

Die neue Brücke über die B317 bei Lörrach

Bridge over highway B317 Lörrach

Nouveau pont au-dessus de la nationale B317
près de Lörrach

Prof. Volker Schiermeyer
Prüfingenieur für Baustatik

Fachhochschule Bielefeld, Campus Minden
Bielefeld/Minden, Deutschland

Ingenieurbüro HSW-Ingenieure
Bad Oeynhausen, Deutschland



Die neue Brücke über die B317 bei Lörrach

1. Einleitung

An einem für die Stadt Lörrach wichtigen Standort muss ein neues Brückenbauwerk erstellt werden. Die Brücke dient als Verbindung der Stadt zu einem Naherholungsgebiet und wird durch Fußgänger, Jogger und Radfahrer stark frequentiert.

Das bisher an diesem Standort vorhandene Brückenbauwerk hatte einen prägenden Charakter für die Stadt. Der Neubau sollte die Geometrie aufnehmen und gleichzeitig technisch optimiert werden.

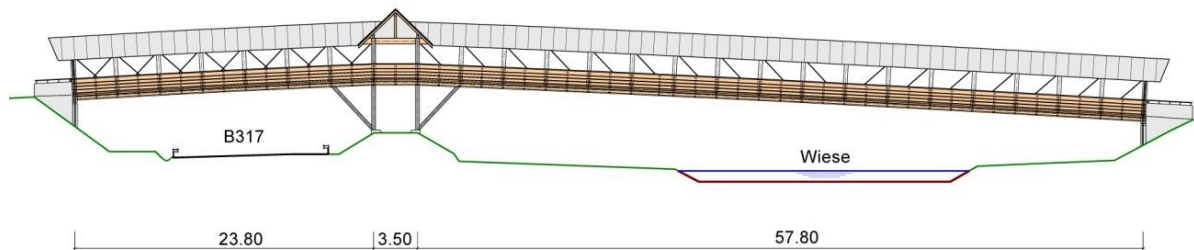


Abbildung 1: Übersichtszeichnung des geplanten Brückenneubaus

2. Planung

Primäres Ziel bei der Planung war es, einen sehr guten konstruktiven Holzschutz für die neue Geh- und Radwegbrücke zu erreichen. Die als 3-Feld-System geplante Fachwerkbrücke mit einer lichten Breite von 2,80 m und Einzelstützweiten von 23,80 m – 3,50 m – 57,80 m erhält neben der Dachkonstruktion auch eine seitliche Verschalung, siehe Bild 1. Der Dachüberstand wird soweit über die eigentliche Konstruktion gezogen, bis der Schlagregenschutz gemäß DIN EN 1995-2/NA gewährleistet ist (30° gegen die Vertikale geneigte Kennlinie), siehe Bild 2. Für alle Bauteile gilt somit, dass sie als geschützte Bauteile betrachtet werden können. In den Eintrittsbereichen der Brücke werden zusätzlich die Bohlenlängsträger abgedeckt, damit ein Schutz vor eingebrachtem Schmutz oder auch Schnee vorliegt.

Darüber hinaus ist die Tragstruktur von innen sichtbar bzw. einsehbar und damit auch jederzeit kontrollierbar (Bild 3).

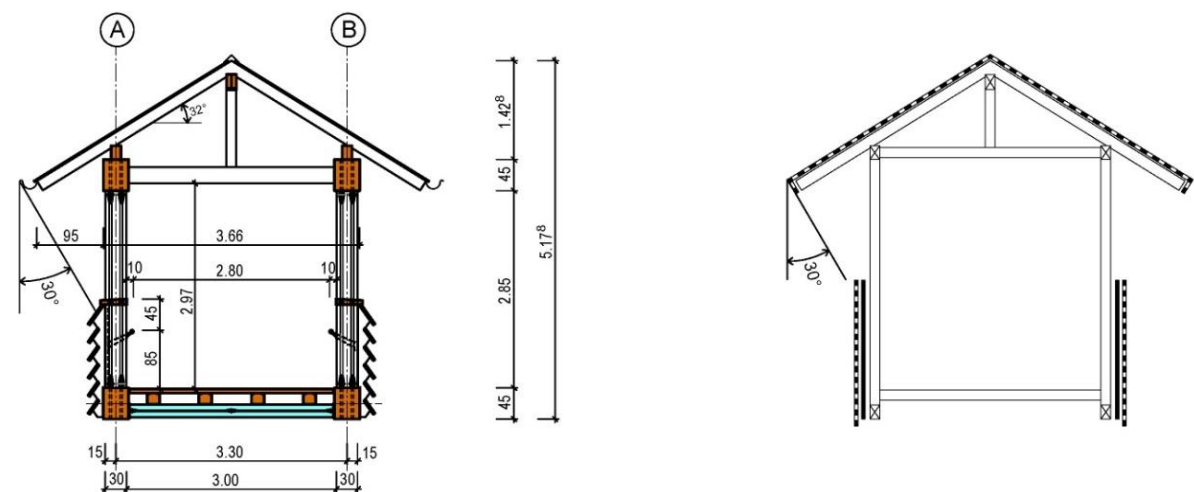


Abbildung 2: Querschnitt des neuen Brückenüberbaus im Vergleich zur Vorgabe aus DIN EN 1995-2/NA

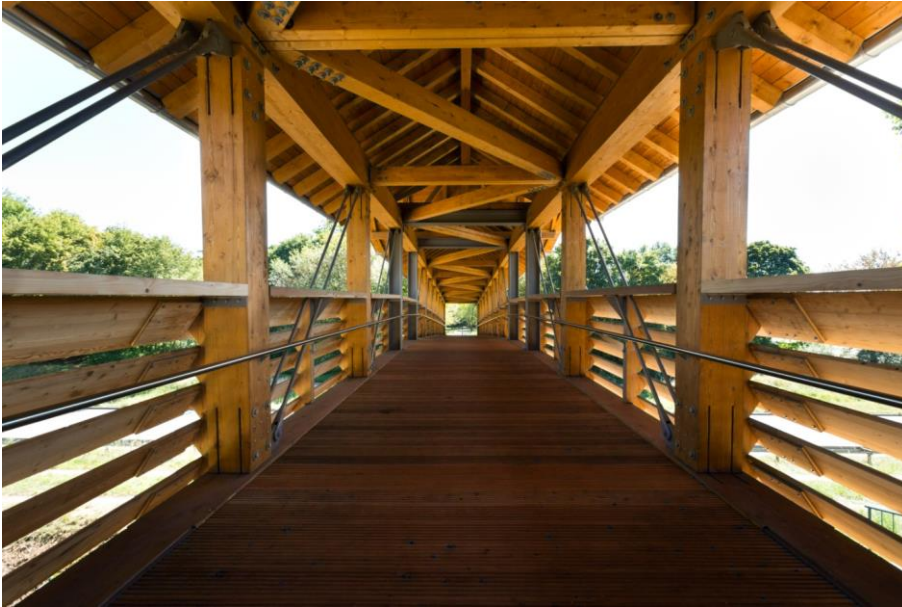


Abbildung 3: Innenansicht der Konstruktion – alle Bauteile sind frei einsehbar

Die neue Brücke sollte gegenüber dem Bestandsbauwerk eine größere Transparenz aufweisen. Dieses Ziel wird erreicht, indem Stahlzugdiagonalen in die Fachwerkstruktur eingepplant wurden. Aufgrund des statischen Systems ergeben sich einzelne Gefache, in denen sich kreuzende Diagonalen angeordnet werden mussten.

2.1. Besonderheiten für die statische Berechnung

Die Einwirkungen für die als Geh- und Radwegbrücke geplante Konstruktion werden nach DIN EN 1991-1 definiert.

Da der Bauort Lörrach in einem erdbebengefährdeten Gebiet liegt, müssen zusätzlich Nachweise für die Erdbebenzone 3 geführt werden.

Die statische Berechnung wird an einem 3D-Stubwerkmodell (Bild 4) vorgenommen, um auftretende Effekte möglichst realitätsnah abbilden zu können. Sämtliche Holzbauteile werden in der Nutzungsklasse 2 nachgewiesen. Das Bauwerk insgesamt wird für die Schadensfolgeklasse CC2 betrachtet.

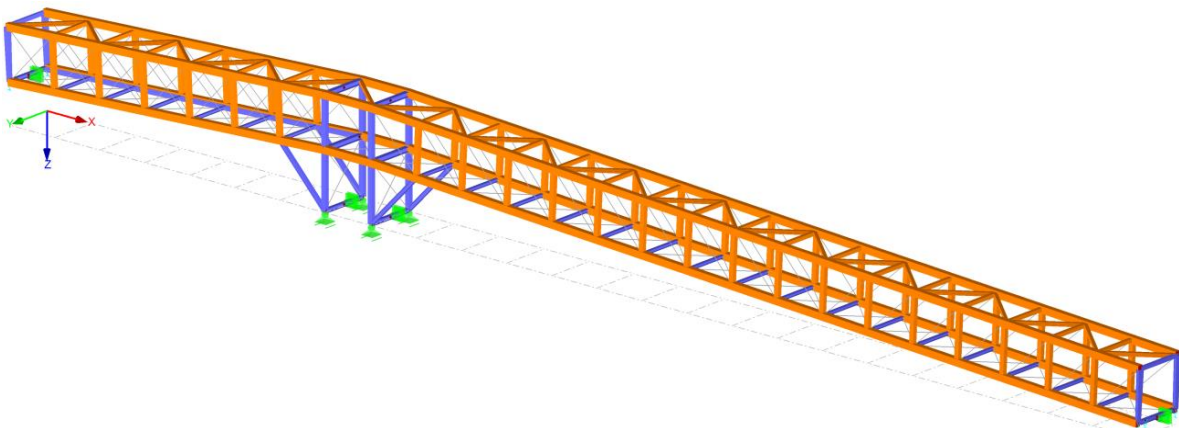


Abbildung 4: 3D-Modell für die Bemessung

Neben den «normalen» Beanspruchungen aus Eigengewicht, Schnee, Wind und Verkehrslasten wurden auch Temperatur- und Feuchteänderungen erfasst. Dieses war erforderlich, da Holzbauteile (Fachwerkgurte und Vertikalstäbe) und Stahlbauteile (Diagonalen der vertikalen Fachwerke, Stabilisierungsrahmen) kombiniert werden und diese ein unterschiedliches Dehnverhalten aufweisen. Zusätzlich wurde der Lastfall der einseitigen Erwärmung

des Bauwerks, z.B. durch einseitige Sonneneinstrahlung, erfasst. Da das Bauwerk mit dem kürzeren Feld die Bundesstraße B317 überquert, werden die Beanspruchungen aus Anprall am Fachwerk-Untergurt ebenfalls betrachtet.

Eine genaue Schwingungsanalyse für personeninduzierte Schwingungen war aufgrund des komplexen Systemverhaltens u.a. durch die nachgiebigen Knotenpunkte nur bedingt möglich. Praxisnah wurde eine Schwingungsanalyse an einem vereinfachten System vorgenommen, sowie Lastreserven für den Einbau möglicher Schwingungsdämpfer berücksichtigt.

Als Ergebnis aus der Bemessung folgt:

Vertikale Fachwerke als Haupttragwerk:

Obergurte	2 x b/h = 17/45 cm oder 1 x b/h = 36/45 cm, GL 32 h
Untergurte	2 x b/h = 17/45 cm oder 1 x b/h = 36/45 cm, GL 32 h
Vertikalen	b/h = 30/30 cm, GL 24 c
Diagonalen	1 bzw. 2 druckschlaffe Stahldiagonalen M36, BESISTA 540

Obenliegender Verband:

Gurte	Obergurte der vertikalen Fachwerke
Druckpfosten	2 x b/h = 10/24 cm, GL 24 c
Diagonalen	2 x b/h = 20/11,5 cm bzw. b/h = 20/24 cm, GL 24 c oder GL 32 h

Untenliegender Verband:

Gurte	Untergurte der vertikalen Fachwerke
Querträger	HEA 200, S235
Diagonalen	kreuzweise angeordnete druckschlaffe Stahldiagonalen M20 bzw. M27, BESISTA 540

2.2. Konstruktiver Holzschutz

Zur Sicherstellung einer möglichst langen Lebensdauer erhält das neue Tragwerk einen optimalen konstruktiven Holzschutz. Die als Pfettendach ausgelegte sichtbare Dachkonstruktion wird nach oben von einer Einblechung abgedeckt. Die Konstruktion hat einen Überstand von ca. 95 cm gegenüber den vertikalen Bauteilen. Durch diese Maßnahme sind die oberen Bauteile des Fachwerks und der in Obergurteebene liegende Verband geschützt. Im folgendem Bild 5 sind die geometrischen Zusammenhänge detailliert erkennbar.

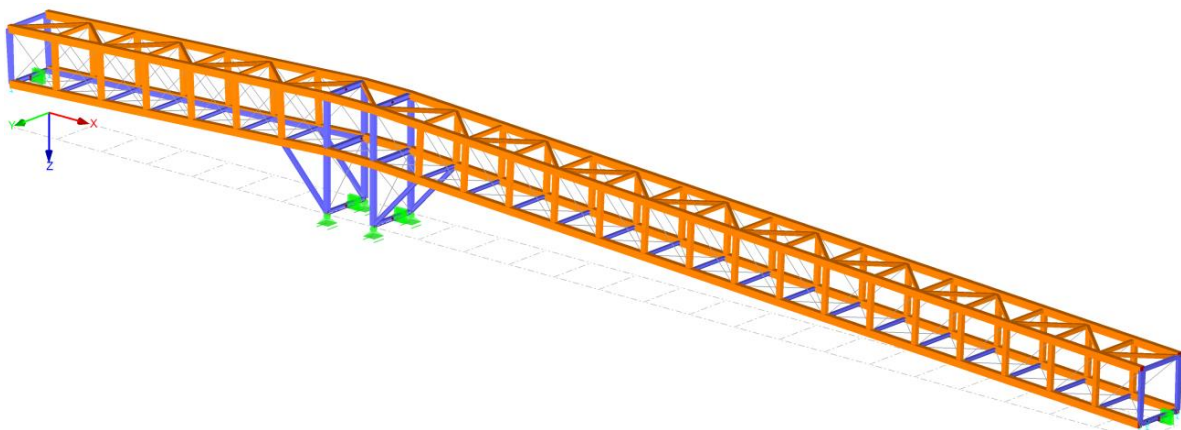


Abbildung 5: Detailbetrachtung der Dachkonstruktion als konstruktiver Holzschutz für die Obergurteebene des Haupttragwerks

Um die untenliegenden Bauteile des Fachwerks zu schützen, wird eine seitliche Verschalung bis zur Höhe des Geländerholms angeordnet, siehe Bild 6. Die Verschalung wird aus geneigt angeordneten Dreischichtplattenstreifen gebildet.

Das dann folgende Bild 7 zeigt die Anordnung der Verschalung im Bereich eines Fachwerkknotens.

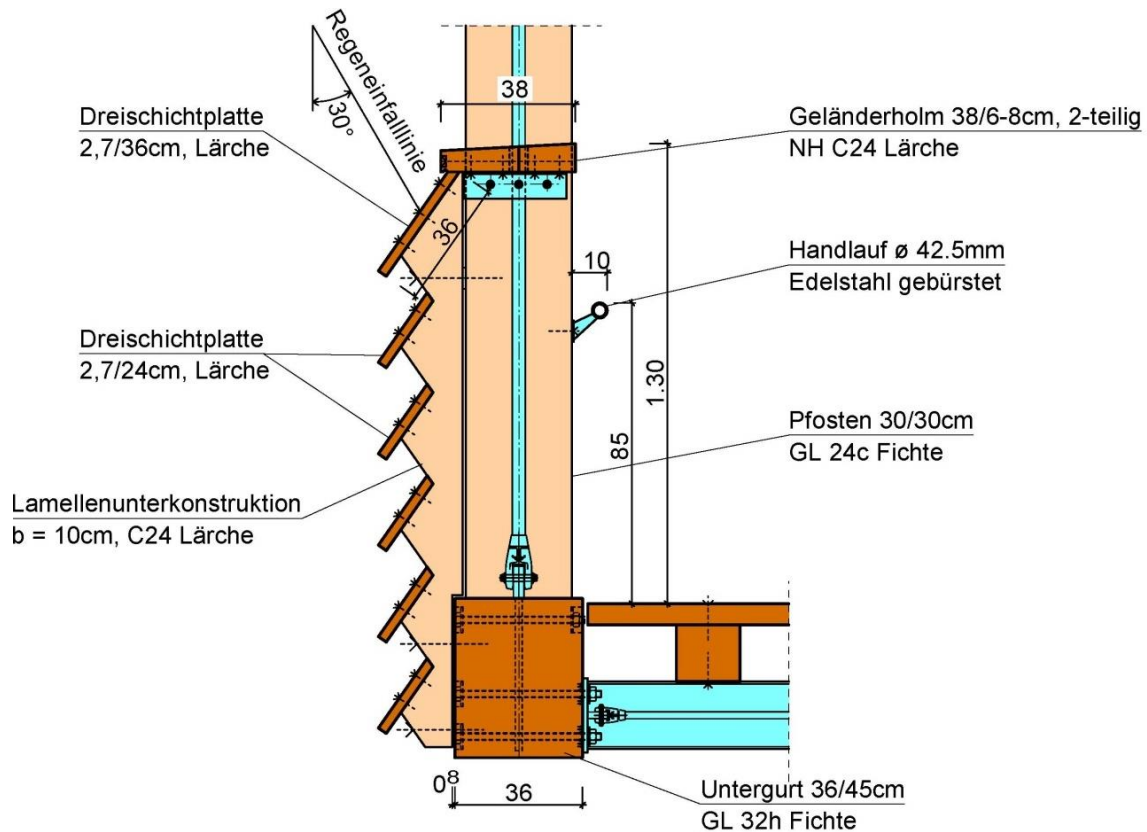


Abbildung 6: Detailbetrachtung der Wetterschutzlamellen als konstruktiver Holzschutz für die Untergurtebene des Haupttragwerks



Abbildung 7: Konstruktiver Holzschutz der unteren Fachwerkknoten

3. Fertigung

Das Gesamtbauwerk wurde in sieben Segmente mit Längen von ca. 10,0 bis 13,50 m sowie den mittleren Auflagerbock aufgeteilt und in einem Werk in Fresenburg vorproduziert. Die einzelnen Abschnitte bestehen aus den seitlichen Haupttragwerken, den unten und oben liegenden Verbänden, dem Belag und der seitlichen Verschalung. Die Segmente haben ein maximales Gesamtgewicht von ca. 15 Tonnen. Die Dachkonstruktion wird erst später vor Ort ergänzt, da sonst die zulässigen Abmessungen für den Transport überschritten werden.



Abbildung 8: Brückensegment während der Fertigung

Gemäß der Entwurfsvorgabe wird der gesamte Überbau in der Ansicht gekrümmt ausgeführt. Die einzelnen Segmente von ca. 13,0 m müssen daher mit einer Überhöhung von bis zu 5 cm hergestellt werden, damit sich harmonische Übergänge an den Stößen ergeben. Eine besondere Aufgabenstellung lag in der Definition der vorzusehenden Überhöhung für die Fertigung, da hierbei die Nachgiebigkeiten sowie der Schlupf der vielen Knotenpunkte und Gurtstöße berücksichtigt werden muss. Aufgrund der barrierefreien Bauweise durfte eine Überhöhung nicht «auf der sicheren Seite» größer gewählt werden. Um nicht alle Auswirkungen aus den Überlegungen erst vor Ort im Lörrach zu sehen, wird das gesamte Bauwerk schon «Probe halber» in Fresenburg aufgebaut.

Die einzelnen Segmente werden dann über Gurtstöße miteinander verbunden. Die stählernen Diagonalen des Haupttragwerks müssen nach dem Zusammenfügen der einzelnen Segmente nur eingesetzt werden. Die Holzdiagonalen aus den Horizontalverbänden werden i.d.R. zweiteilig ausgeführt, um den nachträglichen Einbau an den angeordneten Blechen mit den zugehörigen Stabdübeln und Passbolzen überhaupt durch Montage von unten bzw. oben zu ermöglichen.

Ein typischer Gurtstoß ist in folgendem Bild 9 dargestellt:

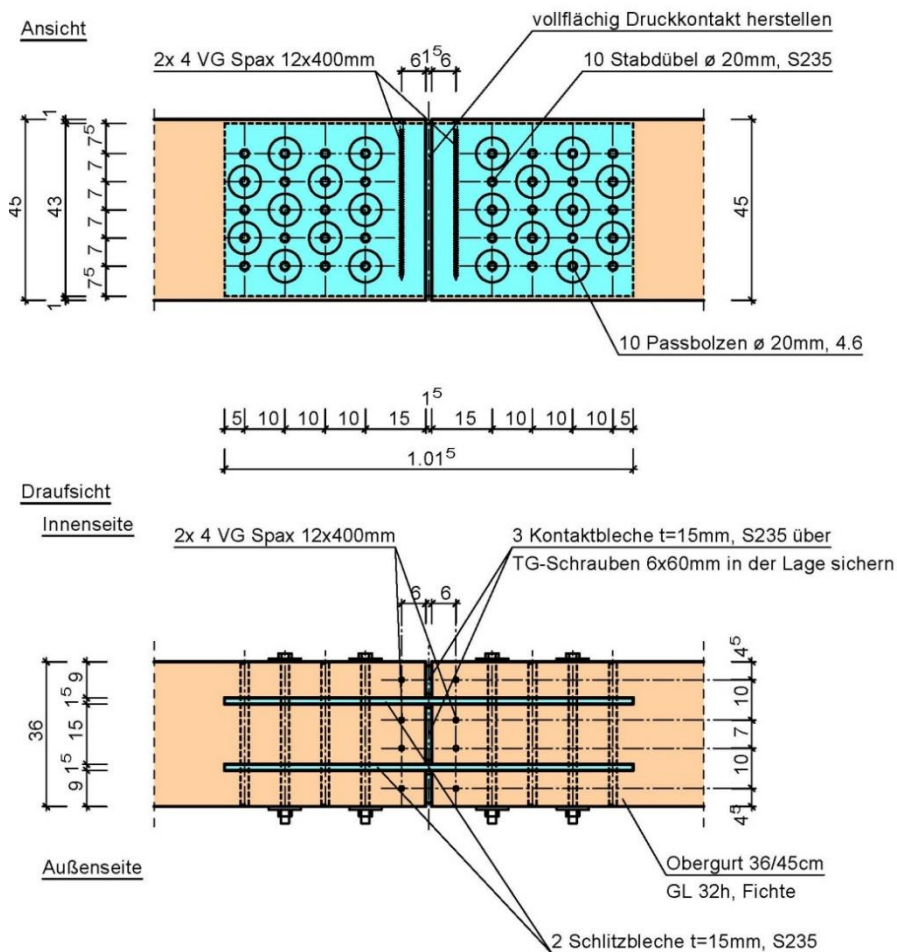


Abbildung 9: geplanter Gurtstoß



Abbildung 10: am Bauwerk umgesetzter Gurtstoß

Da teilweise sehr große Beanspruchungen in den Zugstößen der Gurte übertragen werden müssen und eine Anschlussgeometrie über Stabdübel oder Passbolzen aufgrund der erforderlichen Blechlängen nicht mehr sinnvoll ist, wurde eine Anschlussmöglichkeit entwickelt, die auf der Baustelle ohne großen Aufwand für z.B. Durchbohren von Blechen umsetzbar ist.

Es werden seitlich Bleche $t = 20$ mm angeordnet. Durch diese Bleche werden Vollgewindeschrauben 12×350 mm eingeschraubt, siehe Bild 11. Die Senkköpfe der Schrauben werden passgenau in die Bleche eingelassen. Um ein gleichmäßiges Eindrehen der Schrauben und damit einen gleichmäßigen Kräfteintrag zu ermöglichen, wurde mit Unterstützung der Firma SPAX ein Verfahren angewendet, das für Vollgewindeschrauben das Drehmoment beim Einschrauben misst.

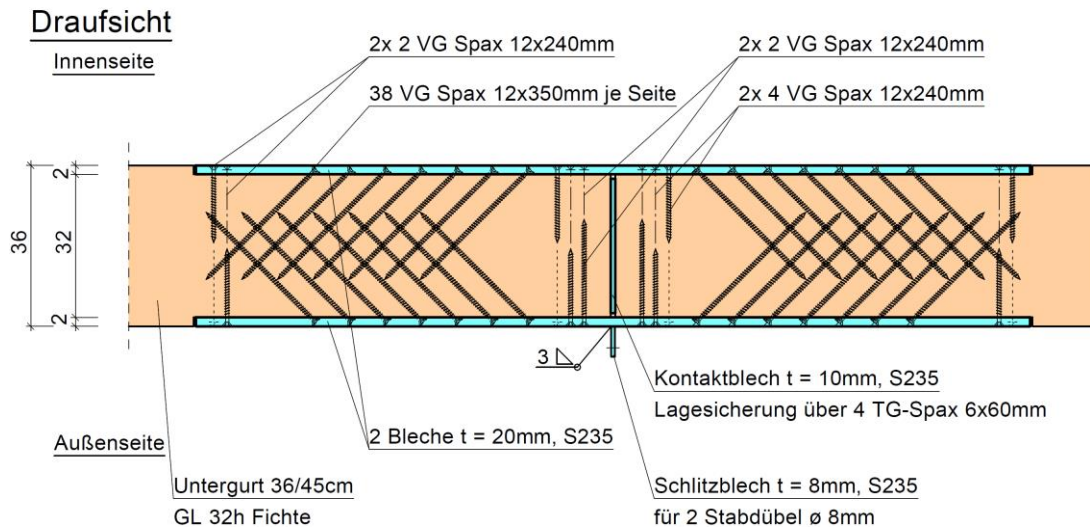


Abbildung 11: geplanter Gurtstoß mit außenliegenden Blechen und durchgeschraubten VG-Schrauben

Einschrauben einer Vollgewindeschraube

Das Einschrauben einer Schraube und somit das einwirkende Drehmoment stellt eine große Beanspruchung für die Schraube dar. Dabei kann das aufzubringende Drehmoment in zwei Phasen aufgeteilt werden.

Zu Beginn wirkt das Einschraubdrehmoment und am Ende das Kopfversenkmoment (wenn der Kopf in das Holzbauteil versenkt wird oder auf dem Holz aufliegt) bzw. das Bremsmoment (wenn der Senkkopf auf das vorgesenkte Stahlteil trifft und Reibung erzeugt).

Dabei soll das Kopfversenkmoment / Bremsmoment wesentlich größer als das Einschraubdrehmoment sein. Das Einschraubdrehmoment wird durch Schraubenabmessungen und Holzarten beeinflusst. Das richtige Vorbohren der Holzbauteile über die gesamte Schraubenlänge reduziert das Einschraubdrehmoment wesentlich.

Das Bremsmoment und später die planmäßige Kraftübertragung von der Schraube in die Stahlplatte (und umgekehrt) ist von der richtig vorgesenkten Stahlplatte abhängig. Passt die Senkung im Stahlteil nicht zum Senkkopfwinkel, dann entsteht nahezu kein Versenkmoment und die spätere Kraftübertragung findet konzentriert auf einer kleinen Fläche/Linie statt. Das kann Risiken sowohl für die Verschraubung als auch für die Verwendung bergen. In Vorversuchen wurde die Verbindung auf ein möglichst geringes Einschraubdrehmoment ausgelegt.

Mittels eines handgeführten Akkuschräubers mit einem integrierten Drehmoment- und Drehwinkelsensor wurde ein präzises Abschaltdrehmoment voreingestellt und jeder Schraubvorgang kann anhand von Datentransfer ausgelesen und dokumentiert werden. Letztendlich war es mit diesem Schrauber möglich, über ein definiertes Abschaltdrehmoment alle Schrauben mit dem gleichen Bremsmoment zu verschrauben und somit die gleichmäßige Kopfaufgabe aller Schrauben im Stahlteil zu gewährleisten.

4. Demontage

Zeitlich parallel zur Fertigung des neuen Bauwerks musste die Bestandsbrücke zurückgebaut werden. Das Bauwerk sollte nicht komplett vor Ort zerlegt werden, um Verschmutzungen und sonstige Beeinträchtigungen zu minimieren, da sich der Standort in einem Naturschutzgebiet befindet.

Es sollten möglichst wenige Schnitte durch die Gurte vorgenommen und dann die einzelnen Segmente ausgehoben werden. Da die dann geschaffenen statischen Systeme der einzelnen Segmente von der Bestandssituation abweichen, wurden umfangreiche Überlegungen und statische Berechnungen angestellt.

5. Montage

Nachdem die einzelnen Elemente vorgefertigt und an den Zielort transportiert waren, musste das Montagekonzept umgesetzt werden, siehe Bild 13 auf der folgenden Seite. Als erstes wurden 2 Segmente auf einem Montageplatz zusammengefügt und das Dach aufgebracht. Dieser erste Abschnitt sollte die B317 überdecken und gleichzeitig bis auf die Übergänge fertig eingebaut werden, um Gerüststellungen zu vermeiden, die eine längere Sperrpause für die viel befahrene Bundesstraße B317 bedeutet hätte. Das Einheben wurde mit einem 500 t-Kran an einem Samstagmorgen vorgenommen. Dieser Bauzustand ist auf dem folgenden Bild 12 zu sehen.



Abbildung 12: bereits eingehobener Montageabschnitt 1 über der B317

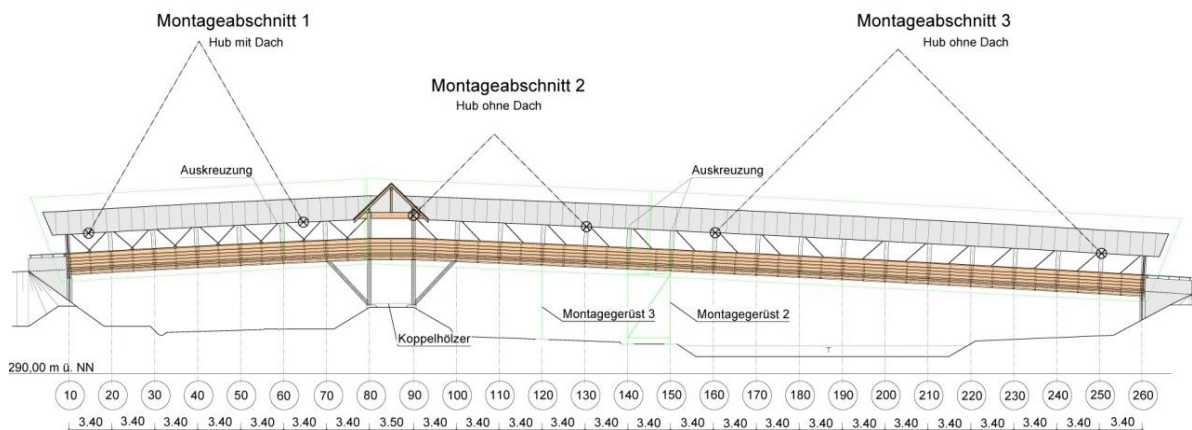


Abbildung 13: Planung der Montageabschnitte

Der Montageabschnitt 2 des Überbaus wird auf den Stahlstützen der Achse 90 und einem Montagegerüst zwischen den Achsen 140 und 150 abgelegt, siehe Bilder 14 und 15. Die Zwischenstützung in Achse 120 wird vorgesehen, um einen zu großen Durchhang des Montageabschnitts 2 zu verhindern, da die eingebauten Diagonalen für den Endzustand ausgelegt sind. Im Montagezustand tragen nicht alle Diagonalen mit, da sie aus der Stabwerksberechnung zur Montage planmäßig Druckkräfte erhalten, dafür aber nicht ausgelegt werden können.



Abbildung 14: Blick gegen Achse 80 und 90 als Koppelstelle zwischen Montageabschnitt 1 und 2
Dann werden die fehlenden «Gurtstücke» zwischen den Achsen 80 und 90 eingebaut.



Abbildung 15: Blick gegen das Montagegerüst zwischen Achse 140 und 150 mit Pressenauflegemöglichkeit
Am Montagegerüst zwischen den Achsen 140 und 150 besteht die Möglichkeit, die Höhenlage des Überbaus über Pressen fein zu justieren. Das ist erforderlich, um beim Einheben des Montageabschnitts 3 die endgültige Gradienten zu erreichen und so die gewünschte Überhöhung in der Ansicht zu ermöglichen.

Am Sonntagmorgen wird dann der Montageabschnitt 3 eingehoben, siehe Bild 16.



Abbildung 16: Montageabschnitt 3 beim Einheben

Der Montageabschnitt 3, bestehend aus drei Segmenten, wird ohne Dachkonstruktion versetzt, da das Gewicht für die reine Holzkonstruktion so schon bei etwa 45 Tonnen liegt. Eine weitere Steigerung des Gewichts wäre gleichbedeutend mit einem größeren Kran gewesen. Dieser hätte allerdings die Baustelle bzw. den Stellplatz nicht erreichen können.

Die auf dem Bild 16 erkennbare Neigung des Montageabschnitts wurde im Zuge der Montagestatik anhand der Gewichtsverteilung und der Anschlagpunkte errechnet und durch die Länge der Gehänge ermöglicht. Diese Neigung spiegelt den Einbauzustand wieder und war notwendig, um die Übergangsbereiche zum Montageabschnitt 2 mit den erforderlichen Tangentenwinkeln zu schaffen.

In Bild 17 sind die Übergangsbereiche mit den Knotenblechen genau zu erkennen. Der Montageabschnitt 3 muss noch abgelassen werden.

Da sich nach dem Verbinden der Obergurte und ablassen des Montageabschnitts 3 erstmals die Beanspruchung des Endzustandes in den Fachwerkgurten einstellt, sich dadurch auch die Normalkräfte in den Gurten maßgeblich verändern (aus Druck- werden Zugkräfte und umgekehrt), musste in der Montagestatik dieser Last- bzw. Lagerungsfall unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel erfasst und bewertet werden.

Es war nicht möglich, den Montageabschnitt 3 auf dem Montagegerüst 2 und dem Auflager in Achse 260 aufzulegen und dann die Verbindung zum Montageabschnitt 2 zu bringen. Der dann als Einfeldsystem tragende Montageabschnitt 3 weist für den Obergurt im Montagezustand Druckkräfte aus, im Endzustand wirken allerdings in großen Bereichen Zugkräfte. Durch die Pressen auf dem Montagegerüst 2 konnte eine höhere Lage simuliert werden. Die Gurte wurden verbunden und dann der Montageabschnitt 3 abgelassen. Durch die Regulierung bzw. das Ablassen der Pressen wurde dann der Endzustand erreicht. Die prognostizierte Höhenlage wurde mit einer Genauigkeit von 10 mm erreicht. Nach Aufbringen der restlichen Last aus der Dachkonstruktion und der restlichen noch fehlenden Verschalung wird die exakte Position erreicht.



Abbildung 17: Übergangsbereich zwischen Montageabschnitt 2 und 3

Im Bild 17 sind die beiden Möglichkeiten der Gurtverbindungen gut aufgezeigt. Der Obergurt wird mittels Schlitzblechen und Stabdübeln und Passbolzen verbunden, wie in den Bildern 9 und 10 dargestellt. Der Untergurtstoß wird mit außenliegenden Blechen und Vollgewindeschrauben realisiert, siehe auch Bild 11.

Nach zwei Tagen Montage und diversen Stunden ergänzender Arbeiten für das Aufbringen der noch fehlenden Dachkonstruktion und dem Schließen der Geländer, Verschalungen und Bohlenbereiche steht die neue Brücke seit Anfang Juli über der B317 und über der Wiese.

6. Projektbeteiligte

Bauherr	Bundesrepublik Deutschland Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg
Planung	Regierungspräsidium Freiburg Abt. 4 Straßenwesen und Verkehr Ref. 43 Ingenieurbau Dipl.-Ing. (FH) Jonathan Becker Bissierstraße 7 79114 Freiburg
Prüfingenieur	Dipl.-Ing. Rouven Erhardt Prüfingenieur für Bautechnik Irma-Feldweg-Straße 8 75179 Pforzheim
Tragwerks- und Ausführungsplanung	HSW-Ingenieure Prof. Schiermeyer · Dr.-Ing. Wiesner Kirchstraße 8 32547 Bad Oeynhausen
Ausführung	Schmees & Lühn Holz- und Stahlingenieurbau GmbH Lathener Straße 69 49762 Fresenburg