Die Sanierung der Eisenbahnhochbrücke Rendsburg

Durch die umfangreiche Instandsetzung und Verstärkung wird die Eisenbahnhochbrücke über den Nord-Ostsee-Kanal für die nächsten Jahre ertüchtigt.

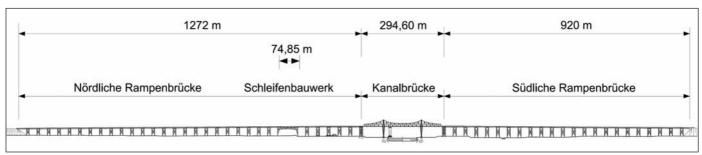


Abb. 1: Gesamtansicht der Eisenbahnhochbrücke Rendsburg

Matthias Bartzsch

Überblick zum Bauwerk

Die Eisenbahnhochbrücke über den Nord-Ostsee-Kanal in Rendsburg ist über 100 Jahre alt. Sie wurde im Zuge der Kanalerweiterung in den Jahren 1911 bis 1913 als Ersatz für zwei Drehbrücken erbaut [1]. Heute ist die Fachwerkkonstruktion eines der bedeutendsten Technikdenkmäler in Deutschland und das Wahrzeichen der Stadt Rendsburg. Aufgrund ihrer großen Bedeutung für den nationalen wie auch den internationalen Eisenbahnverkehr - über die Brücke verläuft die zentrale Eisenbahnroute nach Skandinavien - wird die Brücke umfangreich instandgesetzt und verstärkt.

Der gesamte Brückenzug (Abb. 1) ist knapp 2,5 km lang und wird durch die darauffolgenden Dämme ergänzt. Etwa in der Mitte befindet sich die eigentliche Kanalbrücke, ein zweihüftiger Rahmen mit eingehängtem Schwebeträger. Die Mittelöffnung der Kanalbrücke besitzt eine lichte Weite von 140 m

bei einer lichten Durchfahrtshöhe von 42 m über dem Kanal. An die Kanalbrücke grenzen auf der Nord- und Südseite die Rampenbrücken an (Abb. 2). Die Rampenbrücken bestehen jeweils aus einer Kette von Pfeilern, den sogenannten Gerüstpfeilern, und den darauf aufliegenden einfeldrigen Überbauten, insgesamt 51 Pfeiler und 105 Überbauten. Da der Rendsburger Bahnhof im Zuge des Brückenneubaus nicht versetzt werden sollte, wird die Bahnlinie auf der Nordseite in einer weitgezogenen Schleife heruntergeführt und unterquert sich selbst im sogenannten Schleifenpunkt. Dort befindet sich das Schleifenbauwerk, ein Fachwerkrahmen von 75 m Länge.

Eine technische Besonderheit ist die Schwebefähre am Kanalbauwerk (Abb. 3). Sie besteht aus einer an Stahlseilen hängenden Fahrbühne. Die Stahlseile münden in den oberen Fahrwagen, welcher auf äußeren Schienen am Kanalbauwerk zwischen den Pylonen fahren kann. Mit der Schwebefähre können bis zu 4 Pkw befördert werden, vor allem dient sie aber dem Fußgänger- und Radfahrverkehr.

Die Brücke ist als Nietkonstruktion ausgeführt. Als Material wurde Flusseisen verwendet, ein Material, das in seinen Eigenschaften dem heutigen Stahl S235 nahekommt, wenn auch mit größeren Streuungen der Materialparameter. Die nach dem normierten Verfahren nach Richtlinie (Ril) 805 "Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken" [3] ermittelte Restnutzungsdauer der Brücke beträgt derzeit noch mehr als 50 Jahre, was für ein zweigleisiges, nach 1900 errichtetes Tragwerk mit guter Querverteilung ein typisches Ergebnis ist.

