

Einsatz modularer Brücken zum Wiederaufbau der Infrastruktur nach dem Jahrhunderthochwasser im Juli 2021

*Dipl.-Ing. Lukas Hüttig, Bernd Gericks M. Sc.
Firmengruppe Max Bögl, Sengenthal*

1 Einleitung

Im Juli 2021 wurde der Westen Deutschlands von einem Extremwetterereignis besonderen Ausmaßes getroffen. Das Sturmtief „Bernd“ brachte einen Starkregen, der mehrere Tage andauerte und in der Nacht vom 14. auf den 15. Juli zu einem sturzflutartigen Hochwasser im Ahrtal sowie in weiteren Regionen von Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz führte. Die Katastrophe kostete zahlreiche Menschenleben und löste in Deutschland und den angrenzenden Nachbarländern eine enorme Anteilnahme und Hilfsbereitschaft aus. Die Infrastruktur wurde weitreichend zerstört, die Schäden an den Verkehrswegen stellten sowohl für die Anwohner als auch für die Hilfs- und Rettungskräfte ein großes Problem dar. Rund zwei Drittel der 112 Brücken im betroffenen Gebiet waren vollständig zerstört [1]. Weitere Bauwerke konnten erst nach statischen Überprüfungen und Sanierungsmaßnahmen wieder für den Verkehr freigegeben werden. Dadurch verlängerten sich die Wegstrecken erheblich.

Der Wiederaufbau der Verkehrswege wurde zu einer besonderen Herausforderung. Dabei war von Beginn an klar, dass die schnelle Wiederherstellung der zerstörten Bauwerke nicht mittels konventioneller Verfahrensweisen erfolgen kann. Durch die intensive partnerschaftliche Zusammenarbeit von Behörden, Bauunternehmen, Planern und Prüfern konnten mehrere der zerstörten Brückenbauwerke in einer Rekordbauzeit neu errichtet und für den Verkehr freigegeben werden. Hierbei setzten die Beteiligten auf den Einsatz innovativer modularer Konstruktionsweisen. Aufgrund eines hohen Vorfertigungsgrades konnten die Bauzeiten gegenüber konventionellen Bauweisen deutlich verkürzt werden.

Im vorliegenden Beitrag werden die durch die Firmengruppe Max Bögl realisierten und durch die SSF Ingenieure AG geplanten Brückenbauwerke zur Instandsetzung der Infrastruktur in den Hochwassergebieten der Eifel vorgestellt.

Allen Bauwerken liegt ein modulares Konstruktionsprinzip zugrunde. Die Entwicklung der modularen Brücken wird in Abschnitt 2 näher erläutert.

2 Modulare Brücken

Als Vordenker des modularen Bauens gilt der Bauhauspionier Walter Gropius. Bereits in den 1920er Jahren verfolgte er den Ansatz, durch verschiedene Kombinationsmöglichkeiten von Raumkörpern kostengünstigen und funktionalen Wohnraum ohne uniforme Gestaltung zu schaffen [2]. Damit besteht eine klare Abgrenzung zwischen der modularen und der seriellen Bauweise. Bei der seriellen Bauweise werden mehrere Bauwerke nach einem einheitlichen Muster bzw. einer einheitlichen Planung erstellt. Die Bauwerke werden demnach als Serie errichtet. Die modulare Bauweise beschreibt hingegen die individuelle Kombination von weitgehend vorgefertigten Bauelementen zu einem Gesamtbauwerk. Die Prozesse zur Planung, Produktion und Montage der vorgefertigten Elemente sind im Sinne der Industrialisierung zu einem hohen Anteil standardisiert. Das Element selbst kann jedoch individuell sein. Beispielsweise ist der Einbauvorgang der Bewehrung und des Betons bei der Herstellung einer Fertigteilplatte unabhängig von den Abmessungen und dem Bewehrungsgehalt gleich. Gegebenenfalls kann zwischen verschiedenen Modultypen unterschieden werden. Da die Elemente selbst jedoch individuell sein können, gilt dies auch für das Gesamtbauwerk. Die modulare Bauweise ermöglicht somit die Schaffung individueller und qualitativ hochwertiger Bauwerke mithilfe weitgehend standardisierter Prozesse.

2.1 Historische Entwicklung modularer Brücken

Im Brückenbau wurden die Ansätze modularer Bauweisen zunächst eher unbewusst vorangetrieben. Im Stahlbrückenbau entstand die in-

dustrielle Vorfertigung vor allem durch die Entwicklung der Schweißtechnik. Die Errichtung vollständig geschweißter Bauwerke begann bereits in den 1920er Jahren [3]. Der weitverbreitete Einsatz der Schweißtechnik erfolgte jedoch erst nach dem zweiten Weltkrieg beim Bau großer Tal- und Flussbrücken. Die Herstellungsprozesse, Güteanforderungen und Normung wurden in den folgenden Jahrzehnten immer weiter standardisiert.

Die erste zum Teil modulare Betonbrückenkonstruktion in Deutschland wurde im Jahr 1938 über die Bundesautobahn A 2 zwischen Dortmund und Bielefeld [4] errichtet. Der weitverbreitete Einsatz von vorgefertigten Spannbetonträgern erfolgte ab den 1960er Jahren sowohl in der DDR als auch in der BRD [5], [6]. Mit einer wirtschaftlichen Spannweite bis ca. 35 m eignen sich die heutige Spannbeton-Fertigteilbauwerke vor allem zur Überführung von vierstreifigen Autobahnen und Landstraßen [7]. Da in der Regel keine Schalung für die Herstellung der Fahrbahnplatte sowie nur kleine Traggerüste an den Widerlagern erforderlich werden, können die Einschränkungen im Baufeld sowie die Bauzeit gering gehalten werden. Einen Nachteil der Spannbetonfertigteile stellt das hohe Eigengewicht dar, das die Einsatzmöglichkeiten bei größeren Spannweiten erschwert.

2.2 Verbund-Fertigteil-Brücken

Deutlich geringere Eigenwichte als Spannbetonträger bei zudem größeren wirtschaftlichen Spannweiten ermöglichen Brückenbauwerke mit Verbundträgern. Bei herkömmlichen Verbundbrücken werden die Stahlträger auf der Baustelle mit Halbfertigteilen oder mit Schalungen und Ortbeton ergänzt. In den 1990er Jahren entwickelte die SSF Ingenieure AG die Idee, die Vorteile der Spannbetonfertigteile- und der Verbundträger zur sogenannten Verbund-Fertigteil-Bauweise (VFT®-Bauweise) zu kombinieren. Im Jahr 1998 erfolgte die nahezu parallele Beauftragung der ersten beiden Bauwerke in Brandenburg und Bayern [8]. Heute ist die Bauweise in Fachkreisen weitgehend etabliert. Sie vereint die Vorteile eines hohen Vorfertigungsgrads, eines geringen Eigengewichts, hoher Spannweiten, einer guten Transportierbarkeit sowie den Verzicht auf Fahrbahnplattenschalungen und Traggerüste. Die maximalen Abmessungen einer Baueinheit von ca. 56 m Länge und 3,1 m Höhe werden lediglich durch die Transportmöglichkeiten im öffentlichen Verkehrsraum beschränkt. Sie er-

möglichen jedoch den Einsatz der Träger zur Überführung von bis zu sechsstreifigen Autobahnen ohne eine Mittelunterstützung während der Bauphase. Sperrzeiten und bauzeitliche Einschränkungen in der Verkehrsführung werden dadurch stark reduziert.

Die Produktions- und Montageabläufe von Verbund-Fertigteil-Trägern sind in der Firmengruppe Max Bögl zu einem hohen Grad standardisiert. Beim Zusammenbau geschweißter Stahlträger wird lediglich zwischen zwei Trägertypen unterschieden – dichtgeschweißte Hohlkästen und offene Doppel-T-Querschnitte. Die Produktion der Stahlträger erfolgt getaktet mit ein bis zwei Fertigungslinien. Adaptive Auflagerböcke ermöglichen eine individuelle Einstellung der Träger- und Fertigungsgeometrie. Neben den konventionellen Trägern, die im Grundriss gerade verlaufen, können auch im Grundriss gebogene Geometrien hergestellt werden.

