



- Einsatz von Zwillingträgerhilfsbrücken
- Carbonnetzwerkbogen
- Ermüdungslastmodelle für die Nachrechnung von Straßenbrücken
- Ersatzneubau der Norderelbbrücke (A 1) in Hamburg
- Beulfelder nach der Methode der reduzierten Spannungen
- Erläuterungen zur Richtlinie 805

Einsatz von Zwillingsträgerhilfsbrücken im Zuge einer Notmaßnahme zur Querung der BAB 40

Am 17. September 2020 ist ein Tanklasters auf der Autobahn A 40 zwischen Duisburg und Mülheim unterhalb von Eisenbahnüberführungen der DB AG vollständig ausgebrannt. Ein Teil der fünf Brückentragwerke wurde durch die extreme Temperaturentwicklung derart stark beschädigt, dass die Trag- und Verkehrssicherheit nicht mehr bestand und in Folge die betroffenen Strecken der DB AG gesperrt werden mussten. Durch die sofort begonnene technische Bearbeitung der Ersatzneubauten und die schnellen bahninternen und behördlichen Genehmigungen konnten der Neubau der Widerlager und des Mittelpfeilers, die Montage der Hilfsbrücken und die Errichtung des Gleiskörpers innerhalb kürzester Zeit durchgeführt werden. Die Wiederinbetriebnahme der gesperrten Strecken erfolgte bereits am 28. Dezember 2020 (Bauwerk 3) und am 6. September 2021 (Bauwerke 2, 4). Nur durch die Verwendung von Zwillingsträgerhilfsbrücken des Typs ZH26 aus dem Bestand der DB AG konnte der kurzfristige Ersatz der havarierten Brücken realisiert werden. Die gesamte Baumaßnahme wird nachfolgend beschrieben. Es werden die Hilfsbrückensysteme der DB AG und ihre Anwendungsgrenzen vorgestellt. Die Verlegung von zwei hintereinanderliegenden Hilfsbrücken als Hilfsbrückenketten und die Verwendung als Dauerbehelf bedingen bahninterne Genehmigungsverfahren. Die dazu erforderlichen Nachweise und die zum Nachweis der Ermüdungssicherheit erforderliche gutachterliche Stellungnahme zur Dauerhaftigkeit der Schraubenverbindungen werden beschrieben.

Stichworte Zwillingsträgerhilfsbrücken; gleitfeste Verbindungen; zyklische Beanspruchung; Vorspannkraftverluste in geschraubten Verbindungen

Use of twin girder auxiliary bridges in the course of an emergency project for crossing the BAB 40

On 2020/09/17 a damaged fuel tanker completely burnt-out under a railway bridge over the German motorway A 40 between Duisburg and Mülheim a. d. R. Three out of five bridges had been damaged by the extremely high temperature that the structural and transport safety could no longer be ensured. Therefore the affected railway tracks of the DB Netz AG had to be shut. Immediately after the recording of damages, one bridge structure had been demolished. Due to the immediate detailed design for the replacement and the DB-internal as well as the governmental approvals the erection of the complete structure, including foundations, auxiliary bridges and rail system could be realized in a minimum amount of time. The initial operation of the bridges took place on 2020/12/28 (bridge 3) and 2021/09/06 (bridges 2, 4). Only by the use of twin-girder-auxiliary-bridges type ZH26 of the DB Netz AG the short-term replacement of the damaged bridges could be realized. Subsequent the whole building process is described. The available auxiliary-bridge-systems of the DB Netz AG and their limitations of use are summarized additionally. The use of the auxiliary-bridges as a structural chain as well as the use as permanent makeshift require DB-internal approvals. The required verifications, especially fatigue design, and the therefore required expertise for the durability of the bolted connections are described as well.

Keywords twin girder auxiliary bridges; slip-resistant connections; cyclic loading; loss of preload in bolted connections

1 Anlass

Auf der A 40, Höhe Mülheim an der Ruhr, hat sich am 17. September 2020 gegen ca. 13.30 Uhr ein Lkw-Unfall unter einer Eisenbahnüberführung (EÜ) ereignet. Die betroffene EÜ besteht aus fünf separaten Überbauten mit jeweils ein bis zwei Gleisen (Bild 1). Bei dem Unfall entzündete sich die Ladung des Tanklastwagens (10.000 l Super-Benzin, 25.000 l Dieselkraftstoff). Durch den Brand und die daraus resultierenden hohen Temperaturen wurden die Brückenbauwerke und die darauf liegenden Eisenbahnanlagen erheblich beschädigt. Die Autobahn BAB A 40 sowie die DB-Strecken mussten gesperrt werden.

Zur Einschätzung der Gesamtsituation ist zu bedenken, dass die betroffenen Streckenabschnitte als Hauptstrecken im Ruhrgebiet mit max. 30 Mio. t Transportleistung

dienen. In Summe verkehren auf den Überbauten neun Nahverkehrs- sowie 13 Fernverkehrslinien.

Das Brückenbauwerk 3 wurde aufgrund der akuten Einsturzgefährdung unmittelbar abgerissen und ersetzt. Die Teilbauwerke 2, 4 wurden 2021 in gleicher Weise ersetzt.

Brückenbauwerk 1 (stillgelegte ehemalige Zechenbahn): keine Schäden

Brückenbauwerk 2 (Strecke 2187 – eingleisige Güterverkehrsbahn Verbindung Mülheim–Oberhausen): Die Brücke wurde im Jahr 1963 errichtet und wies somit ein Alter von ca. 57 Jahren auf. Bei dem vorliegenden Brückentragwerk handelt es sich um ein Durchlaufträgersystem mit zwei Feldern mit gleicher Stützweite aus Spannbeton mit einem Gleis mittig auf dem Überbau. Die Stützweite je Feld der Plattenbrücke betrug 20,45 m mit 15 Elastomer-

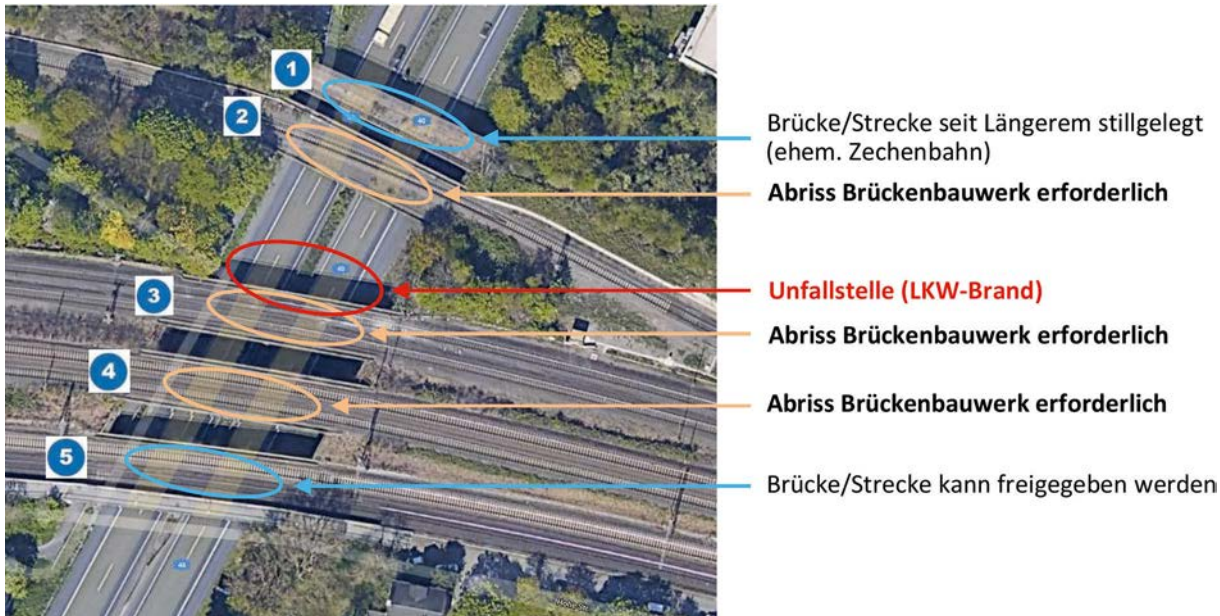


Bild 1 Gesamtübersicht Querung der BAB 40
General overview crossing of the BAB 40

lagern an jeder Auflagerachse. Der Kreuzungswinkel des Überbaus betrug ca. 97°.

Die Prüfung der Stand-, Betriebs- und Verkehrssicherheit an dem gesamten Brückenbauwerk erfolgte im Rahmen einer zerstörungsfreien Bestandsuntersuchung zzgl. Entnahme von drei Bohrkernen mit Durchmesser von 74 mm und Höhen von 72 bis 76 mm zur Prüfung der Druckfestigkeit an Zylinderproben. Ferner wurden mittels Höchstdruckwasserstrahlen die schlaffe Bewehrung sowie die Spannstähle punktuell freigelegt, entnommen und materialtechnisch untersucht sowie geprüft.

Die Ergebnisse der statischen Nachweise und Untersuchungen ergaben, dass das Brückenbauwerk aus Stand-, Betriebs- und Verkehrssicherheitsgründen für den Eisenbahnbetrieb nicht freigegeben werden kann.

