

Planen und Bauen aus einer Hand Ersatzneubau der Talbrücke Rahmede

■ ■ ■ Daniel Wingefeld, Sascha Grubmüller, Michael Backa, Mihai-Dan Pop, Daniel Weilke, Hans Grassl

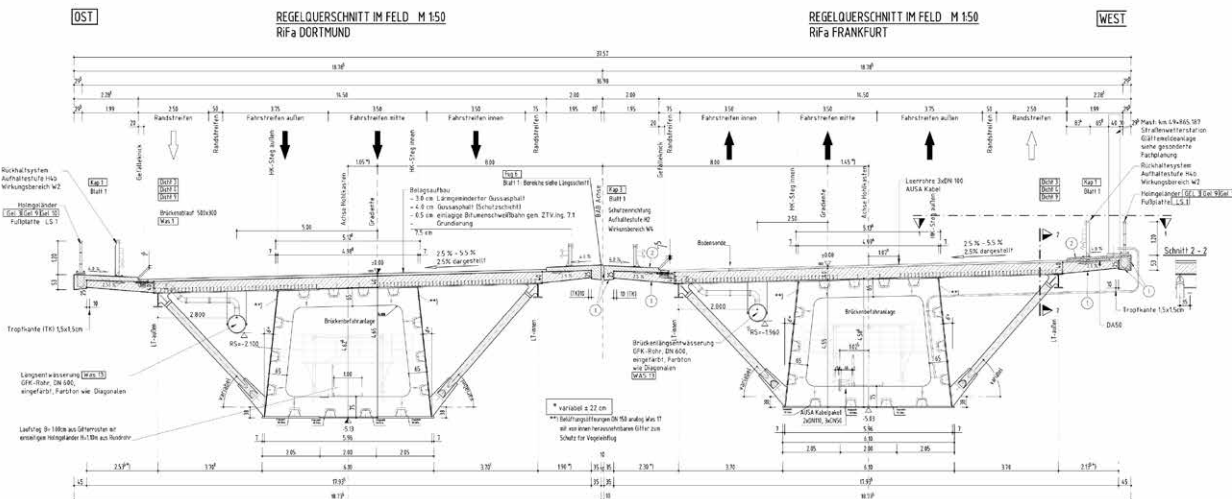
Da der Ersatzneubau der Talbrücke Rahmede von hoher gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und politischer Bedeutung ist, wurde mittels funktionaler Ausschreibung eine zügige Durchführung der Maßnahme angestrebt: Finalisierung des Bauwerksentwurfs, Ausführungsplanung und bauliche Umsetzung aus einer Hand, das heißt von einem Auftragnehmer, machen Zeiteinsparungen möglich. Aufgrund der gewählten Konstruktion und des Bauablaufs, bei dem die Überbauten jeweils von beiden Seiten gleichzeitig eingeschoben werden, ergeben sich vielfältige statisch-konstruktive sowie bautechnische und -logistische Herausforderungen.