Im Fertigteilwerk wird die Bewehrung der Fertigteilplatte außerhalb der Schalung auf dem Stahlträger vorgeflochten. Die Betonage erfolgt in einem adaptiven Schalungssystem. Die Trägerlänge, -breite- und -höhe sowie die Neigung und Breite der Fertigteilplatte können individuell eingestellt werden. Lediglich die seitlichen Abstellungen und Einbauteile in den Fertigteilen müssen einzeln eingebaut werden. Die von der Firmengruppe Max Bögl speziell für Verbund-Fertigteil-Träger entwickelte Betonrezeptur ermöglicht bereits nach 16 Stunden den Aushub des betonierten Trägers. Durch die besonders schwindarme Rezeptur werden Risse in der dünnen Fertigteilplatte vermieden. Im Sinne des Industrialisierungsgedankens werden die Produktionsabläufe der Stahlbau- und Fertigteilherstellung aufeinander abgestimmt, wodurch die Produktion von zwei bis drei Verbund-Fertigteil-Trägern pro Woche möglich ist.

Der Transport der Träger zur Baustelle erfolgt just-in-time zum Montagebeginn. Durch geschultes Personal und eine im Vorfeld geplante und installierte Sicherheitseinrichtung auf den Trägern wird eine kurze Montagezeit gewährleistet.

2.3 Modulbrücken Bögl

Aufbauend auf den existierenden modularen Brückensystemen wurde durch die Firmengruppe Max Bögl in Zusammenarbeit mit der SSF Ingenieure AG in den 2000er Jahren die Entwicklung eines vollständig modularen Brü-

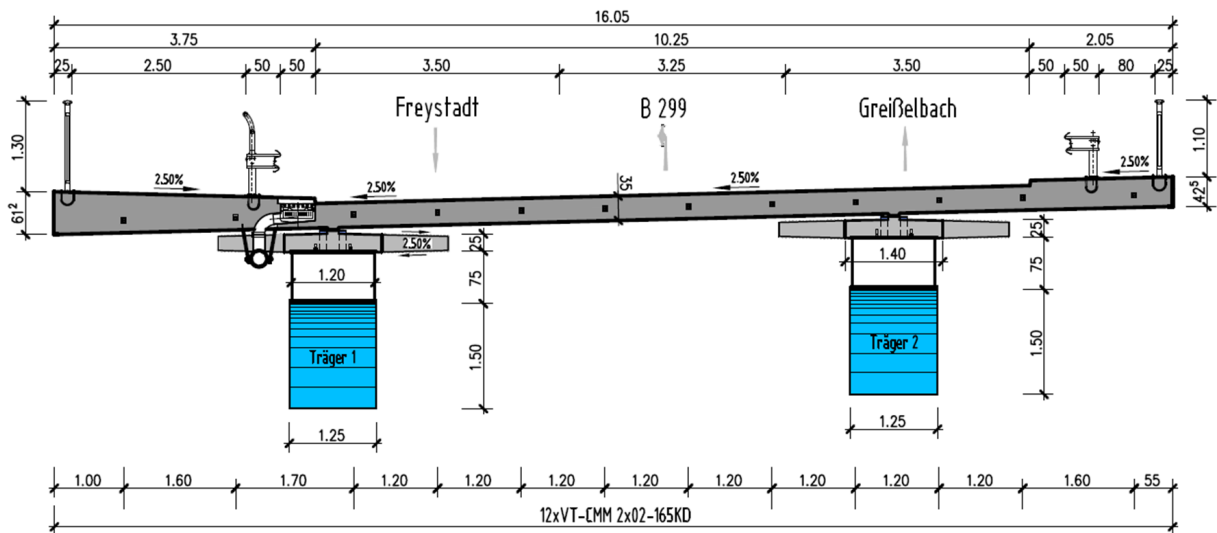


Bild 1 Querschnitt der Brücke über die B 299 bei Greißelbach mit integralen Verbund-Fertigteil-Trägern und direkt befahrenen Fahrbahnmodulen
Zeichnung: Firmengruppe Max Bögl

ckenüberbaus angestrebt. Die Besonderheit der Modulbrücke Bögl liegt in der direkt befahrbaren Betonfahrbahnplatte. Eine Abdichtung, Asphaltdecke und aufgesetzte Kappen, die bei konventionellen Bauwerken über deren Lebenszyklus mehrfach erneuert werden müssen, sind nicht erforderlich. Stattdessen werden die Fahrbahn, Schrammborde sowie Rand-/Gehwegbereiche in einem Guss hergestellt.

Nach einer mehrjährigen Entwicklungsphase erfolgte im Jahr 2015 der Bau der ersten Modulbrücke Bögl über die B 299 bei Greißelbach mit integralen Verbundträgern [9]. Seitdem wurden drei weitere Bauwerke mit einer Spannweite zwischen 30 und 40 m in gleicher Konstruktionsweise umgesetzt. Dabei handelt es sich um die Überführung der B 299 bei Mühlhausen im Jahr 2018, die Überführung der Speelberger Straße über die A 3 bei Emmerich am Rhein im Jahr 2019 sowie die Überführung der B 27 über die Oder in der Nähe von Herzberg im Jahr 2022. Das Konstruktionsprinzip wurde im Zuge des Baus der weiteren Brücken optimiert. Derzeit befinden sich zwei weitere Bauwerke im Planungs- bzw. Bauprozess.

Auf Basis der Modulbrücke mit mittlerer Spannweite für Überführungsbauwerke (Ü-Bauwerke) wurde das Konzept der modularen Bauweise zur Anwendung bei Brücken mit geringer Spannweite untersucht. Vorrangig ist deren Einsatz bei Bauwerken im Zuge einer Autobahn zur Überbrückung von Hindernissen vorgesehen. Daher wird diese Variante der Modulbrücke als Autobahnbauwerk – kurz A-Bauwerk – bezeichnet, was einen Einsatz bei ande-

ren Verkehrswegen jedoch nicht ausschließt. Eine Umsetzung von Pilotprojekten erfolgte bei vier durch das Hochwasser im Juli 2021 beschädigten Bauwerken. Die Konstruktionsprinzipien beider Modulbrückentypen werden nachfolgend näher erläutert.

2.3.1 Modulbrücke Bögl mit mittlerer Spannweite (Ü-Bauwerke)

Das Konstruktionsprinzip der Modulbrücke für mittlere Spannweiten beruht auf der klaren Trennung der Längs- und Quertragwirkung (siehe Bild 1). Die aus einzelnen Modulen bestehende Fahrbahnplatte ist nicht am Lastabtrag in Längsrichtung beteiligt und lagert statisch bestimmt auf Längsträgern. Bei den ersten realisierten Projekten wurden integrale Verbund-Fertigteil-Träger als Längsträger eingesetzt. Ebenso können Beton- oder Stahlkonstruktionen verwendet werden. Ferner ist neben dem Einsatz der Fahrbahnplatten auf Balkentragwerken eine Kombination mit verschiedenen Bauarten – wie Bogen-, Fachwerk- oder Trogbauwerke – möglich. Bei der Brücke im Zuge der Überführung der Willy-Brandt-Straße Wesel, die sich aktuell im Bau befindet, werden die Fahrbahnplatten auf einer Bogenfachwerk-Brücke eingesetzt (siehe Bild 2). Die sich im Planungsstadium befindende Brücke Kelsterbach sieht erstmals ein semiintegrales Zweifeld-Verbundtragwerk vor.

Die direkt befahrbare Fahrbahnplatte wird aus 2,67 m langen Einzelmodulen zusammengesetzt. Diese werden aus selbstverdichtendem, hochfestem Beton vollständig im Werk vorgefertigt. Sie sind in Brückenquerrichtung

zentrisch mit Spannritzen im direkten Verbund vorgespannt, sodass im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) keine Rissbildung unter ständiger Lastkombination erfolgt. Die Breite der Module variiert in Abhängigkeit des zugrundeliegenden Fahrbahnquerschnittes ebenso wie die Breite der Randwege.



Bild 2 Visualisierung der Brücke im Zuge der Willy-Brandt-Straße Wesel mit einem Bogenfachwerk in Kombination mit direkt befahrenen Fahrbahnmodulen Visualisierung: Firmengruppe Max Bögl

Zur Herstellung einer dichten und ebenen Fahrbahnoberfläche werden die Kontaktflächen sowie die Oberfläche der Module millimetergenau geschliffen. Des Weiteren wird in eine Nut an den Kontaktflächen eine 16 mm dicke Tübbingdichtung eingelegt (siehe Bild 3). Durch eine verbundlose Vorspannung der Fahrbahnplatten in Brückenlängsrichtung werden die Kontaktflächen vollständig überdrückt. Die Dichtprofile werden auf eine Dicke von 10 mm komprimiert. Somit wird eine dauerhafte Dichtigkeit sowie eine Querkraftübertragung zwischen den Modulen mittels Reibung sichergestellt. Die einzelnen Module wirken als durchlaufende Fahrbahnplatte.