Aus diesem Grund wurde das Brückenbauwerk einschließlich der Unterbauten abgerissen und durch neue Widerlager, Mittelpfeiler und Überbauten aus Hilfsbrücken der DB Netz AG in einer zweiten Bauphase in 2021 ersetzt.

Brückenbauwerk 3 (Strecken 2184, 2290 – zweigleisige Strecke Mülheim–Duisburg, S- und Fernbahn): Der Unfall ereignete sich hauptsächlich unter diesem Brückenbauwerk. Die Brücke war stark einsturzgefährdet und musste schnellstmöglich mit den Stützpfählern abgerissen werden. Um die Strecke über dem Bauwerk zeitnah wieder in Betrieb nehmen zu können, wurden ebenfalls Hilfsbrücken zum Teil aus dem Bestand der DB Netz AG eingesetzt.

Brückenbauwerk 4 (Strecke 2183 – zweigleisige Strecke Mülheim–Oberhausen): Bei dem vorliegenden Brücken-

tragwerk handelt es sich um ein Durchlaufträgersystem mit zwei Feldern mit gleicher Stützweite aus Spannbeton mit zwei Gleisen auf dem Überbau. Die Stützweite je Feld der schiefwinkligen Plattenbrücke betrug 21,66 m. Die tragende Plattenbreite betrug ohne Auskragung 9,30 m mit 15 Elastomerlagern an jeder Auflagerachse. Der Kreuzungswinkel des Überbaus betrug ca. 78°.

Der Spannbetonüberbau war während des Brands Temperaturen von $\geq 1000^\circ\text{C}$ an den Betonoberflächen ausgesetzt. Um die Stand-, Betriebs- und Verkehrssicherheit gewährleisten zu können, wurden analog zu Brückenbauwerk 2 Bestandsuntersuchungen durchgeführt und Materialproben entnommen.

Auch dieses Brückenbauwerk konnte aufgrund der Bestandsuntersuchungen für den Eisenbahnbetrieb nicht mehr freigegeben werden und musste abgerissen werden. Aufgrund der Kurzfristigkeit der benötigten Lösung wurde auch hier für diese Ersatzneubaumaßnahme entschieden, auf das System der Hilfsbrücken der DB Netz AG zurückzugreifen.

Brückenbauwerk 5 (Strecken 2184, 2290 – zweigleisige Strecke Duisburg–Mülheim, S- und Fernbahn): Die durchgeführten Prüfungen und statischen Nachweise ergaben, dass das Brückenbauwerk nicht beschädigt und die Stand-, Betriebs- und Verkehrssicherheit gegeben ist. Das Brückenbauwerk wurde noch im September 2020 wieder für den Eisenbahnbetrieb freigegeben.

2 Allgemeine Beschreibung der Hilfsbrücken der DB Netz AG

In dem Modul 804.4110 [1] werden die Einsatzbedingungen und Anforderungen an Hilfsbrücken geregelt. Unter

anderem definiert [1] die Anforderungen an die Auflagerung, die Gründung sowie den Übergangsbereich zwischen Bahndamm und Brückenbauwerk zum Befahren mit Geschwindigkeiten von bis zu 120 km/h. Das Modul 804.4111 [2] enthält ergänzende und besondere Regelungen zum Befahren von Hilfsbrücken in dem Geschwindigkeitsbereich zwischen 90 und 120 km/h. Für das Befahren von Hilfsbrücken mit Geschwindigkeiten ≥ 120 km/h gelten die Regelungen des Moduls 804.4111 in Verbindung mit einer UiG (Unternehmensinterner Genehmigung) und ZiE (Zustimmung im Einzelfall). Die zugehörigen Planungs- und Einbauhinweise sowie Planungsrichtzeichnungen sind in dem Modul 804.9050 [3] enthalten.

Allgemein differenziert das Regelwerk der Deutschen Bahn AG zwischen den vier in Tab. 1 aufgeführten Hilfsbrückentypen mit jeweiliger Zulassung als Bauart.

Grundsätzlich sind alle Hilfsbrückeneinbauten im Netz der Deutschen Bahn mit dem FvBel (Fachverantwortlicher für Brückenbelastbarkeit) abzustimmen. Gemäß Modul 804.4110 sind Hilfsbrücken temporäre Baubehelfe, welche i. d. R. als Dauerbehelfe nicht zugelassen sind. Für den Einsatz von Hilfsbrücken als Dauerbehelf ist immer eine UiG zu beantragen.

Die Lager für Hilfsbrücken müssen so ausgebildet sein, dass diese für dynamische Einwirkungen unter den Radlasten geeignet sind und einen ausreichenden Widerstand gegen Ermüdung besitzen. Weiterhin müssen sie den Anforderungen des Moduls 804.5101 [4] entsprechen sowie eine eindeutige statisch bestimmte Lasteinleitung gewährleisten. Im Falle einer schiefwinkligen Auflagerung der Hilfsbrücke beträgt die Maximalgeschwindigkeit $V \leq 90$ km/h. Für die Auflagerkonstruktionen und Lager von Hilfsbrücken sind grundsätzlich die Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit sowie der Gebrauchstauglichkeit zu führen. Bei einem durchgehend verschweißten Gleis darf bei einer Gesamtlänge der Behelfsbrücken von < 30 m eine schwimmende Lagerung gem. dem Modul 804.5101 ausgeführt werden. Dadurch wird die Einleitung der längs gerichteten Horizontallasten aus Eisenbahnbetrieb und Temperatur in die Brückenkonstruktion vermieden. Bei Gesamtlängen > 30 m muss im Rahmen einer UiG u. a. die statisch bestimmte Lagerung durch Anordnung von festen und beweglichen Lagern sichergestellt werden. Hilfsbrücken dürfen nur mit einer max. Gleisüberhöhung von 150 mm eingebaut werden.

In Modul 804.4110 A02 sind die Belastungswerte $\beta_{UIC/LM71}$ in Abhängigkeit von Gleisradius, Streckenüberhöhung und vorgegebenem Geschwindigkeitsbereich geregelt.

Bei dem Einsatz von Hilfsbrücken in dem Geschwindigkeitsbereich zwischen 90 und 120 km/h regelt Modul 804.4111 ergänzende Anforderungen an die zulässigen Verschiebungen des Unterbaus.

In Bild 2 ist exemplarisch ein Schnitt durch den Zwillingsträgerhilfsbrückentyp ZH 26,40 m dargestellt. Die Zwillingsträgerhilfsbrücken bestehen aus vier parallel angeordneten Doppel-T-Profilen mit Ober- und Untergurtverstärkungen. Jeweils zwei der Brückenlängsträger werden durch horizontal liegende U-Profile miteinander verbunden. Die U-Profile dienen als Horizontalverband. Bei dem Zwillingsträgerhilfsbrückentyp ZH 26,40 m werden die beiden Trägerpaare mit Pendelstäben, welche als Spursicherung dienen, horizontal miteinander verbunden. Die Schienenunterstützungspunkte sind durch HEB200-Profile im Achsabstand von 600 mm mittels Stirnplattenstößen an den Brückenlängsträgern befestigt. Die Brückenlängsträger sind werkstattseitig mit einer Überhöhung von 30 mm ausgeführt. Aufgrund der Bauart der Zwillingsträgerhilfsbrücken können diese ausschließlich als Einfeldträger ausgeführt werden. In vertikaler Richtung beteiligen sich die vier Brückenlängsträger bei einem im Querschnitt symmetrischen Lastbild zu gleich großen Anteilen am Lastabtrag. Die aus den Hauptträger-I-Profilen und den U-Profilen bestehenden Vierendeelträgersysteme bilden die Horizontalverbände.

