Erhaltung und Ertüchtigung der technischen Denkmäler Eisenbahnhochbrücke Rendsburg und Hochdonn

Ronald Stein[1]

Zusammenfassung: Die beiden Eisenbahnhochbrücken in Rendsburg und Hochdonn über den Nord-Ostsee-Kanal zeugen als technische Denkmäler davon, in welchem Maße einzelne Bauwerke prägend und identitätsstiftend für eine ganze Region sein können. Die Instandhaltung und Ertüchtigung solcher Bauwerke für aktuelle und zukünftige Verkehrsanforderungen stellt die Ingenieure vor interessante Aufgaben. Es wird über ausgewählte Bauaufgaben und messtechnische Untersuchungen berichtet, die in den vergangenen Jahren an beiden Brücken durchgeführt wurden.

[1] Dipl.-Ing. Ronald Stein, GMG Ingenieurgesellschaft mbH, George-Bähr-Straße 10, 01069 Dresden

Einleitung

Die beiden Eisenbahnhochbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal in Rendsburg und Hochdonn aus den Jahren 1911-13 bzw. 1915-20 sind mit Gesamtlängen von 2.486 m bzw. 2.218 m gegenwärtig die längsten Eisenbahnbrücken in Deutschland.

Besonders die Eisenbahnhochbrücke in Rendsburg mit ihrer angehängten Schwebefähre ist als bedeutendes Technikdenkmal bekannt. Für die Stadt Rendsburg und die umliegenden Regionen ist die Brücke zum Wahrzeichen geworden. Hier kreuzen sich 2 wichtige Transportwege: Der Nord-Ostsee-Kanal ist die meistbefahrene[2] künstliche Wasserstraße der Welt. Mit Fertigstellung der Großer-Belt-Brücke gewann auch der Eisenbahnverkehr, der über die Rendsburger Brücke läuft, wieder stark an Bedeutung.

Bild 1: Eisenbahnhochbrücke Rendsburg, Kanalbauwerk mit Schwebefähre

[2] Gemessen an der Anzahl der Schiffe

Die Eisenbahnhochbrücke Hochdonn ist etwas weniger bekannt. In der weiten unbebauten Landschaft wirkt sie aber mindestens genauso beeindruckend und ist durchaus einen Abstecher wert. Die Brücke überführt die Eisenbahnlinie von Hamburg nach Sylt.

Bild 2: Eisenbahnhochbrücke Hochdonn, südliche Rampe und Kanalbauwerk

Die GMG Ingenieurgesellschaft mbH ist im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamtes Kiel-Holtenau seit mehr als 10 Jahren für beide Brücken als Tragwerksplaner tätig. In dieser Zeit konnte eine Vielzahl unterschiedlicher interessanter Bauaufgaben bearbeitet werden.

In diesem Beitrag werden beispielhaft 3 Maßnahmen, mit besonderem Fokus auf die Fragen des Denkmalschutzes und der Erhaltung der historischen Bausubstanz, vorgestellt:

- Die Grundinstandsetzung der Hochbrücke Rendsburg
- Der Ersatzneubau des Schwebeträgers der Hochbrücke Hochdonn
- Die Durchführung von Bremsversuchen auf beiden Brücken

Der Nord-Ostsee-Kanal

Der Nord-Ostsee-Kanal verbindet die Nordsee mit der Ostsee. Er durchquert mit ca. 100 km Länge Schleswig-Holstein von der Elbmündung bis zur Kieler Förde. Der Kanal erspart den Schiffen den längeren Weg durch das Skagerrak um die Nordspitze Dänemarks und wird vor allem bei schlechtem Wetter von sehr vielen Schiffen genutzt.

Bild 3: Lage des Nord-Ostsee-Kanals mit den Kanalbrücken Rendsburg und Hochdonn

Acht Straßen und vier Eisenbahnlinien überqueren den Nord-Ostsee-Kanal auf insgesamt zehn Brücken. Die 13 Personen und Fahrzeugfähren, darunter auch die Schwebefähre an der Hochbrücke Rendsburg, sind kostenlos zu nutzen. Zusätzlich gibt es in Rendsburg noch einen Straßen- und einen Fußgängertunnel.
Alle Brücken haben die gleiche Durchfahrtshöhe von 42 Meter und sind damit für die meisten Hochseeschiffe passierbar.

