

**DENKMALGESCHÜTZTE BRÜCKENBAUWERKE
EÜ ANCKELMANNPLATZ, EÜ STERNBRÜCKE – HAMBURG**

**GUTACHTERLICHE BEWERTUNG DER SEITENS DER DB VORGELEGTEN
BEGRÜNDUNGEN FÜR DIE NOTWENDIGKEIT VON ABRISS UND ERSATZNEUBAU**

erarbeitet im Auftrag des
Denkmalschutzamts der Freien und Hansestadt Hamburg –
gemäß Auftrag vom 9. November 2016



Berlin, 20. März 2017



Die Stellungnahme besteht aus 17 Seiten.

Prof. Dr. Lorenz & Co.
Bauingenieure GmbH

Amtsgericht Charlottenburg
HRB 74984

Geschäftsführer
[Redacted]

Deutsche Bank
Privat- und Geschäftskunden AG
[Redacted]

Arndtsstraße 34
10965 Berlin

Tel 030 695 3878 - 0
Fax 030 695 3878 - 1
mailbox@lorenz-co.de

www.lorenz-co.de

Inhalt

1. Anlass und Zielsetzung	3
2. Methodik und Grundlagen	4
3. Bewertung der Argumentation zur EÜ Anckelmannplatz	7
4. Bewertung der Argumentation zur EÜ Sternbrücke	10
5. Zusammenfassung	16

1. Anlass und Zielsetzung

Die DB Netz AG plant den Rückbau und Ersatzneubauten für die Brücke über den Anckelmannplatz sowie die Sternbrücke in Hamburg. Beide Brücken stehen unter Denkmalschutz. In zwei Schreiben an das Denkmalschutzamt vom April bzw. August 2015 hat DB Netze die beiden Abrissbegehren zusammenfassend begründet. Ergänzend wurden in der Folge verschiedene Dokumentationen zu Untersuchungen vorgelegt, die im Vorfeld dazu durchgeführt worden waren.

Die vorliegende gutachterliche Bewertung soll im Auftrag des Denkmalschutzamtes und in Abstimmung mit den Beteiligten klären, inwieweit die Argumentationen und Untersuchungen die beantragten Abrisse tatsächlich stichhaltig begründen können und ob alternative Ansätze für mögliche Instandsetzungslösungen angemessen ausgelotet worden sind.

2. Methodik und Grundlagen

Die vorliegende Bewertung beruht auf

- der Sichtung und Bewertung der vorgelegten Unterlagen,
- zwei Begehungen beider Brücken (im Herbst 2017 durch [REDACTED] (Lorenz & Co. Bauingenieure) sowie am 7. Februar 2017 durch den Verfasser) und
- einem Gespräch mit den Verantwortlichen der DB Netz AG zur Sternbrücke am 7.2.2017.

Die Bewertung beinhaltet dabei keine genaue Überprüfung insbesondere der vorgelegten Berechnungen im Sinne einer baustatischen Prüfung; sie beruht vielmehr vornehmlich auf

- Überprüfungen der wesentlichen Annahmen, Ansätze und Berechnungs-Eingangswerte,
- punktuellen exemplarischen Vergleichsrechnungen sowie
- Wertungen der durch die Antragsteller abgeleiteten Konsequenzen.

Die von der DB Netze zu beiden Brücken zur Verfügung gestellten Unterlagen sind im Folgenden aufgelistet. In Hinblick auf den zeitlich begrenzten Umfang dieser Begutachtung wurden sie in zwei Kategorien eingeteilt, die eine genauere Sichtung und alternativ lediglich eine Quersichtung zur Folge hatten.

Zur EÜ Anckelmannplatz – genauer gesichtete Unterlagen

- [1] DB Netz AG / verfasst von [REDACTED] Schreiben an das Denkmalschutzamt HH, mit Begründung für das Abrissbegehren EÜ Anckelmannplatz. 1.4.2015
- [2] DB Netz AG, bearbeitet von [REDACTED] Restnutzungsdauernachweise für Hauptträgerbiegung der Überbauten 3, 8 und 12 für jeweils 2 verschiedene Bruffotonnagen, 6 Blätt. 27.3.2015
- [3] DB Netz AG, bearbeitet von [REDACTED] Tabellarische Ermittlung von Maximalspannungen in verschiedenen Querschnitten, basierend auf einer (nicht vorliegenden) statischen Nachrechnung der Überbauten von 1998 (Anlagen zu den Restnutzungsdauernachweisen [2]), o.D.
- [4] DB Netz AG, bearbeitet von [REDACTED] Bericht über die letzte (?) Brückenprüfung am 1.11.2012

Zur EÜ Anckelmannplatz – lediglich quer gesichtete Unterlagen

- [5] EÜ Anckelmannplatz, Ordner Ib 1.0457.0 und .1, Band 1, mit Hefter 1 - Festigkeitsberechnung (1926), 2 - Statische Berechnung (1927), 3 - Notizen zur statischen Berechnung (vermutlich 1956), 4 - Festigkeitsberechnung (1934), 5 - Festigkeitsberechnung für Überbauten III, IV, VII, VIII, XI, XII (1959), 5a - Festigkeitsberechnung (1960), 6 - Festigkeitsberechnung Bahnsteigbrücke (1957)
- [6] EÜ Anckelmannplatz, Ordner Ib 1.0457.0 und .1, Band 2, mit Hefter 7 - Zeichnungen (1977), 8 - Gewichtsberechnungen Bahnsteigbrücke (1903), 9 - Gewichtsberechnung Bahnsteigbrücke (1957), 10 - Ansichtsflächenberechnung (1958), 11 - Anordnung eines Signals (1978), 12 - Schriftwechsel Bahnsteigbrücke (1957), 13 - Schriftwechsel FHH (1973), 14 - Schriftwechsel (1976-78), 15 - Schriftwechsel Niveaufreier Ausbau (1977-80), 16 - Schriftwechsel (1982).

