

Ermüdungssicherheit von Brücken



Bahnbrücke über den Rhein bei Eglisau, Schweiz.

In der letzten Ausgabe von «der bauingenieur» berichteten wir auf Seite 22 über ein Brückenmonitoring-Projekt in Eglisau. Inzwischen liegen die Resultate vor, welche wir im folgenden Beitrag beleuchten.

Text: Max Bosshard, Christian Meyer, Eugen Brühwiler, Marcel Tschumi und Senta Haldimann // Fotos: zvg.

Die steigenden Anforderungen des modernen Bahnverkehrs stellen die Eigentümer von Bahnbrücken zunehmend vor die Aufgabe, ihre Bauwerke hinsichtlich der Sicherheit und Restnutzungsdauer zu beurteilen. Deshalb sind zuverlässige Aussagen bezüglich der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Ermüdungssicherheit notwendig. Im Rahmen des Monitoring-Projekts «Bahnbrücke Eglisau» wurden die zur Beurteilung von Sicherheit und Restnutzungsdauer erforderlichen Informationen mit einem modularen Monitoring-System erfasst. Basierend auf den Monitoring-Daten wurde das tatsächliche Tragverhalten beurteilt.

Beschreibung der Brücke Eglisau

Die Rheinbrücke Eglisau in der Schweiz wurde von 1895 bis 1897 gebaut. Das 457 Meter lange Bauwerk überspannt im Zentrum den Rhein über 90 Meter mit einer genieteten Stahlfachwerkkonstruktion. In den Jahren 1982/83 wurde die Fahrbahn durch einen Schottertrog ersetzt.

Modellbildung und Tragwerksanalyse

Das Tragwerk wurde für die Schnittkraftermittlung mit einem 3D-Stubmodell erfasst. Vor Beginn der Langzeitmessung wurde die Funktion des Monitoring-Sys-

tems swissMon anhand von Belastungsversuchen mit Lokomotiven kontrolliert. Der Vergleich der am 3D-Modell berechneten und der aus den Versuchen resultierenden Schnittkräfte zeigt, dass das statische 3D-Modell das Tragverhalten ausreichend genau erfasst.

Ergebnisse des Langzeit-Monitorings

Die zur Beurteilung der Ermüdungssicherheit verwendeten Dehnmessstreifen wurden an ausgewählten Bauteilen montiert. Die Daten jeder Zugsüberfahrt wurden gespeichert und als Dehnung in Funktion der Zeit grafisch dargestellt. Die Messdaten von Zugsüberfahrten zeigen bei Diagonale und Untergurt lediglich geringe lokale Einflüsse der einzelnen Achslasten, während beim Querträger zwischen relevanten globalen und lokalen Einflüssen unterschieden werden kann.

Nachweis der Ermüdungssicherheit

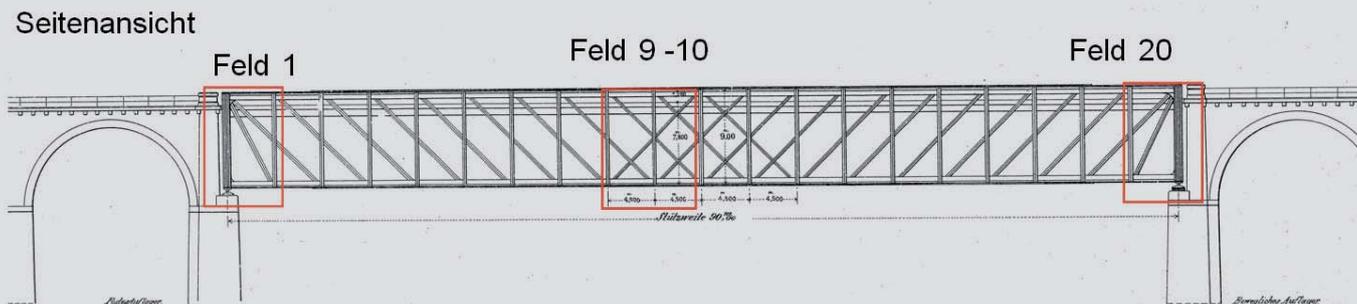
Die Lagen der Dehnmessstreifen wurden so gewählt, dass die Stellen gut zugänglich waren und Dehnungskonzentrationen nahe der Niete vermieden wurden. Die Messwerte jeder Zugsüberfahrt wurden ausgewertet und definierten Dehnungs- bzw. Spannungsstufen zugeordnet. Für den Dauerfestigkeitsnachweis wurde für

jede relevante Messstelle der über die gesamte Messperiode maximal gemessene Spannungswechsel in die massgebende Nietlage im Nachweisquerschnitt umgerechnet und mit dem Dauerfestigkeitswert des entsprechenden Querschnitts verglichen. Wie erwartet waren die Längsträger vor dem Einbau des Schottertroges höher beansprucht, weshalb hierfür der Dauerfestigkeitsnachweis nicht erbracht werden kann.