Der direkte Vorläufer des Nord-Ostsee-Kanals war der Eiderkanal, den der dänische König Christian VII. von 1777 bis 1784 errichten ließ.
Der Bau des Kanals in seinem heutigen Verlauf geht auf eine Initiative Otto von Bismarcks zurück, der in Zusammenhang mit dem Ausbruch des deutsch-dänischen Krieges eine sichere Verbindung zwischen Nord- und Ostsee für die Marine schaffen wollte.
Am 3. Juni 1887 erfolgte die Grundsteinlegung durch Kaiser Wilhelm I. in Kiel-Holtenau. Leitender Ingenieur war Otto Baensch aus Zeitz (Sachsen-Anhalt). Nach acht Jahren Bauzeit wurde 1895 der damals noch Kaiser-Wilhelm-Kanal genannte Wasserweg eröffnet. Der Bau kostete 156 Mio. Goldmark, zeitweise waren bis zu 8.900 Arbeiter beschäftigt. Insgesamt wurden ca. 80 Mio. m³ Erdreich bewegt. Der Kanal war zu diesem Zeitpunkt 67 m breit und 9 m tief. Zur Finanzierung wurde von Kaiser Wilhelm II. 1902 die Schaumweinsteuer eingeführt.

Bereits nach kurzer Zeit, von 1907 bis 1914 wurde der Kanal das erste Mal ausgebaut. Die Breite wurde auf 102 m erhöht und die Tiefe auf 11 m. In diesem Zuge wurde die bis dahin bestehenden Drehbrücken in Rendsburg und Hochdonn durch die Hochbrücken ersetzt.

Seit 1965 wird der Kanal zum zweiten Mal erweitert. Zum Schutz der Böschung wird die Breite auf 162 Meter erweitert. 2006 passierten ca. 43.000 Schiffe mit ungefähr 80 Mio. Tonnen Ladung den Kanal. Er ist bezüglich der Anzahl der Schiffe die meistbefahrene künstliche Wasserstraße der Welt. Bezüglich der transportierten Gütermenge liegt er allerdings deutlich hinter dem Panama- und dem Suezkanal.

Am besten kann man den Kanal und die Kreuzungsbauwerke auf einer Radtour erleben. Der befestigte Betriebsweg am Kanal ist nahezu auf voller Länge für Fußgänger und Radfahrer freigegeben. Als besonderen Höhepunkt gibt es in Rendsburg direkt neben der Hochbrücke eine Schiffsbegrüßungsanlage. Dort wird jedes Schiff durch Dippen der Flagge und mit der jeweiligen Nationalhymne begrüßt.

Die Eisenbahnhochbrücken in Rendsburg und Hochdonn

Die Forderung der Marine nach einer freien Durchfahrtshöhe von 42 m und die geringen zulässigen Steigungen von Eisenbahnstrecken erfordern in der flachen Landschaft sehr lange Rampen. Bei den anderen beiden Eisenbahnbrücken über den Kanal in Grünental und Kiel-Levensau (beides kombinierte Straßen- und Eisenbahnbrücken) sind die Rampen aufgeschüttet und nur die Kanalbauwerke als Stahlkonstruktionen ausgeführt. Bei den Brücken in Rendsburg und Hochdonn bestehen ab einer Höhe von ca. 30 m auch die Rampen aus aneinander gereihten Stahlfachwerkkonstruktionen.

In Rendsburg bestand als weitere Besonderheit die Forderung, dass der Bahnhof in der Nähe des Kanals nicht verlegt werden sollte. Deshalb durchfährt die Strecke hier eine Schleife.

Sowohl die Eisenbahnbrücke in Rendsburg als auch die in Hochdonn wurden von dem Brückenbaumeister Friedrich Voss geplant. Im Vordergrund der Planungen stand, schon aufgrund der Größe der Bauwerke, eine wirtschaftliche und funktionale Konstruktion. Die

Bauwerke wurden, wie es zur damaligen Zeit üblich war, als genietete Stahlfachwerke ausgebildet.

Beispielhaft einige Zahlen zur Konstruktion der Rendsburger Brücke (Hochdonn ähnlich):

Gewicht des Kanalbauwerks:	3696 t
Gewicht der Rampenbauwerke:	13951 t
Anstrichfläche:	236 000 m²
Verbindungsmittel:	3,2 Millionen Nieten
Geschüttete Rampen:	5,2 Mill. m³ Boden
Bauarbeiter:	ca. 350

Bild 4: Bilder vom Bau und der Eröffnung der Eisenbahnhochbrücke Rendsburg

An den Untergurten der Kanalbrücke Rendsburg hängt an Seilen die sogenannte Schwebefähre, die dem Personen- und Fahrzeugtransport dient. Der Fahrplan der Fähre hat sich seit der Eröffnung 1914 nicht geändert.