Zur EÜ Sternbrücke – genauer gesichtete Unterlagen

- [7] DB Netz AG, verfasst von [REDACTED] Schreiben an das Denkmalschutzamt HH, mit Begründung für das Abrissbegehren EÜ Sternbrücke, mit 3 Blatt Anlagen. 25.8.2015
- [8] DB Netz AG, Regionalbereich Nord: Verkehrlicher / betrieblicher Projektanforderungskatalog (...) EBR Straßenkreuzung Sternbrücke. 20.12.2012
- [9] bc Ingenieure, bearbeitet von [REDACTED] Nachrechnung gemäß RL 805 zur Ermittlung der Belastbarkeitswerte β_{UIC} EÜ Sternbrücke (Südüberbau, Fernbahn)(Vorabzug). 27.1.2016
- [10] bc Ingenieure, bearbeitet von [REDACTED] Nachrechnung gemäß RL 805 zur Ermittlung der Belastbarkeitswerte β_{UIC} EÜ Sternbrücke (Nordüberbau, S-Bahn). 24.3.2016
- [11] DB Netz AG, Fachstelle Brückenmessung, verfasst von [REDACTED] und [REDACTED] Messwertgestützter Trag- und Ermüdungsnachweis für ausgewählte Längsträger der EÜ Sternbrücke (Südüberbau / Fernbahn). Bericht 16/04. 31.3.2016.
- [12] DB Netz AG, Fachstelle Brückenmessung, verfasst von [REDACTED] und [REDACTED] Messwertgestützter Trag- und Ermüdungsnachweis für die EÜ Sternbrücke (Südüberbau / Fernbahn). Bericht 16/22 mit Anlagen. 16.10.2016
- [13] Schadensfotos vom 19.10.1979 zum Zustand der Gegengewichte [EÜ Straßenkreuzung Sternbrücke, Band 4, Hefter 10]
- [14] Schriftwechsel zur Instandsetzung der Gegengewichte, ab 17.9.1979 [EÜ Straßenkreuzung Sternbrücke, Band 4, Hefter 15]
- [15] Werkzeichnung „Neue Rahmenkonstruktion für das kleine Gegengewicht der EÜ Sternbrücke, erstellt im Januar 1981 [EÜ Straßenkreuzung Sternbrücke, Band 4, Hefter 7a]
- [16] 4 Planzeichnungen zur Sternbrücke, erstellt im Mai 2015 zu einer Machbarkeitsstudie für den Neubau vom Ingenieurbüro Vössing GmbH, Hamburg (Lageplan Bestand, Lageplan Bestand mit Fotodokumentation, Schnitte Neubau, Lageplan Neubau)

Zur EÜ Sternbrücke – lediglich quer gesichtete Unterlagen

- [17] EÜ Sternbrücke, Ordner Ib 1.0515.0, Band 1, mit Hefter 1 - Festigkeitsberechnung (1925), 2 - Statische Berechnung südlicher Überbau (1925)
- [18] EÜ Sternbrücke, Ordner Ib 1.0515.0, Band 3, mit Hefter 4 - Einflusslinien (o.D., vermutlich 1925), 5 - Grundbruchsicherungsnachweis und Niederdruckgasleitung (1976-77), 5a - Festigkeitsberechnung für Gegengewicht (1924-1981)
- [19] EÜ Sternbrücke, Ordner Ib 1.0515.0, Band 4, mit Hefter 6 - Gewichtsberechnung (1926), 7 - Gewichtsberechnung (1926), 7a - Gewichtsberechnung (1981), 8 - Ansichtsflächenberechnung (1932), 9 - Grundplatte für Signalbefestigung (1978), 10 - Fotos (1979), 11 - Schriftwechsel (1959 - 77), 12 - Schriftwechsel (1975 - 77), 13 - Schriftwechsel (1976 - 77), 14 - Schriftwechsel (1977 - 79), 14 - Schriftverkehr (1976 - 85), 15 - Schriftwechsel (1979 - 81)
- [20] EÜ Sternbrücke, östliche Kasematten, Ordner Ib 1.0514.0, Festigkeitsberechnung (1927)
- [21] EÜ Sternbrücke, Kasematten, Ordner Ib 1.0516.0, mit Hefter 1 - Festigkeitsberechnung (1927), Hefter 2 Schriftwechsel (1934-41)

- [22] EÜ Sternbrücke, Personentunnel zum Bf. Holstenstraße, Ordner Ib 1.0518.0, mit Hefter 1 - Festigkeitsberechnung (1913, 1932)

Regelwerke und Literatur

- [23] DB Netz AG: Richtlinie 804 - Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten
- [24] DB Netz AG: Richtlinie Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken (Modulfamilie 805), 2002
- [25] Geißler, Karsten: Handbuch Brückenbau – Entwurf, Konstruktion, Berechnung, Bewertung und Ertüchtigung. Berlin 2014
- [26] 2 Kurzberichte über den Bau der Sternbrücke in Hamburg-Altona in:
- Schaper, G.: Der Brückenneubau und der Ingenieurhochbau im Jahre 1926 [6. Neubau Sternbrücke Altona]. Die Bautechnik 5 (1927), Heft 1, S.3
 - Bernhard, K.: Eisenbau. Bericht über die Tagung des Deutschen Eisenbau-Verbandes am 21./22.10 in Aachen. [Vortrag Otto Blunck über Sternbrücke und Eisenbahn-Norder-Elbbrücken]; VDI-Zeitung 70 (1926), Nr. 51, S. 1719/1720.

3. Bewertung der Argumentation zur EÜ Anckelmannplatz

Bei der EÜ Anckelmannplatz handelt es sich um einen offenbar zwischen 1905 und 1908 errichteten, viergleisigen, „linksschiefen“ Brückenzug bestehend aus zwei Fernbahn- und zwei S-Bahn-Gleisen. Die vier Gleise werden auf jeweils drei Einfeldträger-Überbauten über den Platz geführt. Jeder einzelne dieser insgesamt 12 Überbauten besteht aus zwei Hauptträgern, Quer und Längsträgern, der oben liegenden Fahrbahn aus Buckelblechen sowie unterschiedlich auskragenden Wartungswegen. Die Träger sind überwiegend als zeittypisch verietetete „Blechträger“ ausgeführt, der Stahl ist ein zeittypischer Flussstahl. Die einzelnen Spannweiten liegen zwischen knapp 20 und knapp 24 m. Der Grad der in mehr als einem Jahrhundert möglicherweise vollzogenen Eingriffe und Veränderungen konnte im Rahmen dieser Begutachtung nicht im Einzelnen rekonstruiert werden. Hingewiesen sei jedoch darauf, dass es wegen der für den Straßenverkehr ungünstigen Anordnung der Zwischenpfeiler den Akten zufolge bereits 1973 erste Überlegungen und Planungen für einen stützenfreien Neubau gab.

