation St. Gallen)
02 Filigranes Stahlfachwerk – hier noch vor der Instandsetzung: Die Brückenkonstruktion ist ein Durchlaufträger, der 350 m lang und 4 m breit ist, wobei er zwei Ausweichstellen von 6 m Breite aufweist. Die maximale Spannweite beträgt 69.5 m in zwei Feldern (Foto: Basler & Hofmann)
03 Die Stützen der Haggenbrücke sind bis zu 80 m hoch (Foto: Basler & Hofmann)

04

04 Korrosionsschutzarbeiten im Freikletterverfahren (Foto: Basler & Hofmann)
05 Die Haggenbrücke nach der Instandsetzung mit neuer, orthotroper Stahlplatte. Der «Stahlkäfig» unter der Fahrbahnplatte nimmt die Schwingungsdämpfer auf. Fachkräfte bringen die Suizidpräventionsnetze an. Die Hochspannungsleitungen, die unter der Brücke verlaufen, erschwerten die Arbeiten zusätzlich (Foto: Jakob AG)
06 Tabellarische Zusammenstellung der aufgenommenen Schäden an der Brücke vor der Instandsetzung (Tabelle: Basler & Hofmann)

SIA 269 LAG IM ENTWURF VOR

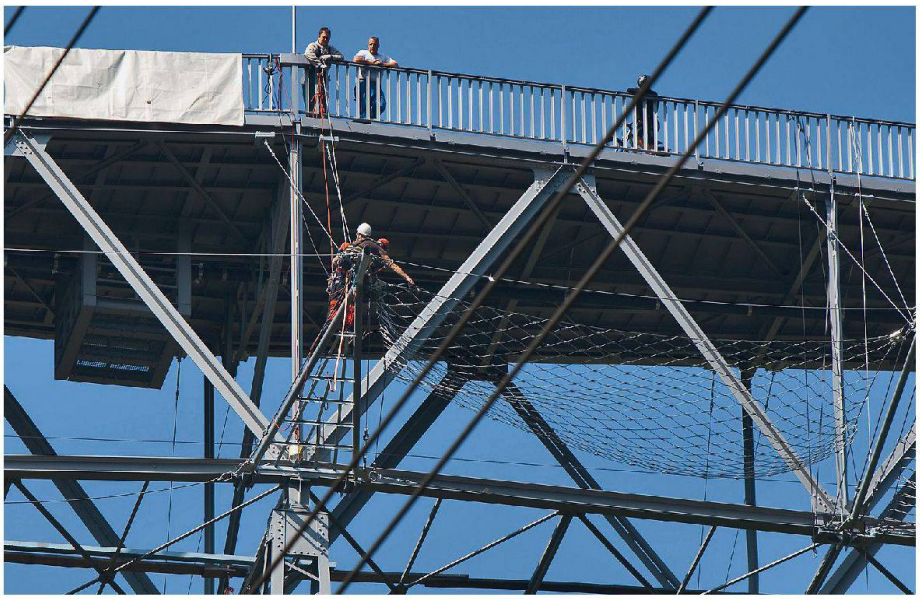
Während der Projektierungsarbeiten lag die SIA-Norm 269/3 «Erhaltung von Tragwerken – Stahlbau», die seit Januar 2011 gültig ist, im Entwurf vor und wurde berücksichtigt. Der Normentwurf erleichterte die Arbeit der Projektingenieure: So gab er Hinweise darauf, welche Schäden bei alten Stahlbauwerken vorhanden sein können und worauf bei der Zustandserfassung besonders zu achten ist, etwa auf lockere Verbindungsmittel oder Auftreibungen. Auch für die Erhaltungsmassnahmen gab es Empfehlungen: Die Norm legt fest, wie alte Baustähle, die in der Regel vor 1956 eingesetzt wurden, zu erhalten sind. So musste die Schweisseignung des alten Stahles besonders geprüft werden, im Zweifelsfall waren Schraubverbindungen zu bevorzugen. Die mit Versuchen geprüften Materialeigenschaften des Stahls konnten anhand der Normwerte bestätigt werden. Die eigenen Versuche lieferten zusätzliche Informationen über die Altersversprödung. Mit dem Normentwurf lagen auch wichtige Grundlageninformationen zu den Werkstoffen der Verbindungsmittel wie Schrauben und Nieten vor. Die Tragsicherheit insbesondere der Nietverbindungen wurde in Anlehnung daran nachgewiesen.

