

Innovativer und nachhaltiger Ersatzneubau von Betonbrücken

Dipl.-Ing. (FH), SFI, BIC Andreas Wirker, Dipl.-Ing. Ralf Donner

1 Hintergrund, Ziel, Zusammenfassung des Forschungsvorhabens

Verursacht durch die alternde Bausubstanz und den kontinuierlich ansteigenden Schwerlastverkehr, in Verbindung mit vorhandenen Defiziten bestehender Straßenbrücken, gewinnt der Ersatzneubau von Brückenbauwerken zunehmend an Bedeutung. Durch die Herstellung dieser Bauwerke am Ort des vorhandenen Kreuzungspunktes sind lange Verkehrseinschränkungen die Folge. In dem hier vorgestellten und von der Bundesanstalt für Straßenwesen beauftragten Forschungsvorhaben werden Vorgehensweisen aufgezeigt, mit denen die Bauzeit im Bereich der Verkehrsstrasse erheblich reduziert werden kann. Durch separate Lösungsansätze für die Unterbauten, Überbauten und Kappen sowie die Bauverfahren stehen Kombinationsmöglichkeiten für verschiedenste Anwendungsfälle zur Verfügung.

2 Vorgehen

Die Lösungsansätze wurden stufenweise an konkreten Beispielobjekten (Referenzbauwerke mit einem RQ 36B der EKA 1 nach RAA [1]) von Autobahnbrücken ausgearbeitet. Aus einer Bestands- und Bedarfsanalyse wurden vier typische Tragsysteme ermittelt und in den weiteren Untersuchungen betrachtet. Ein Rahmenbauwerk mit einer Stützweite bis 30 m, ein Ein-Feld-System mit einer Gesamtlänge zwischen 10 m bis 30 m, ein Zwei-Feld-System mit einer Gesamtlänge bis zu 70 m und ein Dreifeldsystem mit einer Gesamtlänge bis zu 100 m.

Damit werden ca. 93 Prozent des Brückenbestandes im Bundesfernstraßennetz in Deutschland erfasst (siehe Bild 1).

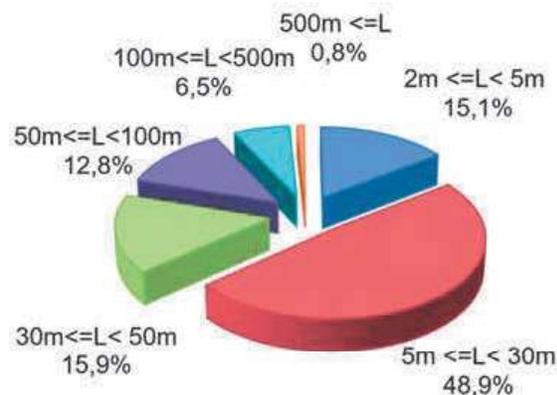


Bild 1: Anteil der Teilbauwerke nach Längenklassen [8]

3 Darstellung vergleichende Betrachtung von innovativen Bauweisen und Bauverfahren

Es galt die Fragestellung zu beantworten, wie die Bauteile einer Brücke modularisiert werden können, um die Herstellung dieser Einzelteile in ein Fertigteilwerk zu verlagern und somit Fertigungszeiten auf der Baustelle zu minimieren. Vor Ort sollen weitestgehend nur noch die Montage der Einzelteile und deren Komplettierung erfolgen. Die Möglichkeiten unterscheiden sich im Vorfertigungsgrad, der Teilungsart und der Querschnittswahl. Bei einigen Varianten werden Ortbetonergänzungen erforderlich.

Für die verschiedenen Tragsysteme wurden innovative Bauweisen und Bauverfahren jeweils getrennt für die Unter-, Überbauten und Kappen entwickelt. Dies ermöglicht künftig eine freie Kombination der aufgezeigten Lösungsansätze für die einzelnen Bauwerke.