1 Ausgangssituation

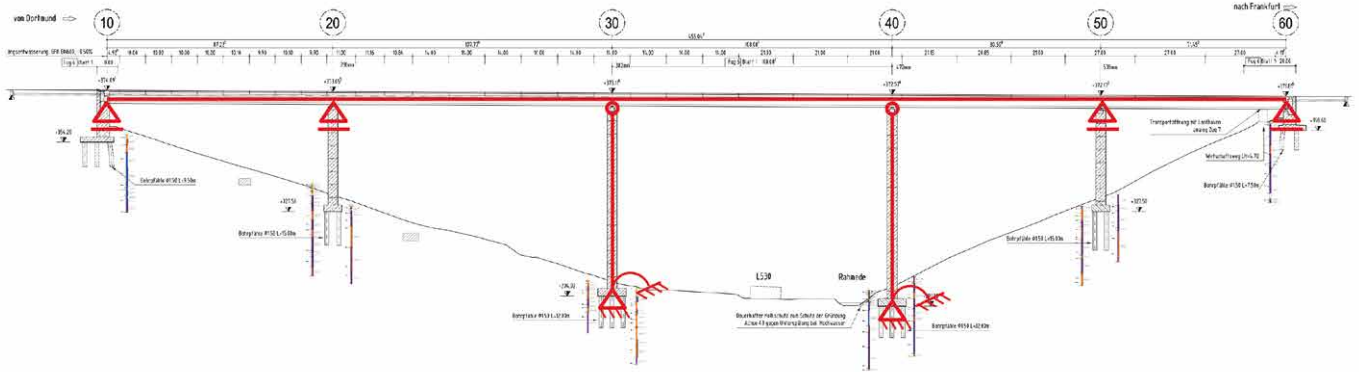
Die Talbrücke Rahmede, gelegen im Verlauf der Bundesautobahn A 45, befindet sich zwischen den Anschlussstellen Lüdenscheid-Nord und Lüdenscheid. Aufgrund festgestellter Defizite in der Tragfähigkeit im Rahmen der Bauwerksprüfung wurde die Brücke und damit der gesamte Abschnitt der A 45 zwischen den genannten Anschlussstellen dauerhaft für den Verkehr gesperrt. Der Rückbau der Brücke erfolgte durch Sprengabbruch, so dass nach Abschluss dieser Arbeiten lediglich die Widerlager, die Gründungen und die Pfeilerstümpfe bis zur Oberkante des Geländes verblieben. Zur schnellen Realisierung des notwendigen Ersatzneubaus ist Die Autobahn GmbH des Bundes neue Wege gegangen und hat die Maßnahme (teil-)funktional ausgeschrieben, das heißt, dem Auftragnehmer wurden auch Teile der Planung und Konzeptionierung der Bauleistung übertragen. Dabei wurden in der Leistungsbeschreibung Vorgaben und Randbedingungen formuliert, die vom Auftragnehmer verbindlich einzuhalten waren. Unter Einhaltung dieser Randbedingungen konnte der Auftragnehmer für Planen und Bauen den Bauablauf frei gestalten und seine technische Expertise unmittelbar einbringen. Der Leistungsumfang der Ausschreibung umfasste die Planung und Errichtung eines Ersatzneubaus der Talbrücke Rahmede in der Endlage einschließlich der angrenzenden Streckenabschnitte.

2 Planungsgrundlagen und Entwurfsplanung

Neben der Ausführungsplanung war auch die Finalisierung der Entwurfsplanung zu erbringen. Eine wesentliche Grundlage für die Bauwerksplanung stellte die Trassierung dar, die sich am Bestand orientiert. Da das Bauwerk in einer Klothoide liegt, bedeutete dies eine besondere Herausforderung für Planung und Bauausführung. Der Vershub erfolgt im Radius, weshalb der Stahlbau ebenfalls im Radius ausgeführt werden muss. Aus zeitlichen Gründen wird der Vershub von zwei Seiten realisiert, wodurch zwei Ersatzradien vorgesehen werden konnten, um den Stahlbau bestmöglich an die Klothoide anzupassen. Somit ließen sich auch die Abweichungen zwischen der Achse des im Radius ausgeführten Stahlbaus und jener der Straße, die in eine Klothoide übergeht, auf ein Mindestmaß reduzieren. Der Abstand zwischen beiden Achsen variiert bis ca. 44 cm. Zur Anpassung des Bauwerks an die Verkehrsanlage wurden variable Kragarmlängen vorgesehen. Aufgrund der Lage in der Klothoide weist das Bauwerk eine veränderliche Querneigung auf, und zwar zwischen 2,50 % und 5,50 %. Dies erfordert eine variable Ausführung der jeweiligen Bauteile, wie die Höhe der Stege des Hohlkastens, die Neigung und Länge der Rohrprofile sowie deren Anschlüsse, was in der Stahlbau- und -ausführung im Detail zu berücksichtigen ist.



1 Regelquerschnitt des Bauwerksentwurfs © Ingenieurbüro Grassl GmbH



2 Statisches System des Ersatzneubaus
© Ingenieurbüro Grassl GmbH

Im Gegensatz zum Bestandsbauwerk, das für beide Richtungsfahrbahnen aus nur einem einteiligen Überbau bestand, sind nun zwei Teilbauwerke vorgesehen, um zukünftige Instandsetzungsarbeiten ohne Sperrung der Brücke durchführen zu können (Bild 1). Pro Fahrtrichtung sind drei Fahrstreifen und ein Seitenstreifen eingeplant. Die Überbauten werden in Stahlverbundbauweise realisiert, wobei je Überbau ein einzelliger begehbare Stahlkasten angeordnet wird. Die Kragarme können bei dieser Ausführung mittels Schrägstreben oder Konsolträgern abgestützt werden.