STATISCHE ÜBERPRÜFUNG

Für die statische Überprüfung modellierten die Bauingenieure die Brücke mit einem räumlichen Stabtragwerksprogramm – basierend auf gut erhaltenen Archivplänen. Dann erfolgte die Prüfung mit den gültigen Lasten gemäss SIA 260 und 261. Die Ingenieure ermittelten die Tragsicherheit der einzelnen Stäbe und Anschlüsse mit den Schnittkräften nach Theorie I. Ordnung. Die untersuchten Anschlüsse erfüllten die Tragsicherheit. Eine begrenzte Anzahl Stäbe überschritt allerdings die Normwerte bezüglich Ausnutzungsgraden E_d/R_d um 5 bis 27 %; die kritischen Stäbe befinden sich vor allem im Überbau.
Um die Schwingungsanfälligkeit der Brücke genauer zu untersuchen, wurden Messungen und Eigenfrequenzberechnungen durchgeführt. Die Eigenfrequenzen gemäss SIA 260 liegen in dem für Fussgängerverkehr kritischen Bereich von 1.6 bis 4.5 Hz in vertikaler und von <1.3 Hz in horizontaler Richtung. Die gemessene vertikale Schwinggeschwindigkeit, die bereits ein bis zwei rennende Personen anregen können, beträgt 17.1 mm/s und ist grösser als der von der DIN 4150 vorgegebene Grenzwert von 5 mm/s. Die starken horizontalen Auslenkungen wiederum können dazu führen, dass Personen aus dem Tritt geraten. Allerdings müssten viele Personen die Brücke begehen, bis die horizontale Schwingung deutlich wahrnehmbar würde – was eher selten vorkommt. Für die tägliche Nutzung sind deshalb vor allem die vertikalen Schwingungen von Bedeutung.

GEWICHT REDUZIEREN UND DÄMPFUNG ERHÖHEN

Das Instandsetzungsprojekt stellte vor allem die hohen Ausnutzungsgrade und die Schwingungsanfälligkeit in den Vordergrund. Zum einen sollten Tragsicherheit und Schwingungsverhalten deutlich verbessert werden, gleichzeitig aber durfte die Leichtigkeit der Konstruktion aus Denkmalschutzgründen nicht verunklärt werden. Eine orthotrope Stahlplatte mit einem Gussasphaltbelag ersetzt die Fahrbahnplatte aus Beton. Damit reduziert sich das Gewicht der Fahrbahnplatte einschliesslich Belag von 413 kg/m² auf 280 kg/m². Diese Gewichtsreduktion und der Verbund der neuen Stahlplatte mit den Obergurten verbesserten das statische Verhalten deutlich. Der Ausnutzungsgrad E_d/R_d der massgebenden pfeilernahen Stäbe des Untergurtes und der Streben verringerte sich von 1.27 auf 1.09, und die Eigenfrequenz f_v von etwa 2.5 Hz erhöhte sich leicht, wodurch die Brücke etwas steifer wurde. Dennoch blieben zwölf Druck- und vier Zugstreben unter den normgemässen Sicherheiten. Für sie planten die Ingenieure Profilergänzungen und Verstärkungen ein.
Da sich mit der leichteren Stahlplatte allein die Tragwerkssteifigkeit und das Schwingungsverhalten nur geringfügig verbessert, empfahlen die Ingenieure, Schwingungsdämpfer einzusetzen (Abb. 5). Wegen der hohen technischen und ästhetischen Anforderungen, insbesondere bezüglich Denkmalschutz, konnte man keine Standardprodukte verwenden,



05

sondern es mussten massgeschneiderte Dämpfer entwickelt werden. Insgesamt reduzieren nun vier vertikale und zwei horizontale Dämpfer die Schwingungen um etwa den Faktor 3. Die Dämpfungen wurden von 0.5 auf etwa 2.5% angehoben.

