



27. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

PLANUNG, BAUAUSFÜHRUNG, INSTANDSETZUNG UND ERTÜCHTIGUNG VON BRÜCKEN

13./14. MÄRZ 2017

© 2017 Technische Universität Dresden

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach

Technische Universität Dresden

Institut für Massivbau 01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer, Angela Heller

Layout: Ulrich van Stipriaan Anzeigen: Harald Michler

Titelbild: Neue Weichselbrücke, Dirschau – Ansicht vor Fertigstellung 1891

Foto: Ferdinand Schwarz, Architekturmuseum der TU Berlin, Inv. Nr. BZ-F 14,025

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf



Tagungsband 27. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau Freunde des Bauingenieurwesens e.V. TUDIAS GmbH

13. und 14. März 2017

Inhalt

| Herzlich willkommen zum 27. Dresdner Brückenbausymposium | 9 |
|---|----|
| Verleihung der Wackerbarth-Medaille Prof. DrIng. Hubertus Milke Laudatio | |
| Prof. DrIng. DrIng. E.h. Manfred Curbach | _ |
| Zu aktuellen Entwicklungen im Stahl- und Stahlverbundbrückenbau – Fokus: Korrosionsschutz | 5 |
| Brücken in Lateinamerika – Technik und Geschichte | 5 |
| Das alte und das neue Ottendorfer Viadukt | 3 |
| Neubau einer "atmenden" Stadtbahnbrücke in Düsseldorf | 7 |
| Sanierung der historischen Betonbogenbrücke in Naila | 1 |
| Georg Christoph Mehrtens (1843–1917): Protagonist des Stahlbrückenbaus im wilhelminischen Deutschland DrIng. Karl-Eugen Kurrer | :1 |
| Lebenslanger Korrosionsschutz – Pilotprojekt Stahlverbundbrücke | 3 |
| Interaktion zwischen Praxis und Forschung – Systematische Nachrechnung des Brückenbestands in Mecklenburg-Vorpommern 11 DiplIng. Oliver Steinbock, HonProf. DrIng. habil. Olaf Mertzsch, DrIng. Torsten Hampel DiplIng. Nico Schmidt, Prof. DrIng. DrIng. E.h. Manfred Curbach | 7 |
| Chemnitztalviadukt – Neubau versus Bestandserhaltung | 1 |
| Verstärkung von Stahlbrücken in den Niederlanden – Einsatz von hochfestem Beton und zielgerichtete Tragwerksverstärkung | 1 |
| Neue Queensferry-Brücke in Schottland Herausforderungen bei der Planung und Montage | 1 |
| Brückenbauexkursion 2016 – Hup Holland Hup DiplIng. Oliver Steinbock, DiplIng. Jakob Bochmann | 7 |
| Chronik des Brückenbaus 18 Zusammengestellt von DiplIng. (FH) Sabine Wellner | 7 |
| Inserentenverzeichnis 20 | 8 |

Verstärkung von Stahlbrücken in den Niederlanden – Einsatz von hochfestem Beton und zielgerichtete Tragwerksverstärkung

M.Sc. Dimitri Tuinstra Dr.-Ing. Markus Gabler Arup Deutschland GmbH, Düsseldorf

Zusammenfassung

Bei zahlreichen Großbrücken über den Rhein wurden in den vergangenen Jahren vermehrt Ermüdungsschäden in den orthotropen Fahrbahnplatten festgestellt, welche vor allem auf den gestiegenen Anteil des Schwerverkehrs, aber auch auf den höheren Anpressdruck unter den Reifen zurückzuführen sind. Aufgrund der auftretenden Risse werden nun umfangreiche Sanierungsmaßnahmen und teilweise sogar die Sperrung von Brücken für den Schwerverkehr notwendig, sowohl in Deutschland als auch in den Niederlanden.