Für den Neubau der Talbrücke Rahmede war die Variante mit Schrägstreben durch die funktionale Ausschreibung vorgegeben. Diese Lösung erfordert aufgrund der Randbedingungen eine Herstellung mittels Schalwagen, bei der die Fahrbahnplatte im Pilgerschrittverfahren von beiden Seiten gleichzeitig betoniert wird.

Der Ersatzneubau hat eine Länge von ca. 450 m, wobei die größte Stützweite 108 m beträgt.

Im Zuge der technischen Bearbeitung wurde auch der Bauwerksentwurf nach RAB-ING erstellt, welcher durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) geprüft wurde.

3 Herausforderungen bei Planung und Bau

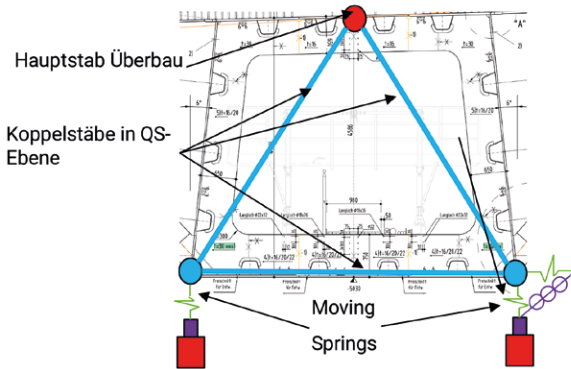
Der Vertrag über Planung und Realisierung wurde im Juli 2023 geschlossen. Die Bestellung des Stahls für die ersten Schüsse sowie der Beginn von Bohrpfahlarbeiten erfolgte bereits im Dezember 2023. Somit musste die Statik für das Haupttragwerk innerhalb kürzester Zeit erarbeitet und die Stahlbau- sowie die Schal- und Bewehrungspläne für die Bohrpfähle mussten angefertigt und geprüft werden. Dies war eine enorme Herausforderung für alle Beteiligten. Aufgrund des engen Zeitplans waren zudem die Standsicherheitsnachweise und Ausführungspläne für die Verbauten, die Unterbauten und den Überbau sowohl für den Endzustand als auch für das Taktziehen gleichzeitig zu bearbeiten, was ein großes Team und eine sehr gute Koordination bedingte.

Als statisches System wurde ein Durchlaufträger über fünf Felder gewählt (Bild 2). Um die Horizontalkräfte in Längsrichtung aufzuteilen und die Verformungen an den Widerlagern zu reduzieren, wurde ein Festpunktpfeilerpaar in den Achsen 30 und 40 vorgesehen. Dadurch ergibt sich ein statisch unbestimmtes Lagerungssystem, wodurch Zwangskräfte im Überbau entstehen, die bei der Bemessung berücksichtigt werden müssen.

Die ganzheitliche Systembetrachtung erfolgte unter Berücksichtigung der Integration der Boden-Bauwerk-Interaktion anhand eines räumlichen Stabsystems, bestehend aus Stahl- bzw. Stahlverbundquerschnitten und Unterbauten (Bild 3). Das Haupttragwerk wurde als Ein-Stab-System modelliert. Mit diesem System können die Schnittgrößenverläufe und Überlagerungen effizient und gut prüfbar für die Hauptnachweise ermittelt werden. Der Stabquerschnitt bildet den kompletten Verbundquerschnitt mit den gerissenen Bereichen und den mitwirkenden Breiten ab. Auch die einzelnen Bauzustände wurden im Modell erfasst. Die Unterbauten wurden ebenfalls im Modell abgebildet, um die Interaktion zwischen Überbau und Unterbauten zu berücksichtigen, wobei auch Grenzfallbetrachtungen durchgeführt wurden.

