



Foto: DB Projekt Stuttgart-Ulm GmbH / Janik Walter

## Außergewöhnliche Eisenbahnbrücke über das Filstal

Igor Zaidman  
Marc Schumm  
Peter Kotz  
Tobias Steigerwald

# Außergewöhnliche Eisenbahnbrücke über das Filstal

## Entwurf, Planung und Ausführung des neuen Wahrzeichens von Baden-Württemberg

Die EÜ Filstal ist Teil des Projektabschnitts Albaufstieg der Neubaustrecke Wendlingen–Ulm und stellte die Beteiligten mit der Abfolge Tunnel – Brücke – Tunnel in der vorhandenen Topografie mit den steilen Talflanken des Filstals vor besondere Randbedingungen, denen im Brückenentwurf sowie in der Bauausführung Rechnung getragen werden musste. Aufgrund der anschließenden Tunnel mit 30 m Gleisabstand waren zwei unabhängige Brückenbauwerke erforderlich. Daher wurden zwei eingleisige Brückenbauwerke als fugenlose Durchlaufträger mit 485 m bzw. 472 m Länge über sechs Felder in semi-integraler Bauweise entworfen. Im Bereich der Y-förmigen Hauptpfeiler ist die Voute in aufgelöster Form mit flach geneigten Schrägstielen ausgebildet. Der Überbau ist ein einzelliger Hohlkastenquerschnitt, in Längsrichtung vorgespannt und in Querrichtung schlaff bewehrt. Die dritthöchste Eisenbahnbrücke Deutschlands überquert das Filstal in einer lichten Höhe von 75 m. Große Herausforderungen in der Planung und Bauausführung waren u. a. die Ausbildung der monolithischen Anschlüsse sowie die Längskraftabtragung des semiintegralen Bauwerks mit seinen schlanken Pfeilern. Im Rahmen der Bauausführung erfolgte zunächst die abschnittsweise Herstellung des Überbaus mit oben laufender Vorschubrüstung auf Hilfstürmen zur bauzeitlichen Zwischenunterstützung. Nach der Fertigstellung des Überbaus wurden die Schrägstiele auf einem abgehängten Traggerüst unterbetoniert, wobei am Überbauanschluss selbstverdichtender Beton (SVB) zum Einsatz kam. Die Gesamttonnage der Bauhilfskonstruktionen belief sich auf ca. 3500 t je Brücke.

**Stichworte** Eisenbahnbrücke; Hochgeschwindigkeit; Spannbetonbrücke; semiintegral; filigran; Y-Pfeiler; eingleisig; selbstverdichtender Beton; Vorschubrüstung; Building Information Modeling (BIM)

### 1 Einleitung

Aufgrund des hohen Zugverkehrs auf den bestehenden Gleisanlagen der Bahnstrecke Stuttgart–Ulm–Augsburg wird die bestehende Eisenbahninfrastruktur durch den Bau von zwei zusätzlichen Gleisen ausgebaut. Die ca. 60 km lange Neubaustrecke Wendlingen–Ulm ist ein wesentlicher Teilbereich dieser Bahnstrecke und als Bestandteil des Transeuropäischen Verkehrsnetzes nach den Richtlinien der Technischen Spezifikation Interoperabilität (TSI) zu planen. Die NBS Wendlingen–Ulm ist für Güterzüge und Reisezüge im Hochgeschwindigkeitsverkehr mit 250 km/h ausgelegt, wodurch sich die

**Extraordinary railroad bridge over the Filstal valley – basic and detailed design of the new landmark of Baden-Württemberg**

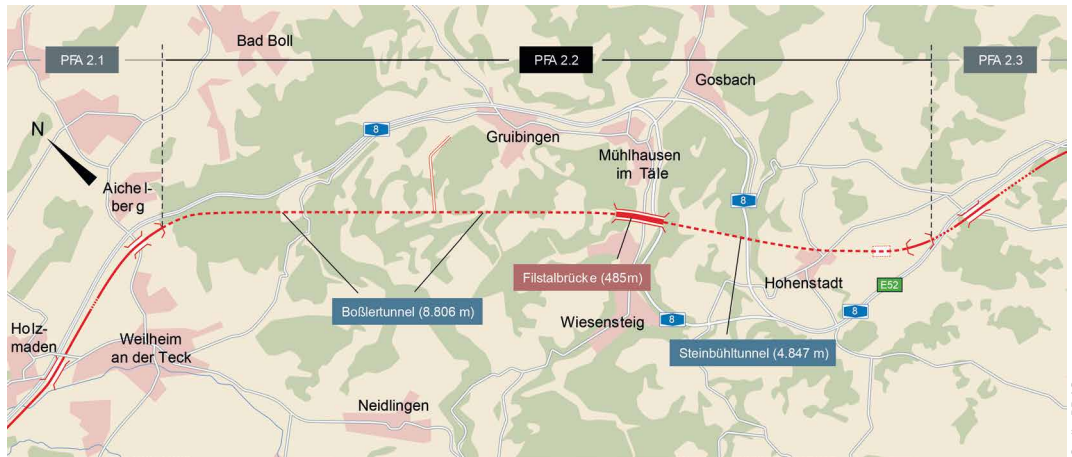
The Viaduct Filstal is part of the Albaufstieg project section of the new railway line Wendlingen–Ulm, and its tunnel-bridge-tunnel sequence within the existing topography and the Filstal's steep valley slopes presented the project participants with special conditions that had to be taken into account in the bridge design as well as during construction work. The adjoining tunnels with 30 m track spacing required two independent bridge structures. Therefore, two single-tracked bridge structures were designed as jointless continuous girders with a length of 485 m and 472 m respectively, running over six spans and built as semi-integral structures. In the area of the Y-shaped main piers, the haunch is designed in a dissolved form with shallow inclined struts. The superstructure is a single-cell box girder section prestressed in longitudinal direction and mildly reinforced in transverse direction. The third-highest railroad bridge in Germany crosses the Filstal valley at a clear height of 75 m. A major challenge for design and construction of the semi-integral structure with its slender piers was, among other things, the design of the monolithic connections and the longitudinal force transfer due to breaking loads. The selected construction method envisaged to initially build the superstructure in sections with top-running launching truss on auxiliary towers for temporary support during construction. After completion of the superstructure, the inclined piers were concreted underneath on a suspended scaffolding, and self-compacting concrete (SCC) was used at the superstructure connection. The total tonnage of the auxiliary construction structures amounted to approx. 3500 t per bridge.

**Keywords** railway bridge; high-speed; prestressed concrete bridge; semi-integral; filigran; Y-column; single track; self-compacting concrete; moving scaffolding system (MSS); Building Information Modeling (BIM)

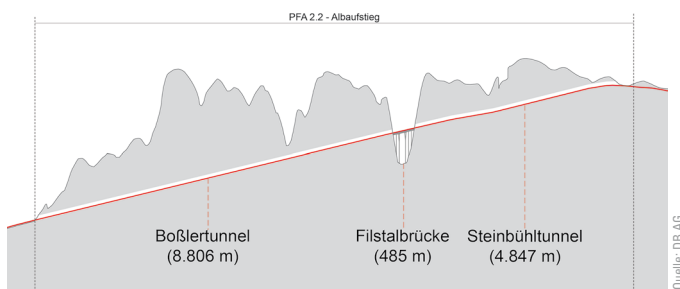
Fahrtzeit zwischen Stuttgart und Ulm im Fernverkehr auf 30 min nahezu halbiert. Ein Großteil der Strecke (ca. 50%) führt unterirdisch in insgesamt elf Tunnelbauwerken, ansonsten folgt sie auf Geländeneiveau in enger Bündelung zur parallel verlaufenden BAB A 8. Hier wurden 37 Eisenbahn- und Straßenbrücken erforderlich, darunter die mit rd. 75 m Höhe dritthöchste Eisenbahnbrücke Deutschlands über das Filstal.