NEUER KORROSIONSSCHUTZ

Für die Erneuerung des Korrosionsschutzes wurden verschiedene Varianten geprüft. Wäre die gesamte Brücke für die Arbeiten eingehaust worden, hätte dies infolge Windlasten eine massive Zusatzbelastung für die filigranen Pfeiler bedeutet, die Abspannungen hätten aufnehmen müssen – und dies in einem engen Flusstal mit Hochspannungsleitungen. Die Planenden begrenzten die Einhausung deshalb auf rund 35 m lange Etappen. Im restlichen Bereich wurde der Korrosionsschutz im Freikletterverfahren instand gesetzt (Abb. 4). Der eingehauste Bereich erhielt einen dreischichtigen Korrosionsschutz, und im nicht eingehausten Bereich brachten die Kletterer von Hand zwei Schichten auf. Die Instandsetzungsarbeiten in schwindelerregender Höhe stellten extreme Anforderungen an die Beteiligten: Zehn Fachkräfte mit einer Kletterausbildung für Arbeiten am hängenden Seil führten die Erneuerung von rund 5700 m² Korrosionsschutz aus. Die Suva besprach vor Beginn der Arbeiten das Sicherheits- und Rettungskonzept und probte allfällige Bergungsmassnahmen. Da unter der Haggenbrücke eine Hochspannungsleitung durchführt, wurden die Arbeiten frühzeitig mit dem Kraftwerksbetreiber abgestimmt und die Leitung zeitweise abgeschaltet.

UMWELTSCHUTZMASSNAHMEN

Die Bauarbeiten wurden in enger Zusammenarbeit mit den kantonalen Umweltämtern ausgeführt. Um zu verhindern, dass schadstoffhaltiger Korrosionsschutzbelag in die Umwelt gelangt, ergriff man Schutzmassnahmen, wie mobile Zelte im Bereich der Fahrbahn oder Rucksackstaubsauger für die Freikletterer. Bei zwei Pfeilern stellten die Fachkräfte während der Ausführung höhere Bleigehalte fest als sondiert. Um die Schadstoffe aufzufangen, montierte man zusätzliche, fächerförmige Auffangvliese um die Pfeiler. Unterhalb der Brücke wurden monatlich Kontrollmessungen durchgeführt. Sie zeigten während der entsprechenden Bauarbeiten etwas erhöhte, jedoch tolerierbare Schadstoffemissionen.
Die letzten Arbeiten an der filigranen Konstruktion wurden vor einem Jahr abgeschlossen. Seither präsentiert sich der Fussgängersteg aufgefrischt, und es können neben Fussgängern und Velos nun auch Mopeds und Unterhaltsfahrzeuge bis 3.5 t auf die Brücke.

Felix Gisler, dipl. Ing. ETH, Basler & Hofmann AG, Zürich, Felix.Gisler@baslerhofmann.ch
Jörg Habenberger, Dr.-Ing., Basler & Hofmann AG, Zürich, Joerg.Habenberger@baslerhofmann.ch
Dorothée Braun, dipl. Geoök., MSc Com., Basler & Hofmann AG, Zürich, Dorothee.Braun@baslerhofmann.ch

Bauteil	Schaden, Mangel
Fundamente und Widerlager	Bewuchs, Erosionsrinnen, Kolk- und Steinschlaggefahr, fehlende Einbindung
Pfeiler und Fachwerkträger	Lokale, bereichsweise Korrosion
Querträger, oberer Windverbau	Korrosion, Querschnittsverlust
Verbindungen	Schmutz, Feuchte, Korrosion
Stahlgüte	Baustahl S235, Thomasstahl, Gefahr der Altersversprödung
Korrosionsschutz	Abgenutzt, Zink- und Bleigehalt
Fahrbahnplatte	Abplatzungen, Korrosion, Karbonatisierung
Abdichtung, Belag	Abgenutzt, wasserführend
Entwässerung	Ablauf, Speier direkt auf Stahlfachwerk
Geländer	Rost- und Anprallschäden

06