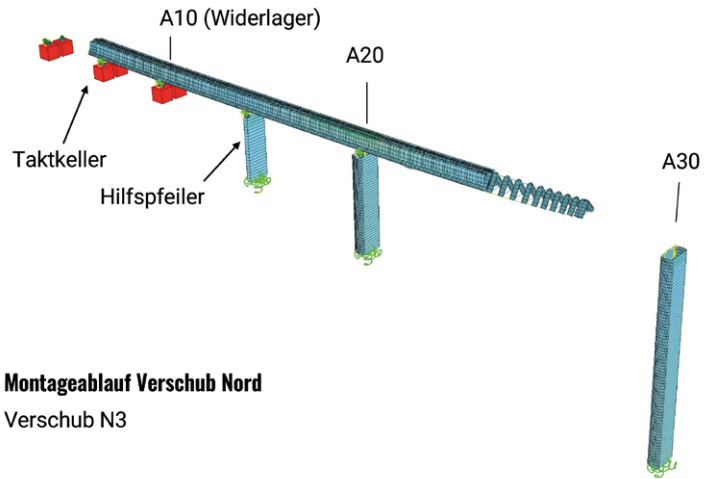


3 Gesamtmodell für die Berechnung des Endzustands
© Ingenieurbüro Grassl GmbH



4 Taktchieben: Stabsystem
© Ingenieurbüro Grassl GmbH

Aus dem Gesamtmodell des Endzustands wurden die Modelle für den südlichen und den nördlichen Vershub entwickelt. Dabei wurde auch der Vorbauschnabel in vereinfachter Form modelliert. Zur Abbildung der Vershubebene wurden Koppelstäbe modelliert und über sogenannte Moving-Spring-Elemente gelagert (Bild 4). Hierbei handelt es sich um nicht-lineare Federn mit Kontaktenerkennung. Die einzelnen Vershubzustände wurden nichtlinear berechnet, um den Zugfedererausfall, das heißt das Abheben des Überbaus, zutreffend einzupflegen. Im Modell wurde der komplette Vershub einschließlich des Taktkellers abgebildet (Bild 5). Zudem wurde zwischen dem Widerlager in Achse 10 und der ersten Pfeilerachse 20 ein Hilfspfeiler vorgesehen, um den Taktkeller zu verkürzen. Die einzelnen Montageschritte mit der Vormontage, den Vershuben und den Anbausritten wurden exakt im Modell erfasst, um das Trag- und Verformungsverhalten so realitätsnah wie möglich abzubilden. Bei der Vershubberechnung wurde auch die spannungslose Werkstattform berücksichtigt, da diese einen Einfluss auf die Lagerkräfte und die Bemessung hat.

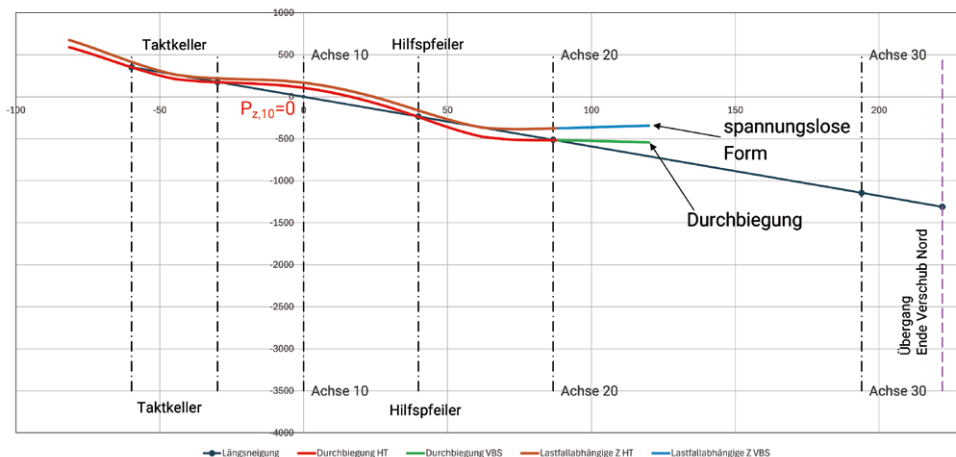


Montageablauf Vershub Nord
Vershub N3

5 Modell für die Berechnung des Taktchiebens
© Ingenieurbüro Grassl GmbH

Für die rechnerische Modellierung des Einschubs wird sowohl die Längsneigung als auch die Überhöhung der Brücke berücksichtigt und der Überbau entsprechend der spannungslosen Werkstattform gekrümmt abgebildet. Betrachtet man den zweiten Takt (Bild 6), wird deutlich, welchen Einfluss die spannungslose Werkstattform auf die Bemessung hat. Beim dargestellten Beispiel überfährt der Vorbauschnabel die Achse 20. Die Lagerachse 10 befindet sich in diesem Zustand im Bereich eines Hochpunkts der spannungslosen Werkstattform und ist somit lastfrei. Damit der Vorbauschnabel vor dem Aufahren auf den Pfeilern oberhalb ihrer Oberkante ankommt, wurde der Untergurt des Vorbauschnabels gekrümmt hergestellt. Außerdem erfolgt der Vershub in einer um ca. 1 m überhöhten Lage. Trotz dieser Maßnahmen wird ein Anheben des Vorbauschnabels bis zur Oberkante der Wippe in den Zuständen mit den größten Auskragungen, in denen