Zusammenfassung der von der DB vorgelegten Begründung für die Notwendigkeit des Ersatzneubaus

DB Netze hat die Notwendigkeit eines Ersatzes der Brücke Anckelmannplatz mit einem Schreiben vom 1.4.2015 [1] zusammenfassend begründet. Als wesentliche Argumente werden angeführt:

- **Zustand der Brückenlager:** Die letzte Instandsetzung im Jahre 2012 sei in ihrer Dauerhaftigkeit nur auf etwa 10 Jahre begrenzt. Eine neuerliche, dauerhafte Instandsetzung der Lager sei nicht mehr möglich, die Lager müssten dann durch heutige Gleit- oder Elastomerlager ausgetauscht werden. Diese mit veränderten Reibbeiwerten und Horizontalkräften verbundene Systemänderung führe dazu, dass die Widerlager – nach heutigem Regelwerk – neu nachgewiesen werden müssen. Erfahrungsgemäß sei dieser Nachweis bei der hier vorhandenen Tiefgründung nicht zu erbringen.
- **Nicht schweißbarer Flussstahl:** Bei den umfangreich notwendigen Reparaturarbeiten am Überbau könne auf Schweißen nicht verzichtet werden, dies sei jedoch bei dem hier verwendeten Flussstahl nicht möglich.
- **Zu geringe Tragfähigkeit und geringe Restnutzungsdauer:** Die Nachrechnung im Jahre 2015 zeigte für die Überbauten mit β_{uc} -Werten, die verschiedentlich auch für die Quer- und Hauptträger deutlich unter 1,0 liegen, Tragfähigkeitsdefizite auf. Darüberhinaus aber ergab sie unter Annahme der heutigen Streckenbelastung von 10 Mio t/a im ungünstigsten Träger eine rechnerische Restnutzungsdauer von lediglich 18 Jahren; bei Ansatz einer künftig höheren Streckenbelastung von 15 Mio t/a verringerte sich diese auf nur noch 11 Jahre. Verstärkungsmaßnahmen hätten lediglich geringe aufschiebende Wirkungen.

Bewertung der Argumentation

Die vorgetragenen Begründungen sind wie folgt zu bewerten.

▪ **Zustand der Brückenlager**

Die Argumentation, eine Reparatur der Lager sei nur durch den Ersatz durch heutige Gleit- oder Elastomerlager möglich, kann nicht überzeugen. Zwar mögen Stahl-auf-Stahl Walzenlager etc. in der aktuellen „Eisenbahnspezifischen Liste Technischer Baubestimmungen (ELTB)“ des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) nicht mehr vorgesehen sein – dies schließt jedoch im Einzelfall z.B. eines Baudenkmals deren Anwendung nicht aus. Sie kann beispielsweise durch eine „Zustimmung im Einzelfall“ des EBA ermöglicht werden, ein durchaus übliches Vorgehen. Genehmigungstechnisch ist dies zwar mit einem erhöhten Aufwand verbunden. Einem derartigen Vorgehen ist dennoch insbesondere dann der Vorzug zu geben, wenn, wie offenbar im vorliegenden Fall, der Ersatz der historischen Lager durch heutige Gleit- oder Elastomerlager (mit veränderten Reibbeiwerten und Horizontalkräften) zu diversen Unverträglichkeiten mit dem Bestandstragwerk führen würde. Der genehmigungstechnische Mehraufwand wird durch die erheblichen Einsparungen in Planung und Realisierung umfangreicher Umbaumaßnahmen am Tragwerk mehr als kompensiert; Die denkmalpflegerisch beste Lösung wäre vermutlich auch die wirtschaftlichste Lösung. Entsprechende Erfahrungen mit dem – ggf. punktuell verbesserten – Nachbau historischer Rollenlager liegen im Übrigen aus vergleichbaren Projekten vor.

▪ **Nicht schweißbarer Flusstahl**

Dieses Argument bedarf keiner ausführlichen Entgegnung: Instandsetzungen und Erfüchtigungen an nicht oder nur bedingt schweißbaren Bestands-Tragwerken sind absolut üblich und werden – auch im Verantwortungsbereich der DB Netze – vielfach praktiziert. Gerade an einem Baudenkmal sind Lösungen mit Schraubverbindungen, in Einzelfällen auch mit neuen Nietungen, angemessen und machbar.

▪ **Zu geringe Tragfähigkeit und geringe Restnutzungsdauer**

Die vorgelegten rechnerischen Untersuchungen [3] nach Stufe 2 der DB-Richtlinie 805 [24] ergeben relativ hohe statische Aus- bzw. Überlastungen der Bestands-Überbauten sowie niedrige Restnutzungsdauern; letztere resultieren insbesondere aus den proportional zum Eigenlastanteil relativ hohen Spannungsschwingbreiten in den Einfeldträgern. Inwieweit diese Ergebnisse aber tatsächlich dem realen Beanspruchungs- und Ermüdungszustand der Überbauten nahekommen und von daher tatsächlich einen Ersatzneubau als zwingende und sinnvolle Lösung erscheinen lassen, lässt sich aufgrund mehrerer offener Fragen nicht abschließend beurteilen:

- Die Berechnung [3] bezieht sich auf Eingangsspannungen aus einer nicht vorliegenden statischen Nachrechnung von 1998; die Angaben zur Identifikation der Höchstspannungen und ihrer Verteilung sind damit ebenso wie die Querschnittsberechnungen ohne weitere Unterlagen nicht nachvollziehbar.
- Die daraus abgeleiteten Restnutzungsdauer-Nachweise für die Hauptträgerbiegung der drei Überbauten [2] entsprechen dem überschlägigen, auf der sicheren Seite liegenden Verfahren nach RIL 805. Mögliche Variationen bestimmter Eingangswerte wie z.B. der zukünftigen jährlichen Schadensakkumulation (vgl. die Argumentation zur Sternbrücke in Abs. 4), die zu einer Verlängerung der rechnerischen Restnutzungsdauer führen würden, werden nicht genutzt.