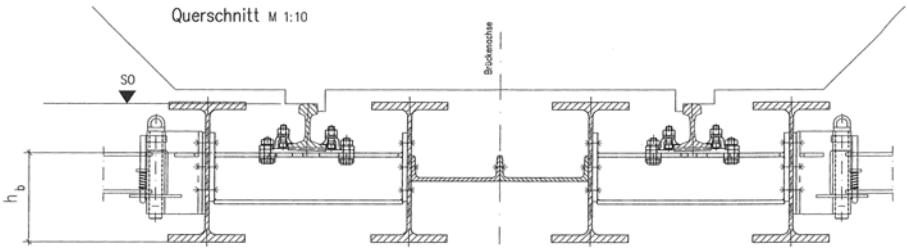
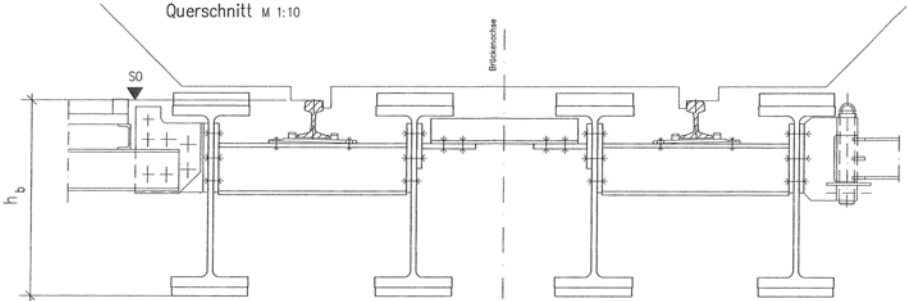
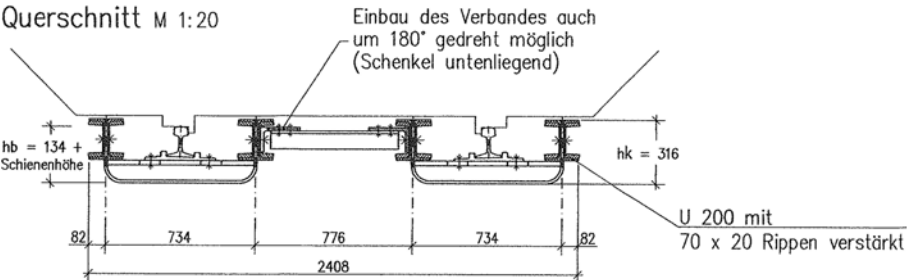
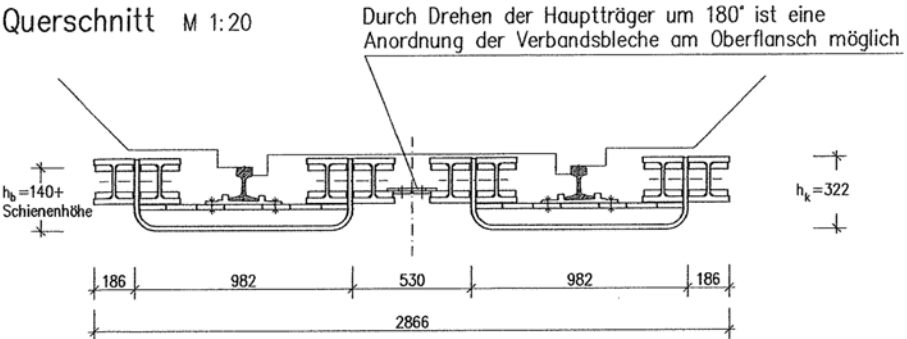
3 Beschreibung der gegenständlichen Baumaßnahme

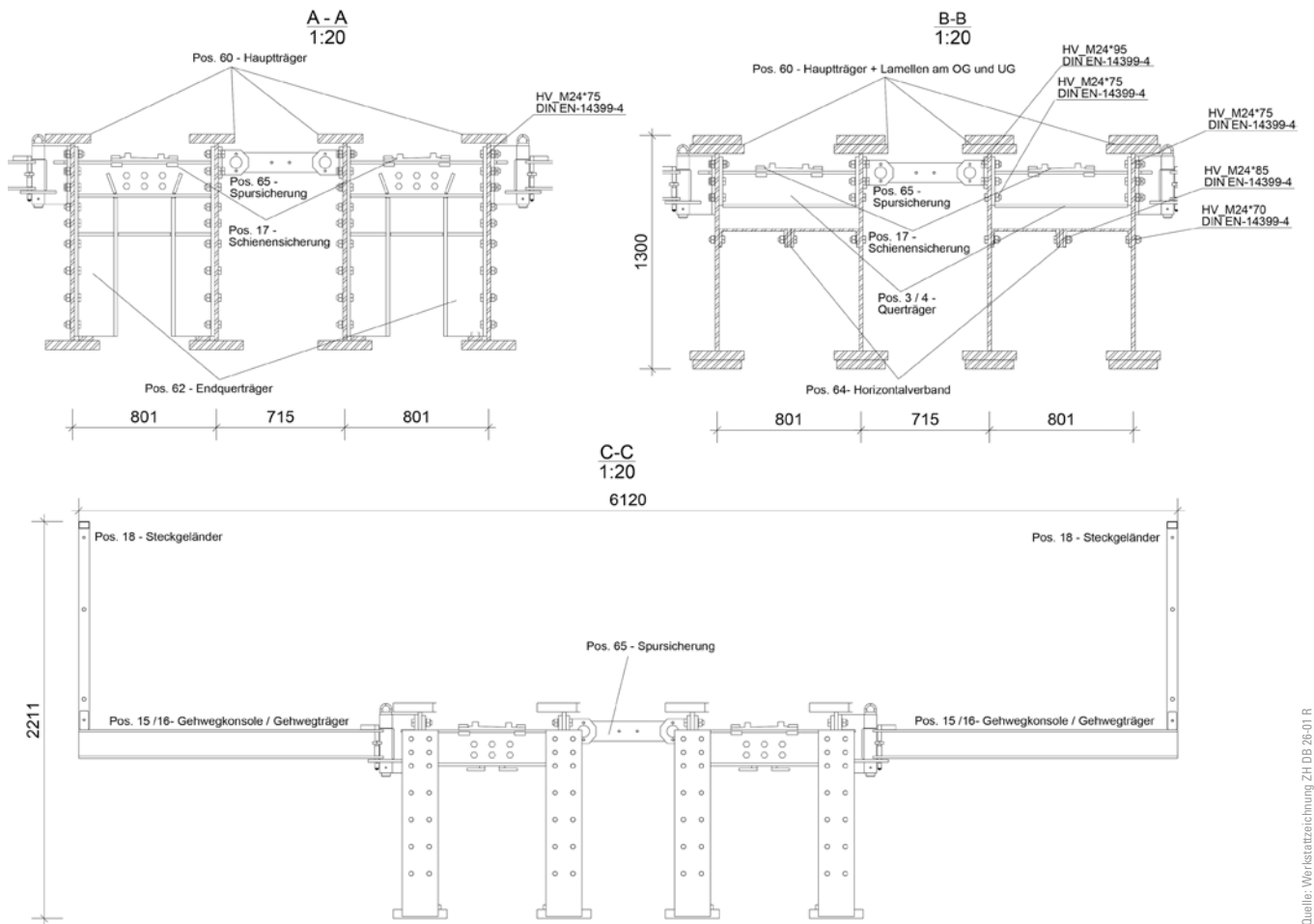
Aufgrund der Havarie mussten die geschädigten Spannbetonüberbauten der Strecken 2187, 2184 + 2290, jeweils Richtungsgleis, sowie der Strecke 2183 zurückgebaut und im Rahmen einer Sofortmaßnahme durch Ketten von Zwillingsträgerhilfsbrücken des Typs ZH 26,40 m erneuert werden. Die Hilfsbrücken wurden aufgrund der vorgegebenen Trassierungen mit Überhöhungen zwischen 25 mm und 140 mm und bei Gleisbögen zwischen 478 m und 975 m eingebaut. Die jährlichen Leistungstonnen pro Jahr variieren von 10 Mio. t bis zu 30 Mio. t. Für alle Überbauten ist die Streckenklasse D4 bei einer max. Entwurfsgeschwindigkeit von $V_{zul} = 120$ km/h vorgegeben.

Die im Rahmen der Sofortmaßnahme zu errichtenden Brückenbauwerke sollen für die zukünftigen Neubauten als Baubehelfe herangezogen werden. Des Weiteren wurde für die Dimensionierung der Gründungsbauteile die Berücksichtigung eines um den Lastklassenbeiwert $\alpha = 1,33$ erhöhten Lastmodells LM71 gefordert, sodass die zu errichtenden Gründungsbauteile für den späteren Neubau wiederverwendbar sind.

Die neuen Widerlager der Zwillingsträgerhilfsbrückenkettens sind als tangierende Bohrpfahlwände mit Totmannkonstruktion in der Streckenachse ausgeführt. In Bild 3 sind die tangierende Bohrpfahlwand, die horizontalen Daueranker sowie die Spundwandtafel als Totmannkonstruktion dargestellt. Die planmäßige Vorspannung der Rückverankerung über den Totmann stellt die erhöhten Anforderungen an die Verbauverformungen unter Verkehrslast von ≤ 2 mm sicher. Die notwendigen Mittelpfeiler in der Mittelachse der BAB 40 sind als tiefgegründete massive Stahlbetonwände mit Kopfaufweitung ausgeführt.