Die EÜ Filstal liegt im 15 km langen Projektabschnitt Albaufstieg (PfA 2.2). Der Anstieg auf die Albhochfläche erfolgt hier mit einer Längsneigung von 25‰ zunächst im 8,8 km langen Boßlertunnel und anschließend im





**Bild 1** Lageplan NBS Wendlingen–Ulm PfA 2.2  
Site plan of the new railway line Wendlingen–Ulm PfA 2.2

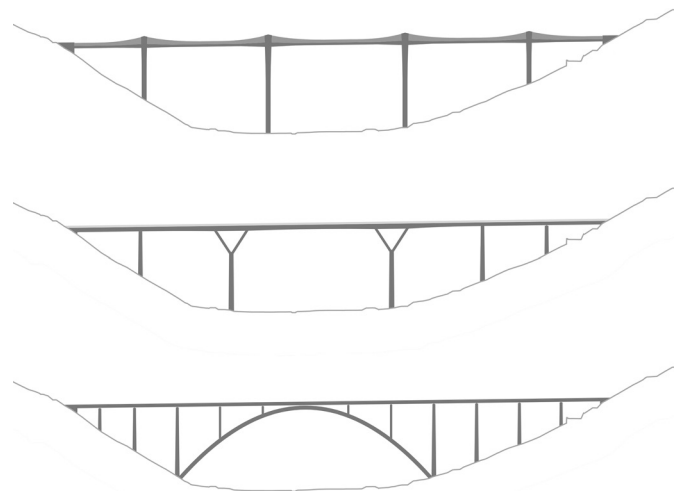


**Bild 2** Längsschnitt NBS Wendlingen–Ulm PfA 2.2  
Longitudinal view of the new railway line Wendlingen–Ulm PfA 2.2

4,8 km langen Steinbühltunnel (Bild 1). Unmittelbar zwischen den beiden Tunneln quert die Strecke bei Mülhausen im Täle das Filstal. Da die beiden Tunnelröhren in einem bautechnisch notwendigen Abstand von 30 m liegen, ist die Zusammenführung der Gleise auf ein Brückenbauwerk nicht möglich, sodass das Filstal mit zwei eingleisigen Brückenbauwerken überspannt werden muss (Bild 2).

## 2 Variantenuntersuchungen

Beim Entwurf der Filstalbrücken musste neben den Anforderungen der Funktionalität der Ingenieurbauwerke im Zuge der Hochgeschwindigkeitsstrecke der Deutschen Bahn AG (DB) u. a. den Randbedingungen der schonenden Einbindung der Brückenbauwerke in die Kulturlandschaft und den daraus resultierenden hohen Anforderungen an die Gestaltung besondere Bedeutung zugemessen werden. Aufgrund der hohen Schutzgutbedeutung des unmittelbaren Landschaftsbereichs der Fils und der Querung des Trinkwasserschutzgebiets sowie der schützenswerten Biotope waren die Pfeilerstellungen auf ein Minimum zu reduzieren, sodass eine Planung gemäß Rahmenplanung Talbrücken (RIL 804.9020) [1] als Durchlaufträger mit Regelstützweiten von 40 bis 45 m und konstanter Konstruktionshöhe von ca. 3,6 m ( $\approx Ls/12$ ) von vornherein ausschied. Folgende Varianten



**Bild 3** Brückenvarianten  
Bridge solutions

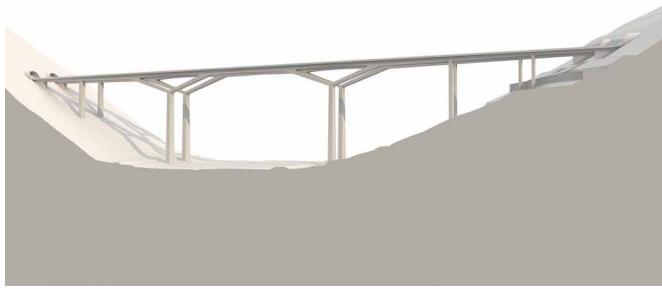
wurden im Rahmen der Vorplanung untersucht, bewertet und gegenübergestellt (Bild 3):

- Variante Bogenbrücke
- Variante Spannbetonbrücke (Y-Lösung)
- Variante Troglösung

Unter Berücksichtigung der spezifischen Randbedingungen der Filstalbrücken und der wesentlichen Kriterien zur Bewertung gemäß dem Leitfaden zur Gestaltung von Eisenbahnbrücken [2] (Form und Konstruktion, Funktionalität, Ökonomie und Ökologie) wurde die Y-Lösung sowohl in gestalterischer als auch in umwelttechnischer und in wasserwirtschaftlicher Hinsicht als Vorzugslösung ermittelt. Bei der Bogenlösung wurden die starken Beeinträchtigungen des Landschaftsbilds durch die Vielzahl an Pfeilern auf den beiden Bogentragwerken sowie in den naturnahen Talhängen als negativ angesehen. Bei der Troglösung führte u. a. der geringere Abstand der Pfeiler zur Fils bzw. zu den Trinkwassergewinnungsanlagen zu einer ungünstigeren Bewertung.

### 3 Ausschreibungsentwurf

#### 3.1 Allgemeines



**Bild 4** 3D-Darstellung der Brückenbeiratsvariante  
3D view of the final bridge alternative

Die Y-Lösung wurde daher im Rahmen der weiteren Planungen weiterverfolgt und auch im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens durch das Eisenbahnbundesamt (EBA) bestätigt. Die detaillierte Gestaltung der Tragwerkslösung für die Y-Lösung sollte jedoch anschließend noch einmal eingehend im Brückenbeirat der DB diskutiert und in einem Workshop weiter ausgearbeitet werden.

Als Ergebnis dieser sehr konstruktiven Diskussionen wurde dann letztendlich die Variante der Durchlaufträgerbrücke mit Y-förmig aufgelösten Vouten im Bereich der Hauptpfeiler und flach geneigten Schrägstielen (Bild 4: Brückenbeiratsvariante) als Grundlage für die weitere Entwurfsbearbeitung vom Brückenbeirat der DB ausgewählt.

