

VSVI-Seminar:

Tragfähigkeit und Tragverhalten älterer Stahl- und Stahlverbundbrücken

Brücken im Bestand

Erhalten – Ertüchtigen – Erneuern

18. März 2015

Tragfähigkeit und Tragverhalten älterer Stahl- und Stahlverbundbrücken

Dipl.-Ing. Winfried Neumann, Ruhrberg Ingenieurgesellschaft, Hagen

Bestandssituation

Die Bestandssituation für Stahl- und Stahlverbundbrücken ist im Wesentlichen geprägt durch die im Folgenden aufgeführten Aspekte:

- extrem angestiegene Verkehrsbelastung
 - Häufigkeit
 - Lastintensität
- fehlende ermüdungsgerechte Detailgestaltung
 - Vernachlässigung verformungsbedingter Sekundärbeanspruchungen
 - Abrupte Querschnittswchsel
 - Anschlusskonzentrationen
- unzureichende Fertigungsqualität
 - Unangemessene Schweißnahtausbildung
 - Stahlqualität
- neue wissenschaftliche Erkenntnisse
 - Stabilitätsverhalten von aussteiften Steg- und Bogenblechen
 - Auswirkungen von Zwangsbeanspruchung aus Temperatur

In Anbetracht der heutigen, ermüdungsrelevanten Belastungen aus Schwerlastverkehr sind die Bestandsbauwerke in der Regel nicht ausreichend bemessen. Der Bestandsschutz ist somit aufgehoben.

Die Weiterentwicklung wissenschaftlicher Erkenntnisse spiegelt sich beispielsweise in den für den Stahl- und Stahlverbundbrückenbau bedeutenden Schritten der Entwicklungsgeschichte der Regelwerke wider.

Stahlbrücken			
Erscheinungsjahr	Regelwerk / Richtlinie	Titel	Wesentliche Entwicklungsschritte
1969	DIN 1073	Stählerne Straßenbrücken, Berechnungsgrundlagen	Erstmalige Festlegung zur Begrenzung der Vergleichsspannung in Biegeträgern $\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_x'^2 - \sigma_x \cdot \sigma_x' + 3 \cdot \tau^2}$
1974	DIN 1073	Stählerne Straßenbrücken, Berechnungsgrundlagen	Angaben zum Spannungsverlauf in Gurten mit Spannungsermittlung unter Berücksichtigung mitwirkender Breiten
1978	DAST-Richtlinien	Beulsicherheitsnachweise für Platten	Erfassung des knickstabähnlichen Verhaltens bei aussteiften Beulfeldern
1987	DIN 18809	Stählerne Straßen- und Wegebrücken	Konstruktive Vorgaben zur Ausbildung von orthotropen Fahrbahnplatten unter dem Gesichtspunkt der Ermüdung

Stahlverbundbrücken			
Erscheinungsjahr	Regelwerk / Richtlinie	Titel	Wesentliche Entwicklungsschritte
1984	Richtlinie	Ergänzende Bestimmungen zu den Richtlinien für die Bemessung und Ausführung	Veränderte Vorgaben zur Bestimmung der Dübeltragfähigkeit
1991-1999	Richtlinie	Ergänzende Bestimmungen zu den Richtlinien	Mehrfache Änderungen zur Beschränkung der Rissbreite und der Mindestbewehrung

Vorgehensweise zur Bewertung der Tragfähigkeit und des Tragverhaltens bei Stahl- und Stahlverbundbrücken

Das Vorgehen bei der Bewertung von Tragfähigkeit und Tragverhalten ist geprägt durch folgende Aspekte:

- Berücksichtigung des aktuellen Bauwerkszustandes, zum Beispiel durch eine Objektbezogene Schadensanalyse
- Anwendung genauerer Berechnungsverfahren mit verbesserter Tragwerkssimulation gegenüber der Bestandsberechnung
- rechnerische Nutzung der vorhandenen Tragreserven auf System und Querschnittsebene
- Rückgriff auf Erfahrungswerte mit überholten Bauweisen
- Ansatz modifizierter Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite und der Widerstandsseite

Eine wesentliche Aufgabe besteht in der Dokumentation der erzielten Nachrechnungsergebnisse für die weitergehende Verwendung im Rahmen von Instandsetzungs-/ Ertüchtigungsmaßnahmen. Diese Dokumentation beinhaltet folgende Bestandteile:

- Aufzeigen allgemeiner Bauwerksdefizite mit Überprüfung der Plausibilität in den ursprünglichen Planungsansätzen und den daraus abgeleiteten Berechnungsergebnissen
- Ingenieurmäßige Bewertung der Bauwerksdefizite
- Angabe der Ausnutzungsgrade für die wesentlichen Nachweise / Bauteile - dabei ist zu beachten, dass es sich hierbei nur um Orientierungshilfen handelt; insbesondere bei Stabilitätsnachweisen bestehen keine linearen Zusammenhänge zwischen Laststeigerung und Anstieg des Ausnutzungsgrades
- Zuweisung einer Nachweisklasse (A,B,C)
- Vorschläge zu technisch möglichen / wirtschaftlichen Ertüchtigungsmöglichkeiten
- Vorgabe von verkehrlichen Kompensationsmaßnahmen