- Vor allem aber beruhen die Ergebnisse lediglich auf einer einfachen Nachrechnung nach Stufe 2 der Rili 805. Die Option eines verfeinerten, messwertgestützten Nachweises nach Stufe 4 der Rili 805, die zu realistischeren und in der Regel deutlich niedrigeren Last-Eingangswerten führen würde, wurde nicht genutzt. Zwar lassen die hier gegebenen Einfeldsysteme keine wesentlich günstigeren Lastverteilungen in Längsrichtung erwarten, wohl aber mit großer Wahrscheinlichkeit in Querrichtung ein Mittragen der Buckelbleche, das durch die Schotterbett-Bauweise noch befördert werden dürfte. Der Nachweis ausreichender Tragfähigkeit an den kritischen Stellen dürfte damit möglich werden, und zudem dürften sich die ermittelten Restnutzungsdauern nicht unwesentlich erhöhen.
- Im Übrigen wurden die Möglichkeiten örtlicher Erfüchtigungen als Antwort auf die Tragfähigkeitsdefizite und Alternative zum Abriss nicht näher untersucht, sondern nur pauschal als nicht zielführend abgewiesen [1].

Im Ergebnis können die vorgetragenen **konstruktiven** Gesichtspunkte als Gründe für die Notwendigkeit eines Abrisses nicht überzeugen. Die **statischen** Argumentationen legen tatsächlich eine relativ hohe Auslastung der Überbauten nahe. Erst eine zugeschrärfte Untersuchung aber, die die im Regelwerk angelegten Optionen wirklich nutzt und mögliche Erfüchtigungsvarianten sachgerecht abwägt, kann hier eine belastbare Entscheidung über die Sinnhaftigkeit von Abriss oder Erhalt vorbereiten.

4. Bewertung der Argumentation zur EÜ Sternbrücke

Bei der EÜ Sternbrücke handelt es sich um einen 1925 errichteten, viergleisigen Brückenzug bestehend aus zwei (südlich gelegenen) Fernbahn- und zwei (nördlich gelegenen) S-Bahn-Gleisen. Die beiden Gleispaare werden auf je einem Überbau über den Platz geführt, der als Dreifeldträger mit Pendelstützen als Zwischenauflagern ausgebildet ist. Die Überbauten bestehen aus zwei Hauptträgern im Abstand von 8,40 m, Quer und Längsträgern, der oben liegenden Fahrbahn aus Buckelblechen sowie beidseits auskragenden Wartungswegen. Die Träger sind als zeittypisch vernietete „Blechträger“ ausgeführt, der Stahl ist ein Flussstahl St 48. Die Einzelfeld-Spannweiten der Durchlaufträger sind sehr unterschiedlich. Auf der Fernbahntrasse betragen sie 15 m – 34 m – 18 m, auf der S-Bahn-Trasse liegen sie etwas darunter. Aufgrund der kurzen Endfelder sind Sicherungen gegen ein Abheben der Endauflager erforderlich; dazu wurden Gegengewichte unterschiedlicher Bauart angeordnet, die die abhebenden Auflagerkräfte überdrücken.

Im Laufe der gut 90-jährigen Nutzung erfuhr das Brückenbauwerk einschließlich der Gegengewichtskonstruktionen sowie der angrenzenden Kasematten verschiedene Eingriffe und Veränderungen. Eine genauere diesbezügliche Untersuchung war jedoch nicht Gegenstand dieser Begutachtung.

Besonderer Denkmalwert

Aufgrund ihrer besonderen bau- und bautechnikgeschichtlichen Bedeutung kommt gerade der Sternbrücke ein hoher denkmalpflegerischer Wert zu. Bereits anlässlich der förmlich umjubelten Verkehrsübergabe am 11. Mai 1926 wurde sie als „Glanzleistung deutscher Technik“ bezeichnet. Zeitgenössische Berichte über das Bauwerk hoben vor allem die außerordentliche Herausforderung der damaligen Montage hervor, galt es doch, die Vorgängerbrücken mit möglichst geringen Beeinträchtigungen des laufenden Verkehrs gegen die Ersatzneubauten auszutauschen [26]. Aus heutiger Sicht ist ihr Wert gleich durch mehrere Bedeutungsebenen begründet.

Genannt sei erstens die anspruchsvolle Inszenierung des Dialogs von Technik und Architektur an diesem innerstädtischen Brückenbauwerk. Der streng aus Werkstoff und Konstruktion abgeleiteten Formensprache der Überbauten und Stützen des Stahlbaus stehen gleichermaßen sachliche, aber hochwertig detaillierte Backsteinbauten für Aufgänge, Toiletten etc. gegenüber.

Zweitens ist die Brücke durch einige zeittypische technische Besonderheiten gekennzeichnet. Zu nennen ist hier zunächst die Konstruktion mit schweren Gegengewichten als Antwort auf das systembedingte Abheben der Endauflager bei ungünstigen Laststellungen – eine zeittypische Bauweise, für die heute vermutlich in Deutschland nur noch wenige Beispiele stehen. Zu nennen ist aber vor allem auch die Ausführung im höherwertigen Baustahl St 48. Er steht für die in den 1920er Jahren intensivierten Bemühungen der Reichsbahn, durch die Entwicklung von Baustählen mit verbesserten Festigkeitseigenschaften größere Spannweiten und wirtschaftlichere Bauweisen zu ermöglichen; als Protagonisten waren bedeutende deutsche Ingenieur-Persönlichkeiten wie Gottwald Schaper (1873-1942) oder Willy Gehler (1876-1953) beteiligt. Ende 1924 hatte ein Erlass der Deut-

schen Reichsbahn-Gesellschaft mit nun amtlichen Vorschriften die förmlichen Grundlagen für die Anwendung des „hochwertigen Baustahls“ St 48 im Brückenbau geschaffen. Vor diesem Hintergrund muss der wenig später, im Sommer 1925, begonnene Bau der Sternbrücke zu den frühen Beispielen der Anwendung des St 48 im Brückenbau gezählt werden. Auch wenn hierzu genaue Erfassungen fehlen, steht zu vermuten, dass heute in Deutschland nicht mehr viele aus St 48 gebaute Brücken erhalten sind.