Die Bauwerke befinden sich heute, wie alle Eisenbahnbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal, in der Verwaltung der WSV Kiel-Holtenau, während der Oberbau zur DB Netz AG gehört. Diese Trennung zwischen Baulastträger und Nutzer ist für die Durchführung von Bauaufgaben nicht optimal, die Zusammenarbeit funktioniert aber insgesamt sehr gut.

Bezüglich des Denkmalschutzes gibt es für die Kanalbrücken eine besondere Situation:

In einem speziellen Beschluss des Bundesverwaltungsgerichts vom September 2008 wurde festgelegt, dass die bundeseigenen Schifffahrtsanlagen und sonstigen baulichen Anlagen durch Eintragung in das Denkmalbuch dem Denkmalschutzrecht des Landes Schleswig-

Holstein unterstellt werden können. Für die Eisenbahnhochbrücke und die Schwebefähre wurde inzwischen eine Eintragung in das Denkmalbuch vorgenommen. Weiterhin wurde verfügt, dass Veränderungen derartiger Anlagen - anders als die sonstiger in das Denkmalbuch eingetragener Kulturdenkmale - ohne vorherige Genehmigung der zuständigen Denkmalschutzbehörde durch die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes durchgeführt werden dürfen. Die Wasser- und Schifffahrtsdirektion muss bei ihren Maßnahmen in eigener Verantwortung die Vorschriften des Denkmalschutzes berücksichtigen und verpflichtet sich, mit dem Landesamtes für Denkmalpflege vertrauensvoll zusammenzuarbeiten.

In den bisherigen Planungen, die alle vor dieser Beschlussfassung bearbeitet wurden, gab es – zumindest aus der Perspektive des Tragwerksplaners – bezüglich des Denkmalschutzes keine besonderen Auflagen. Dennoch waren sich alle Beteiligten immer des Charakters der Bauwerke als einzigartige technische Denkmäler sehr bewusst und bemühten sich bei der Erhaltung und Ertüchtigung – unter Beachtung der Tragsicherheit und Wirtschaftlichkeit – um adäquate und behutsame Lösungen. Als Stahlbauingenieur und Tragwerksplaner ist man immer wieder fasziniert von der technischen Eleganz, die in diesen Konstruktionen steckt.

Im Folgenden soll an 3 ausgewählten Beispielen davon berichtet werden, mit welchem Aufwand und welchen Methoden die Erhaltung und Ertüchtigung der Bauwerke betrieben wird.

Statische Nachrechnung und Grundinstandsetzung

In den Jahren 1999 bis 2005 wurde für beide Brücken eine umfangreiche Nachrechnung nach den aktuellen Vorschriften durchgeführt. Dabei wurden die zur Verfügung stehenden modernen elektronischen Hilfsmittel der Tragwerksplanung intensiv genutzt. Von allen statischen Systemen wurden detaillierte räumliche Stabwerksmodelle erstellt.

