

## Nachrechnung von Stahl- und Verbundbrücken: Systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke

FA 15.527

Forschungsstelle: RUHRBERG Ingenieurgemeinschaft Beratende Ingenieure (VBI), Hagen

Bearbeiter: Neumann, W. / Brauer, A.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach

Abschluss: März 2017

### 1 Aufgabenstellung

Aufgrund der starken Zunahme des Schwerverkehrs in den vergangenen Jahrzehnten sind für Brückenbauwerke die Beanspruchungen sowohl hinsichtlich ihrer maximalen Lastgröße als auch der Häufigkeit ihres Auftretens enorm angestiegen. Dies macht eine den heutigen Anforderungen angepasste Bewertung von Bestandsbauwerken hinsichtlich Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit und Ermüdungssicherheit unter Berücksichtigung des vorhandenen Bauwerkszustands erforderlich. Mit der Einführung der "Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand" (Nachrechnungsrichtlinie) wurde 2011 die Grundlage für eine bundeseinheitliche Nachrechnung und Bewertung von bestehenden Brückenbauwerken geschaffen.

Mittlerweile liegen erste Erfahrungen mit der Anwendung der Nachrechnungsrichtlinie vor, die die Grundlage für eine systematische Auswertung der Nachrechnungsergebnisse bilden.

Ziel der Datenauswertung ist es, speziell für Stahl- und Verbundbrücken Zusammenhänge zwischen bauwerksspezifischen Besonderheiten, der historischen Entwicklung der Regelwerke im Brückenbau und rechnerisch ermittelten Defiziten herzustellen.

Der Stahl- und Stahlverbundbrückenbau hat in den vergangenen Jahrzehnten eine enorme technische Entwicklung durchlaufen. Dabei waren zum einen wirtschaftliche Aspekte, die eine Weiterentwicklung der Bauweisen insbesondere im Hinblick auf Fertigung und Montage bewirkten, und zum anderen Erfahrungswerte aufgrund festgestellter konstruktiver Mängel, die zu einer stetigen technischen Verbesserung der Konstruktionen führten, ausschlaggebend. Daher kann die bauzeitliche Einstufung der Brückenbauwerke bereits erste Indizien auf mögliche rechnerische Defizite liefern.

Als Ergänzung zu der Datenauswertung von Nachrechnungsergebnissen werden am Beispiel von ausgewählten, vom Auftragnehmer selbst nachgerechneten Brückenbauwerken Besonderheiten und spezielle Erkenntnisse bei der Nachrechnung von Stahl- und Verbundbrücken detailliert beschrieben und Erfahrungswerte aufgezeigt.

Durch die Bewertung der Ergebnisse der Datenauswertung bereits nachgerechneter Bauwerke sowie der an Einzelbauwerken gewonnenen Erkenntnisse soll eine Optimierung des bisherigen Vorgehens in Bezug auf die Nachrechnung von Stahl- und Verbundbrücken erreicht werden. Dabei stehen insbesondere die Aspekte einer vereinfachten Beurteilung von Bauwerken hinsichtlich der Notwendigkeit einer Nachrechnung, einer Ver-

besserung der Darstellung von Nachrechnungsergebnissen sowie inhaltlicher Verbesserungspotenziale der Richtlinie selbst im Vordergrund.

### 2 Untersuchungsmethodik

Aufgrund der entscheidenden Bedeutung für die Bewertung der zur Verfügung gestellten Nachrechnungsergebnisse wird zunächst ein Überblick über die historische Entwicklung der Regelwerke im Stahl- und Verbundbrückenbau gegeben. Dieser umfasst zum einen die Entwicklung der normativ anzusetzenden veränderlichen Einwirkungen, wie zum Beispiel aus Verkehr und Temperatur, und zum anderen die Entwicklung der technischen Regelungen als Konsequenz aus den im Laufe der Jahre gewonnenen Erkenntnissen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden die vorliegenden Ergebnisdokumentationen der nachgerechneten Stahl- und Verbundbrücken ausgewertet. Dazu ist eine Auswertungssystematik verwendet worden, die sich an der Systematik für die Datenauswertung bereits nachgerechneter Betonbrücken (siehe BASt-Bericht B 124) orientiert und an die speziellen Belange von Stahl- und Verbundbrücken angepasst worden ist. Hierzu wird der Datenbestand zunächst im Hinblick auf die Straßenkategorie, die Bauart, den Konstruktionstyp des Haupttragwerks beziehungsweise der Fahrbahnplatte, die Altersstruktur, die statischen Systeme sowie die Zustandsnoten der Brückenbauwerke kategorisiert.

Die Ergebnisse der Nachrechnungen zu den einzelnen Brückenbauwerken liegen vorwiegend in Form von Ergebnistabellen gemäß Anlage 2 der Nachrechnungsrichtlinie vor. Die Tabellen enthalten für die jeweils untersuchten Bauteile die Ausnutzungsgrade in den relevanten Grenzzuständen der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit und der Ermüdung. Zur Erfassung der einzelnen Ergebnisse wird eine Datenbank aufgebaut, die als Kriterien alle Nachweisformate umfasst, die erfahrungsgemäß für Stahl- und Verbundbrücken kritisch sein könnten. Für die einzelnen Nachweise wird der Ausnutzungsgrad als Grundlage für die Einstufung in eine Defizitklasse herangezogen. Es werden insgesamt fünf Defizitklassen definiert, die die Höhe der Überschreitung angeben. Der Rahmen reicht von geringen Überschreitungen < 10 % (Defizitklasse 1) bis zu sehr großen Überschreitungen > 100 % (Defizitklasse 5).