Und drittens ist die Sternbrücke auch ein qualitätsvoller Ausweis der technischen wie gestalterischen Kompetenz des hier beteiligten Bauingenieurs Otto Blunck (1882-1952). Blunck zeichnete nicht nur für weitere markante Brückenbauten wie die Mühlenteichbrücke in Hamburg-Eppendorf (1939) verantwortlich. Er war z.B. auch maßgeblich am richtungsweisenden Neubau des Bahnhofs Zoologischer Garten in Berlin (ab 1934) als einer seinerzeit „unerhört modernen“ Rahmenkonstruktion beteiligt.

Dieser hohe und vielschichtige Denkmalwert der Sternbrücke als einer „Glanzleistung deutscher Technik“ macht eine besonders verantwortungsvolle Behandlung und Bewertung des Bauwerks zwingend erforderlich.

Zusammenfassung der von der DB vorgelegten Begründung für die Notwendigkeit des Ersatzneubaus

Auch für die Sternbrücke hat DB Netze die Notwendigkeit eines Ersatzneubaus im Jahr 2015 in einem Schreiben zusammenfassend begründet [7]. Die Begründung unterscheidet sich zum Teil von der für die Brücke Anckelmannplatz. Im Mittelpunkt stehen hier die drei folgenden Argumente:

- **Schadhafte Endverankerung mit Kontergewichten:** Die zeittypisch unter den Trägerenden angeordneten Kontergewichte könnten nicht mehr instand gesetzt werden. Es müssten Brückenlager nach heutigem Stand eingebaut werden, die das Abheben der Trägerenden durch direkte Verankerung in die Betonwiderlager verhindern. Wollte man dabei die historischen Kontergewichte erhalten, hätte dies umfassende Eingriffe (auch in die Überbauten), weitgehende Verluste der die Kontergewichte umgebenden Bereiche der Kasematten sowie während des Umbaus längerfristige Streckenstilllegungen zur Folge.
- **Zustand der Brückenlager:** Wie an der Brücke Anckelmannplatz sei auch hier mittelfristig eine Erneuerung der Lagerkörper mit entsprechenden Folgewirkungen erforderlich. Zudem sei die Abfangung des westlichen Führungslagers gegenwärtig nur durch eine – vom Eisenbahnbundesamt lediglich als temporär genehmigte – Sonderkonstruktion gewährleistet, die keine Dauerlösung darstelle. Wollte man sie erneuern, wären wegen der erforderlichen Zugänglichkeit Abrisse der denkmalgeschützten Bauten im Umfeld erforderlich.
- **Stützenfreie Querung und Aufweitung der Stresemannstraße:** Die von der Stadt Hamburg geplante und geforderte Aufweitung der Stresemannstraße sei mit dem Bestandsbauwerk nicht realisierbar. Auch um Gefahrenquellen in den Verkehrsräumen zu verhindern, sei ein stützenfreier Neubau unbedingt vorzuziehen.

In einem ergänzenden Gespräch am 7. 2. 2017 im Hamburger Haus der DB-Netz AG / Regionalbereich Nord erweiterten die Vertreter der DB Netz AG die Argumentation um einen weiteren wesentlichen Punkt, die

- **Geringe Restnutzungsdauer:** Auch die Sternbrücke, so die Begründung, verfüge über eine nur noch geringe Restnutzungsdauer. Die entsprechenden Erkenntnisse basierten auf einem messwertgestützten Trag- und Ermüdungsnachweis für die beiden (südlichen) Fernbahngleise, der bislang noch nicht vorgelegt worden sei.

Der diesbezügliche Bericht der Fachstelle Brückenmessung Magdeburg der DB Netz AG [12], der zugrunde liegende Vorabzug einer Nachrechnung der Fernbahn-Überbauten nach RILi 805 / Stufe 2 [9] sowie der zugehörige Verkehrliche Projektanforderungskatalog der DB Netze [8] wurden im Nachgang zu der Besprechung sukzessive nachgereicht und konnten damit ebenfalls noch in diese gutachterliche Bewertung mit einfließen.

Bewertung der Argumentation

Die vorgetragenen Begründungen lassen sich wie folgt bewerten.

▪ **Schadhafte Endverankerung mit Kontergewichten**

Gerade die zeittypische Sicherungskonstruktion der Endauflager durch Gegengewichte ist ob ihres technikgeschichtlichen Werks eine wesentliche denkmalkonstituierende Komponente des Baudenkmals. In Hinblick auf Wartungsfreundlichkeit und Dauerhaftigkeit ist sie unbestritten aber auch ein problematischer Bereich des Bauwerks – korrosionsgefährdet durch potenziellen Feuchtestau und nicht ganz einfach reparierbar.

Ein Blick in die Bau- und Nutzungsgeschichte zeigt jedoch, dass Instandhaltung und Sanierung der Kontergewichte durchaus möglich waren und sind. So wurden Ende der 1970er Jahre am westlichen Widerlager (Richtung HBF) an den Gegengewichten beider Brücken erhebliche Korrosionsschäden und Betonabplatzungen festgestellt [13], die die Deutsche Bundesbahn Anfang der 1980er Jahre eben beheben ließ. Das Maßnahmenpaket beinhaltete eine Instandsetzung der Aufhängekonstruktion am großen Gegengewicht der (südlichen) Ferngleise sowie eine Erneuerung der Aufhängekonstruktion am kleineren Gegengewicht der (nördlichen) S-Bahn-Gleise. Erhalten sind eine Werkzeichnung zur geplanten Ausführung der neuen, nördlichen Aufhängung [15] sowie eine umfangreiche Dokumentation zur Instandsetzung der südlichen [14]. Den Akten zufolge war die Umsetzung seinerzeit tatsächlich nicht einfach (dokumentiert sind zahlreiche Baubesprechungen), doch konnte sie in einem vertretbaren Zeitfenster umgesetzt werden (Abschlussverfügung am 14.2.1985), und größere Abrisse waren nicht erforderlich.

Es ist nicht erkennbar, warum die Gegengewichte heute nicht neuerlich saniert werden könnten und sich die räumliche Situation in Hinblick auf die Wartungsmöglichkeiten und ein weniger korrosionsförderndes Klima in diesem Zusammenhang nicht gleich verbessern lassen sollte. Doch mehr noch: Anders als in den 1970er Jahren gibt es den mündlichen Erläuterungen der Verantwortlichen am 7. 2. 2017 zufolge heute keine belastbaren Belege für die Vermutung, die Kontergewichte könnten nicht mehr funktionieren. Eine wie auch immer geartete systematische Schadenerfassung oder Schadensdokumentation, die diesen Verdacht erhärten könnte, wurde nicht erstellt. Im Übrigen werden als korrosionsgeschädigt wieder lediglich die westlichen Kontergewichte benannt. Zu den östlichen weiß man, da schwer zugänglich, zwar noch weniger, doch seien diese angeblich besser belüftet und daher weniger gefährdet.

Im Ergebnis kann die Behauptung der Notwendigkeit einer grundsätzlichen Neukonstruktion der westlichen Gegengewichte, aus der dann auch die Notwendigkeit eines Ersatzneubaus der gesamten Brücken abgeleitet wird, nicht überzeugen. Sie erweckt vielmehr den Eindruck, der geplante Abriss sei ein Abriss auf Verdacht.

▪ **Zustand der Brückenlager**

Ähnliches gilt für die Problematik der historischen Brückenlager. Die Antwort auf diesen Teil der Argumentation entspricht derjenigen für die Brücke Anckelmannplatz: Zwar mögen Stahl-auf-Stahl Walzenlager etc. in der aktuellen „Eisenbahnspezifischen Liste Technischer Baubestimmungen (ELTB)“ des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) nicht mehr vorgesehen sein – dies schließt jedoch im Einzelfall z.B. eines Baudenkmals deren Anwendung nicht aus. Sie kann beispielsweise durch eine „Zustimmung im Einzelfall“ des EBA ermöglicht werden, ein durchaus übliches Vorgehen. Genehmigungstechnisch ist dies zwar mit einem erhöhten Aufwand verbunden. Einem derartigen Vorgehen ist dennoch insbesondere dann der Vorzug zu geben, wenn, wie offenbar im vorliegenden Fall, der Ersatz der historischen Lager durch heufige Gleit- oder Elastomerlager (mit veränderten Reibbeiwerten und Horizontalkräften) zu diversen Unverträglichkeiten mit dem Bestandsstragwerk führen würde. (Weitere Erläuterungen dazu wurden bereits in Abs. 3 gegeben.)

Ob im Übrigen für die Instandsetzung oder Erneuerung des westlichen Querkraft- (Führungs-)Lagers ggf. ein Teilabriss des „Toilettenbereichs“ erforderlich wäre, müsste im Detail noch genauer untersucht werden und könnte notfalls als letzte Lösung in Kauf genommen werden.

▪ **Stützenfreie Querung und Aufweitung der Stresemannstraße**

Offenkundig ist die Situation im Kreuzungsbereich tatsächlich in zweierlei Hinsicht problematisch – zum Einen wegen der Engstellen für den KFZ-Verkehr auf der Stresemannstraße und die Gefahrenpunkte durch die in und unmittelbar an der Kreuzung stehenden Brückenstützen, zum Anderen wegen der gefährlichen Rad- und Gehwegführungen an den Engstellen.

Die konkrete Beurteilung der Möglichkeiten einer Verbesserung der verkehrlichen Situation im Kreuzungsbereich entzieht sich jedoch der Kompetenz des Gutachters. Es sei deshalb hier lediglich auf zwei zu berücksichtigende Aspekte hingewiesen:

- Zur Verbesserung der Rad- und Gehweg-Situation sind alternativ zur Freimachung durch einen Brückenabriss auch „kleine Lösungen“ denkbar, die recht einfach durch den Rückbau einiger Bereiche des Kasematten zu realisieren wären.
- Der Ersatz der beiden historischen Brücken mit Zwischenstützen durch stützenfreie Neubauten droht wegen der dann sehr großen Spannweiten zu Lösungen zu führen, die den städtebaulichen Rahmen des Platzes unmaßstäblich sprengen würden.

▪ **Tragfähigkeit und Ermüdung**

Während die genannten, zunächst vorgebrachten Argumentationslinien kaum oder allenfalls begrenzt zu überzeugen vermochten, werfen die nachträglich beigebrachten Untersuchungen zur Tragfähigkeit und Ermüdung der Überbauten unter den beiden Fernbahngleisen [12] in einzelnen Punkten zunächst ein anderes Licht auf die Frage der Erhaltungs- und Entwicklungsmöglichkeiten der historischen Überbauten.

Anders als bei der Brücke Anckelmannplatz erfolgten die Bewertungen nicht allein durch eine rechnerische Untersuchung nach Stufe 2 der Richtlinie 805 des DB. Diese hatte hier für einzelne Längsträger sowohl der S-Bahn- als auch der Fernbahn-Überbauten örtlich besorgniserregende Ermüdungszustände und bereits aufgezehrte Restnutzungsdauern ergeben; auch einzelne Bereiche der Quer- und Hauptträger wiesen der Rechnung zufolge nur noch Restnutzungsdauern von ca. 20 Jahren auf [9][10]. Die Berechnungen wurden an der Sternbrücke daraufhin durch messungsgestützte Nachweise nach Stufe 4 der Rili 805 überprüft. Sie erfolgten in zwei Schritten – zunächst für die in der Berechnung als besonders kritisch identifizierten Längsträger [11], und wenig später für alle wesentlichen Tragglieder der Fernbahn-Überbauten [12].

Eine Durchsicht der dazu von der Fachstelle Brückenmessung Magdeburg der DB Netz AG vorgelegten Berichte ergab, dass sowohl die Messungen als auch die darauf aufbauenden Berechnungen und Bewertungen nach Richtlinie 805 handwerklich sauber durchgeführt wurden. Das Messprogramm mit insgesamt 76 Dehnungsmesspunkten vermochte aussagekräftige Ergebnisse zu liefern, und in der Auswertung wurden etwa die höher anzusetzenden Eingangswerte für den hier vorhandenen St48 ebenso berücksichtigt wie angemessene zulässige Spannungsdoppelamplituden für den überschlägigen Ermüdungsnachweis oder die Vorgaben der DB Netze für die jährlich zu erwartenden Lasttonnen.

Wie bei derartigen überschütteten Bauwerken mit zusätzlichen Lastverteilungsmöglichkeiten zu erwarten, weichen die Ergebnisse der messungsgestützten Berechnung [11], [12] signifikant von den Ergebnissen der allein auf den üblichen Annahmen begründeten Berechnung [9], [10] ab. Die Messungen zeigen ein wesentlich günstigeres Gesamtbild der Trag- und Ermüdungssicherheit.

Hinsichtlich der **Tragfähigkeit** gibt es demnach keine ernsten Schwierigkeiten. Im Wesentlichen konnten auch für die zukünftige Nutzung bei allen untersuchten Bauteilen und Querschnitten ausreichende Sicherheiten nachgewiesen werden. Die β_{RiC} -Werte liegen mit Ausnahme eines Längsträger-Bereichs im Randfeld sämtlich deutlich über 1,05, so dass auch für den künftigen Verkehr keine ernsthaften Probleme hinsichtlich der Tragfähigkeit zu erwarten sind. Offensichtlich wurde die Sternbrücke auch nach heutigen Kriterien robust gebaut, „die Messungen belegten ein insgesamt geringes Spannungsniveau“ [12].

Problematischer sind die Ergebnisse der **Ermüdungs**untersuchungen. Relevanz haben sie insbesondere, weil sie hier, anders als bei der Brücke Anckelmannplatz, durch Messungen des realen Spannungszustandes untersetzt sind. Den darauf aufbauenden Berechnungen zufolge scheint die Restnutzungsdauer wesentlicher Tragglieder der Überbauten punktuell auf weniger als 25 Jahre begrenzt zu sein. Bei näherer Durchsicht aber sind diese Ergebnisse doch deutlich zu relativieren. Die Ansätze dafür werden teilweise sogar in der Untersuchung [12] selbst explizit benannt:

- Den Berechnungen wurde – „auf der sicheren Seite liegend“ [12] – ein hoher Schwingfaktor nach Richtlinie 804 [23] zugrunde gelegt, obwohl die dynamischen Beanspruchungen deutlich „geringer (ausfallen) als die laut Vorschriftenwerk (...) anzusetzenden Werte“ [12]. Damit werden der Berechnung auf der Einwirkungsseite unrealistisch ungünstige Eingangswerte zugrunde gelegt. Eine Anpassung aber würde die ermittelten Restnutzungsdauern deutlich erhöhen.
- Darüberhinaus wird bei der Berechnung der Restnutzungsdauern der zukünftig jährlich akkumulierte Schaden nach Rili 805 pauschal mit 2,5% des akkumulierten Vergangenheits-Schadens angesetzt. Im „Handbuch Brückenbau“, dem aktuellen Standardwerk zu Fragen auch der Zustandsbewertung von Stahlbrücken [25], weist Geißler ausdrücklich darauf hin, dass dieser Eingangswert bei einer genaueren Untersuchung zu relativieren ist: „Auch der (...) Ansatz für die Schadenssumme der Zukunft ist mit 2,5% nur eine grobe Näherung und kann im Einzelfall modifiziert werden.“ [25, S.1215]. Beigefügt ist ein Schaubild, dem abhängig von der Art der Verkehrsmischung detaillierte prozentuale Zukunfts-Schadenssummen zu entnehmen sind: Für die hier anzusetzende „Hauptstrecke mit überwiegend Reisezugverkehr“ (die Strecke ist nach Aussage der DB Netze „nur in geringem Maße von Güterverkehr befahren“ [12]) reduziert sich der Beiwert für die gegebenen Stützweiten von 2,5 % auf Werte zwischen 0,5 und 1,0 %! Bei diesem Ansatz würde pro Jahr deutlich weniger „Ermüdungsschaden“ als angenommen hinzukommen, die Restnutzungsdauer würde sich dadurch weiter erhöhen.
- Mehrfach verweist die messwertgestützte Berechnung [12] im Übrigen selbst darauf, dass genauere Anpassungen der Berechnung „realitätsnähere Ergebnisse“ ergeben würden: „Um eine umfassende Aussage zum Systemverhalten des Bauwerks treffen zu können, sollten weiterführend die Berechnungsmodelle angepasst werden.“ [12].

Berücksichtigt man zudem, dass keine Aussagen zur tatsächlichen Ausdehnung der von den geringen Restnutzungsdauern betroffenen Bereiche vorliegen, die dann Rückschlüsse auf den notwendigen Ertüchtigungsbedarf geben würden, ist festzustellen: Die vorgelegten Untersuchungen liefern keine überzeugende Begründung für den beantragten Abriss.

Vielmehr ist zu fragen, warum angesichts des besonderen Denkmalwerts der Brücke in der hier gegebenen ambivalenten „Grenzlage“ mit einerseits guter Tragfähigkeit, andererseits aber einigen problematischen Ermüdungskennwerten keine belastbare alternative Untersuchung vorgelegt wurde, die von der Prämisse des Erhalts ausgeht. Rein technisch gesehen ist ein Erhalt fraglos realisierbar, die Frage ist nur, mit welchem Aufwand und mit welchen Verlusten an Denkmalwert er verbunden wäre. Die alternative Untersuchung müsste den notwendigen Erhalt des Baudenkmals als strikte Vorgabe setzen, unter Berücksichtigung der vorliegenden Befunde eine angemessene Instandsetzungs- und Ertüchtigungslösung für die langfristige Weiternutzung entwickeln, den damit verbundenen Aufwand der Eingriffe ermitteln und diesen dann in Relation zum Aufwand von Abriss und Ersatzneubau bewerten.

5. Zusammenfassung

Die Abrissbegehren für die unter Denkmalschutz stehenden Eisenbahnüberführungen Anckelmannplatz und Sternbrücke in Hamburg stützen sich auf unterschiedliche Sachverhalte und sind differenziert zu bewerten.

Brücke Anckelmannplatz

Bei der Brücke Anckelmannplatz sind vornehmlich der problematische Zustand der Lager sowie die rechnerisch relativ hohen statischen Aus- bzw. Überlastungen der Bestands-Überbauten und ihre niedrigen Restnutzungsdauern in Betracht zu ziehen. Die ebenfalls angeführte Nicht-Schweißbarkeit des historischen Flussstahls ist unwesentlich.

Die Argumentation, eine Reparatur der Lager sei nur durch den Ersatz mit heutigen Gleit- oder Elastomerlagern möglich und würde dann diverse Folgewirkungen nachziehen, kann jedoch nicht überzeugen. Alternativen, die mit weniger Aufwand verbunden und zudem denkmalgerecht wären, erscheinen möglich; entsprechende Beispiele liegen vor.