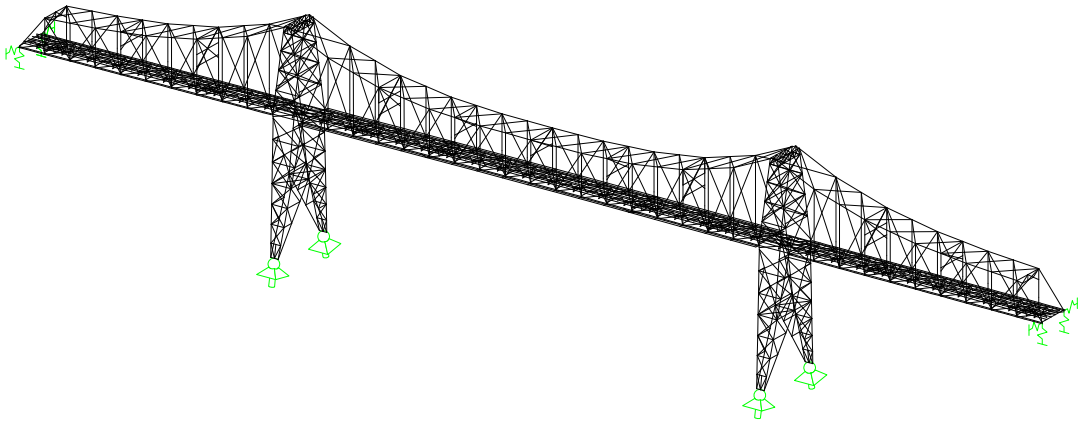

Bild 5: Statisches Modell Kanalbrücke Rendsburg

Zur Identifikation von besonderen Systemeigenschaften wurden im Vorfeld der Berechnungen teilweise Messungen durchgeführt, deren Ergebnisse in die Modellierung einflossen. Besonders ermüdungskritische Konstruktionsdetails wurden zusätzlich mit Hilfe von Faltwerksmodellen genauer untersucht.

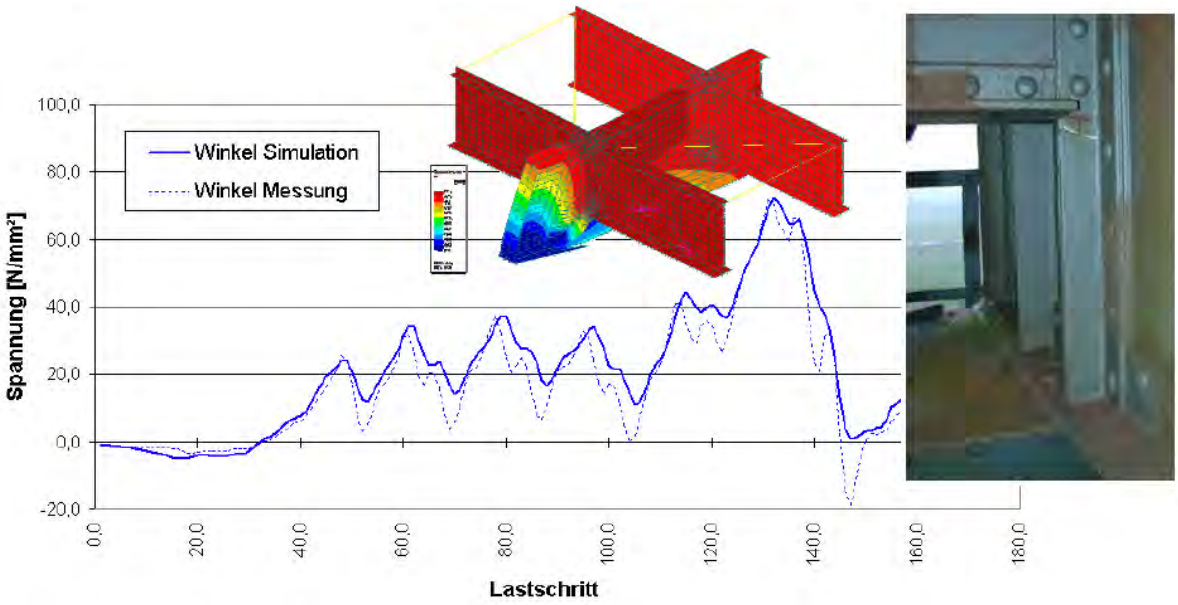

Bild 6: Integration von Messergebnissen und FEM-Detailuntersuchungen in die Modellbildung

Die Berechnung wurde, um mit Hinblick auf die geplante Kostenteilung zwischen WSV und DB-AG eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten, zunächst für die ursprüngliche Bemessungslast „preußischer Lastenzug A“ durchgeführt.
Im Anschluss wurde dann die Berechnung abgestuft für eine Reihe aktueller Lastenzüge und Lastenzugkombinationen durchgeführt, um ein Optimum zwischen Verkehrsanforderungen und den jeweils damit verbundenen Kosten für Verstärkungsmaßnahmen zu finden. Neben den Nachweisen der Tragsicherheit sind bei älteren Stahlbrücken immer auch die Nachweise der Ermüdungssicherheit maßgebend.

Die Durchführung von Korrosionsschutzmaßnahmen ist bei der Erhaltung der Eisenbahnhochbrücken die vordringlichste Aufgabe. Die feuchte salzhaltige Seeluft macht den Bauwerken sehr zu schaffen. Aufgrund der Größe der Brücken werden in der warmen Jahreszeit an irgendeiner Stelle der Brücke fast immer Korrosionsschutzmaßnahmen durchgeführt.

Im Schutze von vollständig verkleideten Gerüsten wird der vorhandene Korrosionsschutz durch Strahlen und Nadeln vollständig entfernt. Die Größe der Einhausungsabschnitte wird so begrenzt, dass ein Abheben der Lager aus Winddruck ausgeschlossen wird.