Tab. 1 Hilfsbrückentypen
Types of auxiliary bridges

Hilfsbrückentyp der DB AG	Besonderheiten/Spannweitenbereich/Konstruktionsprinzip
Zwillingsträgerhilfsbrücken (ZH)	Stützweiten 7,20 m–26,40 m (Abstufung in 2,40-m-Schritten), verkürzt und/oder schiefe Auflagerung im Bereich von bis zu 1,20 m möglich Die Haupttragwerke bestehen aus geschweißten oder gewalzten I-Trägern, ggf. mit an die statischen Anforderungen angepassten zusätzlichen Gurtlamellen. Die Quertragsysteme sind bei allen ZH-Brücken gleich. 
Zwillingsträgerhilfsbrücken, alter Bestand (ZHa)	Stützweiten 7,20 m–24,00 m (Abstufung in 2,40-m-Schritten), nur in Nennstützweite und gerader Auflagerlinie senkrecht zur Brückenachse einsetzbar, Baujahr bis 1989, werden nicht mehr gebaut 
Kleinhilfsbrücken (KHB) hier: HB-KHB 1 Länge: 6,00 m	Stützweiten 4,00 m, stützweitenbezogene zul. Geschwindigkeiten, werden in den vorhandenen Gleisrost eingebaut und kraftschlüssig verbunden, aufgrund von Überständen hinter der Lagerlinie entsteht eine kraftschlüssige Einspannung im Gleisrost, KHB sind nicht verwindungsfähig und nicht für schiefe Auflagerung geeignet Querschnitt M 1:20  Einbau des Verbandes auch um 180° gedreht möglich (Schenkel untenliegend) U 200 mit 70 x 20 Rippen verstärkt
Verstärkte Kleinhilfsbrücken (KHBv) hier: HB-KHBv 10 Stützweite: 12,51 m	Stützweiten ≤ 7,00 m, stützweitenbezogene zul. Geschwindigkeiten, werden in den vorhandenen Gleisrost eingebaut und kraftschlüssig verbunden, aufgrund von Überständen hinter der Lagerlinie entsteht eine kraftschlüssige Einspannung im Gleisrost, KHB sind nicht verwindungsfähig und nicht für schiefe Auflagerung geeignet Querschnitt M 1:20  Durch Drehen der Hauptträger um 180° ist eine Anordnung der Verbandsbleche am Oberflansch möglich



Quelle: Werkstattzeichnung ZH 26-01 R

Bild 2 Schnitt durch Zwillingssträgerhilfsbrücke ZH 26,40 m
Cross-section through auxiliary bridge ZH 26.40 m

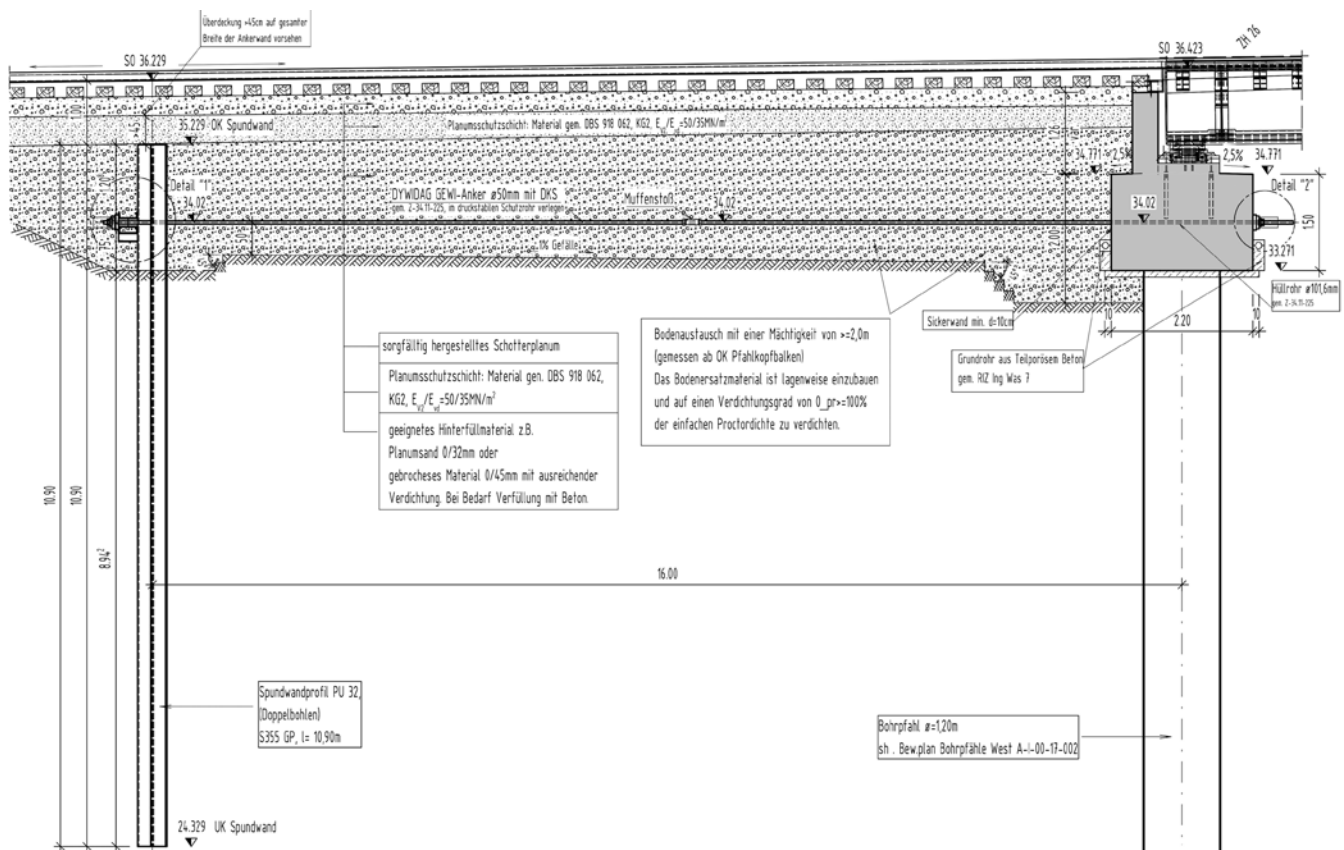


Bild 3 Tangierende, rückverankerte Bohrpfehlwand mit Totmannkonstruktion, Schnitt durch die Gleisachse
Tangent, back-anchored bored pile wall with dead man's construction, section through the track axis

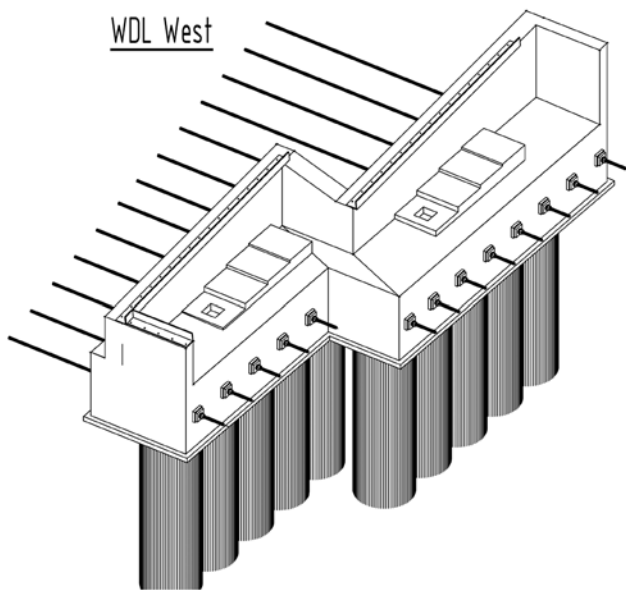


Bild 4 Isometrie der westlichen Widerlagerkonstruktion
Isometry of the western abutment construction

Die Trassierung machte es notwendig, die Auflagerlinien der direkt nebeneinander befindlichen Zwillingsträgerhilfsbrücken um ein Differenzmaß versetzt anzuordnen. In Bild 4 ist exemplarisch die Isometrie des westlichen Widerlagers dargestellt. Aufgrund der vorgegebenen Gleisüberhöhung war es erforderlich, die Lagersockel der einzelnen Brückenlängsträger abgestuft auszuführen. Die Gesamtlänge der Hilfsbrückenkette beläuft sich aufgrund der Ausbildung einer Hilfsbrückenkette mit zwei Zwillingsträgerhilfsbrücken des Typs ZH 26,40 m auf über 30,0 m und musste somit mit Festlagern sowie beweglichen Lagern ausgeführt werden. Die notwendigen Festhaltekonstruktionen wurden durch den Lagerhersteller Mageba in den Lagerbauteilen vorgesehen. Die Brückenüberbauten werden auf Elastomerlagern aufgelegt.

Die vorhandene Zulassung als Bauart der Zwillingsträgerhilfsbrücken beinhaltet die notwendigen Nachweise

im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Aufgrund der hier vorgesehenen Liegedauer von mehr als drei Jahren war es notwendig, für die Hilfsbrücken Ermüdungsnachweise zu erbringen. Da sowohl neue als auch bestehende Zwillingsträgerhilfsbrücken, welche bereits eine Belastungsgeschichte erfahren haben, zur Anwendung kommen, wurden die Ermüdungsnachweise für die neuen Überbauten gem. DIN EN 1993-1-9 [5] geführt und für die bestehenden Überbauten die Restnutzungsdauer gem. der Richtlinie 805 [6] berechnet.

Neben den Ermüdungsnachweisen wurden in [7] die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit gem. DIN EN 1990 [8] geführt. Hierzu zählen u. a. die Nachweise der zulässigen Beschleunigungen des Überbaus, die Verwindungsnachweise, die Verformungsnachweise in vertikaler als auch horizontaler Richtung sowie die Nachweise der zulässigen Endverdrehungen. Das Ergebnis der aufgeführten Nachweisführung ist die Reduktion des zulässigen Lastklassenbeiwerts unter den gegebenen Randbedingungen auf $\alpha = 1,0$.