Die Fahrbahnmodule sind durch eine Gleitpaarung schwimmend gelagert. Diese stellt einen dauerhaften Reibbeiwert von $\mu_{\max} = 0,35$ sicher. Zur Übertragung horizontaler Verkehrs-, Temperatur-, Wind- und Anpralllasten sind Festpunkte in Längs- und Querrichtung vorgesehen. In Abhängigkeit der Gesamtlänge des Bauwerkes befinden sich die Festpunkte am Widerlager oder in der Bauwerksmitte.

Die Eigenschaften des Bauwerkes Greißelbach wurden nach der Herstellung messtechnisch begleitet. Die Gutachten [10], [11] bescheinigen der Brücke eine sehr hohe Lebensdauer. Zudem ist auch nach mehreren Nutzungsjahren eine hohe Oberflächengriffigkeit gegeben. Durch eine bei der Herstellung der Platten berücksichtigte zusätzliche Opferschicht wird ein erneutes Aufrauen der Modulplatten im Lebenszyklus ermöglicht. Die schalltechnische Beurteilung [12] des Bauwerkes weist nach, dass die durch das Überfahren der Modulplatten verursachte Geräuschemission vergleichbar zu Fahrbahnen mit Splittmastixasphalt, lärmarmem Gussasphalt oder Waschbeton ausfällt. Unabhängig von der Länge des Bauwerkes werden die Schallemissionswerte von Verkehrswegen mit den genannten Fahrbahnbelägen nicht beeinflusst. Die Untersuchung der Lebenszyklus- und externen Kosten der Modulbrückenbauweise im Vergleich zu einer konventionellen Spannbetonbrücke oder Verbund-Fertigteil-Bauweise wird in [13] vorgestellt. Die Ergebnisse in Bild 4 zeigen, dass die



Bild 3 Fertiggestelltes direkt befahrbares Fahrbahnmodul im Werk mit Blick auf die geschliffene Stirnfläche (links) und Detail der eingelegten Tübbingdichtung (rechts) Fotos: Th. Frieß

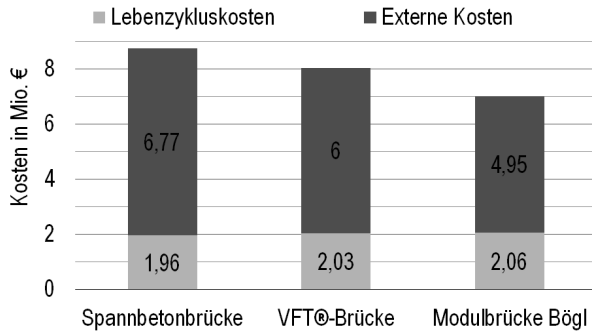


Bild 4 Vergleich der Lebenszyklus- und externen Kosten einer konventionellen Spannbetonbrücke, einer Verbund-Fertigteil-Brücke (VFT®-Brücke) und der Modulbrücke Bögl
Grafik: nach [13]

erhöhten Lebenszykluskosten (Herstellung, Nutzung, Rückbau) durch die Verringerung der externen Kosten (z. B. verursacht durch Stau, zusätzlichen Kraftstoffverbrauch, Unfälle infolge der Baumaßnahme) selbst unter Annahme eines konservativen Szenarios mehr als ausgeglichen werden.

Zur Ausführung von Brückenbauwerken mit direkt befahrbaren Fahrbahnplatten war bisher die Erteilung von mehreren Zustimmungen im Einzelfall (ZiE) erforderlich. Seit Juli 2022 liegt nun die allgemeine Bauartgenehmigung (aBG) [14] des DIBt vor, durch die der reguläre Einsatz im Einklang mit den Bauordnungen ermöglicht wird.

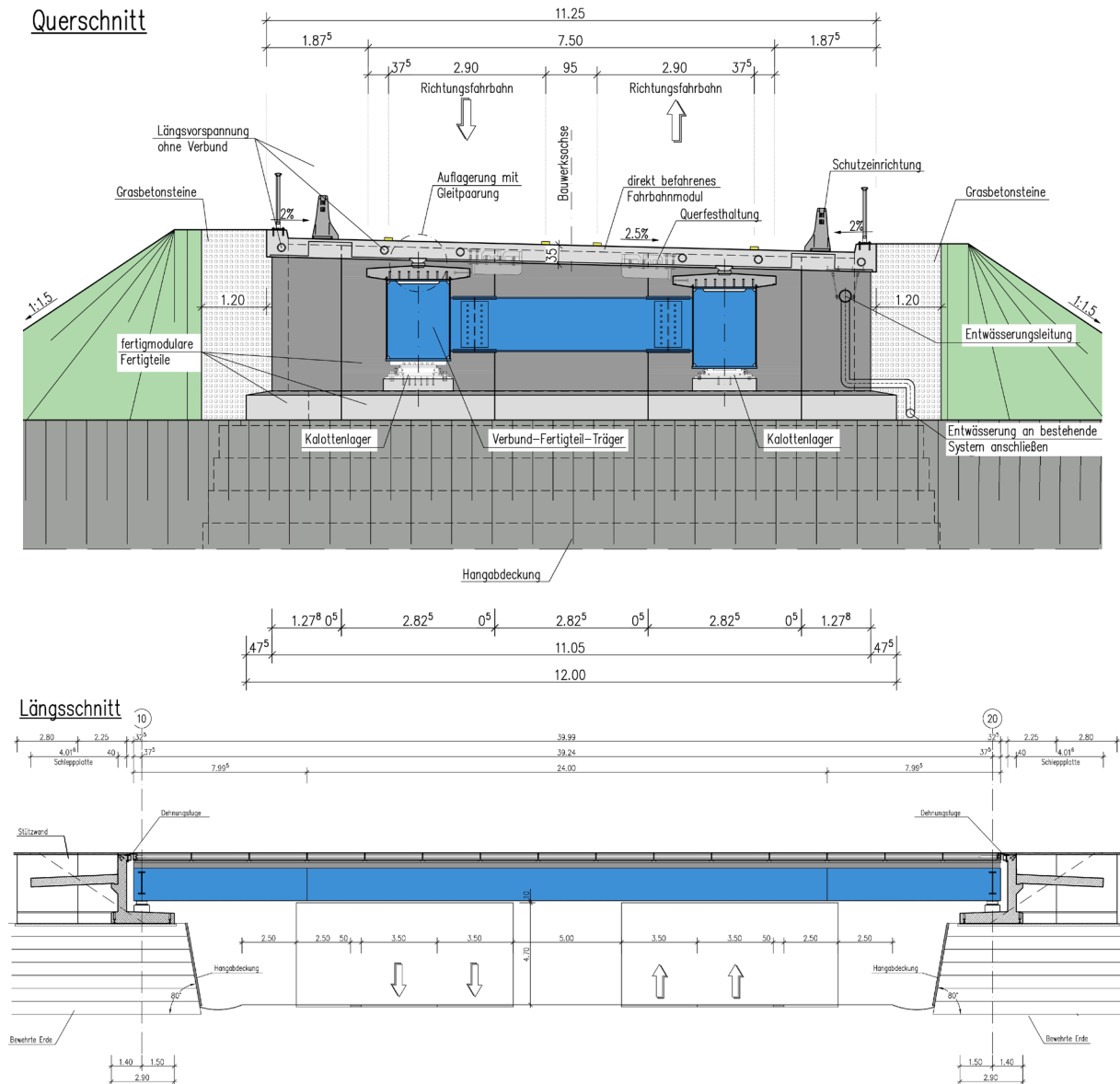


Bild 5 Quer- und Längsschnitt der vollständig modularen Brücke mit Widerlagern aus bewehrter Erde und Betonfertigteilen – ausgezeichnet mit dem Infratech-Award 2023

Zeichnung: Firmengruppe Max Bögl

Neben der sehr kurzen Bauzeit sowie der hohen Qualität und Dauerhaftigkeit des Bauwerkes infolge des hohen Vorfertigungsgrades bietet die Bauweise weitere Vorteile. Die Trennung der Längs- und Quertragwirkung sowie die verbundlose Vorspannung der Fahrbahnmodule ermöglichen einen effizienten Rückbau der Konstruktion am Lebensende. Des Weiteren kann im Schadensfall ein schneller Austausch einzelner Fahrbahnmodule erfolgen. Die für den niederländischen Markt entworfene Weiterentwicklung der Modulbrücke Bögl sieht ein vollständig modulares Brückenbauwerk vor. Durch den Einsatz von vorgefertigten Widerlagerelementen und bewehrter Erde wird

eine vollständige Rückbau- und Wiederverwendbarkeit des Brückenbauwerkes sichergestellt (siehe Bild 5). Im Januar 2023 wurde der Firmengruppe Max Bögl für diese Entwicklung der Infratech-Award in der Kategorie Produktinnovation verliehen.