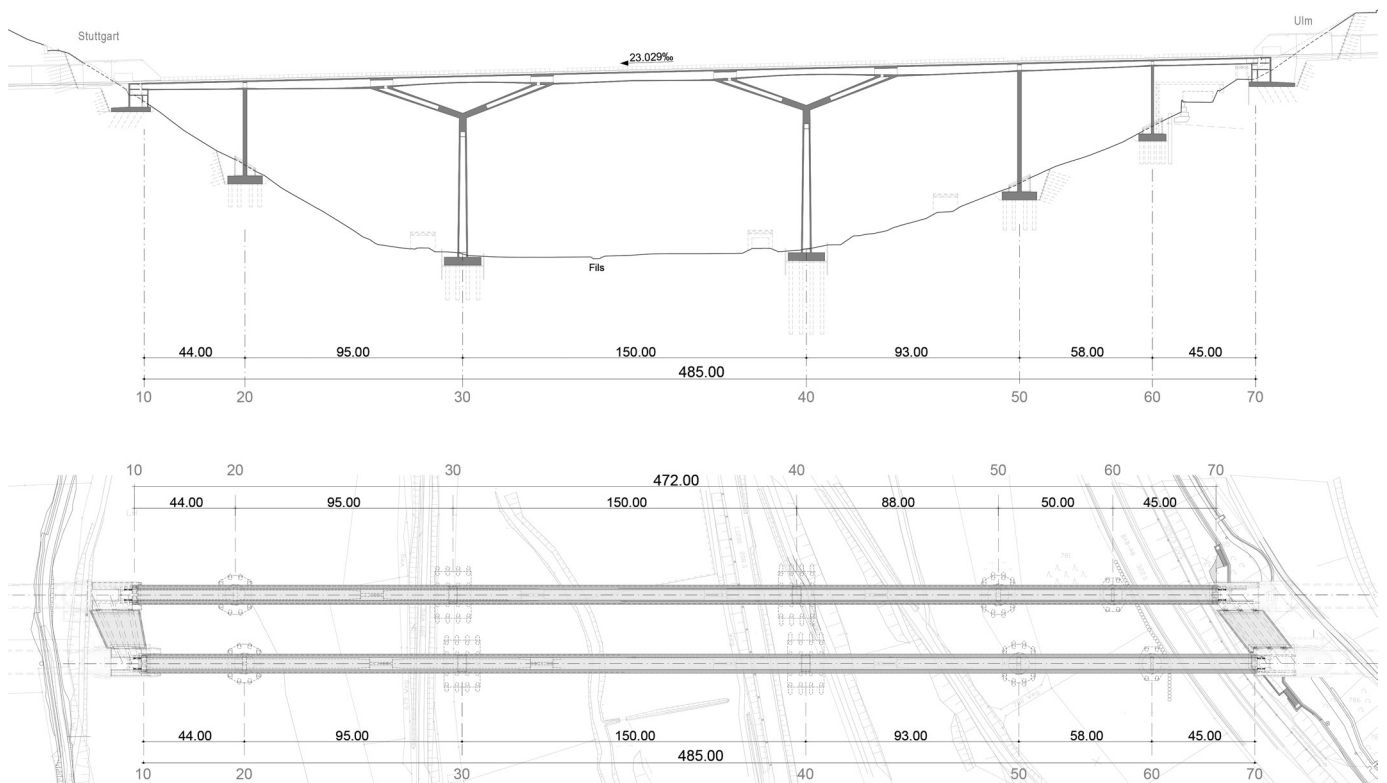
Die Brückenbauwerke sind fugenlose Durchlaufträger über sechs Felder in semiintegraler Bauweise mit monolithischem Anschluss zwischen Pfeilern und Überbau (Bild 5). Lediglich an den Brückenenden in den Widerlagerachsen sind offene Fugen mit Lagern, Ausgleichsplatten und Schienenauszügen vorhanden. Im Bereich der Hauptpfeiler ist die Voute in aufgelöster Form mit flach geneigten Schrägstielen ausgebildet. Die Stützweiten betragen:

rechtes Gleis: 44 – 95 – 150 – 93 – 58 – 45 m ( $L = 485$  m)

linkes Gleis: 44 – 95 – 150 – 88 – 50 – 45 m ( $L = 472$  m)

Der Achsabstand der Filstalbrücken beträgt 30 m und resultiert aus den angrenzenden Tunnelröhren. Dieser ergibt sich einerseits aus der Mindestlänge der Verbindungsbauwerke (Querschläge) von rd. 16 m und andererseits aus der erforderlichen minimalen Dicke des zwischen den Tunnelröhren verbleibenden Gebirgs Pfeilers der angrenzenden Tunnelbauwerke im Bereich des Weißjura.

Der Brückentwurf zeichnet sich durch eine schlanke Gestaltung mit hoher Transparenz und guter Einbindung in das charakteristische Landschaftsbild aus. Die aufgelösten Vouten mit flach geneigten Schrägstielen unterstreichen die Dynamik der Brücke, sie betonen den Kraftfluss anschaulich und ermöglichen eine Stützweite von



**Bild 5** Längsschnitt und Grundriss  
Longitudinal section and plan view of the final bridge layout

150 m im Hauptfeld ohne Zwischenpfeiler. Unter Berücksichtigung des Kreuzungswinkels zwischen der NBS-Trasse und der Hauptachse des Filstals von ca. 92 gon werden die beiden Bauwerke gegeneinander versetzt. Dabei kommen die Widerlagerachse 10 (Buch) und die Pfeilerachsen 20, 30, 40 der Brücke des linken Gleises (Richtung Stuttgart) um 4 m weiter nördlich zu liegen als die Achsen der Brücke des rechten Gleises (Richtung Ulm). Die Standorte der Unterbauten in den Achsen 50, 60, 70 sind an die topografischen Randbedingungen angepasst.

Die Widerlager bilden den Übergang von der Brücke zu den Tunneln und werden als Kastenwiderlager mit oberer Kammerdecke ausgeführt. Zwischen den Widerlagern der Brücken werden aufgrund des Abstands der Gleisachsen von 30 m Überfahrtbauwerke angeordnet, um so eine Wendemöglichkeit für Rettungsfahrzeuge zu schaffen. Die Haubenbauwerke, die zur Einhaltung der Grenzwerte der Schallemissionen aufgrund der Mikrodruckwellenthematik (Sonic Boom) erforderlich sind, lagern auf den Flügelwänden der Widerlager. Sie haben ein kreisrundes Tunnelprofil und erhalten zur Druckentlastung an der Oberseite zusätzliche Öffnungen (Schwallöffnungen), wodurch sich die Knalleffekte aus der Druckwelle des Zugs beim Einfahren in die Tunnel vermeiden lassen.