Einzelaspekte zu Stahl- und Stahlverbundbrücken

Im Folgenden sind einige Einzelaspekte bei der Bewertung der Bauwerke beispielhaft dargelegt. Ein wesentlicher Aspekt besteht in der zutreffenden Ermittlung der Schnittgrößen. Grundlage dafür bildet eine realitätsnahe Erfassung des statischen Systems mit:

- Berücksichtigung realistischer Gründungssteifigkeiten
- Erfassung der Querverteilung bei exzentrischer Laststellung
- Erfassung der Profilverformung bei Überbauten mit Hohlkastenquerschnitt
- Berücksichtigung von Grundrisskrümmungen im Tragwerk
- Erfassung realitätsnaher mitwirkender Breiten

Ergänzende Regelungen zum Teilsicherheitskonzept gegenüber den DIN-Fachberichten sind der Nachrechnungsrichtlinie sowohl für die Einwirkungs- als auch die Widerstandsseite zu entnehmen.

Besondere Bedeutung kommt den Stabilitätsnachweisen der gedrückten Gurte von Kastenträgern und den Stegblechen zu. Erst mit Veröffentlichung der DASt-Richtlinie 012 im Jahr 1978 erfolgte die Erfassung des Einflusses des sogenannten knickstabähnlichen Verhaltens bei Beulfeldern. Es kann davon ausgegangen werden, dass Bauwerke, die vor Ende der 1970er Jahre bei entsprechender Schlankheit der Bauteile deutliche Defizite hinsichtlich der Stabilität aufweisen.

Erfahrungen aus der Praxis

Bei der Durchführung von Nachrechnungen haben sich folgenden Besonderheiten und Schwierigkeiten herausgestellt:

- Fehlende/ mangelhafte / widersprüchliche Bestandsunterlagen
- Abweichungen zwischen Planung und Ausführung
- Fehlende Angaben zum Bauablauf hinsichtlich Montage, Spanngliedvorspannung und Betonierfolge
- Vereinfachte, fehlerhafte Systemannahmen
- Vereinfachte, fehlerhafte Steifigkeitsansätze, insbesondere bei den Betonbauteilen der Verbundbauwerke
- Kerbfalleinstufung von Bestandsdetails
- Fehlende Nachweise zu den Quertraggliedern unter dem Gesichtspunkt der Querverteilung
- Fehlende Normung zu technisch überholten Konstruktionsformen / Bauverfahren

Exemplarisch werden diese Erfahrungen anhand von acht Bauwerken im zugehörigen Vortrag erläutert.

Literaturverzeichnis

- [1] G. Hanswille, W. Neumann: Erläuterungen und Hintergründe zur Nachrechnungsrichtlinie-Stahl- und Stahlverbundbrücken, in: Bauingenieur Band 87, Januar 2012, Seiten 36-51
- [2] Friedrich, H.: Ertüchtigung im Stahlbrückenbau. Veröffentlichung anlässlich des „Expertengesprächs Stahlbrückenbau“ bei der BASt am 27. Sept. 2011 in Bergisch Gladbach, Download unter www.bast.de
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau: Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie), Ausgabe 05/2011
- [4] Ruhrberg Ingenieurgesellschaft: Unveröffentlichte Projektdokumentationen
- [5] Brandes, K.: Eigenschaften alter Eisen und Stähle und ihre adäquate Materialprüfung und Bewertung, in: Bautechnik 85 (2008), Heft 6, S. 394- 406.
- [6] DB Netz AG: Richtlinie 805 „Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken“
- [7] Feldmann, M., Heinemeyer, C., Hinrichs, H.: Zum Einfluss der Nietkopfabrostung auf die Nietvorspannung und Dauerhaftigkeit alter Stahlkonstruktionen, in: Bautechnik 85 (2008), Heft 2, S.93-102.
- [8] Bleich, F.: Theorie und Berechnung der eisernen Brücken, Springer Verlag, Berlin 1924.
- [9] DIN Fachbericht 103: Stahlbrücken. Beuth Verlag, Berlin, März 2009
- [10] DIN Fachbericht 104: Verbundbrücken. Beuth Verlag, Berlin, März 2009
- [11] DIN 4114: Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung). Blatt 1: Berechnungsgrundlagen, Vorschriften. Blatt 2 : Berechnungsgrundlagen, Richtlinien. Beuth Verlag, Berlin, Juli 1952
- [12] DIN 1072: Straßen- und Wegbrücken – Lastannahmen. Beuth Verlag, Berlin, November 1967
- [13] DIN 1073: Stählerne Straßenbrücken – Berechnungsgrundlagen. Beuth Verlag, Berlin, Juli 1973
- [14] DIN 18809: Stählerne Straßen- und Wegbrücken – Bemessung, Konstruktion, Herstellung. Beuth Verlag, Berlin, September 1987
- [15] DIN 1079: Stählerne Straßenbrücken – Grundsätze für die bauliche Durchbildung, Beuth Verlag, Berlin, September 1970
- [16] DAST-Richtlinie 012: Beulsicherheitsnachweise für Platten. Oktober 1978
- [17] DIN 4101: Geschweißte stählerne Straßenbrücken – Berechnung und bauliche Durchbildung. Beuth Verlag, Berlin, Juli 1974