2.3.2 Modulbrücke Bögl mit geringer Spannweite (A-Bauwerke)

Brückenbauwerke mit geringen Spannweiten bieten in der Regel keine ausreichende Konstruktionshöhe zur Trennung der Längs- und Quertragrichtung. Daher wurde eine Anpassung der modularen Bauweise erforderlich. Bei

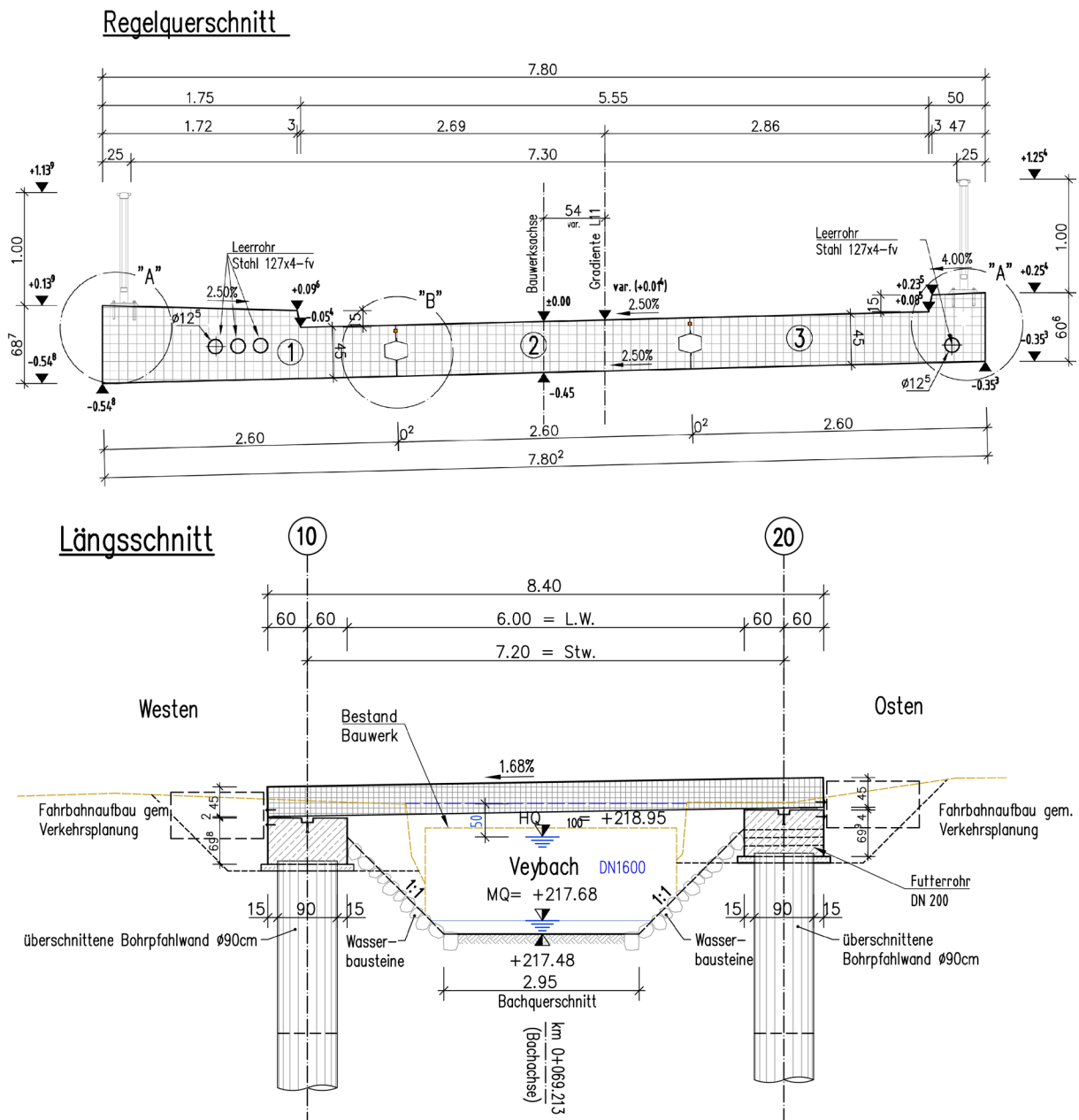


Bild 6 Längs- und Querschnitt der Modulbrücke über den Veybach – Herstellung der Fahrbahnplatte aus vergossenen, direkt befahrbaren Modulplatten

Zeichnung: SSF Ingenieure AG, Firmengruppe Max Bögl

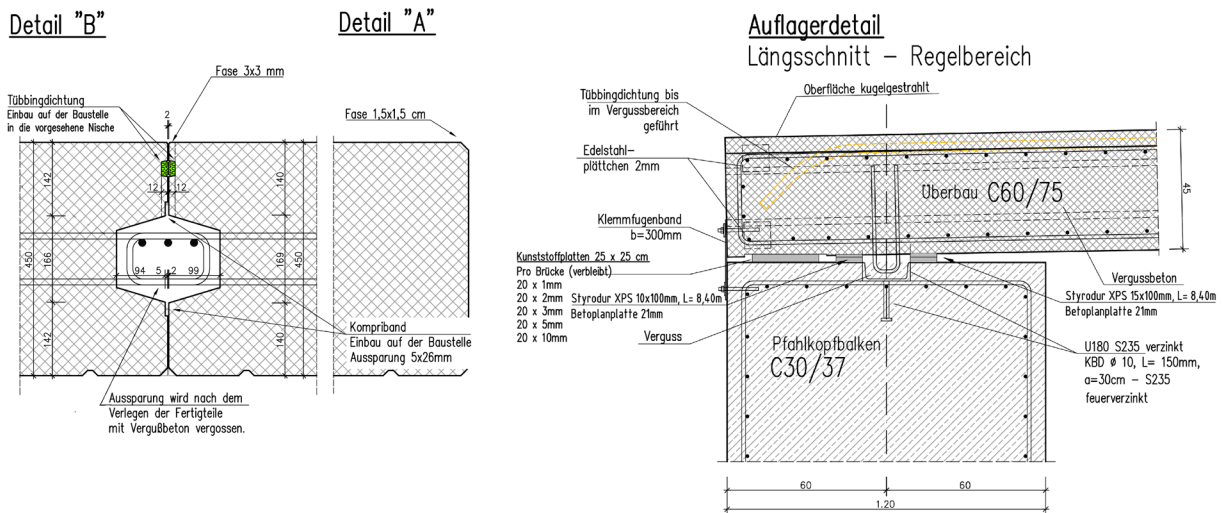


Bild 7 Detailabbildung des Vergusskanals der Modulplatten mit Tübbingdichtung (links) und Auflagerdetail der Modulplatten auf dem Pfohlkopfbalken mit einem Betongelenk (rechts)
Zeichnung: SSF Ingenieure AG, Firmengruppe Max Bögl

A-Bauwerken werden die direkt befahrbaren Fahrbahnmodule in Längsrichtung des Bauwerkes gestoßen. Sie dienen zum direkten Lastabtrag in die Widerlager. Die Plattendicke variiert in Abhängigkeit der Spannweite zwischen 45 und 100 cm. Ferner variieren die Modulbreiten zwischen 2,0 und 3,0 m in Abhängigkeit der Bauwerks-, Fahrbahn- und Randwegbreiten (siehe Bild 6). Bei einer Spannweite bis ca. 10 m wird eine Ausführung mit schlaffer Bewehrung bevorzugt. Zwischen 10 und 15 m Spannweite ist eine in Bauwerkslängsrichtung verlaufende zentrische Vorspannung im direkten Verbund wirtschaftlicher.

Im Gegensatz zu den Ü-Bauwerken erfolgt die Kopplung der Module zu einer Fahrbahnplatte bei den A-Bauwerken nicht durch eine verbundlose Vorspannung. Stattdessen wird durch einen Vergusskanal eine monolithische Verbindung geschaffen (Detail B in den Bildern 6 und 7). Auf ein Schleifen der Stoßfugen kann daher verzichtet werden. Die Dichtigkeit der Fahrbahn wird ebenfalls über eine eingelegte Tübbingdichtung gewährleistet (siehe Bild 7 links). Ferner wird ein hochfester selbstverdichtender Beton eingesetzt. Die Eigenschaften und Dauerhaftigkeit der Fahrbahn unterscheiden sich nicht von den Ü-Bauwerken.