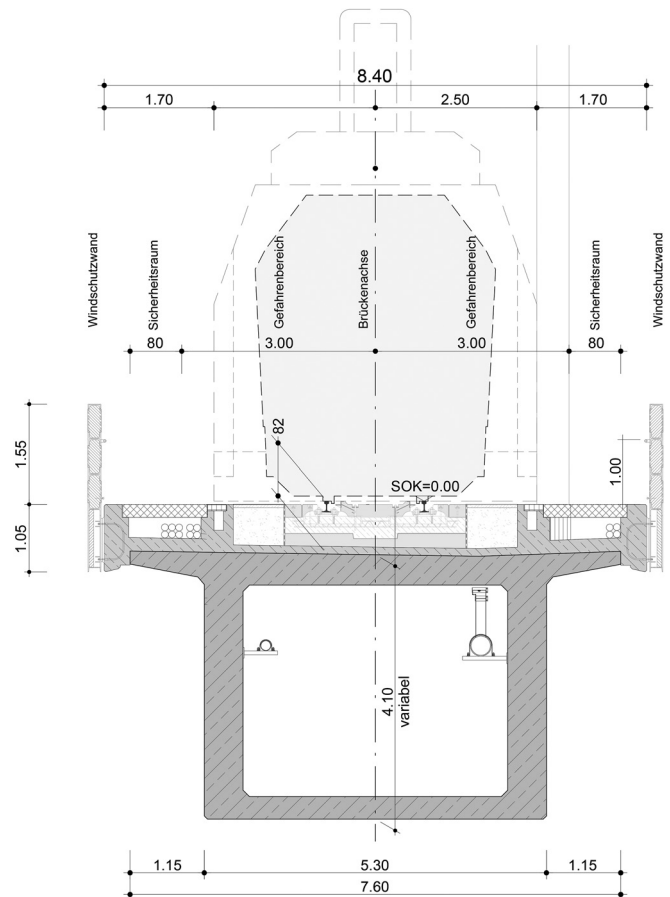
### 3.2 Überbau

Der Überbau ist ein in Längsrichtung vorgespannter und in Querrichtung schlaff bewehrter einzelliger Hohlkastenquerschnitt mit variabler Konstruktionshöhe. Diese beträgt 3,00/2,80 m an den Widerlagern und in Feldmitte der Hauptöffnung 4,00 m sowie 4,65 m an den Verzweigungspunkten der Schrägstiele. Die Breite des Überbaus zwischen den Geländern ergibt sich zu 8,34 m. Die vorgesehene Breite der Randwege und die Ausbildung der Randkappen ermöglichen den Einsatz von Brückenbesichtigungsfahrzeugen auf beiden Randwegen. Der Abstand zwischen den Außenkanten der Stege beträgt 5,30 m (Bild 6).

Um den raschen Einsatz der Rettungskräfte zu ermöglichen, wird der Oberbau auf den Filstalbrücken und in den angrenzenden Tunnelröhren (Feste-Fahrbahn-System RHEDA 2000) so ausgebildet, dass ein Befahren mit luftbereiften Straßenfahrzeugen möglich ist. Die Randwege dienen auch als Flucht- und Rettungsweg auf -5 cm unter SOK. Die Fläche wird durch abnehmbare Betonfertigteile realisiert. Die 1,5 m über SOK hohe Windschutzwand wird an der Außenseite des Gesimses befestigt und dient gleichzeitig als Abkommenschutz für Rettungsfahrzeuge auf der Brücke.

### 3.3 Lagerungssystem und Längskraftabtragung

Aufgrund der semiintegralen Tragwerkslösung war die Längskraftabtragung über die schlanken Pfeiler nicht



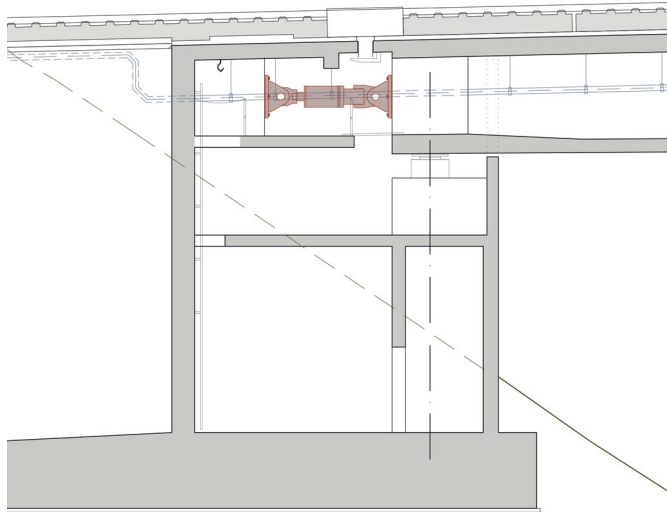
**Bild 6** Überbauquerschnitt  
Cross section of the bridge girder

möglich, sodass die Ausbildung der Widerlager als Festpunkt erforderlich wurde. Zur Abtragung der Bremslasten wurden an beiden Widerlagern Hydrobremsdämpfer (HBD) vorgesehen (Bild 7). Deren Funktionsweise ist, dass langsame Bewegungen z. B. infolge thermischer Einflüsse ohne merklichen Widerstand zugelassen, schnelle Bewegungen aus Zugbremsung hingegen blockiert werden. Der Verformungsruhepunkt für Temperaturbeanspruchungen befindet sich dann etwa in der Brückenmitte, wodurch sich die Zwangsbeanspruchungen der Pfeiler reduzieren. Da die Bremslasten direkt über die HBD abgetragen werden, können die Pfeiler sehr schlank ausgebildet werden.

## 4 Anpassungen der Entwurfsplanung

### 4.1 Alternatives Bauverfahren

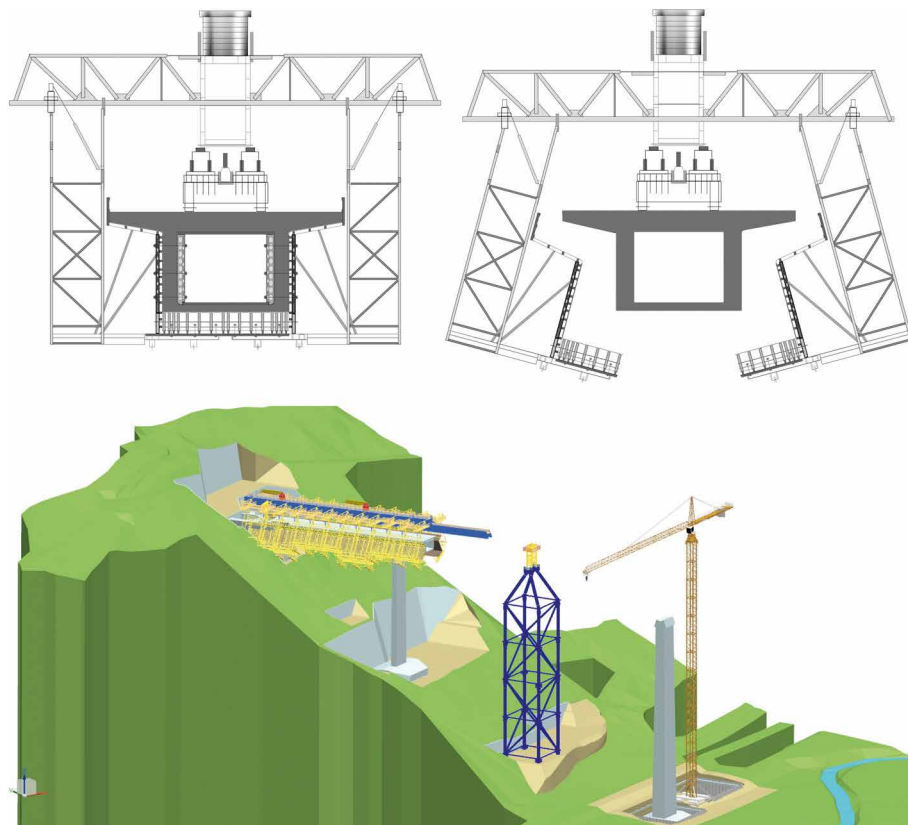
Im Ausschreibungsentwurf war die Herstellung des Überbaus und der Schrägstiele im Freivorbau vorgesehen. Von den ausführenden Baufirmen wurde ein alternatives Bauverfahren gewählt, bei dem zunächst der Überbau in zehn Abschnitten mit einer oben laufenden Vorschubrüstung auf Hilfspfeilern errichtet wurde (Bild 8) und anschließend die Schrägstiele auf einer am Überbau abgehängten Schalung unterbetoniert wurden.