Erst nach Entfernen der alten Beschichtung wird das Ausmaß der Korrosionsschäden vollständig sichtbar. Vor Aufbringen der neuen Beschichtung werden alle Bauteile, die im Querschnitt nennenswert geschwächt sind, einer statischen Beurteilung unterzogen. Je nach statischer Ausnutzung der Bauteile und Aufwand für die Demontage werden ganze Profile getauscht oder bis zur nächsten Maßnahme belassen.

Bild 7: Einseitige Einhausung des Eilersrahmens, Hochbrücke Hochdonn

Beim Austausch von Profilen oder dem Einbau von Verstärkungsblechen werden die vorhandenen Niete ausgebohrt und durch Passschrauben ersetzt. Beim Ausbau von Fachwerkstäben kommt es darauf an, größere Kraftumlagerungen infolge Eigengewicht zu vermeiden. Alle Montagemaßnahmen, die eine nennenswerte Änderung der Lastabtragung bedingen, werden daher statisch nachgewiesen und eventuell durch Zusatzkonstruktionen gesichert.

Bild 8: Verstärkungen der Längswanddiagonalen der Gerüstpfeiler, Hochbrücke Rendsburg

Im Zuge der Erneuerung des Korrosionsschutzes werden auch die Verstärkungsmaßnahmen durchgeführt, die sich infolge der statischen Nachrechnungen ergeben haben.

Bei Fachwerkkonstruktionen, bei denen oft Stabilitätsprobleme bemessungswirksam sind, können häufig mit verhältnismäßig geringem Aufwand durch den Einbau zusätzlicher Zwischenaussteifungen erhebliche Steigerungen der Tragfähigkeit erreicht werden.

Bild 9: Kanalbauwerk Hochbrücke Rendsburg: Einbau von planmäßig vorgespannten zusätzlichen Querriegeln im Bereich des oberen Windverbandes

Austausch des Schwebeträgers der Eisenbahnhochbrücke Hochdonn

Das Kanalbauwerk der Eisenbahnhochbrücke Hochdonn wird aus 2 Fachwerkrahmen, den sogenannten Eilersrahmen[3], und dem aufliegenden 121 m langen Schwebeträger, ebenfalls als Stahlfachwerkkonstruktion, gebildet.

Bei zwei Havarien im Jahr 1978 durch das DDR-Schwergutschiff "Karl Marx" und im Jahr 1993 durch den malaiischen Frachter „Kanok Narre´“ wurden jeweils die Untergurte und Teile der Fahrbahn schwer beschädigt. Teilweise kann es zum spröden Versagen von Gurtprofilen der Fahrbahnlängsträger.

Durch Korrosion der Lagerbolzen war die Beweglichkeit der Pendellager des Schwebeträgers stark eingeschränkt. Dadurch kam es temperaturbedingt zu Zwängungen, die zu Rissschäden in der Peripherie der Lager führten.

Nach umfangreichen Untersuchungen wurde letztlich die Entscheidung getroffen, den Schwebeträger durch einen Neubau zu ersetzen.

Bild 10: Kanalbauwerk der Eisenbahnhochbrücke Hochdonn mit neuem Schwebeträger

[3] Die beiden etwas größer ausgeführten Rahmentragwerke beiderseits des Kanals werden nach der ausführenden Baufirma Louis Eilers als Eilersrahmen bezeichnet, alle anderen als (normale) Kragträger

Bei der Konstruktion des neuen Schwebeträgers wurden die äußeren Abmessungen und das statische System der alten Fachwerkkonstruktion übernommen. Aus einiger Entfernung betrachtet, ist der neue Schwebeträger von dem alten nicht zu unterscheiden.

Selbstverständlich wurde bei der Fertigung auf moderne Verfahren zurückgegriffen. Der Überbau wurde als Fachwerkkonstruktion aus geschweißten Hohlprofilen gefertigt. Die Fahrbahn wurde als geschlossene Fahrbahn mit direkter Schienenauflagerung ausgeführt. Die neuen Lager sind Kalottengleitlager.

Interessant ist, dass trotz der heute zu Verfügung stehenden höheren Materialfestigkeiten und modernen Berechnungsverfahren das Eigengewicht des neuen Trägers sogar etwas höher ist, als das der ursprünglichen Konstruktion.

Als besondere Herausforderung erwies sich das enge Zeitfenster für Sperrungen. Für die Demontage des alten Trägers und die Montage des neuen Trägers standen jeweils nur 12 Stunden Sperrung des Kanals zur Verfügung. Die Eisenbahnverbindung wurde für 12 Tage unterbrochen.

Bild 11: Eisenbahnhochbrücke Hochdonn: Einheben des neuen Schwebeträgers

Erschwerend hinzu kam der Umstand, dass der vorgesehene Schwimmkran zum Zeitpunkt des geplanten Einbaues des Schwebeträgers nicht zur Verfügung stand. Statt dessen wurde zum Einheben des Trägers das Litzenhubverfahren angewendet. Da die Fahrbahn des Schwebeträgers einen Überstand hat, musste der Träger schräg durch die Öffnung gefädelt werden.

Dazu wurden spezielle schwenkbare Hubportale gefertigt. Als schwierig erwies sich auch die Befestigung der Montagehilfen auf der Altkonstruktion der Eilersrahmen, die unter Verkehrslasten montiert werden mussten.

Durchführung von Bremsversuchen

In den letzten Jahren wurde eine statische Nachrechnung der Brücken nach Richtlinie 805 der DB AG für die Lastenzüge D4 eingleisig und D2 / DRZ (definierter Reisezug) durchgeführt. Gegenüber der ursprünglichen Bemessung der Brücken für den preußischen Lastenzug A mit einer Bremslast = 1/7 der vertikalen Lasten (in beiden Gleisen angesetzt) sind gemäß aktueller Norm die Bremslasten mit 1/4 der vertikalen Lasten des Lastenzuges auf einem Gleis + 600 kN (Hochdonn) bzw. 1000 kN (Rendsburg) Anfahrlast im Nachbargleis anzusetzen. Dies führt zu deutlich höheren horizontalen Beanspruchungen auf die Bauwerke. Für die Bemessung der Rahmenstiele, Gerüststützen und Fundamente waren Überlastungen abzusehen. Deshalb sollte die vermutete günstige Längsverteilung der horizontalen Kräfte auf mehrere Bauwerke durch die Schiene und Reibung in den Lagern der Einhängeträger rechnerisch berücksichtigt werden.

An nichtlinearen Berechnungsmodellen der gesamten Brückenzüge wurde für verschiedene Lastenzüge und unter Variation aller wesentlichen Eingangsparameter die Längsverteilung aus Bremsen und Anfahren rechnerisch untersucht. Bei der Eisenbahnbrücke Rendsburg mit ca. 40 m Einflusslänge für horizontale Lasten stand die Anfahrlast im Vordergrund, während bei der Eisenbahnbrücke Hochdonn mit ca. 107 m Einflusslänge die Verteilung der Bremslasten nachgewiesen werden musste. Aus den Ergebnissen der Berechnungen wurde für alle Bauwerke ein einheitlicher Abminderungsfaktor ξ^* für Bremsen abgeleitet und anschließend mit diesen Werten die statische Nachrechnung durchgeführt.

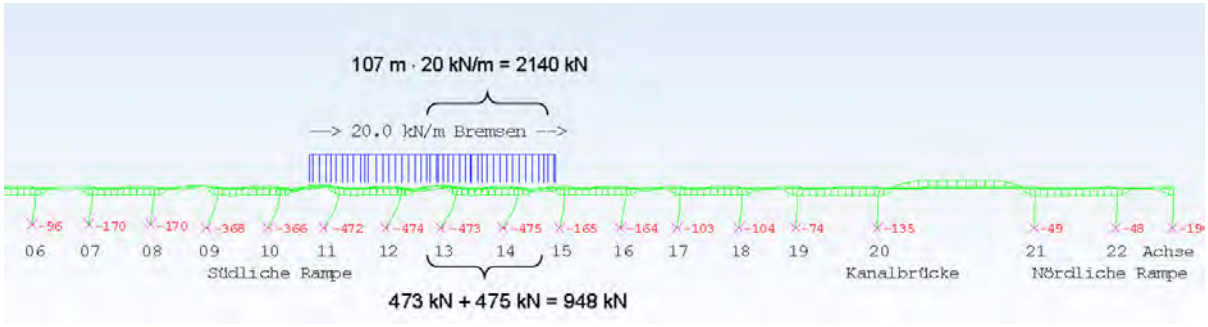

Bild 12: analytische Ermittlung der Verteilung der Bremskräfte bei der Brücke Hochdonn

Für diese Vorgehensweise, die sich an Abschnitt 5.5 der DS 804 orientiert, musste aufgrund der abweichenden Bauweise mit der offenen Fahrbahn und der schwimmenden Lagerung des Oberbaues eine ZiE erwirkt werden. Darin wurde als Bedingung für die Anwendung der Abminderungsfaktoren ξ^* und damit für die Gültigkeit der statischen Nachrechnung die Bestätigung der theoretisch ermittelten Längsverteilung der Bremskräfte durch Messungen am Bauwerk gefordert.