Die Auflagerung der Modulplatten auf den Widerlagern erfolgt, wie in Bild 7 rechts dargestellt, durch ein Betongelenk analog RiZ-ING ABS 1 [15]. Fahrbahnübergangskonstruktionen werden daher nicht erforderlich.

Im Montagezustand, vor dem Verguss des Betongelenks, werden die Modulplatten auf klei-

nen Kunststoffplatten aufgelegt. Anschließend werden die Module untereinander sowie deren Stirnseiten mit den Widerlagern temporär verspannt. Dadurch wird eine vorübergehende Quer- und Längsfesthaltung erzeugt. Ferner werden die Tübbingdichtungen zwischen den Modulen überdrückt, bis die Vergusskanäle zwischen den Modulen sowie die Betongelenke zwischen Fahrbahn und Widerlager vergossen und erhärtet sind.

3 Erneuerung von Brückenbauwerken nach der Hochwasserkatastrophe 2021

3.1 Teilneubau der Ahrbrücke B 9 bei Sinzig mit Verbund-Fertigteil-Trägern

Kurz vor der Einmündung der Ahr in den Rhein wird die Bundesstraße B 9 am Rande des Stadtgebietes Sinzig im Landkreis Ahrweiler über den Nebenfluss geführt. Die Strecke stellt eine wichtige Verbindung zwischen den Gebieten Köln/Bonn und Koblenz dar.

3.1.1 Erläuterung des Bestandsbauwerkes

Das den Fluss überführende Brückenbauwerk BW 5409 506 2 besteht aus zwei getrennten Überbauten mit jeweils zwei Fahrstreifen und wurde im Jahre 1967 errichtet sowie unmittelbar vor dem Hochwasserschaden im Juli 2021 saniert. Die je Überbau massiven, 10 m breiten, zweistegigen Plattenbalkenquerschnitt sind als Durchlaufträger mit Stützweiten von 31 m,

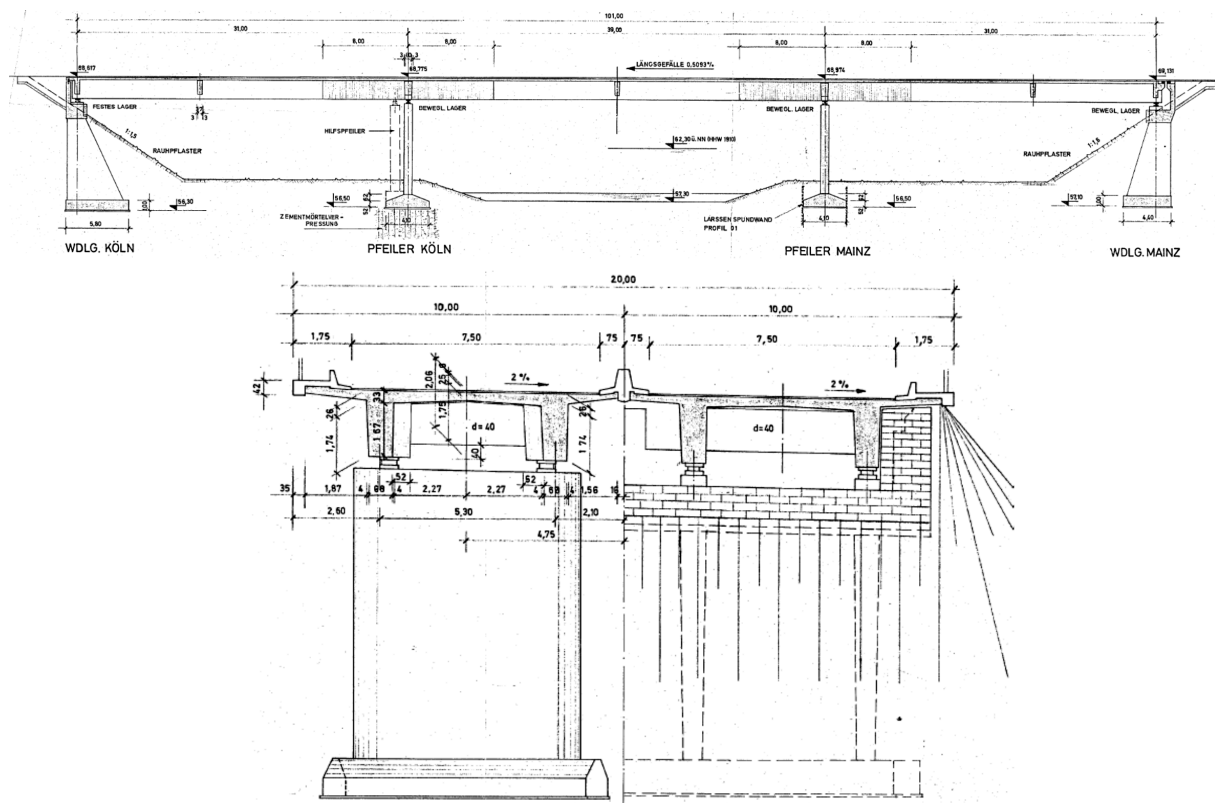


Bild 8 Längsschnitt (oben) und Querschnitt (unten) des Bestandsbauwerkes BW 5409 506 2 bis Juli 2021 – Auszug aus dem Bestandsplan vom Juli 1969 © [16]

39 m und 31 m ausgebildet (siehe Bild 8). Die von beiden Überbauten gemeinsam genutzten Widerlagerbänke ruhen auf jeweils vier in Brückenlängsrichtung orientierten Scheiben, die für eine verhältnismäßig tiefe Einbindung der Flachgründungen in die Böschungen sorgen. Die Zwischenpfeiler sind hingegen als getrennte Bauwerke ausgeführt und voneinander unabhängig oberflächennah flach gegründet. Wie den Bestandsplänen zu entnehmen ist, trat bereits während der Herstellung des Bauwerkes ein Hochwasserschaden am Oberstrompfeiler Köln auf [16]. Dabei setzte sich der Pfeiler um mehrere Zentimeter und der Pfeilerkopf neigte sich in Richtung Bauwerksmitte. Als Ursache lässt sich eine Auskolkung am Pfeilerfundament vermuten. Der Schaden am Bestandsbauwerk in Fahrtrichtung Bonn konnte durch ein Anheben des Überbaus mittels Hilfe Pfeilern und einem Unterpressen des Fundamentkörpers mit Zementmörtel behoben werden.

3.1.2 Schäden infolge der Hochwasserkatastrophe

Infolge der Hochwasserkatastrophe im Juli 2021 entstand am Oberstrompfeiler Mainz eine starke Auskolkung. Diese führte zu einer Absenkung und dem Kippen des Pfeilers so-

wie schlussendlich zum Versagen des westlichen Überbaus in Fahrtrichtung Koblenz (siehe Bild 9). Die Unterstrompfeiler mit dem östlichen Überbau in Fahrtrichtung Köln/Bonn blieben weitgehend unbeschädigt. Nach einer Überprüfung des Bauwerkes konnte daher im September 2021 der Verkehr einspurig in beide Fahrtrichtungen auf dem östlichen Überbau wieder freigegeben werden. Ferner wurde sichergestellt, dass durch den Abbruch des westlichen Überbaus mit den Oberstrompfeilern die Standsicherheit der noch intakten Bauwerksteile nicht beeinflusst wird.

3.1.3 Entwicklung eines Konzeptes für einen Teilneubau

Aufgrund der Bedeutung des Bauwerkes für die Infrastruktur der Region wurde wenige Tage nach der Flutkatastrophe mit der Erstellung von Konzepten für einen Wiederaufbau des östlichen Überbaus und der Oberstrompfeiler begonnen. Da die von beiden Überbauten gemeinsam genutzten Widerlager weiterhin einen guten Zustand aufwiesen, war deren Weiternutzung vorgesehen. Zur Minimierung der Bauzeit sollte eine Bauweise mit einem hohen Vorfertigungsgrad eingesetzt werden. Durch die Firmengruppe Max Bögl wurde bereits Ende Juli 2021 anhand der Erfahrung aus

vergleichbaren Projekten eine Konzeptskizze und Massenschätzung für einen Verbund-Fertigteil-Überbau vorgelegt. Im Auftrag des Landesbetriebs Mobilität Rheinland-Pfalz erfolgte die Ausarbeitung einer unabhängigen Machbarkeitsstudie zu möglichen Bauweisen durch die BORAPA Ingenieurgesellschaft mbH. Aufgrund der Spannweiten, Bauhöhe, Weiterverwendbarkeit der Widerlager, Transportgewichte und geringen Bauzeit erwies sich die Verbund-Fertigteil-Bauweise als besonders geeignet. Aufbauend auf den Ergebnissen der Studie, wurde die Ausführungsplanung durch die SSF Ingenieure AG in enger Abstimmung mit der BORAPA Ingenieurgesellschaft mbH und den weiteren Projektbeteiligten erstellt.