**Bild 7** Ausschreibungsentwurf – Hydrobremsdämpfer in den Widerlagerachsen  
Tender design – shock transmitters in the axis of the abutement

## 4.2 Alternative Längskraftabtragung

Im Zuge der Ausführungsplanung wurde in Abstimmung mit dem Bauherrn ein alternatives Konzept zur Längskraftabtragung gewählt, bei dem der Festpunkt am Widerlager in Achse 10 angeordnet wurde. Dadurch konnte auf die Anordnung von HBD verzichtet werden, wodurch sich die Instandhaltungskosten der Brücke reduzieren lassen.



**Bild 8** Alternatives Bauverfahren – Bauausführung  
Final construction method

## 4.3 Gründungsoptimierung

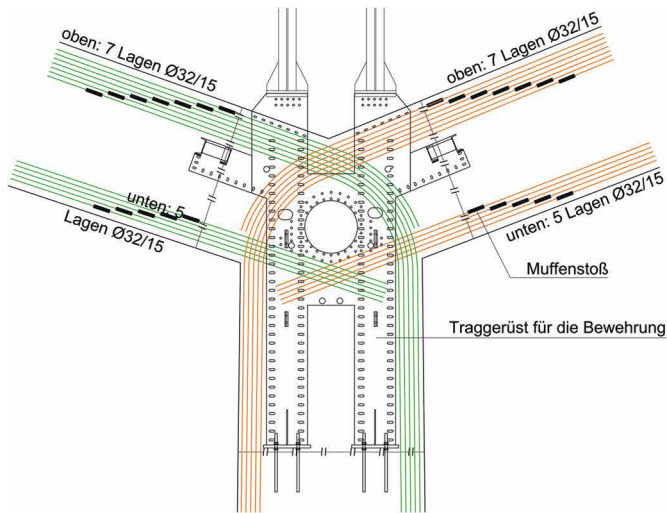
Aufgrund der vorhandenen Baugrundsituation im Filstal, u. a. auch wegen der vorliegenden Filstalverwerfung, wurden im Bereich der Hauptpfeiler Pfahlprobelastungen ausgeschrieben, mit dem Ziel, zum einen eine realitätsnahe Aussage zum Last-Verformungsverhalten der Gründung treffen zu können und zum anderen eine sichere Bemessung zu ermöglichen [3]. Die Auswertung der Pfahlprobelastungen zeigte, dass der Baugrund eine deutlich höhere Tragfähigkeit aufwies, als sich aus den Vorabuntersuchungen auf der Grundlage des Baugrundgutachtens bzw. der vorliegenden Laborwerte ergab. Aus diesem Grund konnte die Gründung optimiert und in der Achse 20 Flachgründungen im Festgestein ausgeführt werden. Weiterhin war eine Reduktion der Pfahllängen und der Pfahlanzahl in den Hauptpfeilerachsen 30, 40, 50 möglich.

## 5 Ausführungsplanung

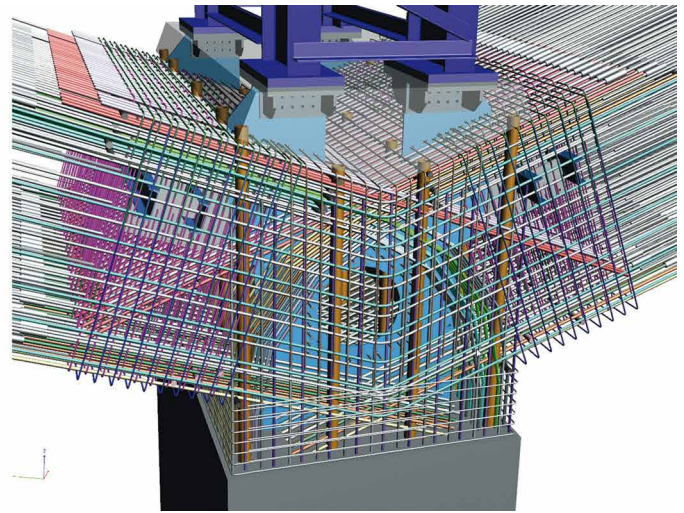
### 5.1 Semiintegrale Bauweise

Bei der semiintegralen Bauweise von Bauwerken muss grundsätzlich der realitätsnahen Erfassung der Baugrundsteifigkeit eine hohe Aufmerksamkeit geschenkt werden, da infolge der biegesteif angeschlossenen Pfeiler Zwangsbeanspruchungen aus Kriechen und Schwinden bzw. aus Temperatur und aus Verkehrslasten resultieren. Mit einer vorab durchgeführten Sensitivitätsanalyse konnte gezeigt





**Bild 9** Bemessung und Bewehrungsführung Y-Knoten  
Reinforcement Y-knot



werden, dass eine Grenzwertbetrachtung mit oberen und unteren Baugrundkennwerten für alle Achsen hinreichend genaue Ergebnisse liefert.

## 5.2 Untersuchte Systeme

Neben der Baugrundsteifigkeit sind auch der Elastizitätsmodul und die rheologischen Effekte des Betons streuende Größen, die nur durch obere bzw. untere Grenzwerte berücksichtigt werden können. Um eine realistische Größenordnung der Effekte zu erhalten, wurden Versuche mit den zur Anwendung kommenden Betonsorten durchgeführt und die experimentell validierten Werte für Kriechen und Schwinden in der statischen Berechnung berücksichtigt. Aufgrund des gewählten Bauverfahrens mit Vorschubrüstung unterscheiden sich die Systeme im Bau- und Endzustand voneinander, weshalb die Schnittgrößen im Endzustand von den jeweiligen Kriech- und Schwindumlagerungen abhängen. Im Bereich der aufgelösten Voute war zusätzlich zu berücksichtigen, dass es durch das Kriechen und Schwinden des Betons im Überbau zu Spannkraftverlusten infolge des Abwanderns der Vorschubrüstung kam. Die in Tab. 1 aufgeführten vier Systeme wurden untersucht.

**Tab. 1** Grenzwertbetrachtungen – untersuchte Systeme  
Limit value consideration – examined systems

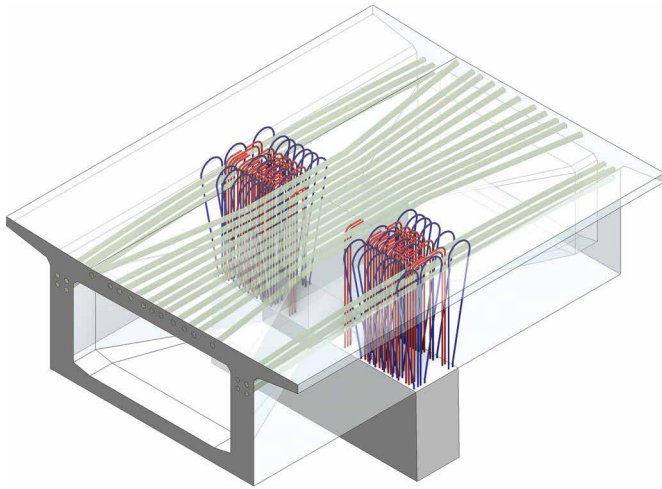
	Baugrund- steifigkeit	E-Modul Beton	Kriechen und Schwinden
System 1	steif	hoch	hoch
System 2	steif	hoch	niedrig
System 3	weich	niedrig	hoch
System 4	weich	niedrig	niedrig

## 5.3 Statisches System und Modellierung

Die Modellierung der Knotenbereiche zwischen den flach geneigten Schrägstielen und dem Überbau erfolgte mit Koppelbedingungen, die an einem dreidimensionalen Volumenmodell abgeleitet werden konnten. Der komplette Bauablauf einschließlich der Hilfsunterstützungen und der Vorschubrüstung wurde im statischen System abgebildet, um das reale Tragverhalten der Gesamtkonstruktion erfassen zu können. Der Überbau wurde feldweise errichtet, wobei jeder Bauabschnitt in zwei Teilen betoniert wurde (Trog bzw. Fahrbahnplatte). Die oben laufende Vorschubrüstung wurde als Biegeträger mit der abgehängten Schalung vollständig im Modell abgebildet. Dies war erforderlich, da beim Betonieren der Fahrbahnplatte der vorab hergestellte Trogquerschnitt und die Vorschubrüstung zusammenwirken, d. h., dass sich die Lasten aus dem Betonieren der Fahrbahnplatte entsprechend den Steifigkeitsverhältnissen auf den Trog und auf die Vorschubrüstung aufteilen.

## 5.4 Knotennachweise

Die monolithischen Anschlüsse (Knotenpunkte) zwischen Überbau und den Schrägstielen wurden mit räumlichen Stabwerkmodellen bemessen. In den Schrägstielen treten Drucknormalkräfte von bis zu  $180 \text{ MN} = 18.000 \text{ t}$  im Grenzzustand der Tragfähigkeit auf, die über eine verzahnt ausgebildete Fuge zwischen Überbau und Schrägstiel übertragen werden. Am Knotenpunkt zwischen den Schrägstielen und dem aufgehenden Pfeiler (Y-Knoten) waren neben der Normalkraft auch erhebliche Biegemomente zu berücksichtigen. Aus der Bemessung ergaben sich an dieser Stelle an der Unterseite der Schrägstiele fünf Bewehrungslagen  $\text{Ø}32\text{-}15$  und an der Oberseite sieben Lagen  $\text{Ø}32\text{-}15$ . Im Y-Knoten wurden ein Beton C50/60 und ca. 100 t Bewehrung eingebaut (Bild 9), was einem Bewehrungsgehalt von ca.  $235 \text{ kg/m}^3$  entspricht.



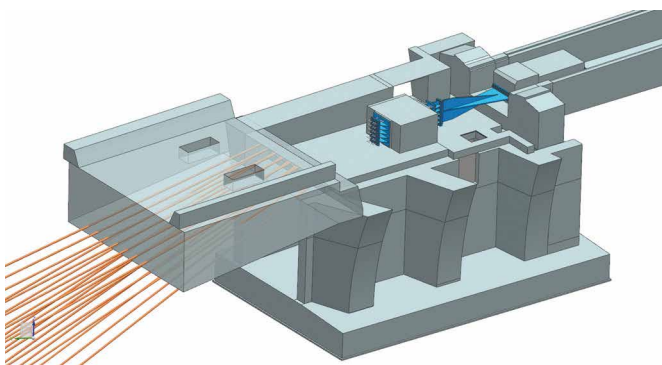
**Bild 10** Bemessung und Bewehrungsführung T-Knoten  
Reinforcement T-knot

Für den Einbau dieser Bewehrung war ein separates stählernes Traggerüst erforderlich, das zusätzlich als Rückverankerung der Zugkräfte der darüberliegenden Hilfsstütze diente.

Bei den monolithischen Anschlüssen der schlanken Pfeiler in den Achsen 20, 50, 60 an den Überbau (T-Knoten) stand zur Einleitung der Kräfte und Momente aus den Pfeilern in den Überbau aufgrund der 1,20 m breiten Inspektionsöffnung im Hohlkasten lediglich eine effektive Breite von 4,10 m zur Verfügung. In diesem Bereich musste dann die erforderliche Längsbewehrung der Pfeiler am oberen Ende des Überbaus schlaufenartig umgelenkt und wieder nach unten geführt werden (Bild 10).

## 5.5 Alternative Längskraftabtragung in Achse 10

Durch die alternative Anordnung des Festpunkts in Achse 10 mussten zur Übertragung der Zugkräfte am Widerlager zusätzliche Felsanker zur Rückverankerung eingebracht werden (21 Litzenanker mit zwölf Litzen  $140 \text{ mm}^2$  St1660/1860 und Längen zwischen 24 m und 34 m). Hauptbestandteil des Festpunkts ist die doppelt verschränkte Federlamelle aus zwei Blechen mit einer Dicke von 70 mm in der Stahlgüte S460 und einem Ge-



**Bild 11** Festpunkt Achse 10 – Federlamelle  
Longitudinal fixed point – steel construction

wicht von ca. 6,5 t (Bild 11), die auf Zug- und Druckkräfte von ca. 25 MN auszulegen war. Mit der doppelt verschränkten Form der Federlamelle werden die Kräfte aus dem Überbau in das Widerlager übertragen, durch die Biegeweichheit der Bleche entsteht jedoch keine relevante Einspannung des Überbauendes. Die Federlamelle wird über Verankerungsstühle im Überbau- und Widerlagerbereich mit verbundlosen Stabankern  $\varnothing 40 \text{ mm}$  S950/1050 der Fa. DSI rückverankert.

Durch die Anordnung des Festpunkts in Achse 10 entstanden die maximalen Zwangsbeanspruchungen infolge Temperatur, Schwinden und Kriechen in der Pfeilerachse 60, da dieser Pfeiler den größten Abstand zum Festpunkt hat. Es musste dort eine zusätzliche Nachgiebigkeit der Gründung geschaffen werden. Daher wurde die Gründung des Pfeilers auf eine einreihige Bohrpfehlgründung mit Pfählen  $\varnothing 150 \text{ cm}$  (Länge 25 m) umgestellt, wobei die Bohrpfähle auf den oberen 7 m durch eine stählerne Hülse vom umgebenden Erdreich konstruktiv getrennt sind. Um eine Bewegungsmöglichkeit zu gewährleisten, werden jeweils ein inneres Stahlrohr (oben  $\varnothing 1158 \text{ mm}$ , unten  $\varnothing 1330 \text{ mm}$ ) und ein äußeres Stahlrohr mit einem Durchmesser 1350 mm kombiniert. Die Pfähle haben durch die Hülse keine seitliche Bettung, d.h., die Biegelinie des gesamten Pfeilers wird um die Länge der Hülse verlängert und der Pfeiler somit in Brückenlängsrichtung entsprechend weicher. In Brückenquerrichtung liegt aber immer noch näherungsweise die ursprüngliche Steifigkeit vor. Diese Gründungsart wurde bei der EÜ Aurachtal erfolgreich umgesetzt. Zur Reduktion der höheren Zwangsbeanspruchungen in den Pfeilern wurde zusätzlich nach der Errichtung des Überbaus eine Voreinstellung durchgeführt, indem der fertiggestellte Überbau vom Widerlager Achse 10 aus um 45 mm in Richtung Achse 70 verschoben wurde.

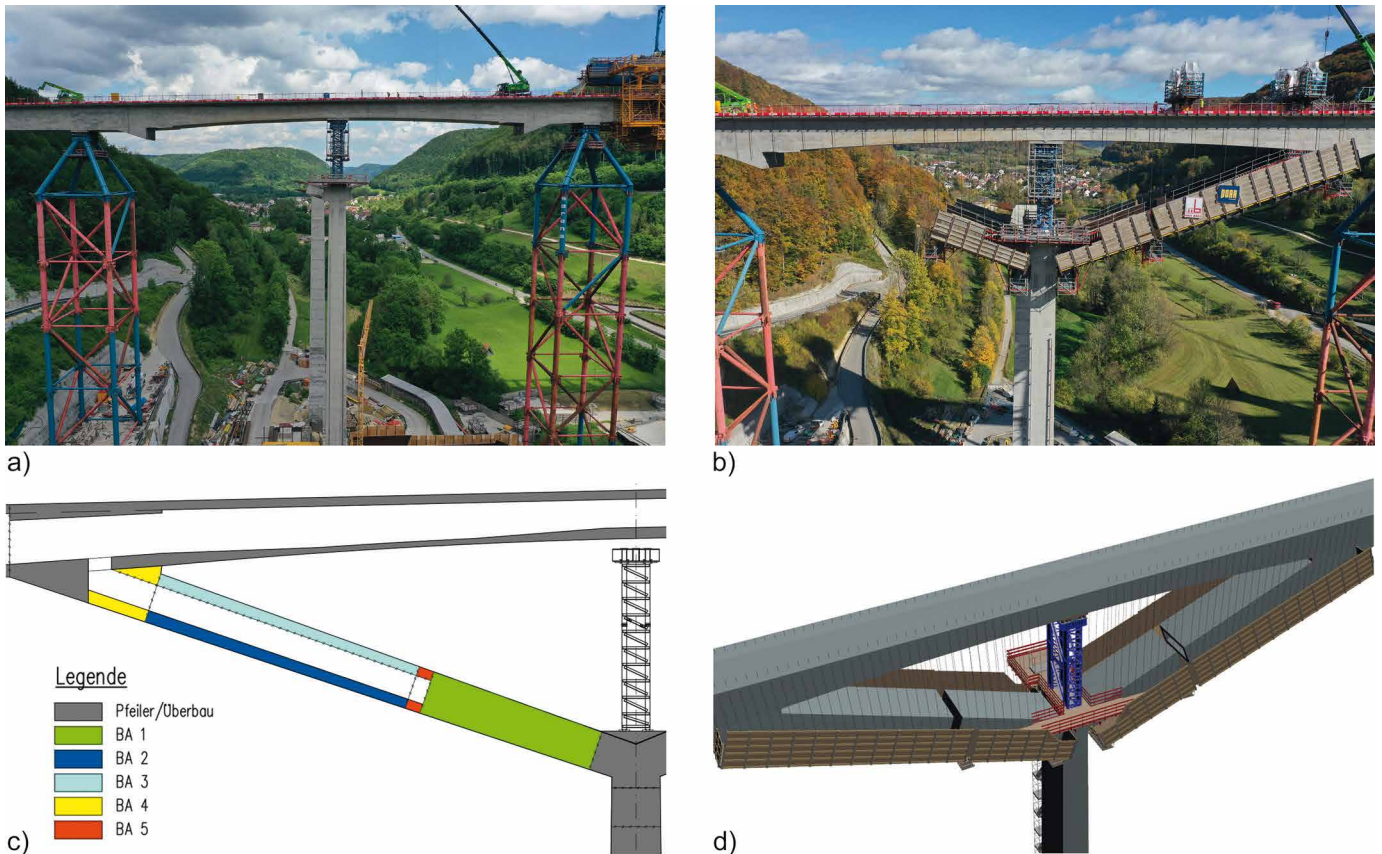
## 6 Besonderheiten bei der Bauausführung

### 6.1 Herstellung der Schrägstiele

Aufgrund des gewählten Bauverfahrens – Überbauherstellung mit Vorschubrüstung – wurde zunächst der Überbau auf ca. 75 m hohen Stahlhilfstürmen, die im Bereich der späteren Y-Pfeiler angeordnet wurden, hergestellt. Im Anschluss daran waren die Schrägstiele herzustellen und zwischen den bestehenden Bauteilen Pfeiler (Y-Knoten) und Überbau zu ergänzen (Bild 12a). Das je Schrägstiel erforderliche 33 m lange und 135 t schwere Traggerüst wurde zunächst per Litzenhub von der Talsohle in Position gehoben und anschließend mit Stabankern im Meterraster am fertiggestellten und vorgespannten Überbau befestigt (Bild 12b). Die Betonage erfolgte in fünf Abschnitten (Bild 12c).

Hierbei wurden zunächst das untere Schrägstieldrittel (BA 1) und das Mittelteil (BA 2 + 3) bei freibleibender 1-m-Lücke (BA 5) hergestellt. Der Betonierabschnitt zum Überbau hin (BA 4) wurde mit selbstverdichtendem





**Bild 12** Herstellung der Schrägstiele mit abgehängtem Traggerüst: a) Überbau auf Hilfstürmen aufgelagert, b) Traggerüst Schrägstiel vom Überbau abgehängt, c) Bauabschnitte der Schrägstielherstellung, d) Visualisierung Bauzustand BA 5 mit „offenem Lückenschluss“  
Construction of inclined piers by suspended scaffolding: a) superstructure temporary supported, b) suspended scaffolding, c) construction stages, d) 3D visualization

Beton (SVB) in der Güte C50/60 ausgeführt. Dabei musste in diesem hoch beanspruchten Knotenpunkt mit engem Bewehrungsraster eine Fläche von ca. 50 m<sup>2</sup> durch den oberhalb vorhandenen Überbau hindurch untergossen werden. Komplettiert wurde der Schrägstiel durch den Lückenschluss (BA 5), bei dessen Herstellung die vorherigen Betonierabschnitte bereits mehrere Wochen alt waren, wodurch das Kriechen und Schwinden der Schrägstiele günstig beeinflusst werden konnte.

Darüber hinaus musste eine weitere Zwangsbeanspruchung bei der Herstellung der Schrägstiele berücksichtigt werden. Der Überbau lag auf ca. 70 m hohen Stahlhilfstürmen, welche der Umgebungstemperatur sowie der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt waren. Gemäß statischer Berechnung und belegt durch Messungen am Hilfsturm musste mit einer Hebung oder Senkung des Überbaus von 2 bis 3 cm gerechnet werden. Daher wurde gleichzeitig mit der Herstellung des Lückenschlusses eine vorher installierte Pressensteuerung auf den Hilfstürmen aktiviert, wodurch die auftretenden Verschiebungen durch Anheben oder Absenken kompensiert und die Kraft auf den Lückenschluss reguliert werden konnte.

## 6.2 Lastumlagerung auf die Schrägstiele

Die Herstellung der beiden Schrägstiele konnte bis zum Zeitpunkt des Lückenschlusses unabhängig voneinander

erfolgen. Mit Schließen des Kräftedreiecks, bestehend aus zwei Schrägstielen und dem dazwischenliegenden Überbauabschnitt, gab es eine Systemänderung, wodurch es erforderlich wurde, die Lückenschlüsse an den benachbarten Schrägstielen eines Y-Pfeilers zeitgleich auszuführen. Weiterhin musste das Absenken der Brücke und damit die Lastumlagerung von den Hilfstürmen auf die Schrägstiele im Wechsel an den Y-Pfeilern in den Achsen 30 und 40 schrittweise bei gleichzeitiger Kontrolle der weiteren Entwicklung der Betonfestigkeiten erfolgen. Zusätzlich wurden die Betonagen und der Beginn der Lastumlagerung auf die Abendstunden gelegt, um eine direkte Sonneneinstrahlung auf die Hilfstürme auszuschließen. Der aufgestellte Zeitplan bestand aus strikten terminlichen und statischen Vorgaben, wie z. B. dem Erreichen der erforderlichen Betonmindestfestigkeit am Lückenschluss für den nächsten Absenkvorgang, was jeweils durch Würfeldruckversuche belegt wurde. Nach ca. 18 h und einem Hubweg von ca. 13 cm war die Lastumlagerung von den stählernen Hilfstürmen auf die Schrägstiele abgeschlossen.

## 6.3 Zurückfahren der Vorschubrüstung mit anschließendem Querverschub

Aufgrund der Vorteile, die zweite Brücke in gleicher Richtung und damit in erprobter Art und Weise herzustellen, erfolgte ein Zurückfahren der Vorschubrüstung



**Bild 13** Zurückfahren der VSR mit SPMT  
Backwards moving of launching truss



**Bild 14** Fertiggestellte Brücke  
Final bridge after completion

auf dem Überbau über ca. 430 m mit SPMTs (Self-Propelled Modular Transporter, Bild 13) und anschließendem Querverschub. Die seitlich am Überbau herabhängenden Schalpaneele wurden bereits vor dem Zurückfahren demontiert, wodurch das Transportgewicht reduziert werden konnte. Anschließend wurde der verbleibende Hauptträger mit den Querträgern von den drei SPMTs geschultert und mit ca. 3 km/h über das Filstal zurück zur Startposition transportiert. Der Querverschub erfolgte im Bereich des ersten Überbauerstellungsabschnitts auf zwei parallel verlaufenden Verschubbahnen – für die bergseitige wurde die bereits hergestellte Verbindungsbrücke zwischen den Widerlagern als Auflagerung herangezogen, für die talseitige musste der Achsabstand von 30 m zwischen den jeweils ersten Brückenpfeilern durch Hilfstürme unterstützt werden.

## 7 Schlussbemerkung

Mit der EÜ Filstal wurde ein weithin prägendes Ingenieurbauwerk geschaffen, welches bereits in der Öffentlichkeit als ein weiteres Wahrzeichen für das Land Baden-Württemberg angesehen wird. Das für eine Eisenbahnbrücke ungewöhnlich schlanke und transparente Bauwerk fügt sich hierbei gut in das bestehende Landschaftsbild ein und erfüllt alle Anforderungen der Funktionalität eines Ingenieurbauwerks im Zuge der Hochgeschwindigkeitsstrecke der DB. Ab Ende 2022 werden die ersten Züge im Regelbetrieb den Alaufstieg überwinden und damit den Lückenschluss für die Neubaustrecke Stuttgart–Ulm herstellen. Neben der semiintegralen Bauweise, der Hauptspannweite von 150 m über der Fils, den aufgelösten Vouten mit flach geneigten Schrägstielen und den schlanken Pfeilerscheiben setzt die EÜ Filstal neue Maßstäbe im Eisenbahnbrückenbau des 21. Jh. Die Besonderheiten und Schwierigkeiten im Rahmen der Genehmigungsverfahren und der Bauausführung konnten

nur gelöst werden durch eine partnerschaftliche Herangehensweise aller Beteiligten sowie eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen Planern, Ausführenden und dem Bauherrn. Für zukünftige Bauaufgaben mit ähnlich innovativem Lösungsansatz wird jedoch vorgeschlagen, die Genehmigungs- und Ausführungsplanung bereits vor Vergabe der Bauleistungen durch den AG zu erbringen, sodass auf die komplexen Sondergenehmigungsverfahren mit deren nicht unerheblichem Abstimmungsbedarf und einem hohen Genehmigungsrisiko während der Bauausführung verzichtet werden kann. Die Maßnahme war eines der BMVI-Pilotprojekte zur Anwendung von BIM (Building Information Modeling) im Infrastrukturbau und wurde durch die ARGE INFRABIM wissenschaftlich begleitet [4]. Aufgrund der Komplexität des Bauvorhabens ergab sich durch die Anwendung von BIM ein Mehrwert in der Planung und Ausführung durch die 3D-Modellerstellung und den BIM-Anwendungsfall 4D-Bauablaufvisualisierung. Weiterhin wurde parallel zur klassischen Abrechnungsmethode eine 5D-Kostensteuerung umgesetzt.

Die Verfasser sind sich einig, dass die EÜ Filstal einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung sowie zur innovativen und ästhetischen Gestaltung im Eisenbahnbrückenbau leistet und das Ergebnis letztendlich den Aufwand rechtfertigt (Bild 14).

### Projektbeteiligte

Bauherr	DB Netz AG
Auftraggeber	DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH
EBA Prüfsachverständiger	Büchting + Streit AG, Kempfert + Partner Geotechnik
ZiE Gutachter (semiintegrale Bauweise)	Prof. Dr.-Ing. Reinhard Maurer, Prof. Dr.-Ing. Kempfert
Entwurfsverfasser	Leonhardt, Andrä und Partner VBI AG
Ausführungsplanung	SSF Ingenieure AG, SRP – Ingenieure-Consult GmbH
Bauausführung	ARGE MAX BÖGL/Porr

## Literatur

- [1] DB Netz AG (2003) *Richtlinie 804.9020 – Rahmenplanung Talbrücken*.
- [2] Brückenbeirat der DB AG (2008) *Leitfaden Gestalten von Eisenbahnbrücken*.
- [3] Boley, C. et al. (2019) *Geotechnische Herausforderungen bei der Planung der Filstalbrücke als semiintegriertes Bauwerk auf der Neubaustrecke Wendlingen–Ulm*. Bautechnik 96, H. 10, S. 773–779. <https://doi.org/10.1002/bate.201900051>
- [4] Borrmann, A. et al. (2017) *Wissenschaftliche Begleitung der BMVI-Pilotprojekte zur Anwendung von Building Information Modeling (BIM) im Infrastrukturbau* (Endbericht). Wissenschaftliche Begleitung Pilotprojekt EÜ Filstal.

### Autoren

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Igor Zaidman  
igor.zaidman@deutschebahn.com  
DB Projekt Stuttgart–Ulm GmbH  
Räpplensstraße 17  
70191 Stuttgart

Dipl.-Ing. Marc Schumm (Korrespondenzautor)  
marc.schumm@lap-consult.com  
Leonhardt, André und Partner, Beratende Ingenieure VBI AG  
Heilbronner Straße 362  
70469 Stuttgart

Dipl.-Ing. Peter Kotz  
pkotz@ssf-ing.de  
SSF Ingenieure AG, Beratende Ingenieure im Bauwesen  
Domagkstraße 1a  
80807 München

Dipl.-Ing. (FH) Tobias Steigerwald  
tsteigerwald@max-boegl.de  
MAX BÖGL  
Postfach 11 20  
92301 Neumarkt i. d. OPf.

### Zitieren Sie diesen Beitrag

Zaidman, I.; Schumm, M.; Kotz, P.; Steigerwald, T. (2022) *Außergewöhnliche Eisenbahnbrücke über das Filstal – Entwurf, Planung und Ausführung des neuen Wahrzeichens von Baden-Württemberg*. Bautechnik 99, H. 4, S. 262–271. <https://doi.org/10.1002/bate.202200009>