Auf der Suche nach einer wirtschaftlichen Sanierungsmethode wurde in den Niederlanden vor ca. 15 Jahren eine Sanierungsmethode mittels hochfesten Betons entwickelt und zunächst im Rahmen kleinerer Pilotprojekte umgesetzt. Mit dem derzeit laufenden Programm Renovatie Stalen Bruggen werden nun erstmals auch Großbrücken über den Rhein saniert. Neben der Verstärkung der Fahrbahnplatte werden dabei auch andere wesentliche Tragwerksteile wie z. B. Schrägkabel oder Hauptträger verstärkt oder erneuert. Bei fast allen Brücken war die Sanierung die wirtschaftlichste Variante, die Lebensdauer der Konstruktionen konnte dabei um 30 Jahre verlängert werden. In diesem Vortrag werden die eingesetzten Sanierungskonzepte präsentiert und deren Umsetzung anhand ausgewählter Beispiele aufgezeigt. Die Arbeiten mussten dabei teilweise unter laufendem Verkehr durchgeführt werden.

1 Ermüdungsproblematik bei Stahlbrücken

Seit den 1990er Jahren zeigen viele Stahlbrücken, vor allem an den Hauptverkehrsachsen in Nordrhein-Westfalen und den Niederlanden, Anzeichen von Ermüdungsschädigungen in der Fahrbahnplatte infolge des gestiegenen Schwerverkehrsanteils und des Übergangs zur Einfachbereifung von der vormals üblichen Zwillingsbereifung von LKW, z. B. [1]. Diese Faktoren führen zu einer verkürzten Lebensdauer und letztlich zu Rissen in der orthotropen Fahrbahnplatte bis hin zur mechanischen Schädigung des Gesamttrag-

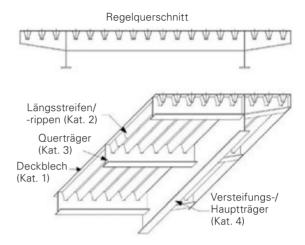


Bild 1 Typische orthotrope Fahrbahnplatte mit Bezeichnung der Schadenskategorien Zeichnung: P. de Jong

werks. Teilweise lassen sich diese Schädigungen auch auf nicht ausreichend ermüdungsfeste Konstruktionsdetails zurückführen.

Je nach Lage der Schädigung kann diese It. [2] in Kategorien 1 bis 4 eingeteilt werden (Bild 1). Kategorie 1 beschreibt Schädigungen im Deckblech der Fahrbahntafel, Kategorie 2 Schädigungen in den Längssteifen bzw. -rippen, Kategorie 3 beschreibt Schäden im Quertragwerk und Kategorie 4 solche im Versteifungsträger.

Die am meisten ermüdungskritische Stelle von orthotropen Fahrbahnplatten ist dort, wo die Deck-



Bild 2 Rissbild im Asphaltbelag

Foto: P. de Jong

platte zusammen mit den Längsrippen durch die Querträger stoßen. Diese Schädigung wird auch als Kategorie-1-Riss bezeichnet. Sichtbar werden diese Risse nur indirekt über das Rissbild im Fahrbahnbelag, s. Bild 2.

2 Neue Verstärkungsmethodik in den Niederlanden

2.1 Anlass und Entwicklung

In dem Brückenbestand des niederländischen Fernstraßennetzes gibt es einige Brücken mit orthotroper Fahrbahnplatte, welche Ermüdungsschäden zeigen. Die hier betrachteten Stahlbrücken spannen über größere Flüsse oder Kanäle und wurden hauptsächlich in den 1960er und 1970er Jahren fertiggestellt.

Rijkswaterstaat (RWS), die zentrale niederländische Straßenbauverwaltung, startete zunächst Forschungsprojekte, welche geeignete Sanierungsmethoden entwickeln und testen sollten. Eine Maßgabe war, dass dauerhafte Verkehrseinschränkungen vermieden werden können, da zahlreiche der kritischen Brücken Bestandteil wichtiger Fernstraßen mit internationaler Bedeutung sind. Es hat sich gezeigt, dass die Tragfähigkeit der Fahrbahnplatte entweder über das Hinzufügen von Stahlblechen oder von hochfestem Beton effektiv verbessert werden kann [1].