- [18] DIN 1078: Verbundträger-Straßenbrücken. Beuth Verlag, Berlin, September 1955
 - [19] DIN 4227: Spannbeton – Richtlinien für Bemessung und Ausführung, Juni 1973
 - [20] DIN 4227: Spannbeton – Teil 1: Bauteile aus Normalbeton mit beschränkter oder voller Vorspannung, Juli 1988 (Änderung A1: Dezember 1995)
 - [21] DIN 1078-Richtlinien: Richtlinien für die Bemessung und Ausführung von Stahlverbundträgern. Beuth Verlag, Berlin, Juni 1974
 - [22] DIN 1078-Richtlinien: Ergänzende Bestimmungen zu den Richtlinien für Stahlverbundträger. März 1984
 - [23] DIN 18800-3: Stahlbauten – Teil 3: Stabilitätsfälle – Plattenbeulen. Beuth Verlag, Berlin, November 2008
 - [24] ZTV-Ing, Teil 4: Stahlbau, Stahlverbundbau (Abschnitt 1). Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Januar 2003
 - [25] Friederich, H., Quaas, B.: Zukunftsfähigkeit des Bestandes - Zukünftiger Bedarf an Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen bei orthotropen Fahrbahnplatten von Straßenbrücken, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2010
 - [26] Sedlacek, G., Paschen, M., Feldmann, M., Geißler, B., Steinauer, B., Scharnigg, K.: Nachhaltige Instandsetzung und Verstärkung von orthotropen Fahrbahnplatten von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems, BASt Schriftenreihe B, Verkehrsblatt Verlag, 2010
 - [27] Kühn, B., Luklic, M., Nussbaumer, A., Günther, H.-P., Helmerich, R., Herion, S., Kolstein, M.H., Walbridge, S., Androic, B., Dijkstra, O., Bucak, Ö.: Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life, JRC Scientific and Technical Reports, First Edition, February 2008
 - [28] Kühn, B., Helmerich, R., Nussbaumer, A., Günther, H.-P., Herion, S.: Beurteilung bestehender Stahltragwerke: Empfehlungen zur Abschätzung der Restnutzungsdauer, Stahlbau, Heft 8, Ernst&Sohn, 2008
 - [29] Geißler, K., Graße, W., Brandes, K.: Bewertung bestehender Stahlbrücken, Stahlbau Kalender 2006, Ernst & Sohn, Berlin, 2006
 - [30] Sedlacek, G., Stötzel, J., Kühn, B.: Restnutzungsdauer und Ermüdungsbeanspruchung von Stahlbauten, Der Prüfenieur, April 2005
 - [31] Sedlacek, G., Eisel, H., Hensen, W., Kühn, B., Paschen, M.: Leitfaden zum DIN Fachbericht 103 "Stahlbrücken", Ausgabe März 2003, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2003
-

- [32] Langenberg, P.: Bruchmechanische Sicherheitsanalyse anrissgefährdeter Bauteile im Stahlbau, Diss. RWTH Aachen, 1996
- [33] Hensen, W.: Grundlagen für die Beurteilung der Weiterverwendung alter Stahlbrücken. Diss., RWTH Aachen, 1992
- [34] Hanswille, G., Stranghöfner N.: Leitfaden zum DIN-Fachbericht 104 „Verbundbrücken“ Ausgabe 2003, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2003
- [35] Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem, spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl erstellt wurden, unveröffentlicht, Berlin, 2011 (unveröffentlicht)
- [36] DIN EN 1993-1-5: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-5: plattenförmige Bauteile, Deutsche Fassung EN 1993-1-5, 2006 +AC 2009, 2010
- [37] Stangenberg, F., Breitenbücher, R., Bruhns, T., Hartmann, D., Höffer, R., Kuhl, D., Meschke, G.: Lifetime-Oriented Structural Design Concepts, Springer, Berlin Heidelberg, 2009
- [38] Hanswille, G.: Zum Nachweis der Ermüdung von Verbundträgern nach Eurocode 4 Teil 1-1, Der Stahlbau 63, 1994