Bild 9 Beschädigtes Brückenbauwerk BW 5409 506 2

Foto: M. Wettlaufer

Der Entwurf des neuen Überbaus (Bild 10) sieht einen auf die aktuellen Regelwerke angepassten Querschnitt mit vier Verbundträgern vor. Die Stahlträger werden als dichtgeschweißte Hohlkästen ausgeführt und weisen in Feldmitte sowie an den Widerlagern eine Konstruktionshöhe von 1,10 m auf. In Richtung der Pfeiler erhalten die Träger eine leichte Voutung bis auf eine Konstruktionshöhe von ca. 1,50 m. Die Pfeiler erhalten einen gegenüber dem Bestandsbauwerk verbreiterten Pfeilerkopf und verzüngen sich nach unten, um den Durchflussquerschnitt nicht zu beeinträchtigen. Um eine hohe Standsicherheit – vor allem bei zukünftigen Hochwasserereignissen – sicherzustellen, wird eine Gründung mit jeweils acht Großbohr-

pfeilern mit einer Länge von ca. 15 m vorgesehen.

3.1.4 Bauausführung

Der Abbruch des geschädigten Überbaus mit Pfeilern wurde im Vorfeld durch ein Abbruchunternehmen im Auftrag des Bauherrn durchgeführt. Die Errichtung des neuen Überbaus durch die Firmengruppe Max Bögl begann im Dezember 2021 mit der Herstellung der Arbeitsebenen und Mittelstreifenverbauten an beiden Widerlagern. Darüber hinaus wurde vor der Jahreswende ein Monitoringsystem zur Überwachung des Setzungsverhaltens am östlichen Bestandsbauwerk installiert. Somit konnten über den Jahreswechsel verlässliche Referenzmesswerte gewonnen werden. Anfang 2022 wurde dann mit der Herstellung der zwei Pfeilerbaugruben mittels überschnittenen Bohrpfeilwänden begonnen. Die Arbeiten erfolgten in unmittelbarer Nähe zu den Pfeilern des östlichen Überbaus. Eine kontinu-

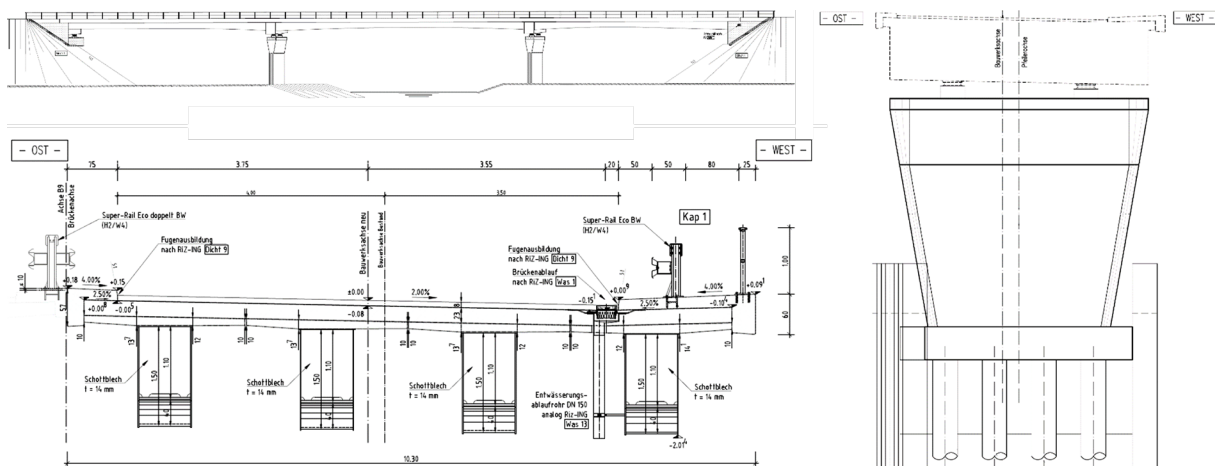


Bild 10 Ansicht von Westen (links oben), Ansicht des Pfeilers Achse 20 (rechts) und Regelquerschnitt (links unten) im Feldbereich des Teilersatzneubaus der Ahrbrücke B 9 bei Sinzig Zeichnung: [17]



Bild 11 Einhub der Verbund-Fertigteil-Träger mit vorinstallierter Absturzsicherung im Solohub im Randfeld (links) und im Tandemhub im Mittelfeld (rechts)

Fotos: G. Ortmann (links), B. Gericks u. T. v. d. Bosch (rechts)

ierliche messtechnische Überwachung stellte sicher, dass dieser während der gesamten Bauzeit befahren werden konnte.

Die beiden Baugruben waren notwendig, um den Abbruch der drei Meter tief liegenden Bestandsfundamente sicher durchzuführen. Diese befanden sich aufgrund des Einsturzes nicht mehr in ihrer ursprünglichen Lage. Daher wurde im Vorfeld eine Suchschachtung durchgeführt und die Verkippung ermittelt. Im Endzustand bilden die überschnittenen Bohrpfeilerwände einen zusätzlichen Kolkenschutz für die neuen, mittels Bohrpfeilern gegründeten Pfeiler. Die Herstellung der neuen Pfeiler erfolgte in zwei Bauabschnitten. Im Sinne eines industrialisierten Bauprozesses wurde die Pfeilerschalung in der Schalungshalle vorgefertigt. Dies verkürzte die Montagezeit auf der Baustelle erheblich. Nach der Herstellung des südlichen Pfeilers wurde die Schalung auf den nördlichen Mittelpfeiler umgesetzt. Im Anschluss erfolgte die Ausstattung der Pfeiler für die Verbundträgermontage. Parallel zur Herstellung der Pfeiler von Januar bis April 2022 wurden die vorhandenen Widerlager bis zur Auflagerbank abgebrochen. Nach dem Abbruch erfolgte der Wiederaufbau der Widerlagerflügel, -kammerwand und Auflagersockel. Aufgrund des größeren Endquerträgers mussten die Widerlager zudem verbreitert werden. Sämtliche Widerlageranpassungen erfolgten mittels gebohrten und eingeklebten Anschlussseisen.

Parallel zu den ausgeführten Tätigkeiten auf der Baustelle wurden in der firmeneigenen Produktionshalle in Sengenthal zwölf Verbund-Fertigteil-Träger hergestellt. Die Stahlbaufertigung konnte in nur neun Wochen durchgeführt werden; die Fertigteilherstellung erfolgte mit einem geringen zeitlichen Versatz in acht Wo-

chen. Die gesamte Produktionsdauer betrug lediglich zwölf Wochen.

Der Transport und Einhub der bis zu 58 t schweren Träger erfolgte im Mai 2022 unmittelbar nach der Fertigstellung der beiden Widerlager und Pfeiler. Die kurzen Träger wurden mit einem Mobilkran im Solohub montiert. Für die längeren Träger des Mittelfeldes wurden zwei Mobilkrane im Tandemhubverfahren eingesetzt (siehe Bild 11). Durch die Auflagerung der Verbundträger auf Pressen, welche sich auf dem Pfeilerkopf befanden, konnte eine millimetergenaue Montage der Verbundträger gewährleistet werden. Ein zeit- und kostenintensiver Aufbau von Traggerüsten wurde durch die gewählte Bauweise vermieden.

Direkt nach dem Verlegen der Träger konnte mit den Bewehrungsarbeiten am Überbau begonnen werden. Im Anschluss an die Betonage im Juni 2022 wurden die Abdichtung aufgebracht und die Kappen hergestellt. Nach der Montage des Brückengeländers und der Fahrzeugrückhaltesysteme sowie der Straßenbauarbeiten in den Brückenvorfeldern konnte das Projekt nach lediglich acht Monaten bzw. ca. 165 Arbeitstagen im Juli 2022 abgeschlossen werden. Die Verkehrsfreigabe erfolgte aufgrund weiterer Ausbauarbeiten in den Brückenvorfeldern und auf der Bestandsbrücke Anfang September 2022.