Die Verstärkung mittels Stahlblechen wurde vor allem in Hinblick auf bewegliche Brücken entwickelt, weil dort das Eigengewicht des Überbaus nicht wesentlich erhöht werden kann. Die Verstärkung mittels hochfestem Beton ist insgesamt wirtschaftlicher, aber mit einem zusätzlichen Eigengewicht für den Überbau verbunden. Bei nicht beweglichen Brücken kann jedoch das zusätzliche Eigengewicht aus der Betonschicht meist von dem Tragwerk aufgenommen werden. Dabei werden keine oder nur recht geringe Verstärkungsmaßnahmen für das Haupttragwerk erforderlich [3].

Das Ziel dieser Verstärkungsmethoden ist, die Steifigkeit des Deckblechs wesentlich zu erhöhen und damit die Schwingbreite im Deckblech (Kat. 1) und den Längsrippen (Kat. 2) wesentlich zu reduzieren. Der Betonbelag (bzw. die Stahlbleche) verlängern damit die Restlebensdauer des Stahlüberbaus und reduzieren den Instandsetzungsaufwand für den Fahrbahnbelag. Diese Sanierungsmethode wurde seit dem Jahr 2000 kontinuierlich zur Anwendungsreife entwickelt und wurde nun erstmals für Großbrücken im Fernstraßennetz eingesetzt.

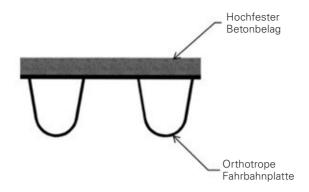


Bild 3 Hochfester Betonbelag zur Verstärkung der orthotropen Fahrbahnplatte

Zeichnung: P. Moore (Arup)

2.2 Aufbau der Betonverstärkung

Das System (Bild 3) wurde zunächst in Pilotprojekten umgesetzt und dabei kontinuierlich weiterentwickelt. Im Folgenden sind die heute gebräuchlichen Komponenten und der Aufbau der Verstärkung erläutert.

Beton

Es kommt Beton der Festigkeitsklasse C90/105 zum Einsatz, welcher eine Biegezugfestigkeit von 10 N/mm² aufweist. Die Schwindeigenschaften müssen begrenzt werden, um die Zwängungen im Beton, aber auch im Gesamttragwerk zu reduzieren. Die Grenzwerte sind 0,3‰ für autogenes Schwinden und 0,45‰ für Trocknungsschwinden – jeweils nach 90 Tagen. Innerhalb der ersten vier Tage nach dem Einbau werden alle Risse mit einer Breite über 0,1 mm injiziert, um die Dauerhaftigkeit zu verbessern. Der Beton erhält einen Stahlfaserzuschlag von 75 kg/m³ mit einem Durchmesser von 0,4 mm zur besseren Rissverteilung. Die Dicke der Betonschicht variiert nach Anwendungsfall, ein typischer Wert ist 75 mm.

Bewehrung

Die Betonschicht wird durch je eine Lage kreuzweise Betonstabbewehrung \varnothing 12 mm mit 75 mm Abstand verbaut. Die minimale nominelle Betondeckung ist 20 mm und der minimale Abstand zwischen Oberseite der Querbewehrung zur Oberseite der Stahldeckplatte ist 50 mm.

Verbundsicherung

Die Verbundsicherung findet über einen Haftvermittler zwischen der Stahloberfläche und dem hochfesten Beton statt. Dazu werden zunächst alle Risse in der Stahldeckplatte mit einer Tiefe von 3 mm oder mehr ausgebessert und danach die Oberfläche zu einer Rauigkeit von SA2.5 lt. [4] sandgestrahlt. Anschließend wird eine 2...3 mm starke Epoxidharzschicht mit einer Abstreuung



Bild 4 Einbau der Betonverstärkung

Foto: RWS PRB

aus kalziniertem Bauxit (Abstufung 3/6) als Haftvermittler aufgebracht. Nach dem Aushärten kann der Beton aufgebracht werden. Da hochfester Beton gute Zugfestigkeiten hat, sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich, außer der Abhebesicherung von freien Rändern. Die erforderliche Scherfestigkeit der Epoxidharzschicht hängt von dem statischen System der Brücke und dem Lastbild ab. Typischerweise wird ein Wert von 6 N/mm² erforderlich. Auf dem Bauwerk kann die Festigkeit über einen Auszugversuch ermittelt werden, von dem sich die Scherfestigkeit ableiten lässt. Der It. [5] notwendige Bemessungswert der Abzugfestigkeit beträgt 7,0 N/mm² zwischen dem Stahl und der Epoxidharzschicht und 3,5 N/mm² zwischen der Bauxitabstreuung und dem Betonbelaa.

Fahrbahnbelag

Es hat sich gezeigt, dass die Betonschicht nur bedingt als Fahrbahn geeignet ist, daher werden mittlerweile entweder Asphalt oder ein Reaktionsharzdünnbelag (RHD-Belag) mit einer Stärke von 8 mm auf die Verstärkungslage aufgebracht, Bild 4.

3 Sanierungsprogramm Stahlbrücken – Renovatie Stalen Bruggen

3.1 Beteiligte und Organisation

2009 wurde das Sanierungsprogramm Stahlbrücken (Renovatie Stalen Bruggen) [6] gestartet, bei dem im Zeitraum bis 2018 acht Großbrücken sowie sechs bewegliche Brücken instand gesetzt werden. Die Vorgabe der Straßenbauverwaltung RWS war dabei, die Lebensdauer der Brücken um weitere 30 Jahre zu verlängern. Für die acht Großbrücken kommt dabei die Verstärkung mittels hochfestem Betonbelag zur

Anwendung. Die Standorte der Brücken sind in Bild 5 dargestellt.

Diese Brücken wurden aufgrund ihrer wichtigen verkehrlichen Bedeutung priorisiert. Ein Vorteil, mehrere Großbrücken innerhalb eines Programms zu bearbeiten, ist, dass die neue Technologie stetig weiterentwickelt und an die bauwerksspezifischen Besonderheiten angepasst werden kann. Der Ingenieurvertrag wurde an die Arbeitsgemeinschaft Arup / Royal HaskoningDHV / Greisch vergeben. Dieser beinhaltet die Nachrechnung aller Brücken, Entwurfs- und Ausführungsplanung der Verstärkungen, Ausschreibung und Vergabe sowie die Bauleitung.

Für die Bauleistungen wurden über einen Rahmenvertrag drei Baufirmen vorausgewählt und die einzelnen Arbeiten über eine beschränkte Ausschreibung vergeben. Die drei involvierten Baufirmen kooperierten mit dem Bauherren RWS, indem Know-how zum Einbau der Betonverstärkung geschaffen und weiterentwickelt wurde. Dadurch wurde sichergestellt, dass alle Beteiligten an der Optimierung der innovativen Instandsetzungsmaßnahme kooperieren.

3.2 Anwendung der Betonverstärkung

Eine anfängliche Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zeigte, dass bei 7 der 8 Großbrücken die geplan-



Bild 5 Standorte der acht Großbrücken des Sanierungsprogramms *Renovatie Stalen Bruggen* Grafik: RWS PRB

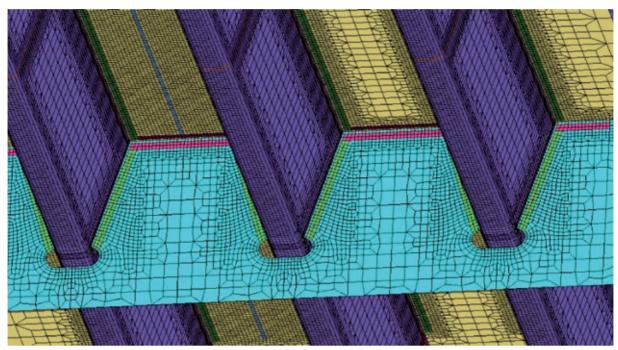


Bild 6 Typische Vernetzung des FEM-Modells

Screenshot: P. Moore - Arup

ten Verstärkungsmaßnahmen gegenüber einem Neubau wirtschaftlich waren. Nur für die Suurhoffbrücke stellte sich heraus, dass ein Ersatzneubau die wirtschaftlichere Variante darstellt.

Der Übergang von den Pilotprojekten zu Großbrücken brachte einige weitere Besonderheiten, u. a. sind wesentlich umfangreichere FEM-Berechnungen notwendig, um die lokale und globale Tragwirkung zu überlagern. Das Rechenmodell muss die Tragwirkung des Stahlüberbaus, der Haftvermittlung sowie der Betonschicht abbilden, was ein sehr detailliertes Modell erforderlich macht. Die FEM-Modelle werden über Versuchsaufbauten validiert bzw. kalibriert. Stahlplatten werden über Schalenelemente abgebildet, der Haftvermittler und die Betonschicht über Volumenelemente. Lokale Netzverdichtungen gehen bis zu einer Feinheit von 10 mm, um Spannungsspitzen an typischen Ermüdungsdetails korrekt abzubilden, s. Bild 6.

Der Ermüdungsnachweis erfolgt über die Anwendung einer Palmgren-Miner-Schädigungsakkumulation – dabei werden für jedes untersuchte Ermüdungsdetail die zeitlichen Spannungsschwingbreiten bestimmt. Hierzu ist ein projektspezifisches Lastmodell notwendig, welches eine wirklichkeitsnahe Verteilung der Fahrzeugtypen und deren Häufigkeit abbildet, und zwar seitdem die Brücke in Betrieb ist bis hin zu einer zu erwartenden zukünftigen Verteilung. Die Grundlage für dieses Modell sind Messungen und Verkehrszählungen an der Moerdijkbrücke aus dem Jahr 1998.

Ziel der Nachweisführung ist es, nach dem geplanten Ende der Restlebensdauer in 30 Jahren eine akkumulierte Schädigung von 1,0 zu erhalten. An den Punkten, bei denen dies nicht alleine durch die Betonverstärkung erzielt werden kann, werden weitere Maßnahmen erforderlich, z. B. der Austausch durch ein Anschlussdetail mit besserer Kerbfallklasse. In manchen Fällen wurde für die Nachweisführung das Risswachstum untersucht (Bruchmechanik), dies erfordert jedoch wiederkehrende Prüfungen in der Zukunft, um das tatsächliche Risswachstum zu verifizieren

4 Maßnahmen am Haupttragwerk am Beispiel von zwei Schrägseilbrücken

Neben der Sanierung der Fahrbahnplatte waren auch Verstärkungen des Haupttragwerks notwendig. Teilweise rührte dies vom zusätzlichen Eigengewicht der Betonverstärkung her. Während der vorhandene Asphalt eine Dicke von ca. 50 mm hatte, bedeutet eine Betonschicht von 75...85 mm eine nicht unwesentliche Laststeigerung. Daneben muss der erhöhten Verkehrsbelastung Rechnung getragen werden, ähnlich wie derzeit in Deutschland im Rahmen der Einführung der vollen Lasten nach EN 1991 [8]. Exemplarisch werden im Folgenden die Maßnahmen an der Ewijk- und der Galecopperbrücke beschrieben.



Bild 7 Ewijkbrücke über den Rheinarm Waal

4.1 Ewijkbrücke

Die Tacitus-Brücke über den Waal bei Ewijk ist Teil der Autobahn A50 und wurde 1976 an einem wichtigen Abschnitt im niederländischen Straßennetz eröffnet. Die Brücke hat insgesamt 10 Felder mit einer Gesamtlänge von 1.055 m. Der 37 m breite Überbau ist aus Stahlhohlkästen zusammengesetzt, welche über den Zwischenauflagern durchgebunden sind.

In den Jahren vor der Instandsetzung zeigten sich erste Schädigungen in den Schrägkabeln. Einzelne Drähte der vollverschlossenen Seile waren gebrochen, ohne dass eine unmittelbare Ursa-

che dafür festgestellt werden konnte. Eine darauf folgende Untersuchung zeigte, dass eine fehlerhafte Fertigung und/oder unsachgemäße Ausgangspunkt Montage der Schäden waren. Diese Vorschädigungen führten im Zusammenspiel mit der Verkehrsbelastung zu einem beschleunigten Ermüdungsprozess. Da die Schrägkabel nicht für die beabsichtigte Restlebensdauer von 30 Jahren nachgewiesen werden konnten, musste ein Kabelaustausch erfolgen, s. Bild 7.

Die hauptsächliche Herausforderung war, die Standsicherheit der Brücke während dem Kabelaustausch zu gewährleisten, da die Brücke nur zwei Schrägkabel je Seilharfe besitzt. Temporäre Hilfsabstützungen über den Rheinarm Waal waren aufgrund des regen Schiffverkehrs unmöglich. Außerdem konnte die Hauptspannweite von 290 m nicht ohne Seilunterstützung tragen. Da aber gleichzeitig neben dem Bestandsbauwerk eine weitere Brücke zur Erhöhung der Verkehrskapazität errichtet wurde, konnte zeitlich befristet der Verkehr vollständig auf den neuen Überbau umgeleitet werden, s. Bild 8.

Ohne Verkehrsbelastung und nach dem Entfernen des Asphalts konnten die Seilkräfte gerade ausrei-



Bild 8 Bestandsbrücke (links) und neuer Überbau (rechts)

Foto: RWS PRB

Foto: RWS PRB

chend reduziert werden, um einen Kabelaustausch zu ermöglichen. Die Kabel wurden nacheinander entfernt, beginnend mit den kürzeren Kabeln. Dadurch konnte vollständig auf Hilfskonstruktionen verzichtet werden. Ein kontrolliertes Entspannen der Seile war über das Herablassen des Umlenksattels am Pylonkopf möglich. Eine detaillierte nichtlineare FEM-Berechnung war erforderlich, um die Seilkräfte sowie die Überbauverformungen während dieses Prozesses vorherzusagen und die Stabilität des Pylons nachzuweisen. Die jeweils verbleibenden Kabel wurden dabei bis an die Grenze der Belastbarkeit beansprucht.

Zunächst schien es naheliegend, die Seile wiederum durch vollverschlossene Seile zu ersetzen, um die Verankerungen und Sattel wiederverwenden zu können. Aufgrund der besseren Dauerhaftigkeit und einfacheren Montage wurden jedoch moderne Parallellitzenseile eingesetzt, was eine Anpassung der Verankerungen erforderte. Der Kabelaustausch konnte im Jahr 2016 erfolgreich abgeschlossen werden. Nachdem auch alle Verstärkungen des Haupttragwerks (u. a. wegen der Querkrafttragfähigkeit) abgeschlossen sind, erfolgt im Jahr 2017 noch das Aufbringen der Betonverstärkung und des Asphaltbelags.

4.2. Galecopperbrücke

Die Galecopperbrücke in Utrecht gilt als die zweitmeistbefahrene Verkehrsbrücke in den Niederlanden. Seit ihrer Errichtung in den frühen 1970er Jahren ist das Verkehrsaufkommen zwischen Den Haag, Rotterdam und der Grenze zu Deutschland stark gestiegen. Dies hatte in der jüngsten Vergangenheit zu schweren Ermüdungserscheinungen in der Fahrbahndecke und der Stahlkonstruktion der Brücke geführt. Neben der Verstärkung der Fahrbahntafel stand eine Anhebung des Überbaus im Vordergrund, um die Durchfahrt von Binnenschiffen mit zusätzlichen Lagen von Containern zu ermöglichen. Außerdem werden beide

Überbauten um je zwei Fahrspuren erweitert. Die Brücke ist in Bild 9 dargestellt.

Im Zuge der Nachrechnung stellte sich heraus, dass einzelne Tragwerksteile bis zu 40 % überlastet sind. Dies waren typischerweise der Untergurt des Versteifungsträgers in Feldmitte und an den Zwischenauflagern sowie den geschraubten Stößen. Ursache war zum Teil die hohe UDL-Flächenlast nach EN 1991 [7], welche über die gesamte Überbaubreite angesetzt werden muss, obwohl diese in der tatsächlichen Verkehrsbelastung nicht auftritt. Außerdem erfassen moderne computergestützte Verteilungen, welche nicht den intuitiven schachbrettartigen Anordnungen entsprechen. Daraus resultieren nochmals höhere Schnittgrößen als bei einer vereinfachten Berechnung. Dies gilt insbesondere für schiefwinklige Schrägseilbrücken mit sehr breiten Überbauten.

Angesichts der hohen Auslastungsgrade wurden zusätzlich Verkehrsmessungen durchgeführt, um die unmittelbare Standsicherheit der Brücke sicherzustellen. Es zeigte sich, dass das Tragwerk der tatsächlichen Verkehrsbelastung gewachsen war, aber es mussten umfangreiche Verstärkungsmaßnahmen geplant werden, um die Lebensdauer für weitere 30 Jahre sicherzustellen. Außerdem sollte die Brücke erweitert werden, was zusätzliche Maßnahmen erforderte.

Die wirtschaftlichste Methode war das Anbringen von Abfangträgern auf beiden Brückenseiten, bestehend aus jeweils 1.500 Tonnen Stahl der Güte S 460. Die Träger sind auf separaten Fundamenten gegründet. Über das Anheben der Träger konnten diese auch Eigengewichtslasten aufnehmen und das bestehende Längstragwerk entlasten. Bild 10 zeigt das Einheben eines Abfangträgers.

Die Verwendung von vorgefertigten Stahlträgern erwies sich dabei als ideale Lösung. Sie erleichterten die Arbeitsplanung, Verkehrsbeeinflussungen konnten auf ein Minimum reduziert werden.



Bild 9 Galecopperbrücke in Utrecht



Bild 10 Einheben eines Abfangträgers

Foto: Galecom

Schließlich war eine Brückenschließung für die Dauer der Sanierungsarbeiten keine Option. Nach der Installation der verstärkenden Stahlträger wurden das Lagersystem der Brücke geändert und das Brückendeck weiter angehoben, um das Lichtraumprofil für den Schiffsverkehr zu erhöhen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

5.1 Aktueller Stand in den Niederlanden

Aktuell sind die Sanierungsarbeiten an fünf der acht Großbrücken fertiggestellt, nämlich der Muidenbrücke, der Scharbergbrücke, der Beekbrücke, der Kreekrakbrücke und der Galecopperbrücke. Die Ewijkbrücke wird aktuell noch instand gesetzt und die Suurhoffbrücke sowie die zweite Bogenbrücke bei Brienenoord stehen noch aus. Weitere Details wurden bereits in anderen Publikationen beschrieben [8]–[14]. Der Einbau des hochfesten Betons stellte für die großen Brückenflächen eine besondere Herausforderung dar, vor allem um einen guten Verbund mit der Stahlfahrbahntafel zu erzielen. Im Laufe des Projekts konnte dieser Ablauf zufriedenstellend optimiert werden.

5.2 Weiterentwicklung des Systems

Die Verwendung von ultrahochfestem Beton (UHPC) könnte es ermöglichen, die Schichtdicke der Betonverstärkung bei gleichbleibender Verstärkungswirkung zu reduzieren. Dies würde den

negativen Einfluss des erhöhten Eigengewichts auf das Gesamttragwerk vermindern.

Es gibt daneben Bestrebungen, ausschließlich faserbewehrten Beton zu verwenden, was den Einbau wesentlich vereinfachen würde und weniger Restriktionen hinsichtlich der Einbaudicke ergäbe. Es wurde ebenfalls bereits die Anwendung von Fertigteilplatten oder Spannbeton untersucht. Diese Weiterentwicklungen sind noch in der frühen Entwicklungsphase, aber könnten zukünftig sinnvolle Alternativen zum derzeitigen System sein.

Da die Umsetzung der Betonverstärkungsmethode gebräuchlicher wird, könnten auch alternative Vergabemethoden wie *Design – Build* oder ÖPP-Modelle zum Zuge kommen. Dies würde bessere Anreize für die Bauindustrie schaffen, diese Verstärkungsmethode weiterzuentwickeln und zu optimieren.

Außerdem zeigte die detaillierte Analyse der Schadensakkumulation, dass ein besseres Asset-Management auf Seiten des Bauherren sinnvoll sein kann, um kritische Brücken frühzeitig zu erkennen und Ressourcen effektiv einzusetzen.

5.3 Anwendung in Deutschland

Das beschriebene Verstärkungsverfahren kam im Jahr 2014 erstmals auch in Deutschland zur Anwendung. Unter Leitung des Regierungspräsidiums Karlsruhe, zusammen mit dem Regierungs-

präsidium Tübingen, wurde das System zunächst für die Sanierung einer Brücke bei Beimerstetten eingesetzt. Derzeit ist die Instandsetzung der Rheinbrücke Maxau in Vorbereitung.

Danksagung

Die Autoren möchten sich für die Unterstützung und die gute Zusammenarbeit mit der leitenden Straßenbauverwaltung Rijkswaterstaat (RWS) bedanken.

Einige Abbildungen wurden im Rahmen der Baumaßnahmen an der Kreekrakbrug angefertigt. Die ausführende Baufirma dieses Teilprojekts war Heijmans.

Literatur

- [1] De Jong, F. B. P.: Renovation Techniques for Fatigue Cracked Orthotropic Steel Bridge Decks. Dissertation, TU Delft, Prof. Bijlaard, 2006
- [2] Kolstein, M. H.: Fatigue Classification of Welded Joints in Orthotropic Steel Bridge Decks. Dissertation, TU Delft, Prof. Bijlaard, 2007
- [3] Adviesbureau ir. J. G. Hageman B. V. (Hrsg.): HSB-Betonoverlagingen op Stalen Bruggen. Rapport 6721-1-5, 2009
- [4] DIN EN ISO 8501-1:2002-03: Vorbereitung von Stahloberflächen vor dem Auftragen von Beschichtungsstoffen Visuelle Beurteilung der Oberflächenreinheit Teil 1: Rostgrade und Oberflächenvorbereitungsgrade von unbeschichteten Stahloberflächen und Stahloberflächen nach ganzflächigem Entfernen vorhandener Beschichtungen (ISO 8501-1:1988)
- [5] DIN-EN-ISO-4624:2016-08: Beschichtungsstoffe – Abreißversuch zur Bestimmung der Haftfestigkeit (ISO 4624:2016); Deutsche Fassung EN ISO 4624:2016
- [6] http://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/projectenoverzicht/renovatie-bruggen/planningen-aanpak.aspx und Kontrakt: BDX-9135

- Versie 12 maart 2009, Ministerie van Verkeer en Waterstaat (geprüft am 13.02.2017)
- [7] DIN EN 1991-2:2010-12: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken; Deutsche Fassung EN 1991-2:2003 + AC:2010
- [8] Gration, D.; van Dooren, F.; Nagtegaal, G.; Ashurst, D.; Kunst, P.; Blanken, S.: Orthotropic Deck Fatigue: Renovation of 8 Bridges in the Netherlands. In: Proc. of Structural Faults + Repair Symposium, 12th international Congress and Exhibition in Edinburgh, 2010
- (9) den Blanken, S.; Nagtegaal, G.; Tuinstra, D.: Strengthening Solutions for the Extended Service Life of the Galecopperbridge in the Netherlands. In: Proc. of 18th IABSE Congress, Seoul (Korea), 2012
- [10] Darlow, M.; Karagiannis, D.: Assessment and Strengthening of the Kreekrakbrug. In: Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructure Proc. of IABSE Conference, 6.–8.5.2013 in Rotterdam, 2013
- [11] Tuinstra, D.; Breider, J.; Nagtegaal, G.: Fatigue assessment of steel bridge superstructures. In: Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructure – Proc. of IABSE Conference, 6.–8.5.2013 in Rotterdam, 2013
- [12] Moore, P., Lavery, C., Vonk, E. & Nagtegaal, G.: Replacement of the Cable Stays at Ewijk Bridge. In: Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructure – Proc. of IABSE Conference 6.–8.5.2013 in Rotterdam, 2013
- [13] Vonk, E., Flint, M. & Nagtegaal, G.: Renovation design of the Bridge at Ewijk in The Netherlands. In: Assessment, Upgrading and Refurbishment of Infrastructure Proc. of IABSE Conference, 6.–8.5.2013 in Rotterdam, 2013
- [14] Tuinstra, D.; Moore, P.; Gabler, M.: Instandsetzung von 8 Stahlbrücken in den Niederlanden. In: Technische Akademie Esslingen (Hrsg.): Tagungsband zum 2. Brückenkolloquium Beurteilung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken, 21.–22.06.2016 an der Technische Akademie Esslingen, 2016, S. 283–288