die Durchbiegung des Bauwerks rechnerisch Werte in der Größenordnung von ca. 2,50 m erreicht, erforderlich. Die durch das Anheben entstehenden Hublasten stellen Zwangskräfte dar, welche bei der Bemessung zu berücksichtigen sind. Neben den Spannungsnachweisen werden für die druckbeanspruchten Bleche auch Stabilitätsnachweise geführt. Um diese Stabilitätsnachweise effizient über die Brückenlänge sowohl für den Endzustand als auch für die Zustände des Taktchiebeverfahrens oder der Betonage erarbeiten zu können, wird ein firmenintern entwickeltes Bemessungsprogramm verwendet, mit dem sich die Spannungen und Geometrien der Beulfelder aus dem Sofistik-Modell ausgeben und in die Software zur Beulanalyse einlesen lassen. Mit dem Programm werden die kritischen Verzweigungsfaktoren der Spannungs-komponenten ermittelt. Selbige werden anschließend für die Nachweisführung mit der Methode der reduzierten Spannungen in Excel exportiert.



6 Vershubzustand zwischen den Achsen 20 und 30
© Ingenieurbüro Grassl GmbH



UNSERE PLANUNGEN VERBINDEN MENSCHEN

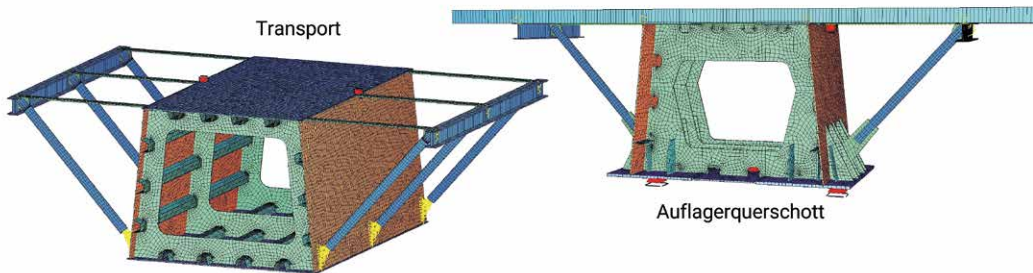
Lückenschluss in Rekordzeit

A45, Talbrücke Rahmede

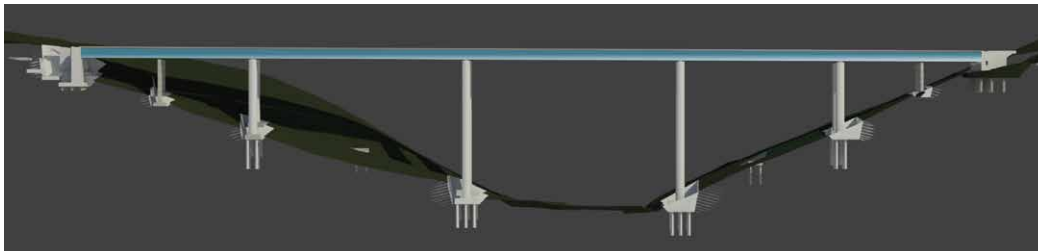
Finalisierung Entwurfsplanung, Mitwirkung bei der Angebotsbearbeitung und Ausführungsplanung

Ob Gesamt-, General-, Objekt- oder Tragwerksplanung für Infrastruktur-Gesamtmaßnahmen, Brücken, Tunnel, Wasserbauwerke, Gebäude und Sonderbauwerke – wir treten an für nachhaltige Ingenieurskunst. Unsere Expertise reicht von der Planung über die Prüfung bis zur Überwachung und Erhaltung.





7 *Faltwerkmodelle zur Abbildung der Querrichtung*
© Ingenieurbüro Grassl GmbH



8 *Gründungen des Bauwerks*
© Ingenieurbüro Grassl GmbH

Um das Trag- und Verformungsverhalten für die Querrichtung möglichst realistisch abzubilden und eine wirtschaftliche Bemessung des Quersystems zu ermöglichen, wurden diverse Teilmodelle in Form von Faltwerken erstellt (Bild 7). Für die Gründung wurde auch eine Flachgründung untersucht. Hierbei ergab sich ein deutlich tieferer Gründungshorizont.

Aufgrund des inhomogenen Baugrunds war außerdem die Absetztiefe für die Flachgründung ungewiss, was ein bauzeitliches Risiko darstellt. Bei einem unplanmäßigen Bodenaustausch ist eine Anpassung des Verbaus nicht ohne weiteres möglich. Aufgrund dieser Risiken fiel die Entscheidung zu Gunsten der zuverlässigeren, aber kostenintensiveren Tiefgründung.

Für die hohen Pfeiler der Achsen 30 und 40 sind jeweils drei Pfahlreihen mit vier Bohrpfehlen pro Reihe vorgesehen, wie auch Bild 8 zeigt. Die Pfahllängen betragen zwischen 12 m und 15 m, es wurde ein einheitlicher Bohrpfehlendurchmesser mit 1,50 m angesetzt. Die Widerlager sind ebenfalls tief gegründet. Die Pfeiler sind bis zu 73 m hoch und werden mittels Kletterschalung in Betonierabschnitten von 5 m hergestellt.



9 *Baustelle der Talbrücke Rahmede mit Blick von Achse 60 nach Norden*
© Arbeitsgemeinschaft Talbrücke Rahmede

Die Lastermittlung für die Pfeiler erfolgte aufgrund des Festpunktpfeilerpaars am Gesamtsystem. Für ihre Berechnung und Bemessung kamen Detailmodelle zur Anwendung. Aufgrund der vorhandenen Schlankheit ist eine Berechnung am verformten System nach Theorie II. Ordnung unter Berücksichtigung effektiver Steifigkeiten erforderlich.

Im Zuge der Angebotsbearbeitung wurde auch eine Variantenuntersuchung zu den Verbauten durchgeführt: Trägerbohlwandverbauten und Nagelwände wurden untersucht. Aufgrund der bei den vorliegenden Randbedingungen besseren Eignung und ihrer möglichen Anpassbarkeit während der Ausführung wurden Nagelwände gewählt. Als Baugrund steht bereits in geringen Tiefen Fels an, daher musste bei der Bemessung auch die Felsmechanik Beachtung finden und infolge der stark variierenden Kluft- und Schichtenneigung mussten verschiedene Berechnungen zwischen vorgegebenen Grenzwerten durchgeführt werden.

4 Stand und Ausblick

Die Bauarbeiten an der Talbrücke Rahmede schreiten gut voran. Der aktuelle Fokus liegt auf der Fertigstellung des Stahlüberbaus des ersten Teilbauwerks. Da der Vers Schub von zwei Seiten aus erfolgt, ist ein Lückenschluss, bei dem beide Überbauhälften miteinander verbunden werden, über dem Rahmedetal erforderlich. Parallel dazu werden die Gründung und die Pfeiler des zweiten Teilbauwerks errichtet (Bild 9).

Autoren:

Dr.-Ing. Daniel Wingefeld

Ingenieurbüro Grassl GmbH,
München

Dipl.-Ing. Sascha Grubmüller

MCE GmbH,
Linz, Österreich

Michael Backa M.Sc.

Mihai-Dan Pop M.Sc.

Daniel Weilke M.Sc.

Dr. sc. tech. Hans Grassl
Ingenieurbüro Grassl GmbH,
München

Bauherr

Bundesrepublik Deutschland

Ausschreibung, Vergabe und Leitung der Maßnahme

Die Autobahn GmbH des Bundes,
Niederlassung Westfalen, Außenstelle Hagen

Bauwerksentwurf, Ausführungsplanung und Bauausführung

Arbeitsgemeinschaft A 45 Neubau Talbrücke Rahmede:
Habau Hoch- und Tiefbaugesellschaft m.b.H.,
Perg, Österreich
Bickhardt Bau SE, Kirchheim
MCE GmbH, Linz, Österreich
mit Ingenieurbüro Grassl GmbH, München

Prüfingenieure

Dr.-Ing. Berthold Dobelmann, Bochum
Dipl.-Ing. Ulrich Fust, Bochum

Baugrundgutachter

Dr. Spang Ingenieurgesellschaft für Bauwesen,
Geologie und Umwelttechnik mbH, Witten

Bauoberleitung und Bauüberwachung

Ingenieurgemeinschaft:
eberhardt – die ingenieure GmbH
Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH
SSF Ingenieure AG