3.2 Ersatzneubauten kleiner Brückenbauwerke mit Modulbrücken

Neben großen Brückenbauwerken über die Ahr wurden durch das Hochwasser zahlreiche kleine Brückenbauwerke und Durchlässe über

Nebenflüsse beschädigt. Dabei handelte es sich beispielsweise um:

- ❑ die Brücke Gartzemer Straße über den Veybach in Satzvey im Kreis Euskirchen,
- ❑ die Hasselbachbrücke der Jägerhausstraße in Zweifall in der Städteregion Aachen,
- ❑ das Brückenbauwerk 5407 501 über den Houverather Bach im Zuge der L 497 bei Houverath im Kreis Euskirchen und
- ❑ das Brückenbauwerk L113/8 über den Houverather Bach bei Scheuren im Kreis Euskirchen.

3.2.1 Erläuterung der Bestandsbauwerke und Schäden infolge der Hochwasserkatastrophe

Die Brücke über den Veybach befindet sich innerhalb der Ortschaft Satzvey und stellt eine wichtige Verbindung für Anwohner und Dienstleister dar. Das bisher bestehende Bauwerk (Bild 12) mit einem frei auf den Widerlagern aufliegenden Walzträgerin-Beton-Überbau wurde durch die Sturzflut vollständig zerstört. Die Überreste des Überbaus wurden ca. 50 m flussabwärts gespült.

Ein ähnliches Bild zeigte sich beim Bauwerk L113/8. Die 3,8 m lange, 1908 gebaute Gewölbebrücke war nach dem Hochwasser nicht mehr vorhanden (siehe Bild 13). Die zweite, 3,0 m lange Gewölbebrücke über den Houverather Bach wurde nur teilweise zerstört. Ein Wiederaufbau

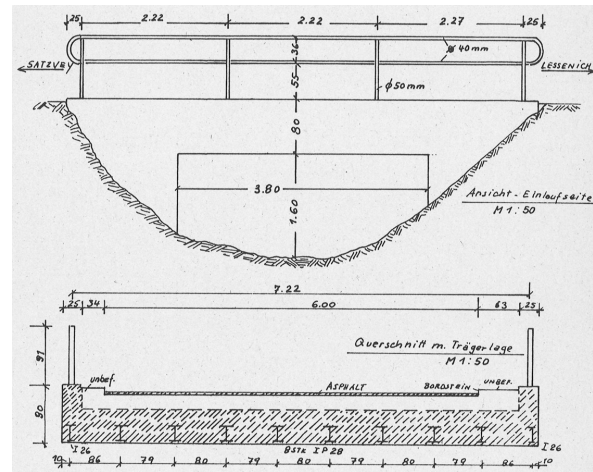


Bild 12 Bestandsplan des Bauwerkes über den Veybach mit einer Walzträger in Beton Bauweise Zeichnung: [18]

war jedoch – vor allem aufgrund des geringen Durchflussquerschnittes – nicht sinnvoll.

Die schnelle Wiederherstellung der drei Bauwerke stellte für die Wiederaufbaumaßnahmen in der Region eine große Bedeutung dar. Um die Einschränkungen gering zu halten, war ein Bauverfahren mit kurzer Bauzeit erforderlich. Ziel des Bauherrn war eine Wiederherstellung bis zum Jahresende 2021.

Das Bestandsbauwerk der Hasselbachbrücke mit einer Gesamtlänge von 11,5 m wurde im Jahr 1949 errichtet. Die Konstruktion bestand aus einem Plattenquerschnitt, der als Zweifeldträger mit Stützweiten von 5,75 m über Betongelenke auf den Widerlagern und dem Pfeiler ruhte. Neben der 6,9 m breiten Fahrbahn und



Bild 13 Schäden am Bauwerk L113/8 über den Houverather Bach

Foto: B. Gericks u. T. v. d. Bosch

Tabelle 1 Dimensionen und Anzahl der Module der Ersatzneubauten

Bauwerk	Gesamtlänge [m]	Spannweite [m]	Gesamtbreite [m]	Plattendicke im Fahrbahnbereich [m]	Anzahl der Module [-]
Hasselbachbrücke	10,9	9,7	10,85	0,45 bis 0,54	5
Veybachbrücke	8,4	7,2	7,8	0,45	3
Houverathbrücke 5407 50	8,4	7,2	8,45	0,45	3
Houverathbrücke L113/8	8,4	7,2	15,2	0,60	6

den beidseitig 1,5 m breiten Gehwegen dient die Brücke zur Überführung der Wasser-, Energie- und Telekommunikationsmedien. Durch das Hochwasser wurden der Mittelpfeiler und die Widerlager leicht unterspült. Der Überbau befand sich noch in der Soll-Lage und konnte von PKWs weiter befahren werden. Ein Ersatzneubau war daher von geringerer Priorität. Jedoch sollten aufgrund der zentralen Lage des Bauwerkes im Ort die Einschränkungen für die Anwohner während der Bauphase möglichst geringgehalten werden.

3.2.2 Entwickelte Ersatzneubauten

Die geschädigten Bauwerke wiesen aufgrund der geringen Stützweiten ideale Voraussetzungen für den Einsatz industriell vorgefertigter Modulbrücken auf. Durch eine intensive Zusammenarbeit zwischen Bauherrenvertretern des Landesbetriebs Straßenbau NRW, der Firmengruppe Max Bögl und der SSF Ingenieure AG wurde bereits einen Monat nach der Flut mit der Umsetzung der Produktidee in eine Ausführungsplanung begonnen. Sowohl die Plattendicke als auch die Breite und Anzahl der einzelnen Module wurde individuell an die Bauwerke angepasst (siehe Tabelle 1). Eine Vorspannung der Module ist aufgrund der geringen Stützweiten nicht erforderlich.

Die Brücken über den Veybach und Houverather Bach wurden mit einer neuen Bauwerkslänge von 8,4 m geplant. Die lichte Weite beträgt 6,0 m. Dadurch werden die Durchflussquerschnitte gegenüber den alten Bauwerken deutlich erhöht und der Rückstau bei erneuten Hochwasserereignissen verringert. Die Gründung der Widerlager erfolgt durch überschnittene Bohrpfehlwände mit durchlaufenden Kopfbalken, die zur Auflagerung der Fahrbahnplatte dienen. Durch die überschnittenen Bohrpfehlwände wird zudem ein zusätzlicher Kolkenschutz für die anschließen-

den Straßen hergestellt. Eine Besonderheit der Veybachbrücke sind die in den äußeren Modulplatten integrierten Leerrohre, die zur Durchführung der Telekommunikations- und Stromleitungen dienen. Ausschnitte der Ausführungsplanung der Veybachbrücke zeigen die Bilder 6 und 7.

Die Hasselbachbrücke wurde als Einfeldbauwerk mit einer Länge von 10,9 m geplant. Zur Anpassung der Durchflussquerschnittes an den angrenzenden Baubestand wurde das westliche Widerlager mit einer überschnittenen Bohrpfehlwand um ca. 3,2 m versetzt hergestellt. Das östliche Widerlager wurde mit zwei Einzelbohrpfählen hinter dem bestehenden Widerlager errichtet, welches nur im oberen Bereich abgebrochen wurde und somit als Kolkenschutz dient.

3.2.3 Bauausführung

Eine besondere Herausforderung bei den Brücken über den Veybach und Hasselbach waren die beengten innerstädtischen Baufeldverhältnisse. Bei den Brücken über den Houverather Bach waren hingegen keine unmittelbar angrenzenden Bebauungen vorhanden. Die Ausführung der Brücken über den Veybach und Houverather Bach verliefen mit einem geringen zeitlichen Versatz. Seitens des Bauherren wurde die Veybachbrücke aufgrund der Innenstadtlage priorisiert, mit dem Ziel, die Fertigstellung bis Jahresende 2021 zu gewährleisten. Die Priorität der Hasselbachbrücke war nachgelagert, der Baubeginn erfolgte daher erst im Juni 2022. Die Abläufe zur Herstellung des Bauwerkes waren jedoch weitestgehend identisch mit den anderen Bauwerken. Nachfolgend werden die Abläufe am Beispiel der als erstes errichteten Veybachbrücke beschrieben.