Aufgaben der Brückenertüchtigung

Die seit Ende der 1990er Jahre laufende Brückenertüchtigung unterteilt sich in Instand-



Abb. 3: Schwebefähre am Kanalbauwerk



Abb. 2: Blick vom nördlichen Widerlager; zu sehen sind das Kanalbauwerk (links) und das Schleifenbauwerk in der nördlichen Rampe (Bildmitte)

setzungs- und Verstärkungsmaßnahmen. Die Instandsetzungsmaßnahmen umfassen neben der grundhaften Erneuerung des Korrosionsschutzes vor allem die Beseitigung von Korrosionsschäden. Hierfür werden in der Regel schadhafte Stellen durch Laschen überdeckt, wobei die Laschen immer bis in den "gesunden Bereich" geführt und tragfähig angeschlossen werden. In Einzelfällen werden Querschnittsteile komplett ausgetauscht. Als Grenze für die Notwendigkeit einer Instandsetzung wird ein Querschnittsverlust von mehr als 5 % festgelegt. Dieser 5%-Schaden wird im Zuge der Nachrechnung der Brücke pauschal mittels des zusätzlichen Teilsicherheitsbeiwertes für den baulichen Zustand $\gamma_B = 1,05$ berücksichtigt. Zusätzlich zu den Instandsetzungsmaßnahmen wird die Brücke verstärkt, worauf im Folgenden näher eingegangen werden soll.

Änderungen der Verkehrslasten

Die Brücke wurde ursprünglich für den preußischen Lastenzug A (LZ A, zweigleisig) bemessen. Das Lastbild setzt sich aus zwei Lokomotiven (Achslast 17 t, Meterlast 71 kN/m), zwei Tendern (13 t, 65 kN/m) und einseitig angehängten Wagen (13 t, 43 kN/m) zusammen. Zusätzlich wurde im Hinblick auf eine spätere Laststeigerung bei der Bemessung noch eine 20 %ige Reserve vorgesehen. Heute wird die Brücke für einen Begegnungsverkehr eines Güterzuges der Streckenklasse D2 (22,5 t, 64 kN/m auf maximal 835 m) mit einem Personenzug ertüchtigt bzw. alternativ für einen Güterzug der Streckenklasse D4 (22,5 t, 80 kN/m auf maximal 580 m) im eingleisigen Verkehr. Für den Personenzug werden unter anderem Lastbilder für den ICE 1-3, für Doppelstocktriebzüge und für Doppelstockreisezüge berücksichtigt sowie das eigens aufgestellte Lastbild des "definierten Reisezuges" (DRZ). Das letztgenannte Lastbild DRZ, welches in den meisten Fällen maßgebend wird, besteht aus einer Loklast (Achslast 20 t, Meterlast 60 kN/m auf 30 m Länge) und daran einseitig angehängten Wagen (20kN/m auf maximal 390 m Länge). Auf der Transitstrecke von Dänemark kommend bis zum Rangierbahnhof Maschen südlich von Hamburg verkehren seit 2012 Güterzüge mit einer Länge von bis zu 835 m.

Die Vertikallasten des früheren Lastbildes LZ A und der heutigen Lastansätze D2/ DRZ bzw. D4-eingleisig liegen in ungefähr gleicher Größenordnung. Eine deutliche Änderung ist dagegen bei den Anfahr- und Bremslasten zu verzeichnen: Während früher die Bremslast mit 1/7 der Vertikallast angesetzt wurde, ist es heute 1/4. Das entspricht fast einer Verdopplung der Bremslast. Zudem ist heute eine Anfahrlast von 1000 kN zu berücksichtigen. Diese großen

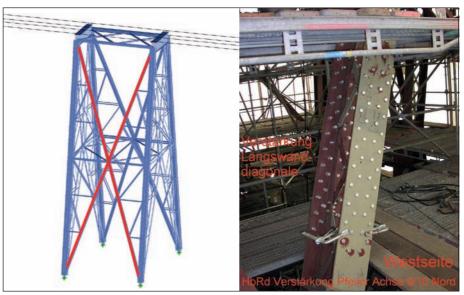


Abb. 4: Verstärkung der Längswanddiagonalen an den Gerüstpfeilern

Horizontallasten stellen für die schlanke hohe Brücke eine große Belastung dar.

Längskraftverteilung auf der Brücke

Trotz dass die einzelnen Teilbauwerke in Längsrichtung entkoppelt sind, bestehen Möglichkeiten der Längskraftübertragung zwischen den Teilbauwerken: Zum einen verfügt die Brücke über durchgehend verschweißte Schienen ohne Schienenauszüge und zum anderen sind die längsverschieblichen Lager der einfeldrigen Überbauten in der Regel als Reiblager ausgebildet, d.h. die Lager können unter der Wirkung von Vertikallasten Horizontallasten übertragen. Durch diese Kopplungen werden konzentriert eingetragene Längskräfte, das betrifft vor allem die Anfahrlasten, über eine größere Länge als die eigentliche Lasteintragungslänge verteilt. Die Längskraftverteilung wird außerdem dadurch begünstigt, dass die Fahrbahn in Gleislängsrichtung schwimmend gelagert ist - die Brückenbalken liegen längsverschieblich auf den Zentrierleisten auf. Der Lastabtrag der Längskräfte von den Schienen in die Brückenkonstruktion erfolgt nur durch Reibung. Die Längskraftableitung von den Schienen in das Tragwerk wurde in einem nichtlinearen Berechnungsmodell der gesamten Brücke untersucht. Es wurden dabei auflastabhängige, nichtlineare Längskraft-Verschiebungs-Abhängigkeiten zwischen den Brückenbalken und den Zentrierleisten sowie an den Reiblagern der Überbauten berücksichtigt. Die Parameter der Längskraft-Verschiebungs-Abhängigkeiten wurden in zahlreichen Berechnungen variiert, um Streuungen der Reibkraftübertragung zu erfassen. Zusätzlich wurden die auftretenden zusätzlichen Schienenspannungen ermittelt. Die numerische Analyse wurde durch Messungen am Bauwerk im Rahmen eines "Bremsversuches" verifiziert [2]. Als Ergebnis dieser Untersuchung wurden die anzusetzenden Horizontalkräfte auf die einzelnen Teilbauwerke, d.h. die wirk-

Abb. 5: Verstärkter Querträger mit neuen Gurtlaschen (Bildmitte) sowie Fachwerk-Abfangeträger (davor und dahinter)





Abb. 6: Austausch des unteren Windverbandes - hier Detail des Kreuzungspunktes der Diagonalen

samen Anfahr- und Bremslasten auf die Pfeiler, auf das Kanalbauwerk und auf das Schleifenbauwerk, festgelegt. Diese von der Norm abweichenden Lastansätze wurden durch eine Zustimmung im Einzelfall durch das Eisenbahn-Bundesamt bestätigt. Erst durch diese Möglichkeit der rechnerisch berücksichtigten Längskraftverteilung ist es wirtschaftlich möglich, die Eisenbahnhochbrücke für die heutigen Zuglasten zu ertüchtigen.

Verstärkungskonzeption

Die statische Nachrechnung des Bestandsbauwerkes für die neuen Verkehrslasten hat typische Fälle von Überlastungen gezeigt. Das betrifft vor allem:

· Bauteile, die direkt durch die erhöhten Brems- und Anfahrlasten beansprucht werden, z.B. die Längswanddiagonalen der Gerüstpfeiler und die Fundamente der Gerüstpfeiler (Kippen der Gerüstpfeiler),

- · Bauteile, die durch die erhöhten Achslasten beansprucht werden, z.B. die Längsund Querträger der Fahrbahn sowie
- · Bauteile, die durch ein ungewolltes Mitwirken an der Haupttragwirkung beansprucht werden (was früher bei der Tragwerksbemessung nicht berücksichtigt wurde), z.B. die Windverbände und die Fahrbahn.

Für die genannten Bauteile sind Verstärkungen erforderlich. Übliche Verstärkungsmaßnahmen an der genieteten Konstruktion sind z. B.:

- · Verstärkungslamellen auf den Fachwerkstäben. Die Verstärkungslamellen müssen bis in die Fachwerkknoten eingebunden werden.
- Vergittern offener Querschnitte, um die Torsionssteifigkeit zu erhöhen (günstigeres Biegedrillknickverhalten).
- · Austausch von Nieten gegen Passschrauben, wenn an Stabanschlüssen der Abschernachweis nicht erfüllt ist.

• Ein kompletter Stabaustausch, was in der Regel aber nur für untergeordnete Bauteile, z.B. Windverbände, technisch-wirtschaftlich machbar ist.

Alle Verstärkungsmaßnahmen sind unter Berücksichtigung des Denkmalschutzes zu planen. Das Erscheinungsbild der Brücke soll sich nicht ändern. Jedoch sind lokale Detailänderungen, z.B. Schrauben statt Niete, möglich. Eine Änderung des (bewährten) statischen Systems soll durch die Verstärkungsmaßnahmen nach Möglichkeit nicht vorgenommen werden. Die Umsetzung der Maßnahmen gestaltet sich an der genieteten Fachwerkkonstruktion mit häufig mehrfach abgestuften Querschnitten als sehr aufwendig. Das betrifft vor allem die Einbindung der Verstärkungslamellen in die Fachwerkknoten. Hier muss häufig mit zusätzlichen Laschen und niveauausgleichenden Futterblechen gearbeitet werden. Der Anschluss der Verstärkungselemente erfolgt mit Passschrauben. Passschrauben weisen eine ähnliche Steifigkeit wie die Nietverbindungen auf, sodass von einem gemeinsamen Tragverhalten ausgegangen werden kann. Ein Anschluss mittels Schweißverbindungen ist am Altstahl grundsätzlich nicht vorgesehen.

Für die Wirksamkeit von Verstärkungselementen muss berücksichtigt werden, dass die neuen Bauteile sich nicht an der Eigenlastabtragung beteiligen, es sei denn, sie werden unter Vorspannung montiert.

Da die Eisenbahnhochbrücke während der Ertüchtigungsmaßnahmen weiter genutzt wird, muss bereits beim Entwurf von Verstärkungsmaßnahmen die technische Machbarkeit, gegebenenfalls mit Abfangungen, unter laufendem Eisenbahnbetrieb berücksichtigt werden. Bis Ende 2014 befand sich die Brücke im eingleisigen Betrieb mit Zügen der Streckenklasse D2* (der Stern bedeutet, dass die Zuglast auf 1300 t pro 300 m Zuglänge beschränkt ist). Seit dem Fahrplanwechsel im Dezember 2014 steht die Brücke unter eingeschränktem zweigleisigem Verkehr D2*+Personenzug. Sperrpausen sind nur in den Nächten von Samstag auf Sonntag möglich, d.h. Sperrpausen können nur für ausgewählte einzelne Montageschritte genutzt werden. Der Nord-Ostsee-Kanal wird durch zahlreiche Schiffe befahren, sodass die Schifffahrtsöffnung frei gehalten werden muss.

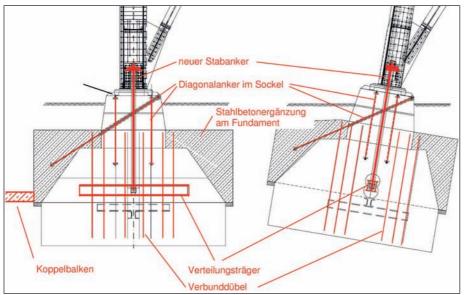


Abb. 7: Fundamentverstärkung an den Gerüstpfeilern: Prinzipskizze

Beispiele für Verstärkungsmaßnahmen

Anhand von vier ausgewählten Beispielen werden typische Fälle der Verstärkungsmaßnahmen vorgestellt.

Verstärkung der Längswanddiagonalen an den Gerüstpfeilern

Die Längswanddiagonalen erhalten aus den erhöhten Brems- und Anfahrlasten zusätzli-







Abb. 8: Fundamentverstärkung an den Gerüstpfeilern: neuer Hauptanker, Verankerungsträger, Stahlbetonmanschette

che Kräfte, sodass insbesondere die Sicherheit gegen Stabilitätsversagen nicht mehr gewährleistet ist. Die Längswanddiagonalen werden durch zusätzliche Lamellen verstärkt, die beidseits mittels Passschrauben auf den vorhandenen Querschnittsflanschen befestigt werden (Abb. 4). Die Verstärkungslamellen werden an beiden Stabenden bis an die Knotenbleche geführt. Der kraftschlüssige Anschluss an die Knoten erfolgt durch zusätzlich aufgelegte Laschen.

Verstärkung der Querträger an der Fahrbahn des Kanalbauwerkes

Die Querträger (QT) erhalten aus den höheren Achslasten, aber auch aus einer ungewollten Biegung um die vertikale (schwache) Achse infolge des Mitwirkens an der Haupttragwirkung erhöhte Beanspruchungen. Als Verstärkungsmaßnahme werden am QT-OG und QT-UG einige Gurtlamellen und zum Teil auch Gurtwinkel ausgetauscht. Da die Maßnahme unter Betriebslasten durchgeführt wird, ist eine Abfangung der Querträger erforderlich. Die Abfangung muss eine Steifigkeit besitzen, die dem ca. 1,30 m hohen Querträger ebenbürtig ist. Gleichzeitig muss die Abfangung unter den eingeschränkten Platzverhältnissen montierbar sein. Es werden hierfür aus einzelnen Segmenten bestehende Fachwerk-Abfangeträger verwendet, die jeweils vor und hinter dem Querträger zwischen die Längsträger montiert werden und Lasten von den Längsträgern direkt zum Hauptträger-Untergurt ableiten (Abb. 5).

Verstärkung des unteren Windverbandes am Kanalbauwerk

Die Windverbände, die am Obergurt bzw. am Untergurt des Hauptträgerfachwerkes angeschlossen sind, beteiligen sich ungewollt an der Haupttragwirkung, wofür sie

nicht bemessen sind. Die Verstärkungsmaßnahme für die am höchsten beanspruchten unteren Windverbandsfelder besteht darin, dass die Stäbe guerschnittsgleich, aber mit höherer Materialgüte (S355) ausgetauscht werden (Abb. 6). Dadurch wird die Festigkeit der Verbandsstäbe erhöht, ohne die Dehnsteifigkeit (Querschnittsfläche) zu vergrößern. Eine Vergrößerung der Querschnittsfläche würde infolge der höheren Steifigkeit zu einem verstärkten Mittragen an der Haupttragwirkung führen, wodurch die Verstärkungsmaßnahme in ihrer Wirksamkeit vermindert werden würde.

Verstärkung der Fundamente an den Gerüstpfeilern

Die Gerüstpfeiler erfahren durch die Horizontalbeanspruchung aus Bremsen und Anfahren, aber auch aus weiteren Horizontallasten (Wind, Fliehkräfte) Kippbeanspruchungen, die sich als Kräftepaare auf die jeweils vier Einzelfundamente eines Gerüstpfeilers umlegen. Für die Wirkung abhebender Kräfte müssen die Fundamente verstärkt werden, während sie für drückende Lasten eine ausreichende Tragfähigkeit besitzen (Abb. 7 und 8). Die beiden wesentlichen Komponenten der Verstärkung sind der Einbau eines neuen Hauptankers einschließlich eines seitlich in das Fundament eingelassenen Verteilungsträgers zur Einbindung des Hauptankers und eine Stahlbetonmanschette auf dem Bestandsfundament. Der Hauptanker dient dem zugfesten Anschluss des Gerüstpfeilereckstieles an das Fundament, die Stahlbetonmanschette dient der Eigenlasterhöhung.

Resümee

Durch die umfangreichen Ertüchtigungsmaßnahmen wird die Eisenbahnhochbrücke Rendsburg für viele weitere Jahre und für den wachsenden Eisenbahnverkehr nutzbar gemacht; gleichzeitig wird dieses Meisterwerk der Ingenieurbaukunst als funktionierende Brücke langfristig erhalten. Dies ist ein wichtiger Beitrag zur Baukultur.

LITERATUR

[1] Thiesen, E.: Die Rendsburger Hochbrücke mit Schwebefähre; Band 13 der Reihe: Historische Wahrzeichen der Ingenieurbaukunst in Deutschland; Hrsg. Bundesingenieurkammer, 2014 [2] Geißler, K.; Graße, W.; Schmachtenberg, R.; Stein, R.: Zur meßwertgestützten Ermittlung der Verteilung der Brems- und Anfahrkräfte an der Eisenbahnhochbrücke Rendsburg; Stahlbau 71 (2002), Heft 10, S. 735-747

[3] Richtlinie 805, Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken, DB Netz AG



Dr.-Ing. Matthias Bartzsch

Projektleiter GMG Ingenieurgesellschaft mbH,

matthias.bartzsch@gmg-dresden.de

Summary

The renovation of the Rendsburg high railway bridge

The high railway bridge over the Kiel canal (North Sea – Baltic Sea) at Rendsburg is a technical monument aged more than 100 years. It is a riveted steel bridge in framework construction. While its corrosion prevention will be renewed and damages will be repaired, the bridge will also be reinforced to bear today's railway traffic loads. This will allow to preserve it - an important contribution to architectural culture.



Das Job- und Karriereportal der Bahnbranche

Umsteiger, Aufsteiger und regietem U



Leistungsstark: Print – Online – Events

zukunftsbranche-bahn.de