Bei der gegebenen Gesamtlänge der Zwillingsträgerhilfsbrückenkette von $> 30,0$ m sind zudem die Nachweise der Schienenlängsspannung zu führen. Hierzu wurde ein räumliches, geometrisch nichtlineares Finite-Elemente-Modell zur Berücksichtigung der Gleis-Tragwerk-Interaktion erstellt. Die zur Modellierung erforderlichen Widerstandsgesetze der nichtlinearen Federelemente zwischen den Querträgern der Zwillingsträgerhilfsbrücken und dem Gleis sind dem Modul 804.3401 [9] entnommen. Zur notwendigen Erfassung der Unterbausteifigkeiten wurden Sensitivitätsanalysen hinsichtlich der Auswirkungen auf die Schienenlängsspannung durchgeführt. Hierbei konnte kein signifikanter Einfluss identifiziert werden. In Bild 5 sind exemplarisch die min. und max. Schienenlängsspannung infolge der Gleis-Tragwerk-Interaktion dargestellt. In dem abgebildeten Fall befindet sich die Festlagerachse der beiden Überbauten auf dem gemeinsamen Mittelpfeiler.

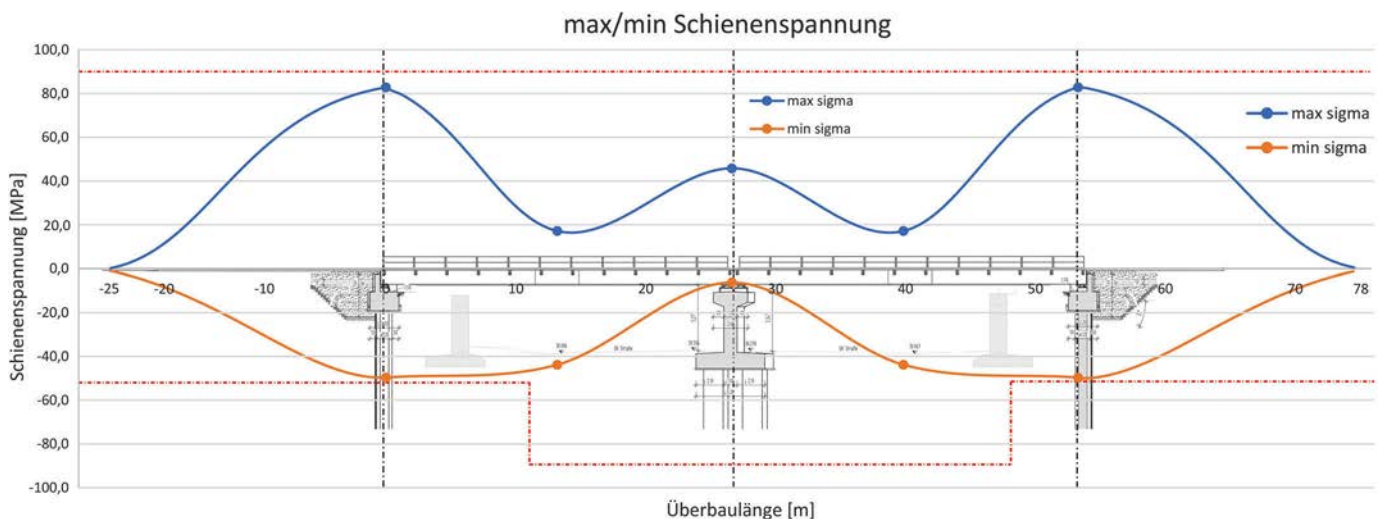


Bild 5 Schienenlängsspannung infolge der Gleis-Tragwerk-Interaktion
Longitudinal rail stress as a result of the track-structure interaction

4 Notwendige Genehmigungen UiG und ZiE

Gemäß Modul 804.4110 waren für die eingesetzten Hilfsbrücken zwei UiG und eine ZiE erforderlich:

1. UiG: für den Einsatz der Hilfsbrücken als Dauerbehelf.
2. UiG und ZiE: für den Einsatz der Hilfsbrückenkette.

Aufgrund der sehr guten Zusammenarbeit mit der DB-Zentrale und dem Eisenbahn-Bundesamt als zuständige Behörde konnten die dazu erforderlichen Unterlagen fristgerecht bearbeitet, eingereicht und genehmigt werden.

5 Untersuchungen zu Schraubenverbindungen

5.1 Allgemeines

Bereits im Dezember 2020 wurden vier Zwillingsträgerhilfsbrücken des Typs ZH 26 aus dem Bestand der DB Netz AG auf den Streckennummern 2184 und 2290 in Betrieb genommen. Diese vier Behelfsbrücken waren bereits auf anderen Strecken mit unterschiedlichen Nutzungsdauern im Einsatz. Die Montage/Demontage der Behelfsbrücken erfolgt jeweils als kompletter Überbau ohne Zerlegung in einzelne Segmente, sodass die geschraubten Anschlüsse seit der Erstmontage nicht wieder gelöst wurden. Ausgelegt wurden die Behelfsbrücken ursprünglich für eine jeweils ununterbrochene Nutzung von max. drei Jahren je Einsatz, was die Nachweisführung der Überbauten für rein statische Beanspruchung zur Folge hatte [10]. Da die Behelfsbrücken nun für eine Dauer von zehn Jahren in Betrieb bleiben sollen, wurden Ermüdungsnachweise für die Konstruktion geführt [7]. Im Rahmen der Nachweisführung wurden die geschraubten Anschlüsse der Endquerträger (EQT) und Querträger (QT) an die Hauptträger (HT) sowohl in [10] als auch [7] als gleitfeste geschraubte Verbindungen, in [7] mit einer Haftreibungszahl von $\mu = 0,2$ nachgewiesen. Die maßgeblichen Parameter einer gleitfesten Verbindung sind die Haftreibungszahl der gepaarten Reiboberflächen und die Vorspannkraft in den geschraubten Verbindungen. In diesem Zusammenhang galt es die beiden Fragestellungen zu beantworten [11], (a) welche Vorspannkraft in den seinerzeit auf die nominelle Regelvorspannkraft $F_V = F_{p,C}^* = 0,7 f_{yb} A_s = 220 \text{ kN}$ (mit f_{yb} : Streckgrenze der Schraube und A_s : Spannungsquerschnitt der Schraube) mittels Drehmoment-Vorspannverfahren angezogenen Verbindungen noch vorliegt und (b) ob die angesetzte Haftreibungszahl von $\mu = 0,2$ als gesichert für den rechnerischen Nachweis der gleitfesten Verbindungen angenommen werden kann. Die gepaarten Reiboberflächen der einschnittigen Verbindungen wurden seinerzeit mit einer Ethylzinksilikatbeschichtung (ESI) versehen, die herstellerabhängig ist und für die keine allgemeingültige Haftreibungszahl in DIN EN 1090-2 [12] geregelt ist.

5.2 Vorhandene Vorspannkkräfte in den vorgespannten hochfesten HV-Schraubenverbindungen M24 ausgewählter HT-EQT/QT-Anschlüsse

Zur Bestimmung der vorhandenen Vorspannkkräfte in den geschraubten Verbindungen der HT-EQT/QT-Anschlüsse wurde in Anlehnung an [13, 14] ein Verfahren entwickelt, welches es ermöglicht, am Tragwerk im eingebauten Zustand vor Ort unter Betrieb, d.h. bei schwingenden Hauptträgern infolge Eisenbahnüberfahrten, unter Baustellenbedingungen die Vorspannkkräfte messtechnisch zu erfassen. Hierfür wurde unter Berücksichtigung der Zugänglichkeit eine der beiden ältesten Zwillingsträgerhilfsbrücken aus 2002 bzw. 2003 ausgewählt, die bis zum Ende der aktuellen Baumaßnahme 2029 ca. 335 Mio. Leistungstonnen und ca. 5400 Einsatztage aufweisen wird.

Zur Messung der Vorspannkkräfte in den vorhandenen Schraubenverbindungen wurden an zwei Hauptträgern (HT 1, HT 4) in den HT-EQT/QT-Anschlüssen Dehnungsmessstreifen (DMS) in zehn HV-Schrauben mütterseitig implantiert, die HV-Schrauben gelöst (Bild 6) und neue HV-Schraubengarnituren mittels kombiniertem Vorspannverfahren nach DIN EN 1090-2 bzw. DAST-Richtlinie 024 [15] eingebaut [16]. Im Nachgang wurden die ausgebauten Schrauben im Labor des Instituts für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen kalibriert, sodass die beim Lösen gemessenen Dehnungen in Schraubenvorspannkkräfte umgerechnet werden konnten.