Parallel zu den Planungsarbeiten wurde mit dem Räumen des Baufeldes und den Erdar-



Bild 14 Einhub und Verspannen der Fahrbahnmodule an der Veybachbrücke

Fotos: B. Gericks u. T. v. d. Bosch

beiten begonnen. Anschließend erfolgte der Abbruch der verbliebenen Unterbauten. Die Arbeiten zur Herstellung des Ersatzneubaus wurden unmittelbar nach dem Vorliegen der ersten Planungsergebnisse begonnen. Aufgrund der nahestehenden Bebauung und eines schützenswerten Kastanienbaums wurde eine temporäre Verrohrung des Veybachs vorgenommen. Nach der Herstellung der Bohrebene startete Anfang November 2021 die Herstellung der überschnittenen Bohrpfahlwände mit jeweils neun Pfählen auf einem äußerst beengten Raum. Ab Mitte November wurde bereits mit dem Abstemmen der Pfahlköpfe und der Herstellung der Kopfbalken begonnen. Die Herstellung der Widerlager und das Ausheben der Verrohrung konnte bereits am 26. November abgeschlossen werden. Die drei parallel zu den Baustellenarbeiten im Sengenthaler Fertigteilwerk produzierten Modulplatten wurden am 2. Dezember mittels eines Mobilkrans eingehoben (siehe Bild 14). Aufgrund einer hohen Fertigungsgenauigkeit der Modulplatten konnte bei allen Bauwerken auf das Schleifen der Fahrbohnoberfläche verzichtet werden.

gelang der Wiederaufbau des Bauwerkes vom ersten Planungsgespräch bis zur Verkehrsfreigabe in weniger als fünf Monaten bzw. 100 Arbeitstagen. Dabei beschränkten sich die Baustellentätigkeiten auf einen Zeitraum von lediglich 14 Wochen.

4 Schlusswort

Die Realisierung der Baumaßnahmen zeugt als gutes Beispiel für die hohe Leistungsfähigkeit, die durch eine gute Hand-in-Hand-Kooperation und dem gegenseitigen Vertrauen aller Beteiligten erreicht werden kann. Wenngleich sich die vorausgegangenen Umstände aller Hoffnung nach nie wiederholen sollen, ist es jedoch wünschenswert, dass auch im regulären Bauprozess die partnerschaftliche Zusammenarbeit zwischen Bauherren, Planern, Prüfern und ausführenden Firmen weiter vorangetrieben und die Möglichkeiten zur Anwendung modularer Brückenbaukonstruktionen geschaffen werden.

Ein besonderer Dank für die Beratung und Bereitstellung von Unterlagen gilt Herrn Andreas

Die Modulplatten wurden in Querrichtung zusammengespant, sodass die Tübingdichtung überdrückt und die Vergusskanäle verschlossen werden konnten. Anschließend wurde das Betongelenk zwischen Kopfbalken und Modulplatten mittels Vergussbeton ausgebildet. Nach der Wiederherstellung der anschließenden Straßen konnte bereits am 23. Dezember 2021 die Verkehrsfreigabe des Bauwerkes erfolgen (siehe Bild 15). Damit



Bild 15 Fertiggestelltes Bauwerk mit modularen direkt befahrenen Platten über den Veybach
Foto: B. Gericks u. T. v. d. Bosch

Jackmuth vom Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz sowie Herrn Peter Kotz und Herrn Thomas Hehne von der SSF Ingenieure AG.

Literatur

- [1] Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (Hrsg.): Bericht Hochwasser im Juli 2021. Bearbeitet von: Berkler, S.; Bettmann, T.; Böhm, M.; Demuth, N.; Gerlach, N.; Hengst, A.; Henrichs, Y.; Heppelmann, T. Iber, C.; Johst, M.; Lehmann, H.; Stickel, S.; van der Heijden, S.; Wallisch, S., Mainz, 2022. https://www.hochwasser-rlp.de/publikationen/Hochwasser_im_Juli2021.pdf.
- [2] Meyer, A. (Hrsg.): Ein Versuchshaus des Bauhauses in Weimar. Bauhausbücher Band 3, München: Albert Langen Verlag, 1925.
- [3] Braun, M.: Beginn der Brückenschweißung vor 80 Jahren. Stahlbau 81 (2012) 10, S. 803–812 – DOI: 10.1002/stab.201201604
- [4] Janberg, N.: 75 Jahre erste Spannbetonbrücke mit Verbund in Deutschland. momentum Magazin, 11.11.2013.
- [5] Fiedler, E.; Kirchner, S.; Körner, M.; Krumnow, G.; Näser, R.; Pfeifer, L.; Probiesch, G.; Roßberg, K.; Schmehl, G.; Schmidt, H.; Verch, W.; Weise, G.; Wöhrn, K.: Das Straßenwesen der DDR 1949 – 1989. In: Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (Hrsg.), Heft 17, Bonn: Kirschbaum Verlag, 2002.
- [6] Willberg, U.: Fertigteilbauweisen im Massivbrückenbau. In: Tagungsunterlagen zum VSVI-Seminar „Rationale Bauverfahren im Brückenbau“ am 07.05.2008 in Friedberg, 8 S.
- [7] Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.): Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten (RE-ING) – Teil 2 Brücken. 01/2022.
- [8] Schmitt, V.: Straßenbrücken in Verbundfertigteilbauweise. In: Lehrstuhl für Massivbau, TU Dresden; Verein „Freunde des Bauingenieurwesens der Technischen Universität Dresden“ e. V. (Hrsg.): Tagungsband zum 9. Dresdner Brückenbausymposium, 11.03.1999 in Dresden, 1999, S. 63–73.
- [9] Seidl, G.; Hierl, M.; Brey, M.; Mensinger, M.; Stambuk, M.: Segmentbrücke Greißelbach als Stahlverbundbrücke ohne Abdichtung und Asphalt. Stahlbau 85 (2016) 2, S. 126–136 – DOI: 10.1002/stab.201610357
- [10] Fischer, O.: Gutachterliche Stellungnahme zur Verwendung von selbstverdichtendem Beton für die Fertigteilfahrbahnplatten einer Brücke in Segmentbauweise im Zuge der B299 OU Mühlhausen Landkreis Neumarkt i. d. Opf. – Brücke BW 1 – 2 bei Wappersdorf im Zuge der B 299 OU Mühlhausen (Gemeinde Mühlhausen, Landkreis Neumarkt i. d. OPf.) (nicht veröffentlichter Bericht). Auftraggeber: Staatliches Bauamt Regensburg, 2017.
- [11] Schießl-Pecka, A.; Buschmeier, S.: Gutachterliche Stellungnahme zur Bewertung des IST-Zustands nach einer Nutzungsdauer von rd. 3 Jahren – Erfahrungsbericht Pilotprojekt Greißelbach (nicht veröffentlichter Bericht). Auftraggeber: Staatliches Bauamt Regensburg, Bereich Straßenbau, 2019.
- [12] Beckenbauer, Th.: Direktbefahrene Betonfertigteile auf Modulbrücken – Schalltechnische Beurteilung (nicht veröffentlichter Bericht). Auftraggeber: Max Bögl Stiftung & Co. KG, 2022.
- [13] Berndorfer, C.; Hierl, M.; Mensinger, M.; Seidl, G.; Zinke, T.: Lebenszyklusorientierte Bewertung von Segmentbrücken in Stahlverbundbauweise. Stahlbau 87 (2018) 3, S. 193–202 – DOI: 10.1002/stab.201810576
- [14] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt, Hrsg.): Direkt befahrene Fahrbahnplatte aus zusammengespannten Fertigteilplatten für Modulbrücken – Allgemeine Bauartgenehmigung Z-13.4-161. Ausgestellt für Max Bögl Stiftung & Co. KG, Sengenthal, Geltungsdauer: 06.07.2022 – 06.07.2027.
- [15] Bundesanstalt für Straßenwesen (bast, Hrsg.): Richtzeichnungen für Ingenieurbauten (RiZ-ING) – Überbauabschluss mit Betongelenk (Abs 1). 12/2020.
- [16] Jackmuth, A.: Bestandsplan – Brücke B9 über die Ahr bei Sinzig. Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz, Geschäftsbereich Planung/Bau. Persönliche Korrespondenz, 31.01.2023.
- [17] Ausführungsplanung Bauwerksübersichtszeichnung – Teil 1 und Regelquerschnitt. Auftraggeber: Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz, Auftragnehmer: Firmengruppe Max Bögl, Aufsteller: SSF Ingenieure AG.
- [18] Bestandsunterlagen Bauwerk Satzvey. Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen.