



Erneuerung Rheinvorlandbrücke Worms: Brückenkonstruktion und Zusammenwirken mit dem Eisenbahnoberbau, Teil 1 + 2

Hans-Joachim Casper
Gerald Eckersberg
Bernd Erlenbusch
Wolfgang Frühauf
Wolfgang Knob
Frank Sachse

Erneuerung Rheinvorlandbrücke Worms: Brückenkonstruktion und Zusammenwirken mit dem Eisenbahnoberbau – Teil 1

Mit der Rheinvorlandbrücke Worms wurde eine bestehende, aus dem Jahr 1900 stammende Eisenbahnbrücke als moderne Stahlverbundfachwerkbrücke mit zweigleisigem Querschnitt unter laufendem Eisenbahnbetrieb erneuert. Unter den vorgegebenen Rand- und Herstellungsbedingungen stellt sie eine innovative und äußerst anspruchsvolle Ingenieuraufgabe dar. Nicht weniger herausfordernd war die Planung des Eisenbahnoberbaus, insbesondere im Übergang zwischen Rheinvorlandbrücke und anschließender Rheinbrücke. Mit der neuen Rheinvorlandbrücke wurde nicht nur ein gestalterisch, konstruktiv und funktional hervorragendes Brückenbauwerk geschaffen, auch der Eisenbahnoberbau im Übergang zwischen Rheinvorlandbrücke und Rheinbrücke wurde entscheidend verbessert. Dank der gelungenen Planung an der Schnittstelle zwischen Brückenbauwerk und Eisenbahnoberbau konnte das gewünschte Ergebnis erreicht werden.

Renewal of the bridge over the Rhine lowland near Worms: Bridge construction and cooperation with the railway permanent way – Part 1. *With the bridge over the Rhine lowland an existing railway bridge constructed in 1900 has been renewed as a modern composite steel and reinforced concrete framework bridge with double line cross section under running railway operation. Regarding the existing conditions of surroundings and construction, the structure represents an innovative and extremely ambitious task of engineering work. Not less challenging was the design of the railway permanent work on the bridge, especially the transition between the bridge over the Rhine lowland and the bridge over the Rhine. Regarding its design, construction and functionality, a distinguished new bridge of the Rhine lowland has been constructed. Moreover, the railway permanent way in the transition of the bridge over the Rhine lowland and the bridge over the Rhine has been improved essentially. Due to the extremely satisfying design on the intersection between bridge construction and railway permanent way the desired result could be achieved.*

1 Das Projekt

Die Rheinvorlandbrücke Worms ist ca. 603 m lang, liegt auf der Strecke 3570 Worms–Biblis auf dem rechtsrheinischen Ufer und kreuzt neben dem Rheinvorland noch den Altrhein (Bild 1).

Die vorhandene Eisenbahnüberführung, bestehend aus einer Kette von stählernen getrennten Einfeldträgerüberbauten (17 Felder, Stützweiten ca. 35,50 m), Diagonalfachwerk ohne Streben mit genietetem Stahlbauknoten und offener Fahrbahn mit Holzbrückenbalken aus den Jahren 1900 bzw. 1932, war zurückzubauen und durch einen Neubau in alter Lage zu erneuern. Im Bestand zu erhalten wa-

ren die Vorlandpfeiler 5 bis 21, zu erneuern das Widerlager 22 (Bild 2).

Die westlich angrenzende Rheinbrücke war im Bestand zu erhalten. Diese wurde in den Jahren 1957 bis 1960 als gemeinsamer Fachwerküberbau mit oben liegendem Tragwerk und offener Fahrbahn mit Holzbrückenbalken wiedererrichtet. Dreifeldträger mit den Stützweiten 104,4 + 118,3 + 104,4 = 327,1, festes Lager in Längsrichtung auf dem Pfeiler 5 am Übergang zur Rheinvorlandbrücke (Bild 3).

Das Rheinvorland im Zusammenhang mit dem Altrhein und dem in östlicher Richtung anschließenden Bahndamm stellt ein FFH-Gebiet (FFH Fauna–Flora–Habitat) dar und ist deshalb bezüglich bauzeitlicher Eingriffe von hoher Sensibilität.

2 Der Ausschreibungsentwurf

2.1 Konstruktion

Alle vorhandenen Pfeiler der Rheinvorlandbrücke blieben mit Ausnahme



Bild 1. Ansicht der neuen Brücke
 Fig. 1. View of the new bridge

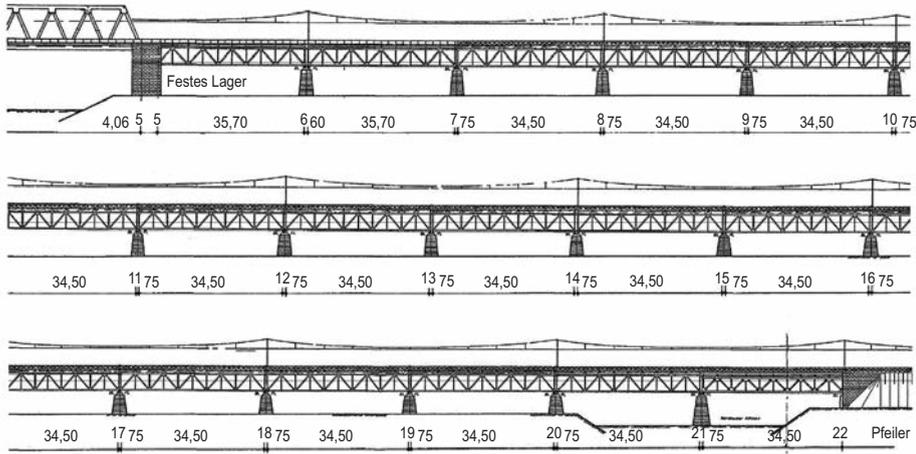


Bild 2. Längsschnitt bestehendes Bauwerk Rheinvorlandbrücke
Fig. 2. Longitudinal section existing bridge over the Rhine lowland

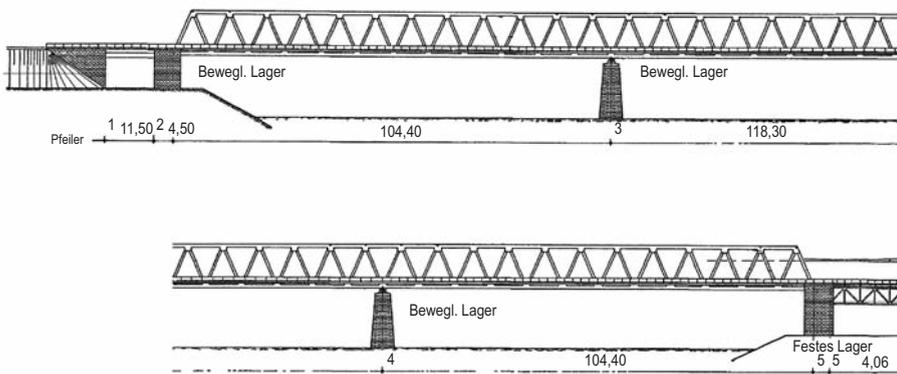


Bild 3. Längsschnitt bestehendes Bauwerk Rheinbrücke (Abbildung: privat)
Fig. 3. Longitudinal section existing bridge over the Rhine

der Pfeilerköpfe erhalten. Am Pfeiler 5, dem Trennpfeiler zwischen Rheinbrücke und Rheinvorlandbrücke, waren die Auflagerbänke auf der Seite Rheinvorlandbrücke zu erneuern. Auch auf den Pfeilern 6 bis 21 waren die Auflagerbänke neu zu errichten. Das Widerlager 22 mit den längsfesten Lagern war vollständig abzubauen und gegründet auf Großbohrpfählen neu herzustellen.

Der Rückbau der alten Überbauten sollte mittels Autokran erfolgen, die alten Überbauten waren noch im Rheinvorland auf transportable Maße zu zerlegen und in bereitgestellte Container zu verladen. Im Bereich des Altrheins waren die drei Überbauten zwischen den Achsen 19 bis 22 stahlbaummäßig zu koppeln, als provisorische Durchlaufträger in Richtung Rhein zu verschieben und anschließend in gleicher Weise wie die anderen Überbauten zurückzubauen.

Aus folgenden Gründen kam als Konstruktion eine Erneuerung mit Einfeldträgerüberbauten analog dem Bestand nicht in Frage:

- hohe Winkeldrehungen an den Überbaufugen
- die vorhandenen Unterbauten können die inzwischen vergrößerten Horizontalkräfte aus Bremsen und Anfahren nicht aufnehmen

Es sollten jetzt die neuen Überbauten als Durchlaufträger über 17 Felder als eingleisige Stahltragwerke mit je zwei Fachwerkscheiben und obenliegender Fahrbahn ausgeführt werden (Bild 4). Wegen der abhebenden Kräfte war eine Festhaltung nach unten in Achse 22 vorgesehen (Bild 5). Dort war auch die längsfeste Lagerung mit Kalottenlagern angeordnet. In Achse 5 genügte zur Lagesicherung eine Ballastierung mit Stahlbeton.

2.2 Übergang Rheinvorlandbrücke/ Rheinbrücke

Infolge der längsfesten Überbauten in Achse 22 ergaben sich am westlichen Überbauende Achse 5, Übergang Rheinvorlandbrücke/Rheinbrücke, große Längsverformungen, die durch geeignete Konstruktionen aufzunehmen waren, da die maximalen Schienenstützpunktabstände mit 0,65 m begrenzt waren. Die Gesamt-

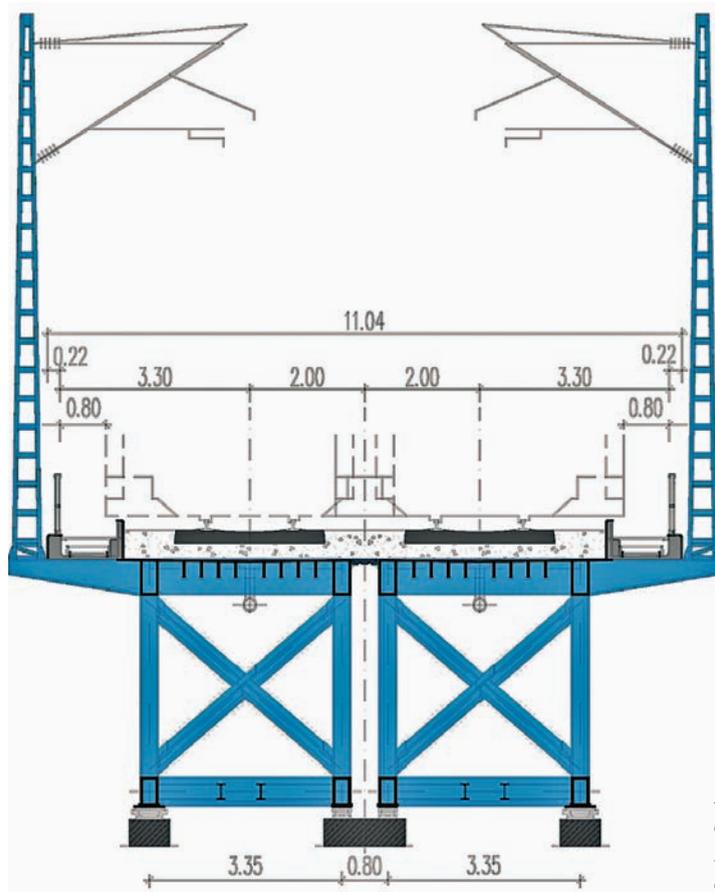


Bild 4. Regelquerschnitt
Fig. 4. Standard cross section

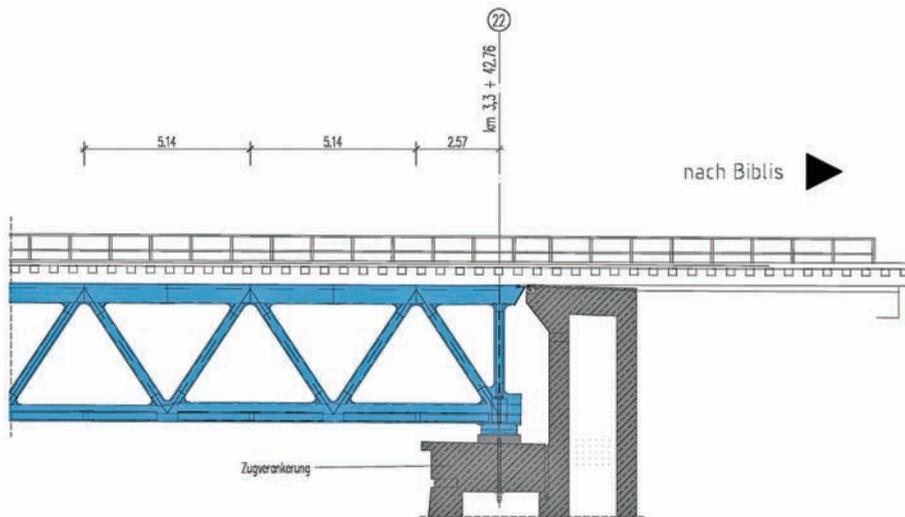


Bild 5. Detaillängsschnitt Achse 22 (Abbildung: privat)
Fig. 5. Longitudinal section axis 22 in detail

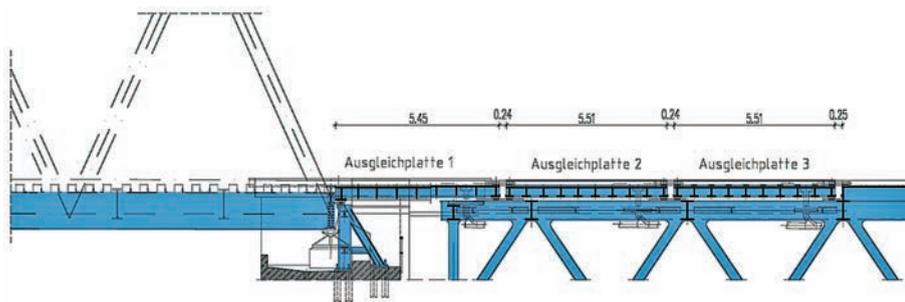


Bild 6. Detaillängsschnitt Übergang Rheinvorlandbrücke/Rheinbrücke mit drei Ausgleichsplatten
Fig. 6. Longitudinal section transition bridge over the Rhine lowlandbridge over the Rhine

längenänderung war vom Bauherrn mit 1050 mm angegeben.

Zur Einhaltung der maximalen Schienenstützpunktabstände waren drei offene Fugen herzustellen (Bild 6), die jeweils ein Drittel (350 mm) der Gesamtlängenänderung aufzunehmen hatten. Für deren Realisierung waren Ausgleichsplatten in Anlehnung an Ril 804.5202 herzustellen. Diese sind kleine Überbauten, die auf der Rheinvorlandbrücke längsbeweglich zu lagern waren. Zur Einhaltung der definierten minimalen und maximalen Fugenbreiten zwischen den Ausgleichsplatten waren mechanische Verschiebesperren und Abstandhalter einzubauen.

Die Ausgleichsplatte 1 bildete den Übergang von der Rheinbrücke und der Rheinvorlandbrücke, und war längsfest auf einen neuen Lagerbock auf dem Pfeiler 5 gelagert. Das östliche Ende der Ausgleichsplatte 1 war längsbeweglich auf der Rheinvorlandbrücke gelagert, den Anschluss daran bildeten die Ausgleichsplatte 2 und 3, die in Längsrichtung schwimmend ge-

lagert waren. Die Befestigung der Schienen war als direkte Befestigung auf den Ausgleichsplatten vorgesehen. Jede Ausgleichsplatte besaß in vertikaler und horizontaler Richtung je vier Kalottenlager, die vertikal bzw. horizontal verstellbar ausgebildet waren. Um den Übergang zwischen der Rheinbrücke (festes Lager) und der Rheinvorlandbrücke (bewegliches Lager) bezüglich des Eisenbahnoberbaus herzustellen, war im Übergangsbereich ein Schienenauszug SA 60-1200 einzubauen.

Die direkten Schienenbefestigungen auf den Ausgleichsplatten und den beidseitigen Anschlussbereichen waren mit reduzierten Durchschubwiderständen auszuführen, um den Längsversatz zwischen Brückenende und Schienenauszug zwangungsfrei gewährleisten zu können. Bei einer Längenänderung der Rheinvorlandbrücke konnten so die Ausgleichsplatten und die Rheinvorlandbrücke mit den fest mit der Rheinbrücke (offene Fahrbahn, Holzbrückenbalken) verbundenen Schienen durchrutschen.

Auf den Ausgleichsplatten und den beidseitigen Anschlussbereichen waren Führungsschienen und Fangvorrichtungen auf der Innenseite beider Fahrschienen zu montieren.

2.3 Bauablauf

Der Bauablauf war jeweils bei eingleisigem Fahrbetrieb je Bauwerkshälfte vorgesehen mit folgenden Bauphasen:

1. Bei eingleisigem Fahrbetrieb auf dem Gleis Biblis–Worms
 - a) Einrichtung eingleisiger Betrieb
 - b) Rückbau altes Bauwerk
 - c) Neubau Überbau Gleis Worms–Biblis
2. Bei eingleisigem Fahrbetrieb auf dem Gleis Biblis–Worms
 - a) Umschwenken des Fahrbetriebs auf das Gleis Worms–Biblis
 - b) Rückbau altes Bauwerk
 - c) Neubau Überbau Gleis Biblis–Worms

Für die Stahlbaumontage war ein Takt-schieben von einem hinter dem Widerlager 22 liegenden Montageplatz aus vorgesehen. Die einzelnen Abschnitte in der Stahlkonstruktion sollten auf östlich hinter dem Widerlager 22 vorgesehenen Montageflächen vormontiert werden. Je nach Bauphase war eine südliche und nördliche Montagefläche vorgesehen (Bild 7). Die einzelnen Überbauelemente sollten zunächst in seitlich versetzter Lage vorgefertigt und anschließend durch Querverschub in die Verschublage gebracht werden.

3 Das Nebenangebot

3.1 Allgemeines

Gegenüber dem Ausschreibungsentwurf wurden mit dem Nebenangebot u. a. folgende Änderungen vorgeschlagen:

- Ersatz der beiden 1-gleisigen Fachwerküberbauten durch einen 2-gleisigen Überbau (Bild 8)
- Wahl eines Stahlverbundbauwerks durch Anordnung einer Stahlbetonverbundplatte auf zwei stählernen Fachwerkscheiben
- Anordnung von lediglich einer Ausgleichsplatte am Übergang zwischen Rheinvorlandbrücke und Rheinbrücke (Bild 9)
- feldweise Hubmontage der Fachwerkscheiben, lediglich im Bereich des Altrheins wurden drei Felder mit Taktschieben hergestellt

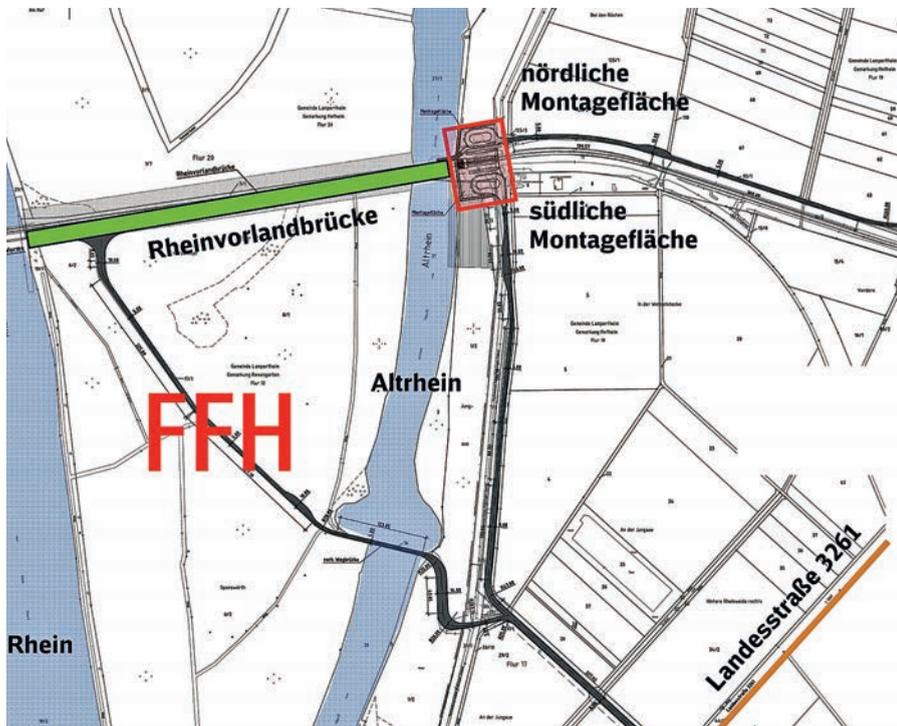


Bild 7. Vormontage Stahlüberbau
Fig. 7. Pre-installation steel superstructure

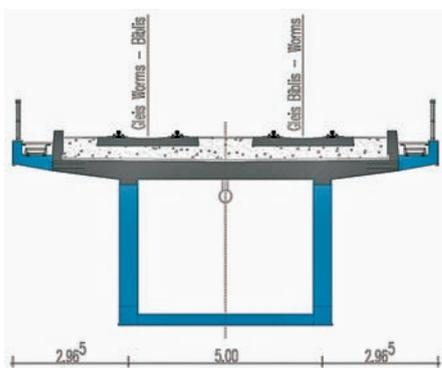


Bild 8. Regelquerschnitt
Fig. 8. Standard cross section

- veränderte Baudurchführung durch Querverschub zwischen Bauphase 1 und 2

Dadurch wurden u. a. folgende Vorteile erreicht:

- deutliche Einsparungen in den Herstellkosten
- wesentliche Vereinfachung der Bauwerkskonstruktion durch jetzt zwei statt vier Fachwerkscheiben im Querschnitt
- Vorteile in Unterhalt, Wartung und Pflege durch den teilweise Entfall von Lagern, Fugen und Ausgleichplatten und die Reduzierung der Stahloberflächen
- der Übergang an der Fuge zwischen Rheinvorlandbrücke und Rheinbrücke wurde wesentlich vereinfacht

- Reduzierung der Gesamtbauzeit durch deutliche Verkürzung der Bauphase 2
- Schonung der Umwelt, da hinter dem Widerlager 22 keine zusätzliche Baufläche mehr benötigt wurde

3.2 Konstruktion

Im Querschnitt wurden zwei Fachwerkscheiben in vollständig geschweiß-

ter Konstruktion angeordnet. Als Fahrbahntafel wurde eine Stahlbetonplatte verwendet, die mit den Fachwerkscheiben in Verbund gelegt wurde. Die Gehwege wurden als Stahlkonstruktion an die Stahlbetonverbundplatte angefügt, in diese wurden auch einseitig die Oberleitungsmastkonsolen integriert.

Bedingt durch den schweren Überbau und eine Ballastierung durch einen Stahlbetonendquerträger konnte in Achse 22 auf eine Zugverankerung verzichtet werden. In Achse 5 war überhaupt keine Ballastierung mehr erforderlich.

Das in Längsrichtung feste Lager beim Widerlager 22 wurde beibehalten. In Achse 5 erfolgte wie bisher der Übergang zwischen Rheinvorlandbrücke und Rheinbrücke mit Schienenausügen und Ausgleichplatten.

Die Pfeiler 5 bis 21 wurden unverändert vom Ausschreibungsentwurf übernommen. Wegen des Entfalls der Zugverankerung konnten beim Widerlager 22 deutliche Vereinfachungen vorgenommen werden.

3.3 Übergang Rheinvorlandbrücke/ Rheinbrücke

Der Stahlverbundüberbau unterliegt geringeren Temperaturschwankungen als ein reiner Stahlüberbau. Weiterhin ist er gegenüber einem reinen Stahlüberbau steifer und erleidet geringere Endtangentialdrehwinkel. Schließlich

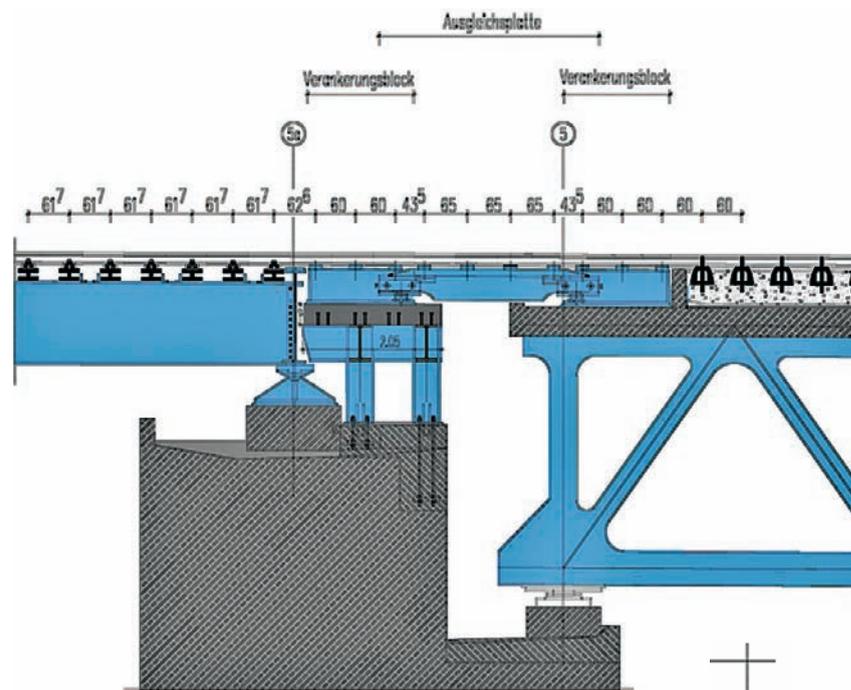


Bild 9. Längsschnitt Achse 5 mit Ausgleichplatte
Fig. 9. Longitudinal section axis 5 with compensation plate

besitzt er eine größere Längssteifigkeit und bringt deshalb geringere Längsverformungen unter Horizontalkräften. All das führte dazu, dass sich die rechnerischen Gesamtlängenänderungen am Übergang Rheinvorlandbrücke/Rheinbrücke auf ca. 700 mm reduzieren ließen.

Dadurch war jetzt die Anordnung von nur einer Ausgleichplatte mit zwei beweglichen Enden möglich. Auf dem Stützbock auf Pfeiler 5 und auf der Rheinvorlandbrücke wurden feste Verankerungsblöcke angeordnet. Dazwischen wurden Ausgleichplatten in Längsrichtung schwimmend aufgelagert, in den Fugen zwischen Verankerungsblöcken und Ausgleichplatte ergaben sich Längenänderungen von je ca. 350 mm.

Schienenanzüge und Führungen bzw. Fangvorrichtungen wurden wie im Ausschreibungsentwurf erforderlich. Die Übergänge zwischen Ausgleichsplatten mit Verankerungsblöcken und anschließendem Schotterbett (Rheinvorlandbrücke) bzw. offener Fahrbahn mit Holzbrückenbalken (Rheinbrücke) mussten aus Gründen des Fahrkomforts und des Unterhalts des Eisenbahnoberbaus elastisch ausgebildet werden.

3.4 Baudurchführung

Die jeweils eingleisige Betriebsführung im Bauzustand wurde vom Ausschreibungsentwurf übernommen. Bedingt durch den einteiligen Überbau und die Herstellung in zwei Bauphasen wurde

ein Querverschub zwischen Bauphase 1 und 2 erforderlich. Weiterhin ergab sich die Notwendigkeit von provisorischen Pfeilerverbreiterungen bei den Pfeilern 5 bis 21 und beim Widerlager 22 in Bauphase 1 (Bild 10).

Es ergab sich folgender grundsätzlicher Bauablauf in Stichworten:

Bauphase 1

- Einrichten eingleisiger Betrieb auf Gleis Biblis–Worms
- Ausbau vorhandener Überbau Worms–Biblis
- einseitiger Abbruch vorhandenes Widerlager und Pfeilerköpfe
- einseitiges Herstellen Widerlager 22 und Auflagerbänke Pfeiler 5 bis 21
- Herstellung von Hilfsgründungen in Verlängerung der Pfeiler und Wi-

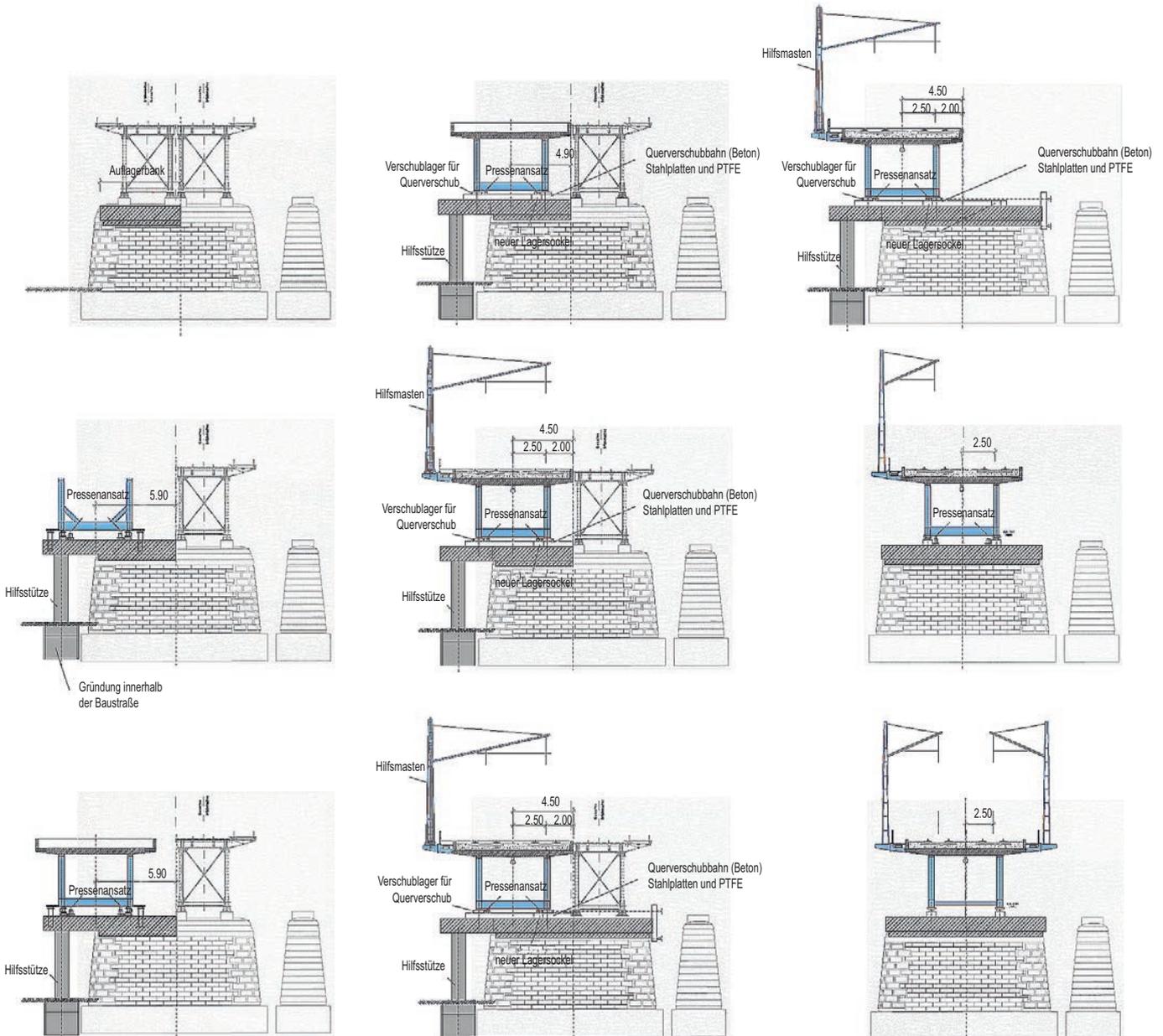


Bild 10. Bauphasen in Querschnitten
Fig. 10. Phases of construction in cross sections

derlagerachsen, provisorische Verlängerung der Auflagerbänke in Achse 5 bis 22

- Montage der Stahlkonstruktion in Seitenlage
- Herstellung der Stahlverbundplatte, abschnittsweise mittels Schalwagen
- Querverschub in die Endlage Bauphase 1
- Montage Gehweg und Oberleitungsmastkonsolen einseitig
- Oberbauarbeiten beide Gleise
- provisorische Auflagerung Ausgleichsplatte

Bauphase 2

- Betriebsaufnahme auf Gleis Worms-Biblis (Biblis-Worms auf dem neuen Überbau)
- Ausbau vorhandener 2. Überbau Biblis-Worms
- Abbruch 2. Hälfte vorhandenes Widerlager und Pfeilerköpfe
- Herstellung 2. Hälfte Widerlager 22 und Auflagerbänke Pfeiler 5 bis 21

Einrichten einer Vollsperrung

- Querverschub Gesamtüberbau
- endgültige Einlagerung
- Betriebsaufnahme eingleisig auf Gleis Worms-Biblis

Arbeiten im Nachgang

- Verschub 2. Gleis um ca. 0,50 m in die Endlage, endgültige Auflagerung Ausgleichsplatte
- Gehwegmontage 2. Seite
- Aufnahme zweigleisiger Betrieb
- Rückbau Hilfsgründungen, Abbruch Auflagerbankverbreiterungen

Die Stahlbaumontage erfolgte in den Feldern 5 bis 18 durch Hubmontage mittels Autokränen. In den Feldern 19 bis 22 musste wegen der Berücksichtigung des FFH-Gebiets „Altrhein“ das Taktschiebverfahren angewendet werden. Dazu wurden die dortigen Felder zunächst mittels Hubmontage im Bereich der Felder 16 bis 19 vormontiert und anschließend längs in die Endlage verschoben (Bild 11).

Dies hatte auch Auswirkungen auf den Eisenbahnoberbau. Das neue Betriebsgleis war in Bauphase 1 um ca. 0,50 m versetzt von der Endlage aufgelegt. Dies bedeutete, dass Schienenauszug und Ausgleichsplatte zunächst provisorisch einzubauen und im Zuge der Oberbauarbeiten für den Endzustand querverschoben werden mussten.

4 Der Überbau

4.1 Grundsätzliche Überlegungen

Durch die Vielzahl der Knotenpunkte stellen Fachwerkstrukturen im Allgemeinen und orthotrope Fahrbahnplatten im Besonderen sehr material- und lohnintensive Bauweisen dar. Daher war das Ziel des Entwurfs, unter voller Berücksichtigung der Interessen und Vorgaben der Denkmalbehörde nach einem annähernd gleichen optischen Erscheinungsbild die im Abschnitt 3.1 aufgeführten Vorteile zu erreichen.

Grundidee des Entwurfs war es, die beiden bestehenden eingleisigen Überbauten durch einen zweigleisigen Überbau zu ersetzen. Damit konnten die beiden inneren Fachwerkscheiben des Bestands entfallen. Außerdem wurde die vorhandene reine Stahlfahrbahn durch eine in Verbindung zum Fachwerk liegende Stahlbetonfahrbahnplatte ersetzt (s. Bild 7).

Bezüglich des äußeren Erscheinungsbildes wurden damit die Vorgaben des Denkmalschutzes vollständig eingehalten, jedoch trotzdem ein wirtschaftlicher, gestalterisch ansprechender und moderner Überbauquerschnitt

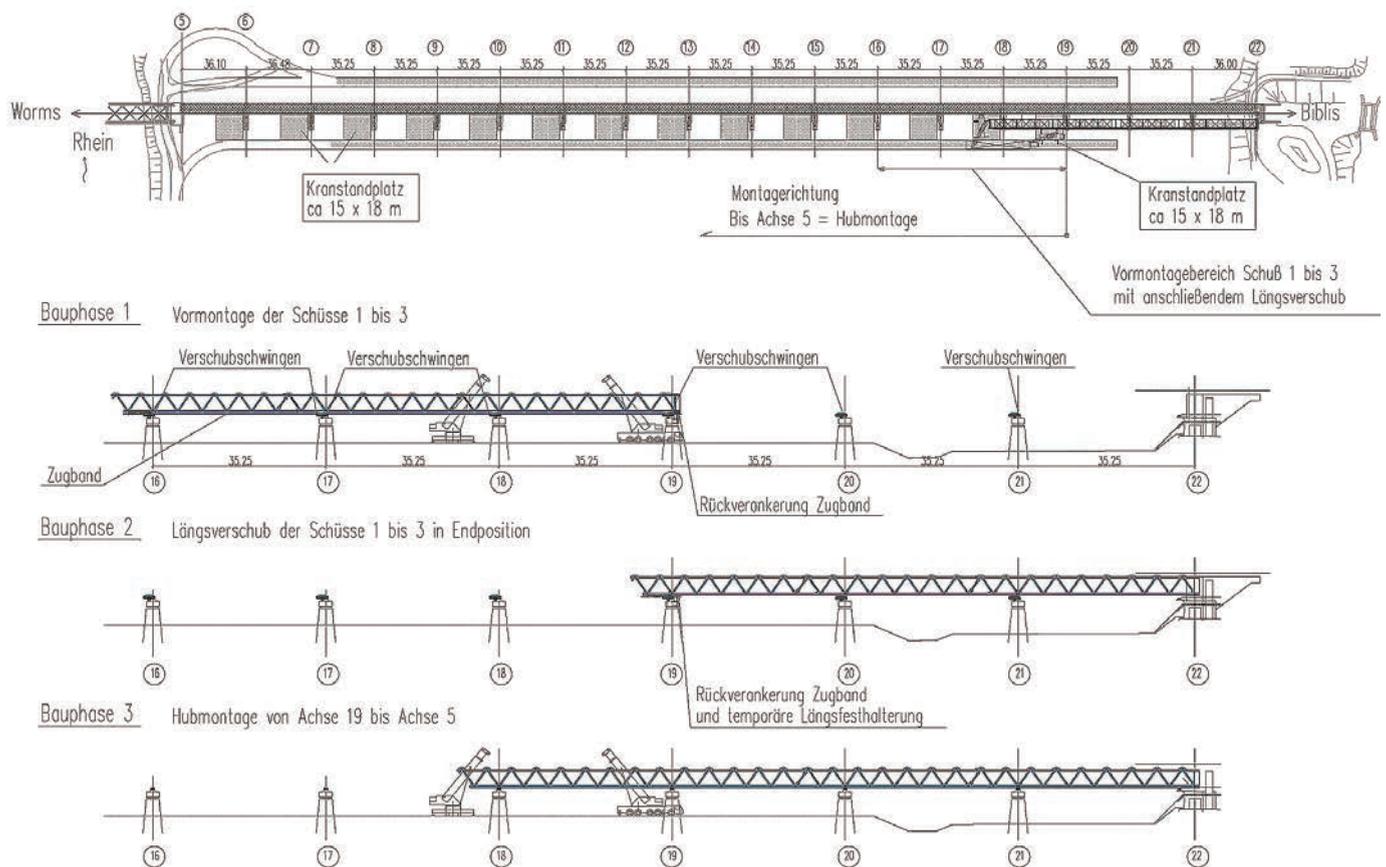


Bild 11. Stahlbaumontage
 Fig. 11. Installation of steel structure

entwickelt. Außerdem wurde die Gestaltung der Strombrücke aufgegriffen, da es sich hierbei ebenfalls um einen zweigleisigen Überbau handelt (s. Bild 1).

Zur Gewährleistung des eingleisigen Bahnbetriebs während der Herstellung musste der Überbau in Seitenlage fertig vormontiert, in Seitenlage bereits 1-gleisig in Betrieb genommen und in einer Sperrpause von ca. zwei Wochen querverschoben werden. Durch die Montage nur eines Überbaus konnte die Gesamtbauzeit klein gehalten werden.

4.2 Technische Einzelheiten

Im Querschnitt wurden zwei Fachwerkscheiben angeordnet. Als Fahrbahnplatte wurde eine Stahlbetonplatte verwendet, die mit den Fachwerkscheiben in Verbund gelegt wurde. Die Untergurte der Fachwerkscheiben wurden mit Verbänden und Querträgern verbunden. Für den Bauzustand wurden in Obergurtebene horizontale Aussteifungen erforderlich. Die Gehwege wurden als Stahlkonstruktion gemäß S-KON 11 ausgeführt. Dies war notwendig, weil aus Platzgründen auf der Nordseite keine Ort betonplatte im Bereich des Randweges ausgeführt werden konnte. In diese wurden einseitig die Konsolen für die Oberleitungsfußpunkte integriert.

Im Längsschnitt wurden die Stützzweiten und die Fachwerkteilung sowie die Konstruktionshöhe der bestehenden Brücke übernommen. Damit waren die Vorgaben für das äußere Erscheinungsbild vollständig erfüllt.

Das feste Lager wurde auf dem WL 22 angeordnet, beim Pfeiler 5 erfolgte der Übergang zur Rheinbrücke mit einer Ausgleichsplatte und offener Fuge. Beim WL 22 war eine geschlossene Fuge vorgesehen. Als Lager wurden Kalottenlager verwendet. Zur Reduzierung der Horizontalkräfte wurden Lager mit MSM-Gleitflächen vorgesehen. Je Lagerachse wurde ein quer festes Lager angeordnet.

Die Zugänglichkeit der unteren Fachwerkebene und damit der Übertritt vom Überbau auf dem Pfeiler Achse 5 wurde durch einen seitlichen Abstieg am Überbau auf ein auskragendes Podest und die Anordnung eines Gitterrostbelages erreicht. Zur Gewährleistung besserer Besichtigungsmöglichkeiten im Bereich der

Achsen 19 bis 22 (Altrhein) wurde dort in Untergurtebene ein Laufsteg angeordnet.

Durch Einsatz der Verbundplatte wird die Steifigkeit des Tragwerks zu einem Optimum erhöht. Außerdem ist zu beachten, dass bei eingleisigem Verkehr jeweils der gesamte Querschnitt trägt. Dadurch reduzieren sich die maximalen Durchbiegungen und Verdrehungen sowie die Häufigkeit der maximalen Verdrehwinkel. Vorteile ergeben sich deshalb insbesondere für Fahrkomfort und Schallschutz, aber auch für die Lebensdauer der Lager und Fugenkonstruktionen wird dies von Bedeutung sein.

4.3 Abdichtung

Es wurde eine konventionelle Isolierung mit Bitumendichtungsbahnen und Schutzbeton gewählt. Wegen der hohen Dämpfungswirkung der Stahlbetonverbundplatte konnte auf die Anordnung von Unterschottermatten verzichtet werden.

4.4 Oberleitung für Bauphase 2

Von großem Vorteil wirkte sich aus, dass bereits in Bauphase 1 einseitige Oberleitungsmasten für beide Gleise aufgebaut wurden. So konnte auf die Anordnung von Interimsmasten verzichtet werden.

5 Die Unterbauten

5.1 Pfeiler Achse 6 bis 21

Die bestehenden, mit Mauerwerk verkleideten Pfeiler blieben aus Gründen des Denkmalschutzes erhalten. Es wurden lediglich neue Auflagerbänke in Stahlbeton aufgesetzt. Je Achse wurden zwei Lager, davon eines querfest angeordnet. Diese kamen wegen des einteiligen Überbaus relativ weit innen zu liegen, was sich auf das Tragverhalten der Pfeiler günstig auswirkt.

5.2 Pfeiler Achse 5

Der Pfeiler Achse 5 dient als Trennpfeiler zwischen Rheinvorlandbrücke und Rheinbrücke. Auf ihm ist die längsfeste Lagerung der Rheinbrücke mit Linienkipplagern angeordnet. Neben den längs beweglichen Lagern der Rheinvorlandbrücke sind dort auch noch Auflagerböcke für die dort an-

geordneten Ausgleichsplatten samt Verankerungsböcken eingebaut.

Der bestehende Pfeiler blieb ebenfalls erhalten. Für die Auflagerung der neuen Lager der Rheinvorlandbrücke und der Auflagerböcke der Ausgleichsplatten wurde er in diesen Bereichen mit einer neuen Auflagerbank versehen. Weiterhin wurde die bestehende Konstruktion durch gebohrte Verankerungen verstärkt.

5.3 Widerlager 22

Durch das Widerlager 22 müssen die erheblichen Horizontalkräfte in Brückenlängsrichtung aus den festen Lagern abgetragen werden. Dies war der Grund für den vollständigen Neubau. Dadurch dass keine Zuglager benötigt wurden, konnte das Widerlager einfach und ohne Hohlräume ausgebildet werden. Damit sind auch statische Vorteile wegen der möglichen massiven Konstruktion verbunden.

Die Gründung mit Großbohrpfählen durch die vorhandenen Altfundamente schaffte günstige Voraussetzungen für eine möglichst hohe Aushubsohle und eine sichere Aufnahme der angreifenden Belastungen.

Am Projekt Beteiligte:

Bauherr:

DB Netz AG, 76137 Karlsruhe

Generalplanung:

DB ProjektBau GmbH,

66111 Saarbrücken

Baudurchführung:

Arbeitsgemeinschaft, Ed. Züblin AG/

Plauen Stahl Technologie GmbH,

68199 Mannheim

Ausführungsplanung:

SSF Ingenieure AG, 80807 München

Prüfingenieur:

Dr.-Ing. *Wolfgang Vogel*,

65187 Wiesbaden

Autoren dieses Beitrages:

Dipl.-Ing. Wolfgang Knob, DB ProjektBau GmbH,

76137 Saarbrücken,

dbprojektbau@deutschebahn.com

Dipl.-Ing. Frank Sachse, Dipl.-Ing. Gerald

Eckersberg, Plauen Stahl Technologie GmbH,

08529 Plauen, pst@plauen-stahl.de

Dipl.-Ing. Bernd Erlenbusch, Ed. Züblin AG,

68199 Mannheim, mannheim@zueblin.de

Dipl.-Ing. Hans-Joachim Casper,

Dipl.-Ing. Wolfgang Frühauf,

SSF Ingenieure, 80807 München,

wfruehauf@ssf-ing.de

Erneuerung Rheinvorlandbrücke Worms: Brückenkonstruktion und Zusammenwirken mit dem Eisenbahnoberbau – Teil 2

Fortsetzung und Schluss aus Stahlbau Heft 7/2012

6 Besondere Bauteile am Übergang Rheinvorlandbrücke/Rheinbrücke 6.1 Besondere Bauteile

Die notwendigen Schienenauszüge SA 60-1200 wurden gleisweise im Zuge der Oberbauarbeiten eingebaut. Zur Auflagerung der Ausgleichsplatten und des rheinseitigen Verankerungsblocks mussten auf dem Pfeiler 5 besondere Auflagerböcke in Stahlkonstruktion mit Verankerungsblock eingebaut werden. Zu beachten war, dass der Auflagerbock im Gleis Worms – Biblis sowohl der um 0,50 m seitlich versetzten provisorischen Lage wie der Endlage genügen musste.

Auf der Rheinvorlandbrücke wurde ein zweiter Verankerungsblock fest über Betonstahlanschlussbewehrung mit der Stahlbetonverbundplatte verbunden. Zwischen den festen Verankerungsblöcken wurden die Ausgleichsplatten in Längsrichtung schwimmend aufgelagert. Der notwendige Entgleisungsschutz wurde direkt an die Ausgleichsplatten und die Verankerungsblöcke angeschlossen (Bild 12 und 13).

Durch die einer Festen Fahrbahn vergleichbare offene Fahrbahn mit Holzbrückenbalken auf der Rheinbrücke ergaben sich hinter den Verankerungsblöcken bei den Schienensstützpunkten erhebliche abhebende Kräfte. Diese konnten weder in die Holzbrückenbalken eingeleitet noch von dort in die Längsträger der Stahlkonstruktion der Rheinbrücke weitergeleitet werden. Deshalb wurden neun Reihen Stahlbrückenschwellen als Ersatz für vorhandene Holzbrückenbalken angeordnet, die zugfest mit den

Längsträgern der Rheinbrücke verbunden wurden.

Auf den Stahlbrückenschwellen wurden elastische Schienensstütz-

punkte eingebaut, die zum Teil erhöhte Zugkräfte aufnehmen müssen. Bedingt durch deren verschiedenartige Verschraubungen mit den Schwellen

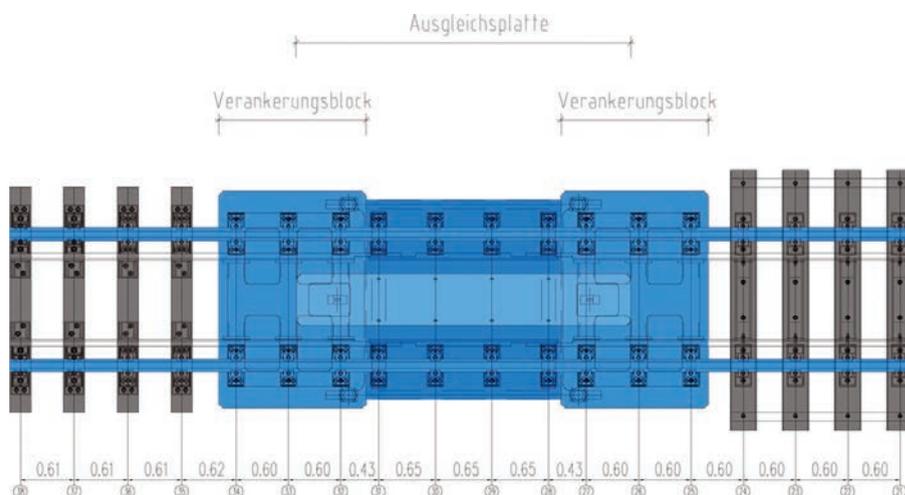


Bild 12. Detailgrundriss mit Ausgleichsplatte und Verankerungsblöcken
Fig. 12. Layout with compensation plate and anchoring blocks in detail



Bild 13. Installierte Ausgleichsplatte mit Verankerungsblöcken
Fig. 13. Installed compensation plate with anchoring blocks

sind zwei verschiedene Schwellentypen erforderlich. Typ 1 mit lediglich elastischen Schienenstützpunkten mit Doppel-T-Form (6 Stück), Typ 2 mit elastischen Schienenstützpunkten mit erhöhter Zugfestigkeit mit Kastenform (3 Stück).

Die Firma BWG hat einen elastischen Schienenstützpunkt mit einer erhöhten Zugfestigkeit bis 27 kN aufnehmbarer Zugkraft entwickelt. Dieser ist mit zwei elastischen Schichten, eine unter der Schiene und eine unter der Fußplatte des Schienenstützpunkts, ausgerüstet.

6.2 Statische Nachweise

Die Dehnwege an der beweglichen Fuge entstehen aus folgenden Einflüssen: – Temperaturunterschied gegenüber

der Aufstelltemperatur – Horizontalkräfte aus Bremsen und

Anfahren – Schwinden und Kriechen der Stahl-

betonverbundplatte – Verformung Unterbauten – Verschiebungen des Überbaus aus

dem Auflagerdrehwinkel unter Belastung und Temperaturdifferenz

Der Gesamtdehnweg ergab sich dadurch mit ca. 700 mm. Durch die Anordnung von Ausgleichsplatten mit zwei beweglichen Enden ergab sich der Dehnweg an den Enden der Ausgleichsplatten mit jeweils ca. 350 mm.

Die erforderlichen Schnittkräfte zur Ermittlung der Schienenspannungen und der Schienenstützpunktkräfte wurden an einem gekoppelten System zwischen Schiene und Schienenstützpunkten und Ausgleichsplatte mit Rheinvorlandbrücke bzw. Rheinbrücke ermittelt, jeweils für die Minimal- und Maximalstellung sowie die Mittelstellung (Bild 14). Hieraus erhielt man dann die maximalen und minimalen Schienenstützpunktkräfte sowie die Schienenbiegespannungen.

Die Schienenlängsspannungen wurden durch eine gesonderte Berechnung, ebenfalls an einem gekoppelten System, errechnet.

Dabei wurden folgende Einflüsse erfasst:

- Auflagerdrehwinkel aus Verkehrsbelastung
- Auflagerdrehwinkel aus Temperaturdifferenz
- Auflagerdrehwinkel aus Kriechen und Schwinden

Diese Angaben mussten sowohl für die Rheinvorlandbrücke wie für die Rheinbrücke erarbeitet werden.

Dabei wurden folgende Nachweise geführt:

- Zugkräfte in den Schienenstützpunkten
- Druckkräfte in den Schienenstützpunkten
- Schienenbiegespannungen aus direkter Belastung und Krümmung
- Schienenlängsspannungen

Die Ausgleichsplatten dienen nicht nur zur Überbrückung des Fugenspalts, sie runden auch die Biegelinien der Schiene aus Auflagerverdrehungen der angrenzenden Tragwerke besser aus und reduzieren so die auftretenden Schienenstützpunktkräfte und Schienenbiegespannungen.

Da auch im Bereich der Holzbrückenbalken örtlich elastische Schienenstützpunkte eingesetzt wurden, mussten eine Reihe von Holzbrückenbalken (30 Stück) ausgetauscht und durch niedrigere neue Holzbrückenbalken ersetzt werden. Die Begründung erfolgt durch die wesentlich größere Konstruktionshöhe der jetzt notwendigen elastischen Schienenstützpunkte.

6.3 Elastische Übergänge

Auf den Ausgleichsplatten bzw. Verankerungsböcken wurde praktisch eine feste Fahrbahn mit direkter

Schienenbefestigung und elastischen Schienenstützpunkten geschaffen. Aus Gründen des Fahrkomforts und der Dauerhaftigkeit des Eisenbahnoberbaus waren sowohl auf der Seite Rheinvorlandbrücke – angrenzende Schotterfahrbahn – als auch auf der Seite Rheinbrücke – angrenzende offene Fahrbahn – elastische Übergänge zu schaffen.

6.3.1 Übergang Seite Rheinbrücke

Der Schienenauszug erstreckt sich auch noch in den Bereich der Rheinbrücke hinein. Die dort angeordneten Stahlbrückenschwellen wurden als Weichenschwellen eingebaut. Auf der Rheinbrücke erfolgte auch der Übergang von Schiene UIC 60 (Neu) auf S 54 (Bestand) durch Übergangsschienen.

Auf den neuen Holzbrückenbalken und den Stahlbrückenschwellen wurden Führungen als Radlenkerkonstruktionen eingebaut. Der Übergang zu der bestehenden Führungskonstruktion auf der Rheinbrücke erfolgte durch Überlappung im Bereich von vier Schwellen. Die Schienenstützpunktsteifigkeit wurde abschnittsweise von 22,5 kN/mm auf den Ausgleichsplatten zum Bestand hin im Bereich der neun Stahlbrückenschwellen und von 30 Holzbrückenbalken angepasst. Es wurde eine verkürzte Übergangslänge gewählt, um die Eingriffe in den Oberbau des Bestands zu reduzieren (Bild 15).

6.3.2 Übergang Seite Rheinvorlandbrücke

Hinter dem Verankerungsblock auf der Rheinvorlandbrücke wurde sofort mit dem Schotteroberbau begonnen. Zunächst wurden im Bereich des Schienenauszugs Weichenschwellen 3,00 m breit eingebaut. Im weiteren Verlauf wurden, bis zum Normalbereich mit Schwellen B70, Schwellen

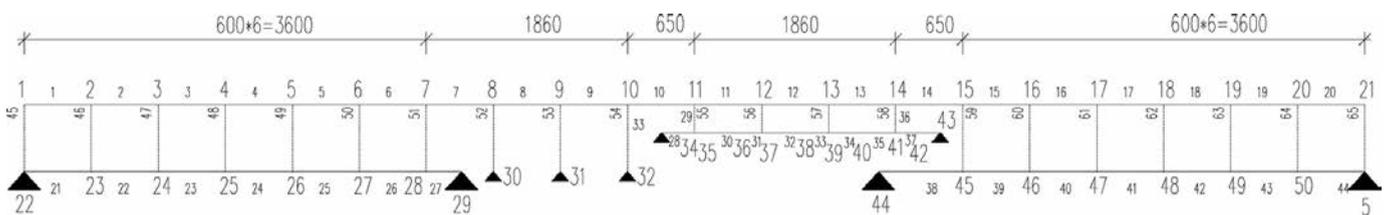


Bild 14. Statisches System Ausgleichsplatte
Fig. 14. Static system compensation plate

Worms

Biblis

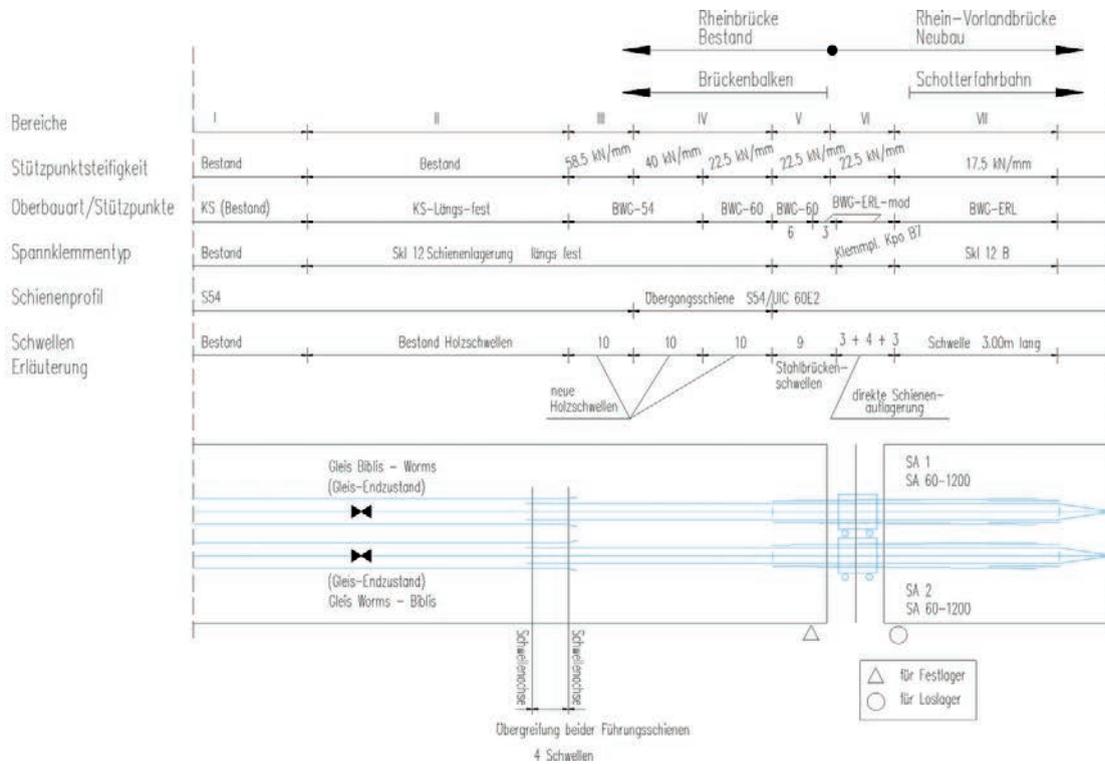


Bild 15. Elastischer Übergang Eisenbahnoberbau auf der Rheinbrücke
 Fig. 15. Elastic transition railway permanent way on the bridge over the Rhine

B93, B07 und B90 eingesetzt. Die Führungen im Bereich Schienenauszug, als Radlenkerkonstruktion ausgebildet, enden an deren Ende in einer 5,10 m langen Fangvorrichtung. Im Bereich des Schienenauszugs wurden BWG-ERL-Schienenstützpunkte mit einer Schienenstützpunktsteifigkeit von 17,5 kN/mm eingebaut. Anschließend wurden Schienenstützpunkte W3 mit abschnittsweise sich vergrößernder Stützpunktsteifigkeit bis zum

Normalbereich verwendet, Übergangsbereich 60 Schwellenlängen (Bild 16).

7 Baudurchführung
7.1 Bauablauf allgemein

Die herstellungsbedingt gewählte Stoßteilung der einzelnen Bauteile entsprach den vorhandenen Feldweiten. Die einzelnen Bauteile wurden im Werk hergestellt, zu Fachwerkscheiben zusammengebaut und endkonserviert.

Anschließend erfolgte der Straßentransport kompletter ca. 35 m langer Fachwerkscheiben auf die Baustelle.

Nach Ausbau des ersten Überbaus und einseitiger Herstellung der Pfeilerauflagerbänke, der Widerlager und Hilfsgründungen, erfolgte im Rhythmus von jeweils zwei Feldern eine Hubmontage auf die Pfeiler in um 6,00 m seitlich versetzter Position zur Endlage. Dabei wurden die Felder Pfeiler 19 bis 22 (Altrhein) auf

Worms

Biblis

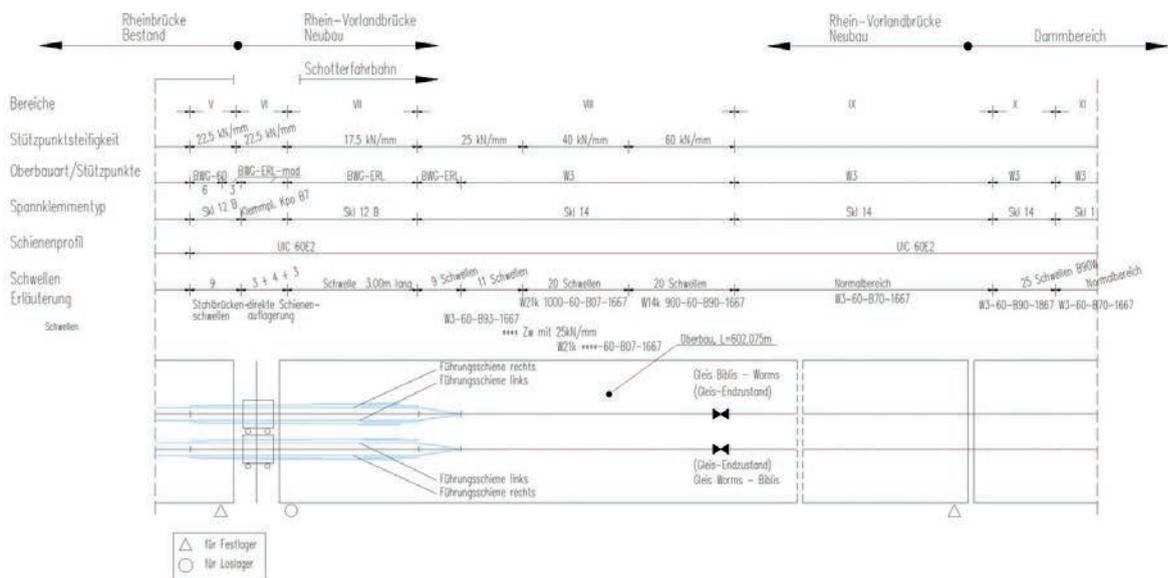


Bild 16. Elastischer Übergang Eisenbahnoberbau auf der Rheinvorlandbrücke
 Fig. 16. Elastic transition railway permanent way on the bridge over the Rhine lowland

den Pfeilern 16 bis 19 vormontiert und längerverschoben.

Die Hubmontage erfolgte mit Hilfe von zwei 500-t-Telekränen (Bild 17). Die Stöße in Längsrichtung waren im Momentnullpunkt des Durchlaufträgersystems angeordnet. Die gelenkige Lagerung wurde durch Auflagerknaggen in sämtliche Richtungen gewährleistet.

Um aus dem gelenkig montierten Bauwerk die Durchlaufträgerwirkung herzustellen, waren in den Momentennullpunkten Gerüste mit Einhausung zum Schweißen der Montagestöße installiert.

Anschließend erfolgte die Herstellung der Betonfahrbahnplatte mittels Schalwagen (Bild 18). Aufgrund

der um 6,00 m seitlich versetzten Lage entstanden keinerlei Beeinträchtigungen des Zugverkehrs, da sämtliche Arbeiten außerhalb des Gefahrenbereichs stattfanden. Die Fahrbahnplatte konnte kontinuierlich hergestellt werden, da durch die hohe Steifigkeit des Stahlfachwerkquerschnitts keine nennenswerten Zugspannungen im Stützbereich der Platte eingetragen werden.

Danach wurde der Verbundüberbau um 1,50 m in die Endlage für Bauphase 1 verschoben (um 4,50 m versetzt zur Endlage) und dort provisorisch eingelagert. Die Brückenausstattung wurde ergänzt sowie die Oberbauarbeiten und der Aufbau der Oberleitung durchgeführt. Parallel

dazu wurde einseitig der Gehweg ergänzt. Danach erfolgte die Betriebsaufnahme auf dem neuen Gleis, das seitlich um 50 cm zur Endlage auf dem neuen Überbau verschoben ist.

Damit war in der Bauphase 1 der neue Überbau vollständig hergestellt und für die Bauphase 2 betriebsfertig.

In Bauphase 2 wurde nach dem Ausbau des vorhandenen zweiten Überbaus und der Herstellung des 2. Teils des Widerlagers und der Auflagerbänke die Montage der endgültigen Oberleitungen vorgenommen. Danach wurde die Vollsperrung für ca. zwei Wochen eingerichtet. Innerhalb dieser Vollsperrung erfolgte der Querverschub des Gesamtüberbaus in die endgültige Lage, die endgültige Einlagerung sowie die Vervollständigung der Brückenausstattung. Danach konnte der eingleisige Betrieb in endgültiger Lage aufgenommen werden.

Anschließend musste das zweite Gleis um 50 cm in seine endgültige Lage verschoben und der Gehweg auf der zweiten Seite montiert werden. Danach war die Aufnahme des zweigleisigen Betriebs möglich. Abschließend erfolgten der Rückbau der Hilfsgründungen mit Auflagerbankverbreiterungen und die Beräumung der Baustelle.

Die Baumaßnahme erfolgte im Detail in folgenden Bauphasen:

Bauphase 1

Der Überbau wurde in um 4,50 m seitlich versetzter Lage als gesamter Querschnitt hergestellt. Dabei wurden die folgenden Leistungen 1 bis 7 in einer um weitere ca. 1,50 m seitlich versetzten Lage durchgeführt.

1. Einrichtung eingleisiger Betrieb auf Gleis Biblis–Worms
2. Ausbau vorhandener Überbau Worms–Biblis
- 2.1 Einbau Mittelverbau Widerlager 22
3. Einseitiger Abbruch vorhandenes Widerlager und Pfeilerköpfe
4. Einseitige Herstellung Widerlager 22 und Auflagerbänke Pfeiler 5-21
5. Herstellung von Hilfsgründungen und Auflagerbankverbreiterungen in Verlängerung der Pfeiler- und Widerlagerachsen
6. Montage Stahlkonstruktion mit Hubmontage (Längerverschub Bereich Altrhein)



Bild 17. Hubmontage der Stahlfachwerkträger
Fig. 17. Elevated installation of the steel framework girder



Bild 18. Installierter Schalwagen für Herstellung Fahrbahnplatte
Fig. 18. Installed formwork wagon for manufacturing of the reinforced concrete superstructure

7. Herstellung Stahlbetonverbundplatte mit Schalwagen
8. Querverschub in die Endlage für Bauphase 1 um ca. 1,50 m
9. Provisorische Einlagerung auf die endgültigen Lager
10. Provisorischer Anschluss Entwässerung und Erdung
11. Oberbauarbeiten beide Gleise
12. Provisorische Auflagerung Ausgleichsplatte
13. Aufbau der Oberleitungsmasten einseitig für beide Gleise
14. Einseitige Montage Gehweg
15. Betriebsaufnahme auf dem neuen Gleis

Der Schritt 6 wurde weiter unterteilt:

- 6.1 Hubmontage zwischen Achse 16–19
- 6.2 Längsverschub in Achse 19–22 (Bereich Altrhein)
- 6.3 Hubmontage zwischen Achse 5–19

In Bauphase 1 war also der neue Überbau vollständig hergestellt und für die Bauphase 2 betriebsfertig.

Bauphase 2

1. Betriebsaufnahme auf neuem Überbau in seitlicher Lage im Gleis Biblis–Worms
2. Ausbau vorhandener Überbau Biblis–Worms
3. Abbruch vorhandenes Widerlager und Pfeilerköpfe der zweiten Hälfte
4. Herstellung Widerlager 22 und Pfeilerköpfe der zweiten Hälfte
5. Herstellung Lagerbock in der zweiten Hälfte
6. Einrichtung Vollsperrung
7. Querverschub Gesamtüberbau
8. Endgültige Einlagerung
9. Endgültiger Anschluss Entwässerung und Erdung
10. Umspannen Fahrdrabt Oberleitung bisheriges Betriebsgleis
11. Endgültige Auflagerung Ausgleichsplatten
12. Aufnahme eingleisiger Betrieb in bisheriger Lage (Gleis Biblis–Worms)

Arbeiten im Nachgang

1. Seitlicher Verschub 2. Gleis um 0,50 m in endgültige Lage
2. Aufbau Oberleitung auf der 2. Seite
3. Gehwegmontage 2. Seite
4. Aufnahme zweigleisiger Betrieb

5. Rückbau Hilfsgründungen, Abbruch Auflagerbankverbreiterungen

Im Zeitpunkt der Vollsperrung waren nur die Vorgänge 6 bis 12 erforderlich. Dafür genügten ca. zwei Wochen.

7.2 Werksfertigung Stahlbau

Die gesamte Fertigung der Brückenkonstruktion erfolgte im Werk von Plauen Stahltechnologie. Der Zuschnitt wurde an allen Gewerken (Schneiden, Sägen, Bohren, Fräsen) mit modernen CNC-Maschinen angesteuert. Die CNC-Daten wurden dabei direkt aus der CAD-Konstruktion an die entsprechende Zuschnittsmaschine geleitet.

Im Technischen Büro wurden neben den Konstruktionsaufgaben Verformungsberechnungen durchgeführt. Aus diesen Berechnungen wurden Zugabewerte für Länge, Breite und Krümmung für den Zuschnitt der Einzelteile ermittelt. Die Höhengenaugigkeit der Teileabmessungen wurde durch modernste Zuschnittstechnologien von Säge-, Bohr-, Klinkanlagen, Autogen- und Plasmaportalanlagen und einem 3D-Phasenroboter zur Schweißnahtvorbereitung erreicht.

Der Zusammenbau erfolgte nach dem Baugruppenprinzip. Die einzelnen Baugruppen wurden gezielt vorrangig und an mechanisch verstellbaren Zulagen endmontiert (Bild 19).

Die zur Anwendung gekommenen Schweißverfahren MAG und UP

im Einzel- oder Tandemprozess wurden von eigenem, erfahrenem und zertifiziertem Fachpersonal ausgeführt. Die teilmechanisierten Schweißprozesse waren mit modernsten digitalen Stromquellen ausgerüstet, so konnten je nach Schweißaufgabe gewünschte Lichtbögen – Sprühlichtbogen, Impulslichtbogen oder Force Arc-Lichtbogen eingestellt werden. Mit stationären Halb- und Vollportalen und verstellbaren Zulagen konnten Längsnähte in hoher Qualität wirtschaftlich geschweißt werden.

Im Werk wurden nach erfolgter Geometriekontrolle und Abnahme der Schweißnähte die Werksbeschichtungen entsprechend Korrosionsschutzplan aufgebracht. Die Montagestöße wurden vor Ort nachkonserviert.

7.3 Baubehelfe

Zur Unterstützung des Überbaus in Seitenlage waren Hilfsgründungen und temporäre Verlängerungen der Pfeiler in Achse 5-21 und des Widerlagers in Achse 22 erforderlich. Diese mussten auf den Eisenbahnverkehr in Bauphase 2 ausgelegt werden.

Wichtig war es, dass die temporären Verlängerungen nahezu setzungsfrei gegründet wurden. Deshalb wurden hierzu Rammpfähle aus Stahlträgern verwendet (Bild 20). Diese wurden gemäß der Auswertung von Rammformeln im Baugrund abgesetzt. Anschließend wurden sie mit dynamischen Pfahlprobelastungen getestet.



Bild 19. Werkstattfertigung der Stahlfachwerkscheiben

Fig. 19. Work shop manufacturing of the framework girders

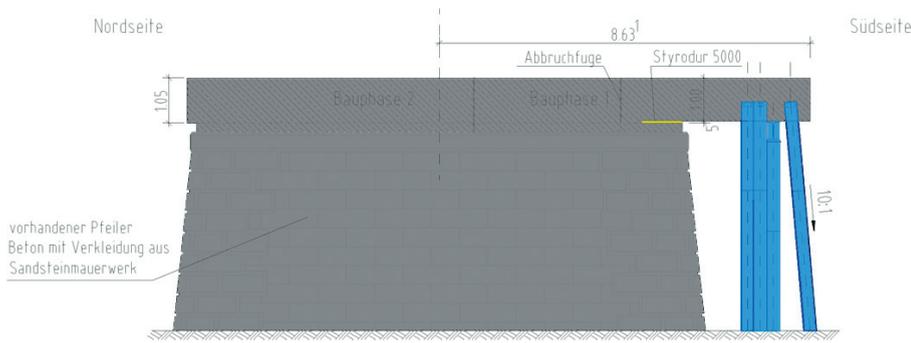


Bild 20. Querschnitt Pfeiler mit Pfeilerverbreiterung
Fig. 20. Cross-section pillar with widening

7.4 Bauwerksquerverschub

Der Verschub des Überbaus in seine Endposition wurde in den folgenden zwei Teilschritten realisiert:

Nach Abschluss der Stahlbaumontage konnte mit der Herstellung der Fahrbahnplatte begonnen werden. Nach Fertigstellung der Betonarbeiten wurde der Überbau nun um 1,5 m in seine bauzeitliche Zwischenlage verschoben und der Bahnbetrieb eingeleistet (kleiner Querverschub = Teilverschub). Nach Beendigung aller Rückbauarbeiten und Fertigstellung der Unterbauten wurde nun der Überbau in einem zweiten Schritt in seine endgültige Lage verschoben. Man spricht hierbei von dem so genannten Großen Querverschub.

Nachfolgend werden die wesentlichsten Elemente des Verschubs am Beispiel des 2. Querverschubs vorgestellt:

Das Prinzip des ersten Teilverschubs entspricht dem des zweiten Verschubvorgangs. Im Rahmen des „Großen Querverschubs“ war der komplett fertig gestellte Überbau inkl. Überbau, Gleisanlagen und Elektrifizierung um 4,5 m von seiner bauzeitlichen Lage in die endgültige Lage zu verschieben. Das zu bewegende Gesamtgewicht betrug hierbei 17000 t bei einer Bauwerkslänge von ca. 605 m. Da sich der Überbau vor dem zweiten Querverschub bereits in Betrieb befand, waren auch die endgültigen Lager bereits eingebaut und aktiviert.

Für den Verschub wurden zwischen den Lagersockeln Verschubbahnen errichtet, welche aus einem Verbund aus Beton und Stahl bestanden. Auf der Oberseite waren zusätzlich Edelstahlbleche angeordnet, um möglichst geringe Reibwiderstände zu ge-

währleisten. Für den Einbau der Verschublager unter den eigentlichen Brückenlagern wurde der Überbau in Längs- und Querrichtung mit temporärer Seitenführung und Längsfesthaltungen versehen.

Nach entsprechender Aktivierung der Festhaltungen konnten die Verschraubungen zwischen unteren Lagerplatten und den Ankerplatten gelöst und der Überbau angehoben werden. Nun war der Einbau der Schublager unter den Lagerplatten möglich. Für den Querverschub wurden die Brückenlager mit entsprechenden Festhaltekonstruktionen versehen, um Verschiebungen zwischen Lagerober- und Lagerunterteil anzuschließen.

Bereits im Vorfeld der Sperrpause für den Querverschub wurden die Antriebselemente für den Verschub installiert. Hierbei handelte es sich um

Litzenheber, welche seitlich über eine Verschubtraverse an den Überbau angeschlossen wurden. Die Rückverankerung der Litzen erfolgte an den jeweiligen Pfeilerköpfen. Es kamen insgesamt neun Litzenheber mit einer Kapazität von jeweils 120 t zum Einsatz. Der Antrieb erfolgte somit an jeder zweiten Achse. Die Litzenheber wurden über eine zentrale Steuereinheit betätigt. Zur Überwachung der Verschubwege waren an den Achsen Lasermesseinrichtungen installiert, welche ihre Daten an die zentrale Steuereinheit weiterleiten (Bild 21). Somit konnte während des Verschubs eine kontinuierliche Überwachung der Verschubwege und Verschubkräfte sichergestellt werden.

Nach Erreichen der Endposition wurden die Verschublager demontiert und der Überbau in seiner endgültigen Lage eingelagert. Für den Verschubvorgang wurde ein Zeitraum von sieben Stunden benötigt.

8 Statik und Konstruktion

8.1 Konstruktion

Als Teilerneuerung der bestehenden Eisenbahnbrücke war das Tragwerk durch den Bestand mit den regelmäßigen Stützweiten von ca. 36 m und der Bauhöhe von ca. 5 m unter SO vorgegeben. Der einteilige Verbundquerschnitt mit den zwei unten liegenden Fachwerkbindern war Bestand-



Bild 21. Querverschub des Bauwerks
Fig. 21. Displacement of the construction

teil des funktional und wirtschaftlich optimierten Nebenangebots.

Die Ausführung des Tragwerks als Durchlaufsystem über 17 Felder war neben den Gründen, die sich aus der Interaktion zwischen Tragwerk und Gleisoberbau und aus den Anforderungen an die Dauerhaftigkeit ergaben, auch aus der Sicht der Tragwerksplanung angeraten, da die höheren Bremslasten der aktuellen Normung nicht über die bestehenden und verbleibenden Pfeiler, sondern nur einseitig über das neu zu errichtende Widerlager in Achse 22 abgetragen werden konnten. Die Geometrie der biegesteifen Fachwerkträger wurde wesentlich durch die beizubehaltende Ansicht der zu erneuernden Brücke bestimmt. Zu beachten war hierbei, dass die Knotenabstände im Obergurt nicht zu groß gewählt waren, da zum einen die Achslasten des Eisenbahnverkehrs über die freie Länge der Träger abgetragen werden müssen und sich zum anderen die Schubkräfte zwischen Stahl- und Betonbauteilen in den Knotenpunkten des Fachwerks zentrieren.

Die unterhalb der im Mittel 0,45 m dicken Verbundplatte angeordneten Obergurte wurden als liegende offene Profile ausgebildet. In den Fachwerkknoten wurde die Höhe der vertikalen Flansche zur Schubkraftübertragung zur Anordnung von Schubdübeln vergrößert und bis unter die obere Lage der Verbundplattenbewehrung geführt. Zur Durchführung der unteren Querbewehrung wurden Bohrungen vorgesehen (Bild 22).

Neben der möglichen Schubkraftübertragung über die statisch erforderlichen Kopfbolzendübel waren mit der Erhöhung der Obergurtflansche in die Fahrbahnplatte weitere baubetriebliche Vorteile verbunden. Über umsetzbare Stahlplatten konnten die Lasten des Schalwagens aufgenommen werden. Gesonderte Schalwagenstühle waren nicht erforderlich. Weiterhin wurden zur Stabilisierung des Tragwerks beim Betonieren mittig in der Fahrbahnplatte an jedem zweiten Obergurtknoten Querstäbe vorgesehen, damit diese so dem im Bauzustand vorhandenen *Vierendeel*system eine ausreichende Steifigkeit gewährleisten und gesonderte Montageverbände vermieden. Mit den erhöhten Obergurtflanschen konnten die genannten Querstäbe in den Fachwerk-

knoten in einfacher Weise angeschlossen werden.

Zur Begrenzung der Blechdicken wurden die Untergurte der Fachwerke als geschweißte Hohlkastenprofile ausgebildet (s. Bild 23). Die Diagonalstäbe sind zur konstruktiven Vereinfachung der Knotendetails offene Schweißprofile. Zur Aussteifung der druckbelasteten Untergurte in den Stützbeichen und zur Horizontalallastabtragung in Bauwerksquerrichtung ist in der Untergurtebene ein durchgehender Horizontalverband vorhanden. Am Obergurt wurden zusätzlich zur Fahrbahnplatte keine Querträger notwendig. Zur räumlichen Querschnittsaussteifung genühten bei den vorhandenen kurzen Stützweiten Vertikalverbände in den Auflagerachsen.

Die Auflagerung des Brückenüberbaus erfolgte über Kalottenlager mit Querfesthaltungen in jeder Lagerachse. Am Widerlager in Achse 22 waren in Bauwerkslängsrichtung im Grenzzustand der Tragfähigkeit ca. 11 MN Horizontalkraft von jedem Lager aufzunehmen. Wegen der Größe

der Horizontalbelastung wurden beide Lager längsfest ausgebildet, da bei den kurzen Stützweiten der Vorteil der Lastverteilung gegenüber dem Nachteil zusätzlicher horizontaler Einspanneffekte überwog.

Zwischen den beiden Lagerpunkten war während des Querverschubs im Bauzustand eine Hilfslängsfesthaltung erforderlich, die unterhalb des Endquerträgers angeschraubt, die Auflagerbank U-förmig umklammerte und in ähnlicher Form im Falle eines Lagerwechsels ausgeführt werden kann.

Der Endquerträger in Achse 22 weist entsprechend den Lagergrößen einen ca. 1,7 m breiten Unterflansch auf und ist zur Ballastierung als massiver Stahlbetonquerschnitt betoniert. Am gegenüberliegenden Brückende, am Trennpfeiler in Achse 5, sind Fahrbahnübergänge und Ausgleichplatten vorhanden. Zur Vermeidung unzulässiger Querbiegungen im Endquerträgerbereich wurde auch hier eine Betonscheibe mit Durchgang zum Pfeiler ausgebildet.

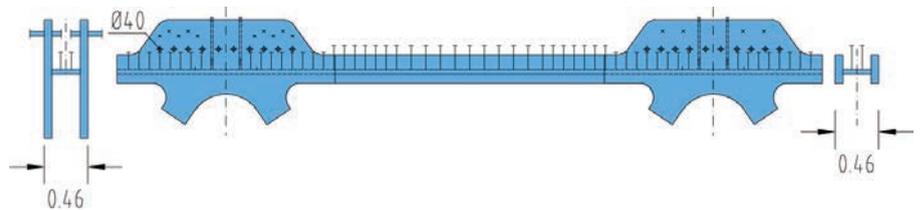


Bild 22. Oberer Fachwerkknoten
Fig. 22. Upper framework knot



Bild 23. Stahltragwerk im Bauzustand
Fig. 23. Steel structure in construction phase

Ausgeführt ist das Stahltragwerk in Baustahl S 355, die Verbundplatte mit Stahlbeton der Güte C 35/45.

8.2 Statische Berechnung

Zur statischen Berechnung des Brückenüberbaus wurde für die Stahlkonstruktion ein räumliches Stabsystem gewählt und die Fahrbahnplatte und die Endscheibe am Widerlager in Achse 22 mit Schalenelementen abgebildet. Die Stäbe der Fachwerkträger sind wie auch das Fachwerk und die Betonfahrbahnplatte biegesteif miteinander verbunden. Die Anschlüsse der Verbände sind Gelenke.

Die Montagereihenfolgen wurden durch die Unterteilung in Elementgruppen und die Annahme von Stabengelenken an Verschlossungen simuliert und Bauteile und System entsprechend dem Bauablauf aktiviert. Die Dimensionierung des Tragwerks im Endzustand ergibt sich so aus der Addition der Schnittkräfte aller einzelnen Bauphasen. In allen Bauzuständen wurden Verkehrsbelastungen, Wind- und Temperaturbeanspruchungen betrachtet.

Die Berechnung des Tragwerks mit dem Programm Sofistik ermöglicht die freie Wahl von Stabachsen, an die die Nullpunkte der Querschnittseingabe gekoppelt werden können. Exzentrizitäten der Schwerachsen der Stabelemente wurden so auch unter Berücksichtigung von Querschnittssprüngen vom Rechenprogramm eigenständig berücksichtigt.

Exzentrizitäten, die sich in der Obergurtebene zwischen den Systemlinien des Stahlbaus, der definierten Elementebene in der Mittelachse der Fahrbahnplatte und den Diagonalachsen ergeben, wurden durch kinematische Kopplungen beschrieben.

Die Beschreibung der Materialeigenschaften der Fahrbahnplatte hatte die örtlich verminderte Steifigkeit im Zustand II zu berücksichtigen. Hierfür wurde ein orthotropes Materialverhalten beschrieben, das die Erfassung unterschiedlicher Steifigkeiten in Längs- und Querrichtung ermöglichte. Die sich in Bauwerkslängsrichtung im Zustand II befindlichen Bereiche der Fahrbahnplatte wurden im Vergleich der maßgebenden Lastfallkombination mit der 1,3-fachen Betonzugfestigkeit festgelegt. Mit der Annahme des Zustandes I für die Fahr-

bahnplatte in Brückenquerrichtung lag die Ermittlung der Schnittkräfte aus Effekten der Profilverformung auf der sicheren Seite.

Dimensioniert wurde das Tragwerk für die Lastmodelle UIC 71 und SW/2 mit dem Lasterhöhungsfaktor $\alpha = 1,21$. Grundlage der Bremslasten ist ein Betriebslastenzug mit einem Gesamtgewicht von 4200 t, was bei einer Streckenlast von 80 kN/m einer Länge von 525 m entspricht. Als außergewöhnliche Einwirkung wurden auch die Erdbebenbeanspruchungen entsprechend der Erdbebenzone 1 mit zugehörigen Bodenbeschleunigungen von 0,4 m/s² berücksichtigt.

Die Ermüdungsberechnungen wurden für eine Jahrestonnage aus Personen und Güterverkehr von 11×10^6 t/Jahr/Gleis und für eine Lebensdauer des Brückentragwerks von 100 Jahren geführt. Bauteilabhängig ergaben sich die ermüdungswirksamen Spannungsschwingbreiten aus globaler und lokaler Tragwirkung. Zur notwendigen Erfassung der beiden Anteile und der korrekten Berücksichtigung der Anpassungsbeiwerte wurden verschieden gelagerte Systeme des Gesamtmodells betrachtet. Die lokalen Schwingbreiten der Obergurte ergaben sich hinreichend genau an einem in allen Untergurtnoten gelagerten Rechenmodell. Der Ermittlung der Schwingbreiten in den Diagonalen wurde ein in allen Obergurtnoten gelagertes statisches System zugrunde gelegt.

Besondere Bedeutung kommt beim vorliegenden Verbundtragwerk der schubfesten Anbindung der Fahrbahnplatte an die Fachwerkobergurte in den Knotenpunkten zu. Konzentriert sind in diesen Punkten die Querkkräfte aus der Fahrbahnplatte, die Schubkräfte aus der Längstragwirkung sowie die Querbiegemomente aus der globalen und lokalen Einspannungswirkung der Verbundplatte in das Stahlfachwerk zu übertragen.

Als Verbundmittel wurden in üblicher Form Kopfbolzendübel mit Durchmessern von 22 mm gewählt, deren Anzahl sich aus den Nachweisen für die Grenzzustände der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit und den Anforderungen an die Ermüdungsfestigkeiten bestimmte. Die ermüdungswirksamen Einwirkungen waren, wie für das Stahltragwerk selbst, anhand der unterschiedlichen

statischen Systeme getrennt für globale und lokale Tragwirkungen zu betrachten.

Neben den Ereignissen der elektronischen Systemberechnungen zu den Schubkraftverteilungen waren räumliche Fachwerkmodelle Grundlage für die Betrachtung des Kraftflusses aus den Querbiegemomenten mit der Dimensionierung der Kopfbolzendübel und der konstruktiven Durchbildung der erforderlichen Bewehrung. Entsprechend den statischen und konstruktiven Anforderungen wurden die Kopfbolzendübel beidseitig der vergrößerten vertikalen Knotenbleche sowie auf den liegenden Stegen angeordnet.

9 Schlussbemerkung

Nach ca. 2,5 Jahren Bauzeit wurde der Überbau am 18. 01. 2012 in seine Endlage verschoben. Dies geschah unter großer Anteilnahme der Fachwelt und der allgemeinen Öffentlichkeit. Mit einem Verschiebewicht von ca. 17000 t, einer Bauwerkslänge von ca. 605 m und einem Verschiebung durch neun synchron geschaltete Pressstationen stellte das Projekt einen Superlativ für den Bereich der Deutschen Bahn dar. Am 02. 04. 2012 wurde der zweigleisige Verkehr termingerecht aufgenommen.

Die Baudurchführung erfolgte ohne besondere Probleme völlig termingerecht. Die sich bei der Aufstellung des Nebenangebots angestellten Überlegungen haben sich durchweg als zutreffend und richtig erwiesen. All dies ist das Ergebnis der ergebnisorientierten und kollegialen Zusammenarbeit aller am Projekt Beteiligten.

Autoren dieses Beitrages:

Dipl.-Ing. Wolfgang Knob,
DB ProjektBau GmbH, 76137 Saarbrücken,
dbprojektbau@deutschebahn.com

Dipl.-Ing. Frank Sachse,
Dipl.-Ing. Gerald Eckersberg,
Plauen Stahl Technologie GmbH, 08529 Plauen,
pst@plauen-stahl.de

Dipl.-Ing. Bernd Erlenbusch,
Ed. Züblin AG, 68199 Mannheim,
mannheim@zueblin.de

Dipl.-Ing. Hans-Joachim Casper,
Dipl.-Ing. Wolfgang Frühauf,
SSF Ingenieure, 80807 München,
wfruehauf@ssf-ing.de