Die aufgezeigten Möglichkeiten wurden vergleichend dem derzeitigen Vorgehen gegenübergestellt. Dabei wurde die Nachhaltigkeit durch Beurteilung der fünf Säulen Ökologische Qualität, Ökonomische Qualität, Soziokulturelle und funktionale Qualität, Technische Qualität sowie Prozessqualität berücksichtigt [5]. Die externen Kosten bei der Realisierung von Brückenbauwerken konnten durch die Betrachtung möglicher volkswirtschaftlicher und ökologischer Kosten ebenfalls dargestellt werden. Schlussendlich wirken sich dadurch Bauweisen und Bauverfahren, bei denen die bauzeitlichen Verkehrseinschränkungen reduziert werden können, volkswirtschaftlich günstig und für das Allgemeinwohl nachhaltig aus.

4 Konzepte für die Realisierung

Für die vier zu betrachtenden Tragsysteme konnten auf Grundlage der bewerteten Varianten Bauweisen und Verfahren ausgewählt werden, mit denen anschließend Konzepte für die Realisierung erarbeitet wurden.

4.1 Rahmenbauwerk

Für das Rahmenbauwerk mit einer Stützweite von bis zu 30 m wird als technologisches Konzept vorgesehen, das Bauwerk neben dem Verkehrsweg herzustellen und in einer sehr kurzen Sperrung der Autobahn mittels Fluid-Technik in Querrichtung einzuschieben. Das Einschieben von Bauwerken

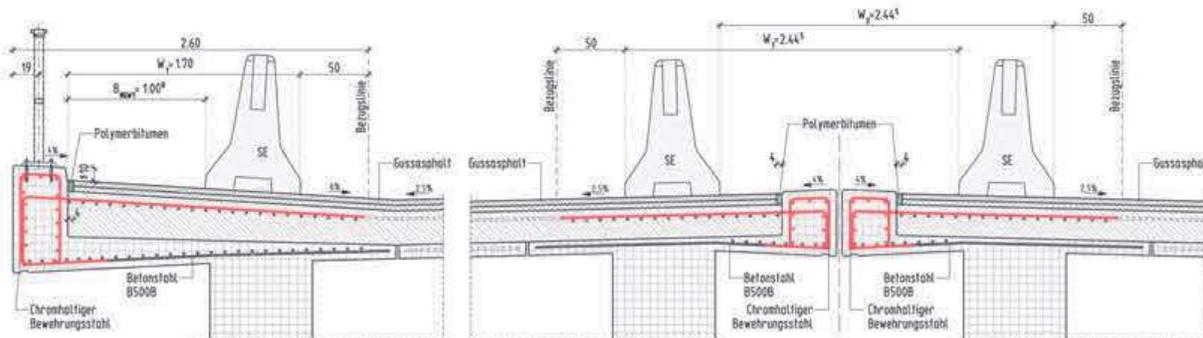


Bild 2: Details Randausbildung (Außenkappe und Mittelkappe)

ist kein neues Verfahren, wird jedoch für Straßenbrücken nur in Ausnahmefällen angewendet. Dies sollte, wie bei der Deutschen Bahn üblich, künftig eher der Regelfall sein.

Ein weiteres wichtiges konstruktives Element ist bei diesem, sowie den nachfolgenden Bauwerken das Verzichten auf die aufgesetzte Kappe. Damit kann die Bauzeit unter Witterungseinfluss reduziert werden. Es wird nur noch eine Gesimsaufkantung (siehe Bild 2) am Längsträger oder der Fahrbahnplatte ausgeführt. Als Schutz einrichtung wird eine lose aufgesetzte Betonschutzwand im Abstand des Wirkungsbereiches vor dem Gesims ausgeführt. Die Krafteinleitung in das Bauwerk erfolgt mittels seitlicher Verschiebung über Reibungskräfte.

4.2 Einfeldsystem bis 30 m

Für das in Bild 3 dargestellte Einfeldsystem ist eine Vollfertigteilvariante für eher kürzere Bauwerke mit einer Stützweite bis 20 m geplant worden. Den

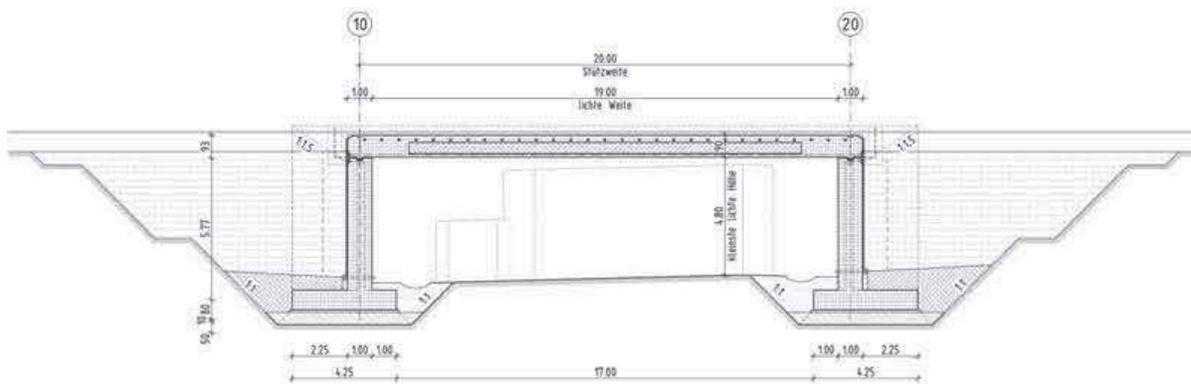


Bild 3: Einfeldsystem bis 30 m, Längsschnitt

Überbau bilden einzelne quer vorge-spannte Spannconcreteplattenelemente mit einbetonierten Hohlkörpern.

4.2.1 Unterbauten

Das Widerlager wird in modularer Bauweise mit Stahlbetonfertigteilen in Winkelstützelementform (Bild 4) zusammengesetzt. Die 2,25 m breiten

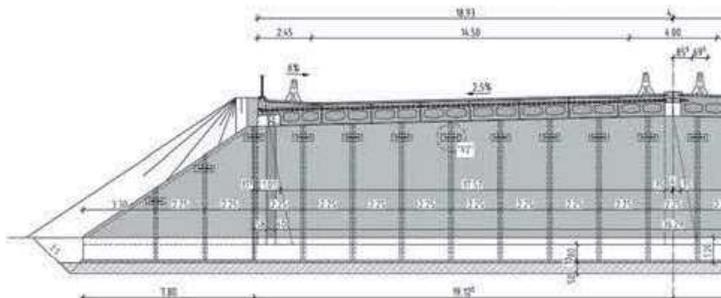


Bild 4: Einfeldsystem bis 30 m, Widerlageransicht, Regelquerschnitt

Um die in der tragwerkplanerischen Berechnung (Schertragfähigkeit und Dekompressionsnachweis) angenommene idealisierte Oberflächenbeschaffenheit baupraktisch auszubilden, ist die Fuge mit mechanischen Nachbearbeitungstechnologien einzuebnen – beispielsweise durch CNC-gestütztes Oberflächenfräsen.

Der Überbau und die Unterbauten sind über ein angeformtes Betongelenk in Halbschalenform miteinander verbunden, welches nach dem Ausrichten der Träger vergossen wird.

4.3 Zweifeldsystem bis 70 m Gesamtlänge

Das Zweifeldsystem mit einer Gesamtlänge von bis zu 70 m erhält Unterbauten mit Vollquerschnitten in Köcherfundamenten und einen Überbau, der aus einem Stahlverbundquerschnitt mit nachträglich aufgesetzter Spannbetonplatte besteht (Bild 5).

4.3.1 Unterbauten

Die Fundamente der Widerlager und Stützen werden als Köcherfundamente im Fertigteilwerk vor-

fabriziert. Bauseits ist der luftseitige Fundamentfuß in Ortbeton zu ergänzen. Das Widerlager besteht aus sechs Stahlbetonstützen und einem Auflagerträger (Bild 6) in Fertigteilbauweise. Eine Kammerwand mit Stummelflügeln komplettiert als Ortbetongergänzung das Widerlager. Die Pfeiler bilden jeweils zwei Stahlbetonstützen in ovaler Form und ein, die Stützen verbindender, Auflagerträger. Nach dem Zusammensetzen und Ausrichten aller Bauteile werden die Fugen vergossen.

4.3.2 Überbauten

Der Überbau des Zweifeldbauwerkes wird als dreistufiger Stahlverbundplattenbalken ausgeführt. Die Stahlträger und der Betongurt werden im Werk vorgefertigt. Auf der Baustelle erfolgen dann der Zusammenbau und die Herstellung des Verbundquerschnittes. Der Betongurt ist quergeteilt und in Plattenelemente mit einer Dicke von 40 cm und einer Breite von 3,00 m aufgelöst. Die Kontaktstelle der Plattenelemente ist für die Baustellenmontage mittels CNC-Frästechnik nachzuarbeiten.

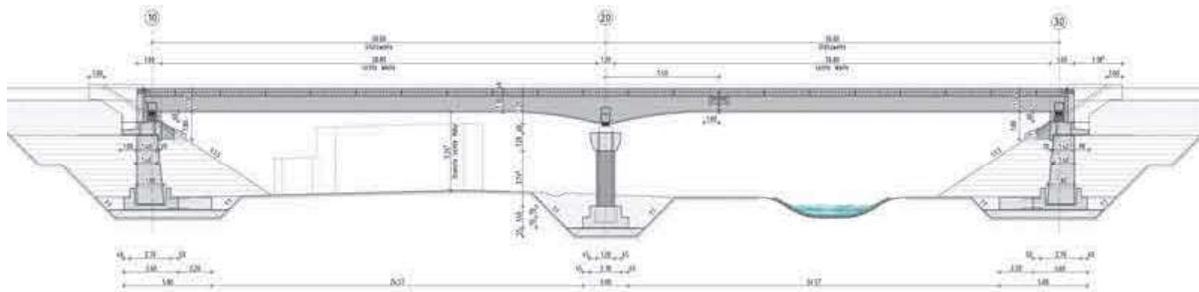


Bild 5: Zweifeldsystem bis 70 m, Längsschnitt

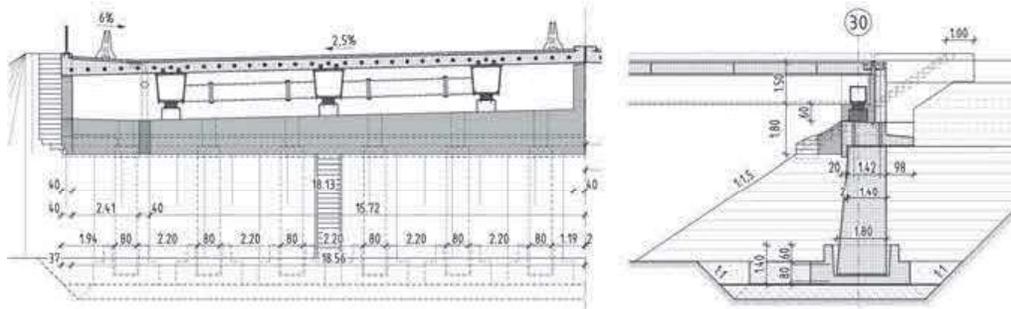


Bild 6: Detail Widerlager, Ansicht und Längsschnitt

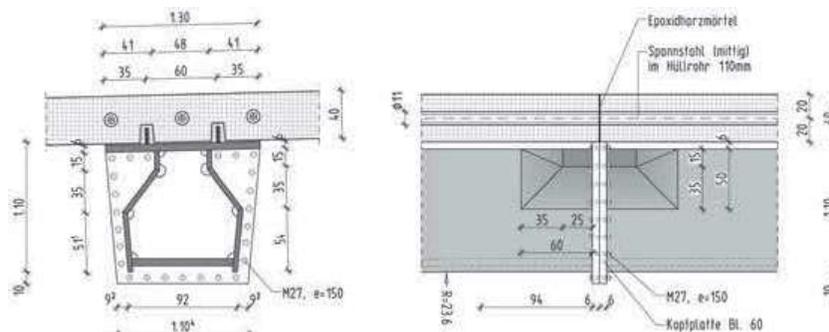


Bild 7: Details Stahlkonstruktion Überbau und Detail zur Injizierten Fuge

Die Verbundherstellung zwischen den Stahlträgern und den Plattenelementen erfolgt mit dem sogenannten Verfahren der injizierten Fuge [6]. Dabei werden auf dem Stahlträger zwei Riffelbleche als Verbundmittel aufgesetzt und der in den Plattenelementen vorhandene Kanal nach dem Auflegen und Längsverspannen der Platten injiziert (Bild 7). Es stehen aber auch noch andere Möglichkeiten [7] der nachträglichen Verbundherstellung zur Verfügung.

4.4 Dreifeldsystem bis 100 m Gesamtlänge

Das längste der betrachteten Bauwerke, das Dreifeldsystem (Bild 8), wurde mit Unterbauten in Hohlkastenbauweise, hochgesetzten Widerlagern und einem Überbau mit Stahlverbundquerschnitt und Ortbetonergänzung geplant.

4.4.1 Unterbauten

Die Bauteile des Widerlagers werden vollständig im Fertigteilwerk in Form von drei Einzelteilen je Widerlager vorgefertigt. Im Einzelnen gibt es die Bauteile der Auflagerbank, der Kammerwand und der Flügelwand (Bild 9).

Die Bauteile der aufgelösten Pfeiler werden ebenfalls vollständig im Fertigteilwerk hergestellt. Im Detail werden Pfeilerunterteile, Zwischenelemente und ein Auflagerträger benötigt (Bild 10).

Auf der Baustelle werden die Widerlager- und Pfeiler Elemente auf die Ortbetonfundamente aufgesetzt, gestapelt und durch den Einbau von Ankerstangen mit diesen verbunden.

In den einzelnen Elementen werden Hohlkörper in Form von Polystyrol-Hartschaumblöcken mit geschlossener Zellstruktur eingebaut. Dies spart Beton und Montagegewicht. Die geschlossene Zellstruktur verhindert, dass sich in den Hohlkörpern Wasser ansammelt.

Durch Verwendung von zusätzlichen Zwischenelementen können Durchlaufbauwerke mit unterschiedlichen Stützhöhen hergestellt werden.

Zur Übertragung von Horizontalkräften sind an den Fertigteilunterseiten entsprechende Schubnocken angeordnet. Auf der Fertigteiloberseite ist das zugehörige Gegenstück vorhanden, in das die Nocke eingreift. Das Gegenstück und die Kontaktflächen sind so präzise herzustellen, dass der Stoß der Elemente in Form einer Trockenfuge erfolgen kann.

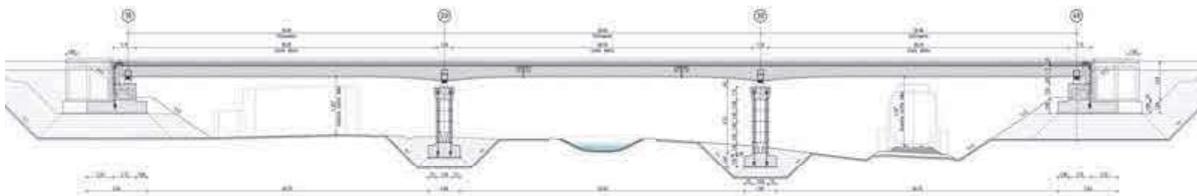


Bild 8: Dreifeldsystem bis 100 m, Längsschnitt

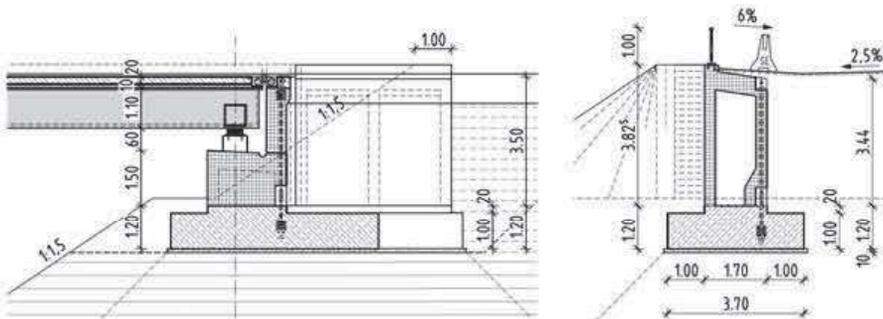


Bild 9: Dreifeldsystem bis 100 m, Details Schnitt Widerlager

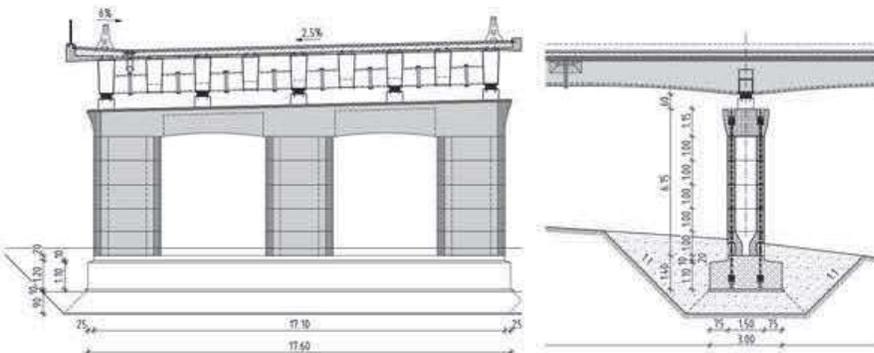


Bild 10: Dreifeldsystem bis 100 m, Details Schnitt Pfeiler

4.4.2 Überbauten

Der Überbau des Dreifeldbauwerkes wird als neunsteiger Stahlverbundplattenbalken ausgeführt. Den Vorfertigungsgrad erhöhen Stahlverbundfertigteilträger mit Ortbetonergänzung.

Die Längsträger werden jeweils in drei Baugruppen unterteilt und im Mittelfeld mittels eines Kopfplattenstoßes bauseits verbunden, um transportierbare Trägerlängen zu erhalten. Der Bauzeitenvorteil dieser Variante resultiert aus der Ausführung der Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand sowie den Schraubstößen der Träger. Sämtliche größere Schalarbeiten auf der Baustelle entfallen damit. Die Querträgerstummel sind an den Längsträgern angeschweißt und müssen bauseits nicht hergestellt werden.

5 Bewertung der Realisierungskonzepte

Für die vier vorgestellten Tragsysteme wurden auf Grundlage von Variantenuntersuchungen für Bauweisen und Verfahren im Vorfeld Konzepte für eine beschleunigte Realisierung erarbeitet. Für jedes der Tragsysteme ist ein dem Bauwerksentwurf vergleichbares Konzept entwickelt worden. Als Ergebnis der Konzeptbearbeitung wird festgestellt, dass mit der Anwendung der innovativen Bauweisen und Bauverfahren Reduzierungen der Zeiten mit Verkehrseinschränkungen von 40 % bis 66 % möglich sind. Eine signifikante Änderung der Baukosten bei Anwendung der innovativen Bauweisen war im Rahmen der Kostenschätzung nicht feststellbar. Darüber hinaus führt die Verringerung der Verkehrseinschränkung zu einer erheblichen Senkung der durch Brückenbaustellen verursachten CO₂-Emissionen. Bei allen Tragsystemen wurde die Bauweise der Gesimsaufkantung mit vorgestellter Betonschutzwand angewendet. Mit dieser Lösung entfallen die Kappen. Dadurch wird ein erheblicher Anteil der Bauzeit für die Herstellung des Überbaus vor Ort eingespart. Diese Lösungen sind im Regelwerk noch zu verankern. Durch eine zweckmäßige Baustoffauswahl sind für das Gesims verlängerte Instandsetzungsintervalle zu erwarten, wodurch die Verkehrseinschränkungen während der Bauwerksnutzung ebenfalls reduziert werden können. Insgesamt wird die Nachhaltigkeit der Brückenbauwerke gefördert.

6 Fazit

Die in der Variantenbetrachtung als Baukastensystem dargestellten und in den Realisierungskonzepten angewendeten Bauweisen und Bauverfahren haben gezeigt, dass durch geschickte Kombination der einzelnen Möglichkeiten beim

Ersatzneubau der Bauwerke erhebliche Bauzeiteinsparungen möglich sind. Damit einhergehend können die Verkehrseinschränkungen ebenfalls stark reduziert werden. Eine Vielzahl der aufgezeigten Lösungsansätze wird schon jetzt vom Regelwerk im Wesentlichen abgedeckt. Es liegen größtenteils Berechnungsansätze vor, sodass die sofortige Anwendbarkeit einzelner Möglichkeiten gegeben ist. Es müssen jedoch für die Fertigteilmontage mit geringen Fugenbreiten noch separate Regelwerke mit Festlegung von Toleranzanforderungen und Vorgaben für die interne Qualitätssicherung erarbeitet werden. Ebenso sind noch Berechnungsansätze für die Nachweise der Ermüdungsfestigkeit von Trockenfugen zu entwickeln. Weiterer Forschungsbedarf besteht für das Verfahren der injizierten Fuge. Zudem sollte der Fertigungsprozess durch eine externe Fertigungsüberwachung begleitet werden, welche unabhängig von der vertraglichen Abwicklung des Bauvorhabens eingeschaltet ist. Diese Maßnahmen stellen eine qualitativ hochwertige Herstellung der Brückenbauwerke sicher und sorgen für eine Langlebigkeit der Bauwerke.

Die innovativen Ansätze gelingen, wenn von allen Beteiligten die Bereitschaft zur Anwendung der Fertigteilmontage vorhanden ist.

Der vollständige Forschungsbericht kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/index/index/docId/2445> abgerufen werden.

Quellen

- [1] FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf, *RAA Richtlinie für die Anlage von Autobahnen (RI)*, 2008
- [2] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, *RSA Richtlinie für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen*, 1995
- [3] E. LEDERHOFER, R. RINGWALD und A. KARAKAS, „FE-Nr. 15.0551/2012/NRB Machbarkeitsstudie zum nachhaltigen Ersatzneubau von Brücken: Die innovative Brücke“, BAST, München, 2013
- [4] Hessen Mobil – Straßen- und Verkehrsmanagement, *Erhebung durch WKP Dresden, Anfrage Straßenbaubehörden der Länder*, 2018, p. 5
- [5] BAST, „Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit“, *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau Heft B 125*, 05 2016
- [6] H.-G. DAUNER, „Klebertechnik für den schnellen und wirtschaftlichen Bau von Verbundbrücken“, *Stahlbau 75 (2006), Heft 7*, pp. 551–557, 2006
- [7] G. SEIDL, M. HIERL, M. BREU, M. MENSINGER und M. STAMBUK, „Segmentbrücke Greißelbach als Stahlverbundbrücke ohne Abdichtung und Asphalt“, *Stahlbau 85 (2016), Heft 2*, pp. 126–136, 2016
- [8] BAST – Bundesanstalt für Straßenwesen, „Brücken an Bundesfernstraßen“, 2018. [Online]. Available: https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Statistik/Bruecken/Brueckenstatistik.pdf?__blob=publicationFile&v=11. [Zugriff am 13.12.2018]