Durch eine Verknüpfung der Kategorisierung des Brückenbestands mit den in den einzelnen Nachweisformaten aufgetretenen Defizitklassen ist es bei einem ausreichenden Datenbestand möglich, die Brückenbauwerke systematisch zu klassifizieren und häufig auftretende Zusammenhänge zu erkennen.

### 3 Untersuchungsergebnisse

Die vorliegenden Nachrechnungsdokumentationen sind im Hinblick auf die Art und Größe der rechnerisch ermittelten Defizite ausgewertet worden. Es hat sich gezeigt, dass der Großteil der festgestellten Defizite bei Nachweisen im Grenzzustand der Tragfähigkeit einschließlich Ermüdung auftritt. Anhand der Verteilung der Defizite konnten besonders kritische Nachweise

für spezielle Bauteile sowie ermüdungsrelevante Konstruktionsdetails identifiziert werden.

Die überschaubare Anzahl an Nachrechnungsdokumentationen ermöglicht keine umfassende Bewertung von aufgezeigten Defiziten und ihren Ursachen. Es lassen sich jedoch deutliche Tendenzen ableiten, die als erste Hilfestellung für die zukünftige Nachrechnung von älteren Stahl- und Verbundbrücken herangezogen werden können.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass im Grenzzustand der Tragfähigkeit bei längsorientierten Bauteilen insbesondere der Nachweis der Normal- und Vergleichsspannung in den Hauptträgern sowie der Beulnachweis des Hauptträgerstegblechs als kritisch zu bewerten sind. Ebenfalls führen Stabilitätsnachweise der Hauptträger, Beulnachweise der Bodenbleche durchlaufender Hohlkästen, Tragsicherheitsnachweise der Längsrippen von orthotropen Fahrbahnplatten sowie der Schweißnähte und die Nachweise der Momenten- und Querkrafttragfähigkeit der Betonfahrbahnplatte bei längsorientierten Bauteilen im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu Defiziten.

Wesentlich weniger häufig treten Defizite im Grenzzustand der Tragfähigkeit bei Nachweisen von in Brückenquerrichtung orientierten Bauteilen auf. Als kritische Nachweise sind hier Spannungsnachweise der Quertragglieder aus Stahl, Stabilitätsnachweise der Diagonalen, Beulnachweise von Querrahmen, Tragsicherheitsnachweise der Schweißnähte und Nachweise der Momenten- und Querkrafttragfähigkeit von querorientierten Betonfahrbahnplatten zu nennen.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Ermüdung) sind diverse Detailpunkte als kritisch zu bewerten. Bei Ausbildung der Fahrbahn als orthotrope Fahrbahnplatte sind dies insbesondere der Anschluss der Längsrippen an das Deckblech und an die Querträgerstege bei nicht durchlaufenden Längsrippen sowie der Stegzahn im Bereich der Querträgerdurchdringung bei durchlaufenden Längsrippen. Weitere ermüdungskritische Details sind die Anbindung des Querträgers an den Hauptträgersteg sowie Gurtstöße und endende Gurtlamellen. Bei Verbundbrücken ist der Ermüdungsnachweis für die Betonstahlbewehrung in Brückenlängsrichtung häufig mit Defiziten belastet.

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind für Betonfahrbahnplatten von Verbundbrücken häufig bemessungsrelevant. Diese haben sich im Zuge der Auswertung der Nachrechnungsdokumentationen jedoch in der Regel als unkritisch herausgestellt. Einzig der Nachweis der Dekompression bei in Querrichtung vorgespannten Betonfahrbahnplatten weist einen hohen Anteil an rechnerischen Defiziten auf.

Als Ergänzung zu den durchgeführten Untersuchungen wurden am Beispiel von ausgewählten Brückenbauwerken Besonderheiten und spezielle Erkenntnisse bei der Nachrechnung von Stahl- und Verbundbrücken detailliert beschrieben und Erfahrungswerte dargelegt.

Die Auswertung der Nachrechnungsergebnisse sowie die anhand spezieller nachgerechneter Brückenbauwerke gewonnenen Erkenntnisse haben diverse Verbesserungspotenziale in der Darstellung der Nachrechnungsergebnisse sowie inhaltliche Verbesserungspotenziale in der Nachrechnungsrichtlinie selbst aufgezeigt.

## 4 Folgerung für die Praxis

Der Umfang der zur Verfügung gestellten Nachrechnungsdokumentationen ist derzeit noch zu begrenzt, um eine allgemeingültige verlässliche Systematik herausarbeiten zu können. Es werden jedoch kritische Nachweise erkannt, auf die im Zuge von Brückennachrechnungen ein besonderes Augenmerk zu legen ist.

Die Erkenntnisse aus der Datenauswertung sowie aus der Durchführung von einzelnen Nachrechnungen sind in einen Leitfaden zur vereinfachten Tragwerksbeurteilung im Vorfeld einer Nachrechnung eingeflossen. Dieser soll als weiteres Hilfsmittel dienen, um besonders kritische Bauwerke besser identifizieren zu können und möglicherweise mit gezielten Untersuchungen von Detailpunkten erste Grundlagen für eine Bewertung der Bauwerke schneller zur Verfügung stellen zu können.

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen werden Verbesserungsmöglichkeiten im Hinblick auf die Ergebnisdarstellung sowie Vorschläge zur Ergänzung und Erweiterung der Nachrechnungsrichtlinie beschrieben. Diese betreffen im Wesentlichen die Punkte

- Nachrechnung von WiB-Überbauten,
- Objektbezogene Schadensanalyse,
- Bewertung der Bauwerkshistorie im Hinblick auf die Restlebensdauer,
- Vergleichbarkeit der rechnerischen Tragfähigkeiten,
- Entscheidungshilfen bei der Maßnahmenfindung im Anschluss an eine Nachrechnung.