



Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Fakultät:
Bauingenieurwesen

Studiengang:
Bauingenieurwesen

Lehrgebiet:
Brückenbau

DIPLOMARBEIT

Statisch-konstruktive Optimierung der Zwillingsträger-Hilfsbrücken der DB AG

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Holger Flederer

Bearbeitungszeitraum: Januar – Juni 2019

Verfasser

Sven Lorenz
Geboren am
12.07.1992 in Reutlingen

Bildungsweg

Bauingenieurwesen Studium
2014 – 2019 an der HTW Dresden

Abitur

2003 – 2013 an dem Bildungszentrum Nord (BZN)
in Reutlingen



Hintergrund

Die Deutsche Bahn ist im Begriff, eine beträchtliche Anzahl an Überführungsbauwerken mit kleineren Spannweiten zu erneuern bzw. in Stand zu setzen. Dabei wird grundsätzlich gefordert, Einschränkungen des Bahnbetriebs sowie der angrenzenden Verkehrsräume zu minimieren. Daher kommen in Bauzuständen häufig Behelfsbrücken zum Einsatz.

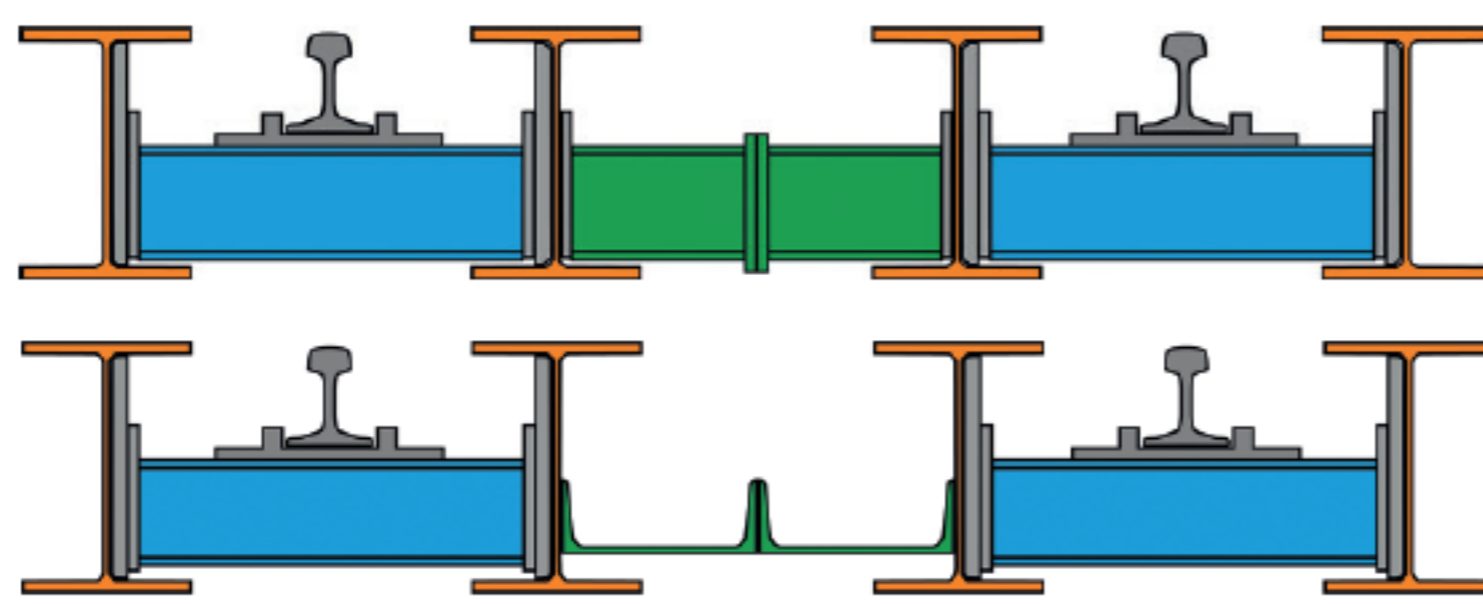
Die Zwillingsträger-Hilfsbrücken der DB Netz AG werden regelmäßig für derartige Aufgaben eingesetzt und überspannen im Raster von 2,4 m Stützweiten von 7,2 m bis 31,2 m. Auf den Hilfsbrücken sind gegenwärtig Streckengeschwindigkeiten von 120km/h zulässig. Das führt teilweise zu Fahrzeitverlusten im Betriebsablauf. Darüber hinaus können Neubauten unterhalb der Hilfsbrücke wegen der Konstruktionshöhe und der kreuzenden Gradienten nur bis zu einer Stützweite von 14,4 m hergestellt werden.

Aufgabenstellung

Im Rahmen der Diplomarbeit soll auf einer systematischen Recherche aufbauend die Bauart einer statisch-konstruktiven Optimierung unterzogen werden. Hauptzielstellungen der Optimierung sind das Verringern der Konstruktionshöhe um 20 cm und die Erhöhung der maximal zulässigen Überfahrtsgeschwindigkeit auf 200km/h, wobei grundsätzlich die Gefährdung der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit durch resonante Anregung aus Zugverkehr auszuschließen ist. Als Grundlage der Arbeit sind systematische Recherchen nach vergleichbaren Hilfs- und Behelfsbrückensystemen. Die Rechercheergebnisse sind zu typologisieren, wobei neben den konstruktiven Merkmalen und Tragfähigkeiten auch die baustellenspezifischen Möglichkeiten, Montagetechniken und Kosten zu berücksichtigen und zu bewerten sind. Im zweiten Teil der Arbeit werden Vorzugsvarianten für die Typen ZH9, ZH16 und ZH24 ausgewählt und einer vertieften statischen Vorbemessung unterzogen, die den oben genannten Zielstellungen gerecht werden.

Aktueller Bestand der Zwillingsträger-Hilfsbrücken der DB AG

Die DB Netz AG verfügt derzeit über zehn Typen an Zwillingsträger-Hilfsbrücken mit unterschiedlicher Stützweite. Der Wortbedeutung nach, bestehen die Zwillingsträger-Hilfsbrücken aus jeweils zwei Längsträgerpaare der breiten Profilverfahren I und H, die durch Querträger alle 60 cm miteinander verschraubt sind. Der Querträgerabstand orientiert sich am Schwellenabstand im Bahnnetz. Durch eine asymmetrische Anordnung der Langlöcher auf den Obergurten der Querträger, sind sowohl Übergangsbögen bzw. Gleisbögen als auch gerades Gleis auf der Hilfsbrücke einstellbar. Für die Brückenstabilität sind die U-Profile zwischen den Trägerpaaren verantwortlich. Bei Spannweiten von mehr als 26,40m werden Hilfsbrückenketten eingesetzt. Durch die zusätzliche Zwischenstütze wird der Verkehrsraum unterhalb der Hilfsbrücke eingeschränkt. Daraufhin wurden die bisherigen Hilfsbrücken auf eine größere Spannweite untersucht. Dabei wurde jedoch festgestellt, dass aufgrund der geschraubten Ausführung, keine Vergrößerung der Spannweite möglich ist. Mit dieser Schlussfolgerung wurde im weiteren Verlauf der Planung eine geschweißte Ausführung untersucht. Dabei soll die maximale Konstruktionshöhe der ZH26 von 1300mm in Feldmitte nicht überschritten werden, um den Verkehrsraum unterhalb der Hilfsbrücke nicht weiter zu verkleinern. Als



Querschnitte einer Zwillingsträger-Hilfsbrücke

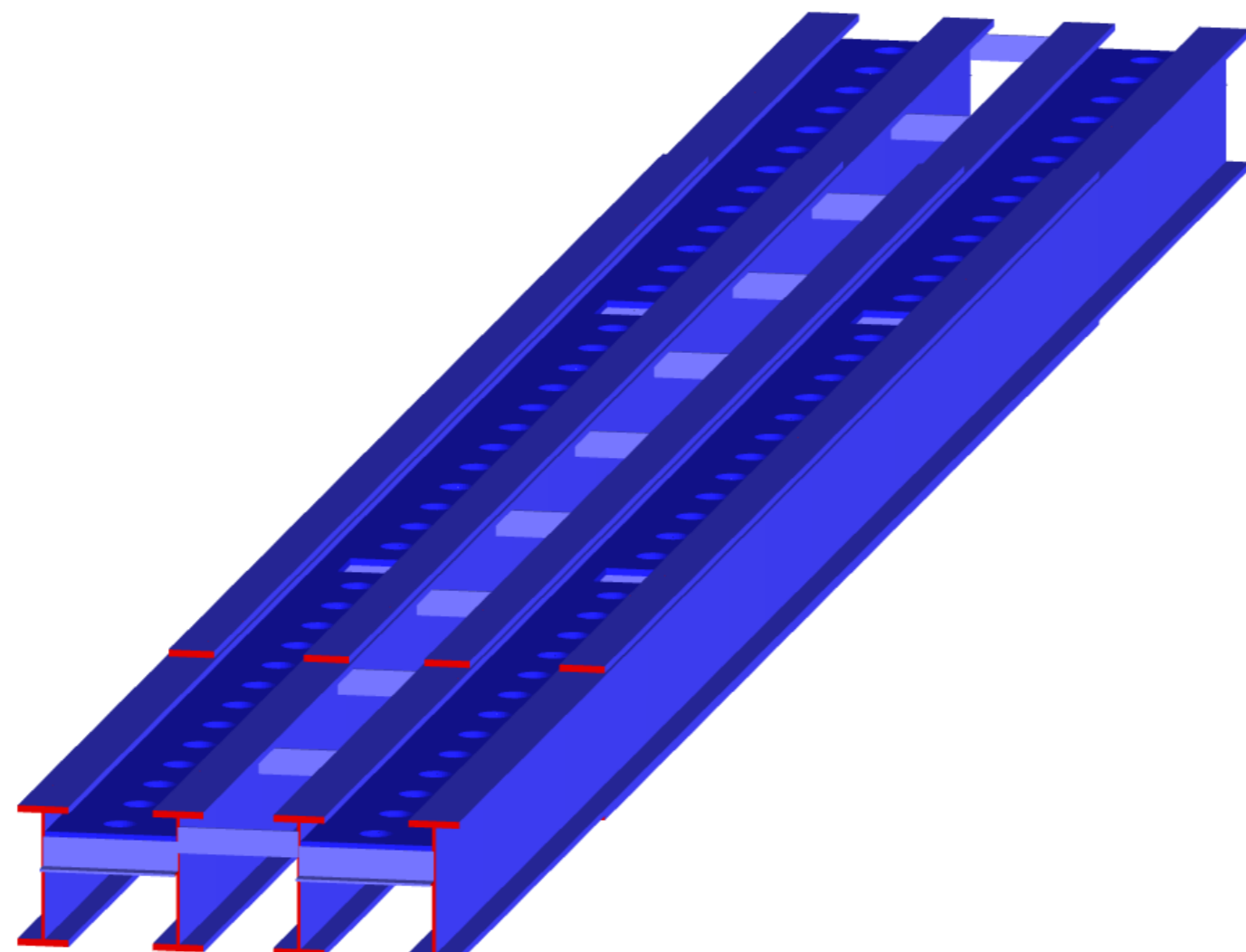
Technische Daten - Zwillingsträgerhilfsbrücken										
Typ	ZH 7	ZH 9	ZH 12	ZH 14	ZH 16	ZH 19	ZH 21	ZH 24	ZH 26	ZH 31 ¹⁾
Länge [m]	7,74	10,14	12,54	14,94	17,34	19,74	22,14	24,54	26,94	31,74
Geschwindigkeit max. [km/h] ²⁾	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Stützweite max. [m]	7,20	9,60	12,00	14,40	16,80	19,20	21,60	24,00	26,40	31,20
variable Stützweite [m] (bedeutet am L ²⁾	7,20	9,60	12,00	14,40	16,80	19,20	21,60	24,00	26,40	31,20
Stützweite [m]	6,20	7,60	9,60	12,00	14,40	16,80	19,20	21,60	24,00	28,80
Bauhöhe am Auflager [mm] inkl. Zu- und/oder ohne Schiene	262	372	394	350	492	686	782	880	1.072	1.032
Bauhöhe in Brückenmitte [mm] inkl. Zu- und/oder ohne Schiene	262	372	394	400	542	726	832	920	1.122	1.102
Masse [kg]	9.601	14.667	21.675	31.620	38.740	45.183	54.089	58.621	81.640 ³⁾	107.400 ⁴⁾

Vergleich der Zwillingsträger-Hilfsbrücken der DB Netz AG

Haupttragerelemente wurden geschweißte Doppel-T-Träger gewählt. Durch die geschweißte Konstruktion können die Träger der Belastung angepasst werden, z.B. durch eine höhere Stegdicke der Hauptträger im Auflagerbereich. Für eine höhere Steifigkeit in Richtung Brückenmitte sorgen die aufgeschweißten Gurtlamellen unterschiedlicher Dicke (10mm, 40mm, 70mm). Die 53 Querträger, die auch als geschweißte Funktion ausgeführt werden, verbinden jeweils ein Zwillingsträgerpaar im Abstand von 60cm. Der entscheidende Unterschied der ZH31 zu den übrigen Zwillingsträgerhilfsbrücken ist die Ausführung eines Fahrbahnblechs zwischen den Hauptträgern. Dieses Fahrbahnblech hat mehrere Funktionen: es wirkt sowohl als Obergurt des Querträgers, als auch durch die mitwirkende Plattenbreite als Hauptträger, wodurch die Hauptträgersteifigkeit erhöht wird.

Entwicklung der Vorzugsvarianten

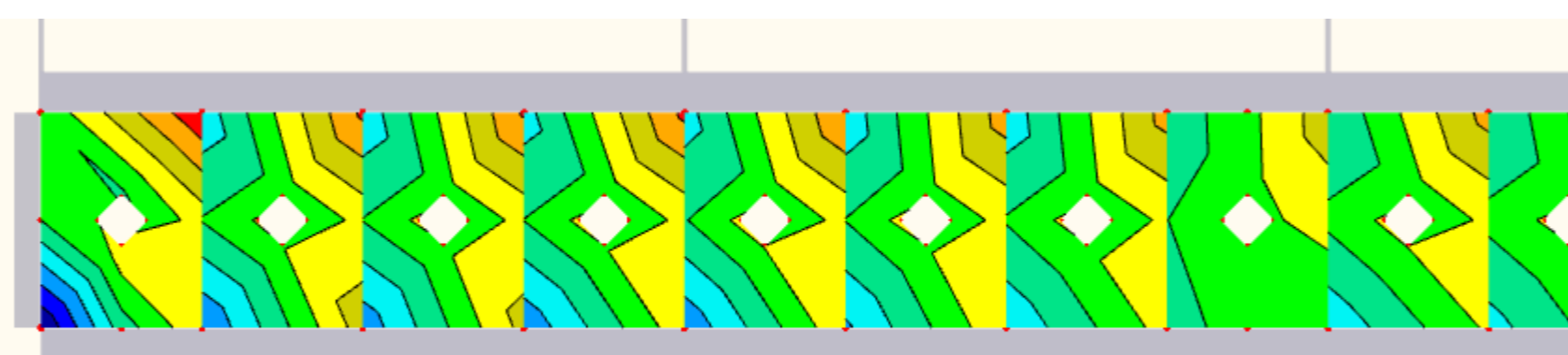
Alle Vorzugsvarianten sind als Schweißkonstruktionen geplant. Dabei soll die Bauhöhe um mindestens 20cm verringert und eine Überfahrtsgeschwindigkeit von mindestens 200km/h gewährleistet werden. Aufgrund der schon geringen Bauhöhe der ZH9 (372mm) ist eine Reduzierung der Bauhöhe eher bei den größeren Spannweiten vorgesehen. Für die Modellierung der Vorzugsvarianten wurde die Finite-Elemente-Statiksoftware RFEM verwendet. Die Idee einer Hohlkastenbrücke wurde aus fertigungstechnischen Gründen wie z.B. Zugänglichkeit zu den Schweißnähten aufgrund der geringen Höhe, schnell wieder verworfen. Eine reine Dickblechbrücke ist aufgrund der hohen Durchbiegung ebenfalls nicht möglich. Das Modell nebenan zeigt die Vorzugsvariante für die ZH24. Diese orientiert sich komplett an der ZH31. Eine besondere Aufmerksamkeit bei der Dimensionierung der Vorzugsvariante galt hierbei der Bauhöhenreduzierung von 20cm. Die Zwillingsträger bestehen aus Doppel-T-Profilen. Jedes Trägerpaar wird sowohl vom Fahrbahnblech mit der Dicke 20mm als auch von Querträgern aus T-Profilen alle 0,6m gehalten. Für die Gleislagestabilität sind Verbindungsbleche alle 2,4m zuständig.



Modell der Vorzugsvariante für die ZH24

Vorbemessung

Für die Vorbemessung werden die Lastgruppen gr11-gr14 gemäß DIN EN 1991-2 Tabelle 6.10 – Nachweis der Lastgruppen für Eisenbahnverkehr untersucht. Die Teilsicherheitsbeiwerte werden aus der DIN EN 1990/NA/A1 Tabelle NA.A2.1 entnommen. Die ständigen Lasten werden mit 1,35, die Einwirkungen aus Schienenverkehr mit 1,45 und die Einwirkungen aus Wind mit 1,5 multipliziert. Aufgrund der massiven Dicke der Obergurte der Hauptträger (40mm) und aufgrund der Querträger und/oder des Fahrbahnblechs gegen seitliches Ausknicken gehalten. Von daher kann auf ein Biegedrillknicknachweis verzichtet werden. Ein Ermüdungsnachweis ist laut RIL 804.4110 nicht nötig, da die Hilfsbrücken nur temporär eingesetzt werden. Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit werden die Module RF-Stahl Flächen – Allgemeine Spannungsanalyse und RF-Stahl Stäbe – Allgemeine Spannungsanalyse verwendet. Die dynamische Berechnung wird mit Hilfe des Moduls RF-DYNAM Pro – Dynamische Analyse berechnet. Aufgrund der Spannungsanalyse konnte nun bei der ZH24 an mehreren Punkten festgestellt werden, dass das Fahrbahnblech zu dünn gewählt wurde. Mit Hilfe der Optimierungsfunktion wurde die Dicke des Fahrbahnblechs um 10mm auf 30mm erhöht. Damit wurde der Nachweis im GZT erbracht. Mit derselben Vorgehensweise wurden die Hauptträger und die anderen Vorzugsvarianten berechnet. Das Modul RF-DYNAM Pro berechnete die Eigenfrequenz der 1. Biegeform. Da alle drei Vorzugsvarianten im zulässigen Bereich waren, waren keine weiteren dynamischen Untersuchungen erforderlich.



Auszug der Spannungsverteilung des Fahrbahnblechs der Vorzugsvariante für die ZH24 - Draufsicht

Vergleich mit den Hilfsbrücken in Österreich

Aufgrund der engen Zusammenarbeit zwischen der Deutschen Bahn und der Österreichischen Bundesbahnen gilt in Österreich eine ähnliche Einordnung und Handhabung von Hilfsbrücken. Die Richtlinie dazu ist im Regelwerk 08.01.03 Brückenprovisorien zu finden. Momentan existieren drei Serien von Hilfsbrücken in Österreich:

- die Schnellfahrhilfsbrücken (SFH)
- die Sonderhilfsbrücken (SHB)
- und weitere Hilfsbrücken (HB).

Die Schnellfahrhilfsbrücken ähneln in ihrer Konstruktion sehr den Zwillingsträgerhilfsbrücken der Deutschen Bahn. Auch das Haupttragwerk der SFH besteht aus je vier Doppel-T-Träger, wobei je zwei Längsträger ein Paar bilden, die durch Querträger alle 65cm miteinander verbunden sind.

Die Schnellfahrhilfsbrücken sind mit einer Stützweite von 10,4 bis 28,6m im Raster von 2,6m erhältlich. Die maximale Geschwindigkeit bis zu einer Stützweite von 20,8m beträgt 140 km/h, darüber maximal 120 km/h. Auch Schwertransporte sind mit einer maximal zulässigen Geschwindigkeit von 10 km/h nach Lastbild DB 745 zulässig. Die Typenbezeichnung erfolgt aus der Stützweite in dm + 5. Zum Beispiel Stützweite 28,6m: 286+5 = Typ 291.

In Anbetracht des fortgeschrittenen Alters vieler Hilfsbrückenkonstruktionen (z.B. Ausgabe der Regelplanung für die SFH im November 1989) und der Umstellung auf die Europäische Normen, entwickeln die ÖBB derzeit auf Grundlage der Schnellfahrhilfsbrücken eine neue, leistungsfähigere Generation von Hilfsbrücken, genannt Hochleistungshilfsbrücken, kurz HHB. Die Anforderungen sind dabei wesentlich höher, als das bei den bestehenden Hilfsbrücken der Fall war. Ein paar davon sind nachfolgend aufgelistet:

- Maximal zulässige Geschwindigkeit von 160 km/h statt 120 bzw. 140 km/h
- Ermüdungsfestigkeit bei einer Nutzungsdauer von 50 Jahren
- Genaue dynamische Untersuchung, auch über den Eurocode hinaus

Einen Vergleich ähnlicher Stützweiten der bestehenden Zwillingsträgerhilfsbrücken der DB mit den künftigen Hochleistungshilfsbrücken der ÖBB zeigt die Tabelle rechts. Die Bauhöhe am Auflager und Brückenmitte bezieht sich dabei auf die Unterkante des Tragwerks bis Oberkante der Fahrbahnträger. Neben der um 40 km/h höheren maximal zulässigen Geschwindigkeit der Hochleistungshilfsbrücken gegenüber den Zwillingsträgerhilfsbrücken, ist auch eine teils hohe Bauhöhenreduzierung bei fast allen Typen erkennbar. Z.B. besitzt die HHB265 in Brückenmitte eine um mehr als 20% geringere Bauhöhe als die ZH26 mit ähnlicher Stützweite. Damit vergrößert sich die lichte Höhe unterhalb der Brücke um 221mm. Das Gesamtgewicht der HHB265 (83t) ist dabei nur geringfügig größer als die der ZH26 (ca. 81,7t).

Typ	Länge [m]	Stützweite [m] ¹⁾	Geschwindigkeit max. [km/h] ²⁾	Bauhöhe am Auflager [mm]	Bauhöhe in Brückenmitte [mm]	Masse [kg]
ZH 12	12,54	12,00	120	372	372	21.675
SFH 109	10,90	9,60	140	400	400	15.600
ZH 14	14,94	14,40	120	328	378	31.620
SFH 135	13,50	13,00	140	450	450	25.400
ZH 16	17,34	16,80	120	470	520	38.740
SFH 161	16,10	15,60	140	452	452	43.900
ZH 19	19,74	19,20	120	664	704	45.183
SFH 187	18,70	18,20	140	592	592	53.600
ZH 21	22,14	21,60	120	760	810	54.089
SFH 213	21,30	20,80	140	698	698	66.000
ZH 24	24,54	24,00	120	858	898	58.621
SFH 239	23,90	23,40	120	664 ³⁾	764 ³⁾	81700 ³⁾
ZH 26	26,94	26,40	120	1.050	1.100	81.640
SFH 265 ⁴⁾	26,50	26,00	120	944	994	76.800
ZH 31	31,74	31,20	120	1.010	1.080	107.400
SFH 291 ³⁾	29,10	28,60	120	924	1.024	102.000

¹⁾ Im geraden Gleis, im Bogen eventuell reduziert, abhängig von Radius und Überhöhung
²⁾ Variable Stützweiten des Typ's ZH
³⁾ 3-lamellig geschweißt
⁴⁾ 2-lamellig geschweißt

Vergleich der Zwillingsträger-Hilfsbrücken der DB Netz AG mit den Hochleistungshilfsbrücken der ÖBB

Belastung der Hilfsbrücken

Für die Erstellung der Lasten und für die Bemessung wurden folgende Normen und Richtlinien verwendet:

- RIL 804.4110
- DIN EN 1990/NA/A1
- DIN EN 1991-2
- DIN EN 1991-1-4/NA
- DIN EN 1993-2
- DIN EN 1993-2/NA

Folgende Lasten werden somit auf die Hilfsbrücken angesetzt:

- Eigengewicht
- Lastmodell 71
- Fliehkraft
- Seitenstoß
- Anfahren und Bremsen
- Wind

Schlussfolgerung

Die Vorbemessung der drei Vorzugsvarianten hat gezeigt, dass eine Bauhöhenreduzierung um 20cm bei höheren Stützweiten durchaus möglich ist. Auch Geschwindigkeiten von 200 km/h sind im Zuge der Vorbemessung denkbar. Erfreulicherweise sind alle Eigenfrequenzen der drei Vorzugsvarianten innerhalb der Grenzen, sodass eine dynamische Berechnung nicht erforderlich ist. Aufgrund der Erfahrungen bei der Bemessung der HHB265, sollte der dynamischen Untersuchung, bei einer genaueren Bemessung einer Hilfsbrücke, trotz Einhaltung der Norm, eine Besondere Beachtung gewidmet werden. Gerade diese neue Generation der Hochleistungshilfsbrücken der Österreichischen Bundesbahnen sollten nicht in Vergessenheit geraten werden.