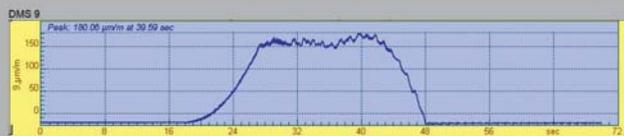
Abgestützt auf die Resultate der Dauerfestigkeitsnachweise wurden Betriebsfestigkeitsnachweise mittels Schadensakkumulationsberechnung nach Palmgren-Miner durchgeführt. Mit der pro Spannungsstufe ermittelten Anzahl Spannungswechsel konnte für jede Spannungsstufe und durch Aufsummierung sämtlicher Spannungsstufen die Schädigung während der Messperiode von einem Jahr ermittelt werden. Spannungswechsel unterhalb des Schwellenwertes ergeben keine Schädigung. Basierend auf statistischen Angaben der Schweizerischen Bundesbahnen zu den Anzahl Zügen und Gesamtbruttoregister-tonnen (GBRT) konnten die bisherigen Verkehrsbelastungen ermittelt werden.

Eglisau

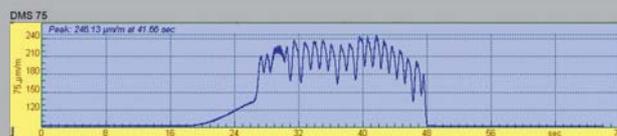
Hüntwangen



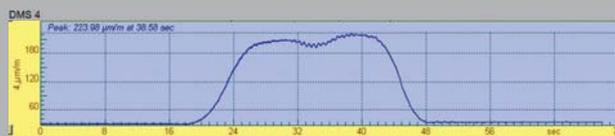
Lokalisierung der zur Beurteilung der Ermüdungssicherheit relevanten Dehnmessstreifen.



1. Diagonale



Querträger



Untergurt in Feldmitte

Aufzeichnung einzelner DMS der 1. Diagonalen, des Untergurts in Feldmitte und des Querträgers.

Für das Messjahr von April 2011 bis März 2012 resultierte eine Verkehrsbelastung von 23,0 x 106 Gesamtbruttoregistertonnen (GBRT)

Das zukünftige Verkehrsvolumen beruht auf folgenden Prognosen:

- für 2025:
33,8 x 106 GBRT/Jahr
(gemäss SBB Prognose)
- für 2035:
38,9 x 106 GBRT/Jahr
(Prognose 2025 +15%)

Dazwischen wird eine lineare Zunahme, ab 2035 eine konstante Verkehrsbelastung angenommen.

Basierend auf der ermittelten Ermüdungsschädigung pro Messjahr und der zugeordneten Verkehrsbelastung von 23.0 x 106 GBRT und unter der Annahme einer gleichbleibenden Verkehrszusammensetzung konnte anschliessend proportional zur Gesamttonnage für einzelne Zeithorizonte der Schädigungsgrad berechnet werden.

Beurteilung der Ermüdungssicherheit

Mit den Monitoring-Daten und der Umrechnung in die massgebenden Nietlagen

im Nachweisquerschnitt konnte für den Grossteil der Bauteile der Nachweis der Dauerfestigkeit erbracht werden. Für die übrigen Bauteile wurde ein Nachweis mittels Schadensakkumulationsberechnung durchgeführt.

Durch den Einbau des Schottertrogs konnten die Längsträger und damit auch deren Anschlüsse an die Querträger entlastet werden. Die Schadensakkumulationsrechnung zeigt denn auch, dass die Ermüdungsschädigung der Längsträger vergleichsweise wenig zunehmen wird, da die Längsträger nicht mehr direkt durch die Bahnlasten beansprucht werden. Die Längs-/Querträgeranschlüsse weisen somit auch eine genügende Ermüdungssicherheit auf.

Das erforderliche Sicherheitsniveau gegenüber theoretischem Bauteilversagen wird eingehalten, indem die berechnete Ermüdungsschädigung maximal einen Wert von 0,50 erreichen darf. Die Angaben zu den Verkehrsbelastungen und die berechnete Ermüdungsschädigung zeigen zudem, dass die genietete Konstruktion während der bisherigen Nutzungsdauer von 116 Jahren einer vergleichsweise geringen Beanspruchung ausgesetzt war und erst in den kommenden Jahren eine für die Ermüdung bedeutende Verkehrs-

belastung zu erwarten ist. Basierend auf den Messwerten kann somit rechnerisch für die Nietkonstruktion eine genügende Ermüdungssicherheit sowie für das massgebende Bauteil eine weitere Nutzungsdauer von mehr als 50 Jahren nachgewiesen werden. Da für die 1. Diagonale der mit Abstand grösste Ermüdungsschaden ermittelt wurde, wird empfohlen, die 1. Diagonale in absehbarer Zeit zu verstärken. Damit könnte der Nietkonstruktion eine rechnerische Nutzungsdauer von mehr als 50 Jahren, auch im Hinblick auf eine wesentlich intensivere Ermüdungsbeanspruchung, attestiert werden.

Folgerungen und Ausblick

Mit dem aufgezeigten Nachweisverfahren konnten das Tragverhalten und die Ermüdungssicherheit der genieteten Konstruktion der Bahnbrücke Eglisau basierend auf Monitoring-Daten beurteilt werden. Aufgrund der positiven Erfahrungen mit der Kombination von Tragwerksanalyse und messtechnischen Untersuchungen darf erwartet werden, dass bei Anwendung dieser Verfahrensweise zukünftig der Aufwand für Erhaltungsmaßnahmen deutlich reduziert werden kann. ■