Es zeigte sich (Bild 7) [16], dass die gemessenen Vorspannkkräfte $F_{p,act}$ selbst nach zehn Jahren Nutzungszeit noch im Rahmen des theoretisch möglichen Vorspannkraftfensters zwischen $F_{p,k=0,16} = 208,3 \text{ kN}$ und $F_{p,k=0,1} = 333,3 \text{ kN}$ liegen; ermittelt mit den theoretisch max. und min. zulässigen k -Werten von 0,16 und 0,10 für die K-Klasse K1. Im Mittel liegt das aktuelle Vorspannkraftniveau 6% oberhalb von $F_{p,C}^* = 220 \text{ kN}$. Bei der Beurteilung der Unterschreitung bis zu 12% (HT-1-4) ist zu beachten, dass selbst bei ordnungsgemäßer Schmierung



Bild 6 Lösen der mit DMS versehenen HV-Schraubenverbindungen
Loosening of the HV bolted connections with strain gauges

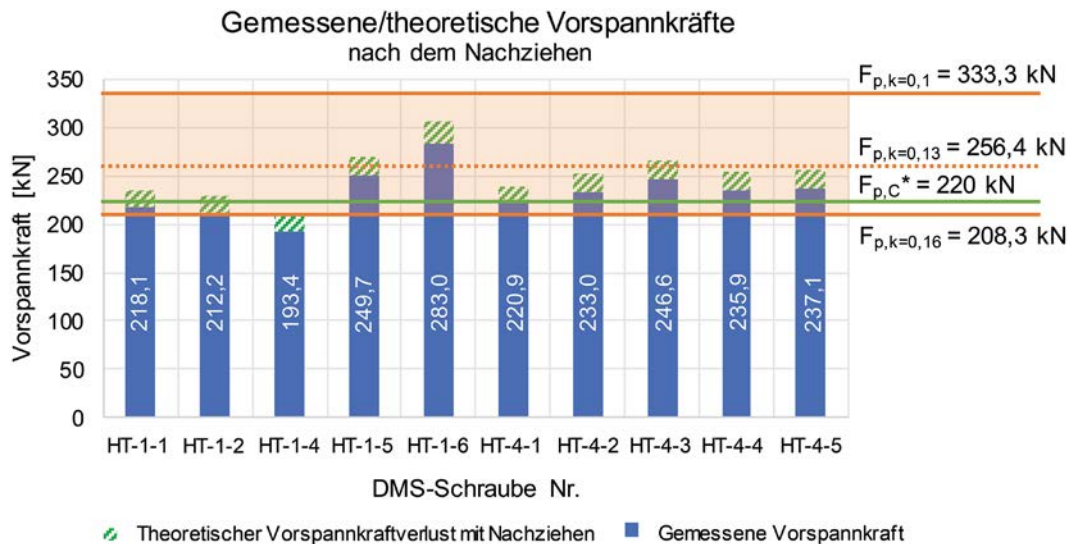


Bild 7 Gemessene Vorspannkraft $F_{p,act}$ in HT 1 und HT 4 der ZH 26.105 und theoretisch angenommene Vorspannkraftverluste über die bisherige Nutzungsdauer [16]

Measured preloads $F_{p,act}$ of HT 1 und HT 4 of ZH 26.105 and theoretically derived preload losses over the service life to date [16]

und einem k -Wert von 0,16 F_{p,C^*} mit ca. 5,3% unterschritten wird.

Zusätzlich zur Auswertung der gemessenen Vorspannkraft erfolgte eine Überprüfung der Ergebnisse im Hinblick auf deren Plausibilität unter Berücksichtigung des drehmomentgesteuerten Anziehverfahrens und bez. möglicher Vorspannkraftverluste während der bisherigen Nutzungsdauer des Bauwerks. Als Ergebnis kann angenommen werden, dass die HV-Schraubengarnituren bei der Erstmontage vor 18 Jahren ordnungsgemäß nach DIN 18800-7 [17] auf die Höhe der Regelvorspannkraft $F_V = 220$ kN, heute F_{p,C^*} , vorgespannt wurden. Mögliche Vorspannkraftverluste, die seit der erstmaligen Montage der Brücke eingetreten sein können, wurden unter Berücksichtigung der Oberflächenvorbereitung der gepaarten Reiboberflächen der gleitfesten Verbindungen (Strahlen auf Sa 2½, 2K-ESI-(Ethylzinksilikat-)Beschichtung mit 60 μ m bzw. 80 μ m NDFT im Bereich der EQT/QT/HT) und unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus [18, 19] abgeschätzt. Danach erscheinen die gemessenen Vorspannkraft sowohl für ein seinerzeitiges Anziehen mittels Drehmoment-Vorspannverfahren ohne nachgeschaltetes Nachziehen als auch unter Annahme eines möglichen nachgeschalteten Nachziehens (Bild 7) plausibel. In beiden Fällen wären seinerzeit Vorspannkraft eingebracht worden, die sich unter Ansatz der möglichen k -Werte im Bereich der K-Klasse K1 hätten ergeben können.

5.3 Haftreibungszahlen für die gleitfesten Verbindungen

Zur Überprüfung der ansetzbaren Haftreibungszahlen für die in den Behelfsbrücken vorhandenen Beschichtungen der gepaarten Reiboberflächen der gleitfesten Verbindungen wurden Versuche zur Bestimmung der Haftreibungszahl nach DIN EN 1090-2, Anhang G, an M16-Prüfkörpern am Institut für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen durchgeführt. Gemäß [20] wurden

zwei verschiedene Beschichtungsvarianten untersucht: (1) beide Reiboberflächen beschichtet mit einer 2K-Zinkstaubgrundbeschichtung (zinc-rich), Produkt Gehodur-F86-Zink, F86-790 mit einer gemessenen mittleren Trockenschichtdicke von ca. 90 μ m DFT sowie (2) eine Kombination aus einer Silikat-Zinkstaubbeschichtung, Produkt SikaCor ZincZS für eine Reiboberfläche mit ca. 99 μ m DFT und eine 1K-ESI-Zinkgrundbeschichtung, Produkt Gehodur-F35-Zink, F35-790 für die gegenüberliegende Reiboberfläche mit ca. 80 μ m DFT. In der Summe wurden für beide Beschichtungsvarianten jeweils vier statische Versuche, ein Kriechversuch und mehrere erweiterte Kriechversuche durchgeführt. Auf Basis dieser Versuche konnte für die Beschichtungsvariante Gehodur-F86-Zink eine Haftreibungszahl nach bestandenen erweiterten Kriechversuchen von $\mu_{ect} = 0,45$ und für die Beschichtungsvariante SikaCor ZincZS/Gehodur-F35-Zink (beispielhaft Bild 8) eine Haftreibungszahl nach bestandenen erweiterten Kriechversuchen von $\mu_{ect} = 0,36$ ermittelt werden [21].

Des Weiteren wurden für jede Beschichtungsvariante zusätzlich drei erweiterte Kriechversuche nach sinusförmiger zyklischer Beanspruchung unter Ansatz der extremalen Querkraft gem. [22] bei einem Spannungsverhältnis von $R = 0$ und 1 Mio. (jeweils zwei Prüfkörper) bzw. 5 Mio. (jeweils ein Prüfkörper) Lastspielen durchgeführt, um die Gültigkeit der erzielten Haftreibungszahlen unter Berücksichtigung der im realen Bauwerk vorhandenen Ermüdungsbeanspruchung zu überprüfen. Erfahrungsgemäß zeigt sich eine Stabilisierung der Prüfkörper nach zyklischer Beanspruchung, die auf eine bessere Verzahnung der gepaarten Reiboberflächen zurückzuführen ist [23]. Dies wurde auch in den vorliegenden Untersuchungen beobachtet, siehe beispielhaft Bild 8 für die Beschichtungsvariante SikaCor ZincZS/Gehodur-F35-Zink. Die nach DIN EN 1090-2 ermittelten Haftreibungszahlen können für die Behelfsbrücken auch unter Berücksichtigung der Ermüdungsbeanspruchung bestätigt werden.

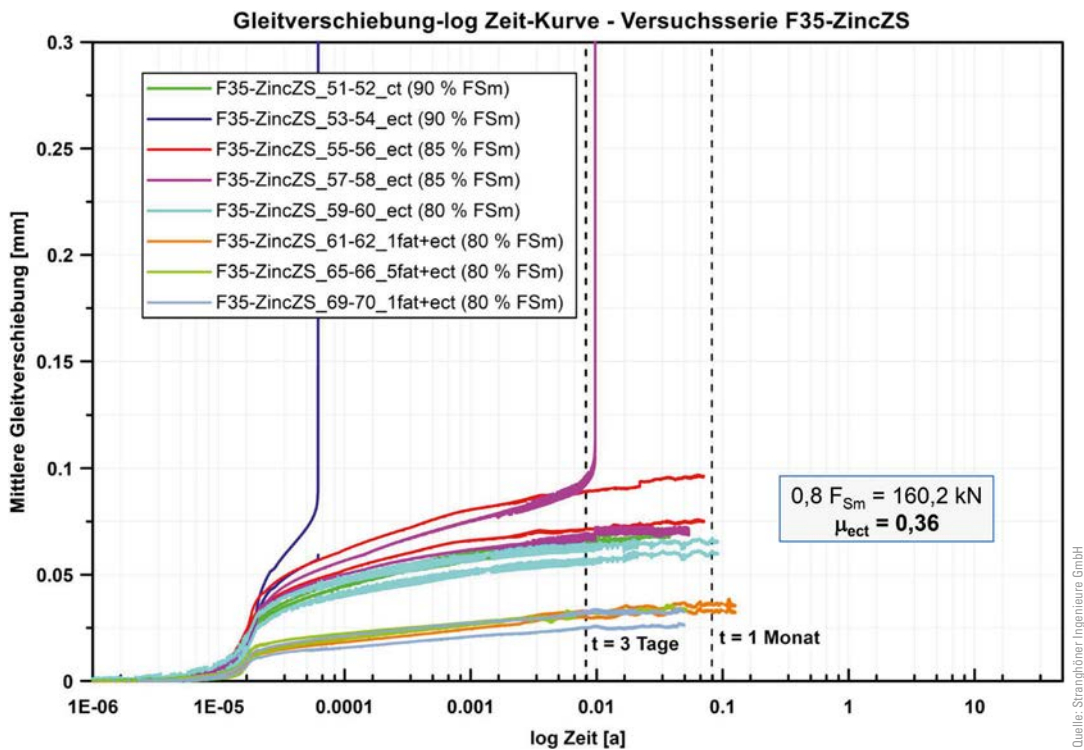


Bild 8 Erweiterte Kriechversuche unter verschiedenen Beanspruchungsniveaus und nach Ermüdungsbeanspruchung für $0,80 F_{Sm}$ für die Beschichtungsvariante SikaCor ZincZS/Gehodur-F35 [21]
Extended creep tests under varying load levels and after fatigue loading for $0,80 F_{Sm}$ of coating variant SikaCor ZincZS/Gehodur-F35 [21]

5.4 Fazit

Die experimentell ermittelten vorhandenen Vorspannkkräfte in den vorgespannten HV-Schraubenverbindungen M24 der untersuchten Behelfsbrücke weisen auf ein seinerzeit ordnungsgemäß durchgeführtes Vorspannen der Schraubengarnituren hin. Die ermittelten Vorspannkkräfte liegen noch heute im Bereich des Nennwerts der Vorspannkraft $F_{p,C}^*$. Die experimentell ermittelten Haftreibungszahlen für die in den Behelfsbrücken vorhandenen gleitfesten Verbindungen betragen für die beiden Beschichtungsvarianten $\mu = 0,45$ bzw. $\mu = 0,36$ und überschreiten damit beide die in der Bemessung zugrunde gelegte Haftreibungszahl von $\mu = 0,2$ deutlich. Eine Überprüfung der Haftreibungszahlen in erweiterten Kriechversuchen nach zyklischer Beanspruchung bestätigt die bisherige Erfahrung, dass Haftreibungszahlen beschichteter Reiboberflächen infolge zyklischer Beanspruchung nicht negativ beeinflusst, sondern vielmehr durch eine bessere Verzahnung der Reiboberflächen bestätigt werden. Die durchgeführten experimentellen Untersuchungen haben gezeigt, dass bei den bestehenden Anschlüssen für beide Konfigurationen der Oberflächenausführung mit ausreichenden Tragfähigkeitsreserven zu rechnen ist, sodass an dieser Stelle keine weiteren Baumaßnahmen notwendig waren.

6 Bauliche Umsetzung

Das Brückenbauwerk, welches dem Brandherd am nächsten gelegen war, wies gravierende statische Defizite auf,

woraus sich die Notwendigkeit des kompletten Rückbaus des Brückenüberbaus sowie des Mittelpfeilers einschließlich der zugehörigen Gründungsbauteile ergab. Bild 9 zeigt den Rückbau des betroffenen Brückenüberbaus.

Die notwendige Tiefengründung der neuen Widerlager der Zwillingsträgerhilfsbrücken als tangierende Bohrpfehlwand erforderte den Einsatz von Großbohrgeräten auf den Bestandsbahndämmen. Hierfür wurden die Bohrmaschinen mithilfe eines Autokrans auf die beiden Bahndämme gehoben. Das geringe Zeitfenster für die Herstellung der Tiefengründung erforderte den parallelen Einsatz von jeweils einem Großbohrgerät je Widerlagerseite.

Die Herstellung der Tiefengründung des Mittelpfeilers erfolgte während der Vollsperrung der BAB 40. Nach Fertigstellung der Großbohrpfähle am Mittelpfeiler konnten jeweils zwei Fahrspuren je Richtung für den Straßenver-



Bild 9 Abbruch des brandgeschädigten Brückenüberbaus
Demolition of the fire-damaged bridge superstructure



Bild 10 Draufsicht auf die Bohrpfähle der Pfahlkopfplatte des Mittelpfeilers
Top view of the bored piles of the pile cap of the central pier



Bild 11 Einhub des ersten Zwillingsträgerpaars der Zwillingsträgerhilfsbrücke
Stroke-in of the first pair of twin girders of the auxiliary bridge

kehr wieder freigegeben werden. Bild 10 zeigt die Draufsicht auf die acht Großbohrpfähle des Mittelpfeilers.

Nach Fertigstellung der Unterbauten wurden die Zwillingsträgerhilfsbrücken jeweils als Paar von zwei Brückenlängsträgern eingehoben. In Bild 11 ist der Brückeneinbau während der Autobahnvollsperrung dargestellt.

Zur Erzielung der Ebenheitsanforderung der neuen Lagerbauteile der Zwillingsträgerhilfsbrücken wurden die einzelnen Brückenlängsträger zunächst auf Hilfstraversen abgelegt. Diese wiederum wurden auf hydraulischen Pressen aufgelegt, wodurch die Möglichkeit bestand, die Brückenlängsträger in ihrer Höhe zu justieren. Zudem bildete die Neigung des Obergurts der Hilfstraversen die notwendige Gleisüberhöhung ab. In Bild 12 ist exemplarisch das Ablegen des ersten Zwillingsträgerhilfspaars an der Widerlagerachse dargestellt.

Bild 13 zeigt die erste vollständig eingehobene Zwillingsträgerhilfsbrücke mit ausgeklappten Gehwegkonsolen



Bild 12 Ablegen des ersten Zwillingsträgerpaars auf der Hilfstraverse an der Widerlagerachse
Placing the first pair of twin girders on the auxiliary crosshead at the abutment axis



Bild 13 Final ausgerichtete Zwillingsträgerhilfsbrücke
Final aligned twin girder auxiliary bridge

und fertiggestelltem Steckgeländer. Nachdem die Kette aus Zwillingsträgerhilfsbrücken in Gänze eingehoben wurde, erfolgte die Feinjustierung der Gleislage über die hydraulischen Pressen der Hilfstraversen. Anschließend wurden alle Lagersockel vergossen und nach dem Abbinden des Vergussbetons die Pressen unter den Hilfstraversen entlastet.

7 Zusammenfassung

Bedingt durch die hohe Temperaturbeanspruchung bei dem Brand eines Tanklasters wurden mehrere Brückenbauwerke der Eisenbahnüberführung über die A 40 bei Mülheim derart beschädigt, dass sie abgebrochen werden mussten.

Im vorliegenden Beitrag wurden die Maßnahmen zur Wiederherstellung des vollständigen Streckenbetriebs beschrieben.

Die Relevanz der Strecke im Netz der DB AG bedingte die Verwendung von Zwillingsträgerhilfsbrücken, da ein Brückenneubau aufgrund der zeitlichen Dringlichkeit nicht realisierbar war.

Die erforderlichen Genehmigungen für den Einsatz als Hilfsbrückenkette und als Dauerbehelf wurden zusammengefasst.

Eine gutachterliche Stellungnahme zur Dauerhaftigkeit der gleitfest vorgespannten Verbindungen belegt, dass die verwendeten Hilfsbrücken für eine Einsatzdauer von zehn Jahren ermüdungssicher sind.

Abschließend bleibt hervorzuheben, dass alle Beteiligten ein hohes Engagement gezeigt haben, was wesentlich dazu beigetragen hat, dass die Baumaßnahme in dieser kurzen Bauzeit durchgeführt werden konnte.

Projektbeteiligte

Auftraggeber	DB Netz AG
Ingenieurbüros	Henneker Zillinger Beratende Ingenieure PartG mbB WPI West-Plan-Ingenieure Thormählen + Peuckert Beratende Ingenieure PartG mbB Ingenieurbüro PSP Prof. Sedlacek und Partner GmbH König und Heurnisch Planungsgesellschaft mbH Dortmund Ahlenberg Ingenieure Baugrundinstitut Biedebach

	Stranghörer Ingenieure GmbH Bau Ingenieur Sozietät Sasse und Fiebrich Marx Ingenieurgesellschaft mbH MKP GmbH Institut für Schweißtechnik u. Ingenieurbüro Dr. Möll GmbH FCT-Umwelttechnik GmbH
Ausführende Firmen	Kahl Bau Oevermann GmbH Schwebbau GmbH & Co. KG IHT Ingenieur-, Hoch- und Tiefbau GmbH Albert Horn GmbH Bresselschmidt ÖBS Sonntag Tiefbau Spitzke SE Mast Grundbau GmbH J. Kukor Brunnenbau GmbH Grundbau Jansen GmbH Stahlbau Raulf Teupe Gerüstbau Natrop und Jansen GmbH KAF Falkenhahn Bau AG
Bauüberwachung	BPB – Büro für Planung und Bauüberwachung im Verkehrswesen GmbH Ingenieurbüro Hagen Faßbender Sicherung im Bahndienst Ing. Büro Schopen Planungsgesellschaft für das Bauwesen mbH Vorthmann
Sonstige	COLONIA Spezialfahrzeuge Gottfried Schönges GmbH & Co. KG Gerken GmbH G. Costanza
Behörden	Autobahn GmbH Landesbetrieb Straßenbau NRW

Literatur

- [1] Richtlinie 804 (2013) *Eisenbahnbrücken (...) planen, bauen und instand halten – Modul 4110, Hilfsbrücken*. DB Netze. Ausgabe Jan. 2013.
- [2] Richtlinie 804 (2013) *Eisenbahnbrücken (...) planen, bauen und instand halten – Modul 4111, Hilfsbrücken – Geschwindigkeitsbereich 90 km/h < v ≤ 120 km/h*. DB Netze. Ausgabe Jan. 2013.
- [3] Richtlinie 804 (2006) *Eisenbahnbrücken (...) planen, bauen und instand halten – Modul 9050, Planungs- und Einbauhinweise für Hilfsbrücken*. DB Netze. Ausgabe Apr. 2006.
- [4] Richtlinie 804 (2013) *Eisenbahnbrücken (...) planen, bauen und instand halten – Modul 5101, Brückenlager*. DB Netze. Ausgabe Jan. 2013.
- [5] DIN EN 1993-1-9:2010-12 (2010) *Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung*. Berlin: Beuth. Ausgabe Dez. 2010.
- [6] Richtlinie 805 (2021) *Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken*. DB Netze. Ausgabe März 2021.
- [7] Henneker Zillinger Beratende Ingenieure PartG mbB (2020) *Bautechnischer Nachweis – Ermüdungsnachweis ZH 26 – Überbau III, BAB A40 Brandschaden EÜ Mülheim – Styrum*. Projekt Nr. 201346 02A. Bonn, 12. Nov. 2020.
- [8] DIN EN 1990:2010-12 (2010) *Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010*. Berlin: Beuth. Ausgabe Dez. 2010.
- [9] Richtlinie 804 (2013) *Eisenbahnbrücken (...) planen, bauen und instand halten – Modul 3401, Längskraftabtragung*. DB Netze. Ausgabe Jan. 2013.
- [10] Ingenieurbüro für Tragwerksplanung Dr.-Ing. K.-F. Koch (2002) *Ausführungsplanung, Zwillingsträger-Hilfsbrücke (ZH DB), Stützweite 26,40 m für den Einsatz in besonderem Fall*. München, 30. Juni 2002.
- [11] Prof. Dr.-Ing. Dieter Ungermann, PSP – Prof. Sedlacek & Partner (2020) *Prüfbericht Nr. 3 für die statisch-konstruktive Prüfung, BV EÜ über BAB A40 – Mülheim/Ruhr-Styrum, Brandschaden Überbau III, Bauwerk 16002857*. Dortmund, 20. Nov. 2020.
- [12] DIN EN 1090-2:2018-09 (2018) *Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken, Deutsche Fassung EN 1090-2:2018*. Berlin: Beuth. Ausgabe Sept. 2018.
- [13] De Vries, P.; Nigh, M.; Veljkovic, M. (2017) *Determining the preload in preloaded bolt assemblies in existing steel structures*. Steel Construction 10, no. 4, pp. 282–286. <https://doi.org/10.1002/stco.201710037>
- [14] Stranghörer, N. et al. (2018) *Execution and reliability of slip resistant connections for steel structures using CS and SS, RFCS Research project SIROCO (RFSR-CT-2014-00024)*. Final Report.
- [15] DAST-Richtlinie 024:2018-06 (2018) *Anziehen von geschraubten Verbindungen der Abmessungen M12 bis M36*. Düsseldorf: Deutscher Ausschuss für Stahlbau, Stahlbau Verlags- und Service GmbH. Ausgabe Juni 2018.
- [16] Stranghörer, N.; Afzali, N.; Makevičius, L. (2021) *Gutachterliche Stellungnahme – Vorhandene Vorspannkkräfte in den vorgespannten HV-Schraubenverbindungen M24 im Bereich der HT-EQT- und HT-QT-Anschlüsse der Behelfsbrücke ZH 26.105, BV: Brandschaden, BAB 40 Mülheim-Styrum*. Bericht Nr. 21/05-30165-1, 1. Juni 2021.
- [17] DIN 18800-7:2008-11 (2008) *Stahlbauten – Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation*. Berlin: Beuth. Ausgabe Nov. 2018.
- [18] Stranghörer, N.; Makevičius, L.; Flüge, W.; Henkel, K.-M.; Glienke, R.; Dörre, M.; Schwarz, M.; Friedrich, S.; Fiedler, S. *IGF-Forschungsvorhaben P 1266/40/2017/IGF-Nr. 19749 BG, Einfluss von fertigungs- und montagebedingten Imperfektionen auf das Tragverhalten geschraubter gleitfester Verbindungen im Stahlbau*. Abschlussbericht (in Vorbereitung).
- [19] Stranghörer, N.; Makevičius, L.; Flüge, W.; Henkel, K.-M.; Dörre, M.; Schwarz, M. *IGF-Forschungsvorhaben P 1455/13/2020/IGF-Nr. 21196 BG, Entwicklung normativer Grundlagen zur Berücksichtigung von Vorspannkraftverlusten in vorgespannten Schraubenverbindungen im Stahlbau mit allseits beschichteten Oberflächen* (in Bearbeitung).
- [20] Stranghörer, N. (2021) *Konzept für eine Verfahrensprüfung zum Nachweis der Haftreibungszahl in gleitfesten Verbindungen von geschraubten Querträgeranschlüssen in bestehenden und neuen Behelfsbrücken, BV: Brandschaden BAB 40 Mülheim-Styrum*. Stranghörer Ingenieure GmbH, Bericht-Nr. 21/03-30148-1, 23. Apr. 2021.

- [21] Stranghöner, N.; Afzali, N.; Makevičius, L. (2021) *Gutachterliche Stellungnahme – Ermittlung der Haftreibungszahl für die gleitfesten Verbindungen der QT-Anschlüsse in den Behelfsbrücken ZH 26*. Bericht Nr. 21/04-30161-2, 22. Nov. 2021.
- [22] Ingenieure PSP GmbH (2020) *Statische Berechnung EÜ über die BAB A40, Havarie – Hilfsbrücke Überbau, Ermüdung*. S. E-8–E-11.
- [23] Stranghöner, N.; Makevičius, L.; Flügge, W.; Henkel K.-M.; Glienke, R.; Dörre, M. (2019) *IGF-Forschungsvorhaben IGF-Nr. 18711 BG, Entwicklung eines Konzeptes zur Erfassung von Vorspannkraftverlusten in vorgespannten Schraubverbindungen unter Ermüdungsbeanspruchung. Schlussbericht P 1091*. Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V., FOSTA, Düsseldorf.

Autorinnen und Autoren

Dr.-Ing. Tobias Kosky (Korrespondenzautor)
tobias.kosky@hzi-bonn.de
Henneker Zillinger Ingenieure Beratende Ingenieure PartG mbH
Königswinterer Straße 329
53227 Bonn

Dr.-Ing. Wulf Zillinger
wulf.zillinger@hzi-bonn.de
Henneker Zillinger Ingenieure Beratende Ingenieure PartG mbH
Königswinterer Straße 329
53227 Bonn

Ali Shahnazian
DB Netz AG
Regionale Instandsetzung West, I.NA-W-RI
Geldernstraße 24–32
50739 Köln

Yasemin Ay
DB Netz AG
Regionale Instandsetzung West, I.NA-W-RI
Geldernstraße 24–32
50739 Köln

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner
n.stranghoener@stranghoener-ing.de
Stranghöner Ingenieure GmbH
Im Teelbruch 134a
45219 Essen

Dr.-Ing. Nariman Afzali
nariman.afzali@uni-due.de
Universität Duisburg-Essen
Institut für Metall- und Leichtbau
Universitätsstraße 15
45141 Essen

Lukas Makevičius M.Sc.
lukas.makevicius@uni-due.de
Universität Duisburg-Essen
Institut für Metall- und Leichtbau
Universitätsstraße 15
45141 Essen

Prof. Dr.-Ing. Dieter Ungermann
dieter.ungermann@tu-dortmund.de
Technische Universität Dortmund
Lehrstuhl für Stahlbau
August-Schmidt-Str. 6
44227 Dortmund

Dr.-Ing. Jens Kalameya
j.kalameya@psp-ingenieure.de
PSP – Prof. Sedlacek & Partner GmbH
Stockumer Straße 475
44227 Dortmund

Zitieren Sie diesen Beitrag

Kosky, T.; Zillinger, W.; Shahnazian, A.; Ay, Y.; Stranghöner, N.; Afzali, N.; Makevičius, L.; Ungermann, D.; Kalameya, J. (2022) *Einsatz von Zwillingsträgerhilfsbrücken im Zuge einer Notmaßnahme zur Querung der BAB 40*. Stahlbau 91, H. 2, S. 72–83.
<https://doi.org/10.1002/stab.202100103>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet.
Eingereicht: 21. Dezember 2021; angenommen: 4. Januar 2022.