Der Bremsversuch in Rendsburg wurde 2001 vor der Durchführung der umfangreichen statischen Nachrechnungen der einzelnen Bauwerke durchgeführt. Im Ergebnis des Versuches konnten die auf analytischem Weg ermittelten Verteilungen der horizontalen Längskräfte bestätigt werden.

Bild 13: Durchführung des Bremsversuches auf der Eisenbahnhochbrücke Rendsburg

Bei der Eisenbahnhochbrücke Hochdonn konnte aufgrund des schlechten Zustandes des Oberbaues der Bremsversuch zunächst nicht stattfinden. Aufgrund der guten Erfahrungen bei der Brücke in Rendsburg wurde beschlossen, das planerische Risiko einzugehen und die statischen Nachrechnungen zunächst auf Basis der ausschließlich analytisch ermittelten Abminderungswerte der Bremskräfte durchzuführen. Der Bremsversuch wurde dann im Mai 2008 nachgeholt und bestätigte die getroffenen Annahmen.

Der Aufwand für die Durchführung der Messungen zum Bremsversuch war aufgrund der Länge der Bauwerke erheblich. Insgesamt wurden jeweils ca. 100 Messpunkte installiert. Neben den Spannungen in den Stützenstielen wurde die horizontale Verschiebung der Fahrbahn, die Relativverschiebung zwischen Schiene und Fahrbahn, die Lagerbewegungen und die Schienenspannung gemessen. Neben der Messung der Verteilung der Brems- und Anfahrkräfte konnten die Messergebnisse auch zu einem besseren Verständnis der Tragsysteme für vertikale Lasten genutzt werden.

Um Beanspruchungen in messbarer Größenordnung zu erzeugen, die auch in weiter entfernt liegenden Bauwerksteilen noch feststellbar sind (und nicht durch Signalrauschen oder andere Beanspruchungen z.B. aus Wind überdeckt werden), war eine möglichst hohe Bremskraft erforderlich. Die Belastung erfolgte jeweils mit einem Zügen aus 8-10 Loks , die an verschiedenen definierten Stellen der Brücken aus verschiedenen Geschwindigkeiten heraus Bremsungen bis zum Stillstand durchführten.

Im Ergebnis der Untersuchungen konnten aufgrund der günstigeren Lastansätze auf anderenfalls erforderliche umfangreichere Verstärkungsmaßnahmen verzichtet und die Brücken für die aktuellen Verkehrsanforderungen nachgewiesen werden.

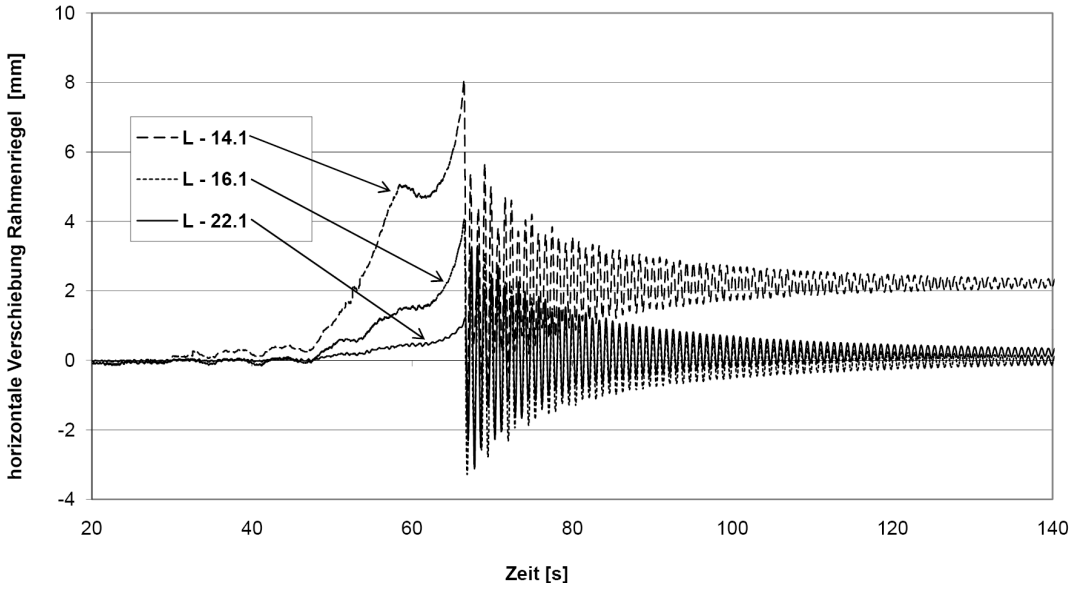

Bild 14: Gemessene horizontale Verschiebungen ausgewählter Rahmenriegel infolge Bremsen, Bremsversuch Eisenbahnhochbrücke Hochdonn

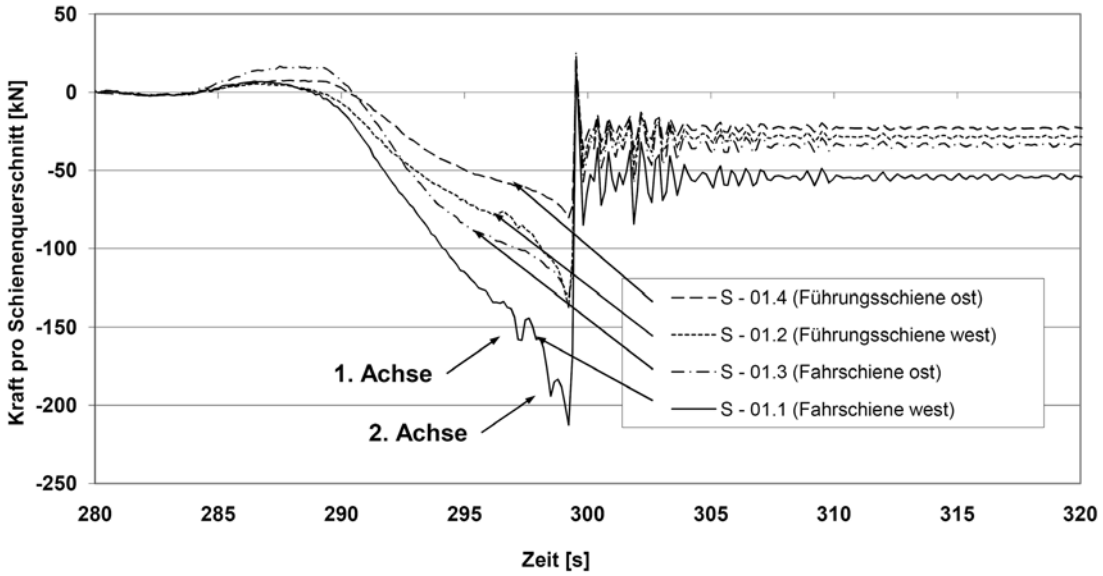

Bild 15: Gemessene Kraft infolge Bremsen in 4 Schienenquerschnitten am Widerlager, Bremsversuch Eisenbahnhochbrücke Hochdonn

Quellen

[1] GEIßLER, K.; GRAßE, W.; SCHMACHTENBERG, R.; STEIN, R.: Zur meßwertgestützten Ermittlung der Verteilung der Brems- und Anfahrkräfte an der Eisenbahnhochbrücke Rendsburg., *Der Stahlbau*, 2002

[2] GRAßE, W.; SCHMACHTENBERG, R.; GEIßLER, K.: Zur Nachrechnung, Restnutzungsdauerberechnung und Ertüchtigungsuntersuchung der Eisenbahnhochbrücke über den Nord-Ostsee-Kanal in Rendsburg., *Der Stahlbau*, 2002

[3] FELDMANN, M.; HEINEMEYER, C.; HINRICHS, H.; SEDLACEK, G.: Zur Weiterverwendung der Eisenbahnhochbrücke Hochdonn über den Nord-Ostsee-Kanal., *Der Stahlbau*, 2006

[4] ROßMEIER, P.; HEILAND, U.; PFEIFFER, M.: Der Ersatzneubau des Schwebeträgers Hochdonn - Konzepte und Realisierung., *Der Stahlbau*, 2007

[5] FUHR, S.: Der Nord-Ostsee-Kanal., *Brückenbote – Das Online-Magazin,2010*