Die statischen Untersuchungen legen tatsächlich zunächst eine relativ hohe Auslastung der Überbauten nahe, beruhen aber allein auf einer einfachen Nachweisführung ohne messungsgestützte Vertiefung gemäß Richtlinie 805. Erst eine zugeschärfte Untersuchung, die die im Regelwerk angelegten Optionen wirklich nutzen und zudem mögliche Erlüchtigungsvarianten sachgerecht abwägen würde, könnte hier eine belastbare Entscheidung über die Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit von Abriss oder Erhalt vorbereiten.

Sternbrücke

Bei der Sternbrücke wurden zunächst vor allem verkehrliche und konstruktive Gründe für das Abrissbegehren angeführt. Die angestrebte Aufweitung der Stresemannstraße und das damit verbundene Interesse an einem stützenfreien Neubau ist ein verkehrlicher Gesichtspunkt, der sich der hiermit vorgelegten bautechnischen Bewertung entzieht; vorsichtige Hinweise zu einer alternativen und möglicherweise behutsameren Verbesserung der Situation wurden in Abs. 4 gegeben. Die konstruktiven Probleme einer Instandsetzung der Gegengewichte wie auch der teilweise geschädigten historischen Lagerkörper erfordern zwar die Entwicklung nicht allfälliger Lösungen, sind jedoch durchaus lösbar. Sie stellen keine Schwierigkeiten dar, die etwa einen Abriss des gesamten denkmalgeschützten Brückenbauwerks rechtfertigen würden. Insbesondere für die Gegengewichtskonstruktion ist nicht erkennbar, dass sie sich nicht neuerlich und nachhaltiger als um 1980 sanieren lässt.

Die über das ursprüngliche Abrissbegehren hinaus im Nachgang beigebrachten Berechnungen zu Tragfähigkeit und Ermüdungssicherheit der Überbauten zeigen hinsichtlich der Tragfähigkeit keine ernststen Schwierigkeiten. Auch für die zukünftige Nutzung konnten für alle untersuchten Bauteile und Querschnitte im Wesentlichen ausreichende Sicherheiten nachgewiesen werden; die Brücke ist auch nach heutigen Kriterien durchaus robust gebaut – „die Messungen belegten ein insgesamt geringes Spannungsniveau“ [11].

Problematischer sind die Ergebnisse der Ermüdungsuntersuchungen, insbesondere, weil sie hier, anders als bei der Brücke Anckelmannplatz, durch Messungen des realen Spannungszustandes untersetzt sind. Diesen Berechnungen zufolge scheint die rechnerische Restnutzungsdauer wesentlicher Tragglieder der Überbauten punktuell auf weniger als 25 Jahre begrenzt zu sein. Aus mehreren Gründen jedoch sind auch diese Ergebnisse zu relativieren –

1. weil der vorgelegten Berechnung (auch nach eigenem Bekunden) „auf der sicheren Seite liegend“ verschiedene sehr konservative Eingangswerte zugrunde gelegt wurden, deren sachgerechte Anpassung die berechneten Restnutzungsdauern wesentlich erhöhen würde,
2. weil keine Aussagen zur tatsächlichen Ausdehnung der von den geringen Restnutzungsdauern betroffenen Bereiche vorliegen, und
3. weil angesichts dieser Grenzlage keine belastbare alternative Untersuchung vorgelegt wurde, die als Prämisse vom Erhalt des Baudenkmals ausgeht, den erforderlichen Erlüchtigungsaufwand für eine auch langfristige Weiternutzung ermittelt und diesen dann in Relation zum Aufwand von Abriss und Neubau setzt – ein Ansatz, der im Übrigen ganz unabhängig vom Denkmalwert die gebotene Findung der wirtschaftlichsten Lösung überhaupt erst ermöglichen würde.

Im Ergebnis liefern die vorgelegten Untersuchungen für die Sternbrücke aus Sicht des Gutachters keine überzeugende Begründung, die angesichts ihres besonderen Denkmalwerts den beantragten Abriss rechtfertigen könnte.



Nachrechnung der EÜ Sternbrücke Südlicher Überbau



BERATENDE INGENIEURE VBI
PRÜFINGENIEURE FÜR
BAUTECHNIK VPI



INGENIEURGRUPPE
BAUEN GbR
FRITZ-ERLER-STRASSE 25
76133 KARLSRUHE

TEL +49 (721) 62 99-0
FAX +49 (721) 62 99-75

KARLSRUHE@
INGENIEURGRUPPE-BAUEN.DE

ZERTIFIZIERT NACH
DIN EN ISO 9001:2015

BANKVERBINDUNG



KARLSRUHE | MANNHEIM
BERLIN | FREIBURG

Auftragsnummer: 018 / 0017

Projekt: EÜ Sternbrücke – südlicher Überbau
Strecke 6100; km 290,590

Auftraggeber: Freie und Hansestadt Hamburg
Kulturbehörde / Denkmalamt

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Mai 2018

1. Allgemeines

1.0 Gesamtinhaltsverzeichnis

1. Allgemeines	
1.0 Gesamtinhaltsverzeichnis	3
1.1 Übersichtsblatt	4
1.2 Zusammenstellung der Belastbarkeitswerte β_{UIC}	5
1.3 Beschreibung des Gesamtbauwerks	6
1.4 Veranlassung	7
1.5 Literaturverzeichnis	8
2. Berechnungsgrundlagen	2
2.1. Darstellung und Beschreibung des statischen Systems	2
2.2. Auswertung und Berücksichtigung der Messergebnisse	5
2.3. Lastannahmen und Teilsicherheiten	13
2.4. Materialkennwerte und Teilsicherheiten	17
2.5. Begründete Abweichungen vom Regelwerk	18
3. Tragsicherheitsnachweise	2
3.1 Längsträger	2
3.2 Querträger	6
3.3 Hauptträger	9
3.4 Windverband	12
3.5 Anschlüsse	13
3.6 Ermittlung der β_{UIC} - Werte	14
3.7 Schlussfolgerung	15
4. Restnutzungsdauernachweise	2
4.1 Längsträger	2
4.2 Querträger	5
4.3 Hauptträger	7
4.4 Schlussfolgerung	12
5. Schlussseite	1

Bauteil : 1. Allgemeines	Archiv Nr.:
Block : 1.0. Gesamtinhaltsverzeichnis	Seite: 3
Vorgang :	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen

Projekt Nr.:

Programm :

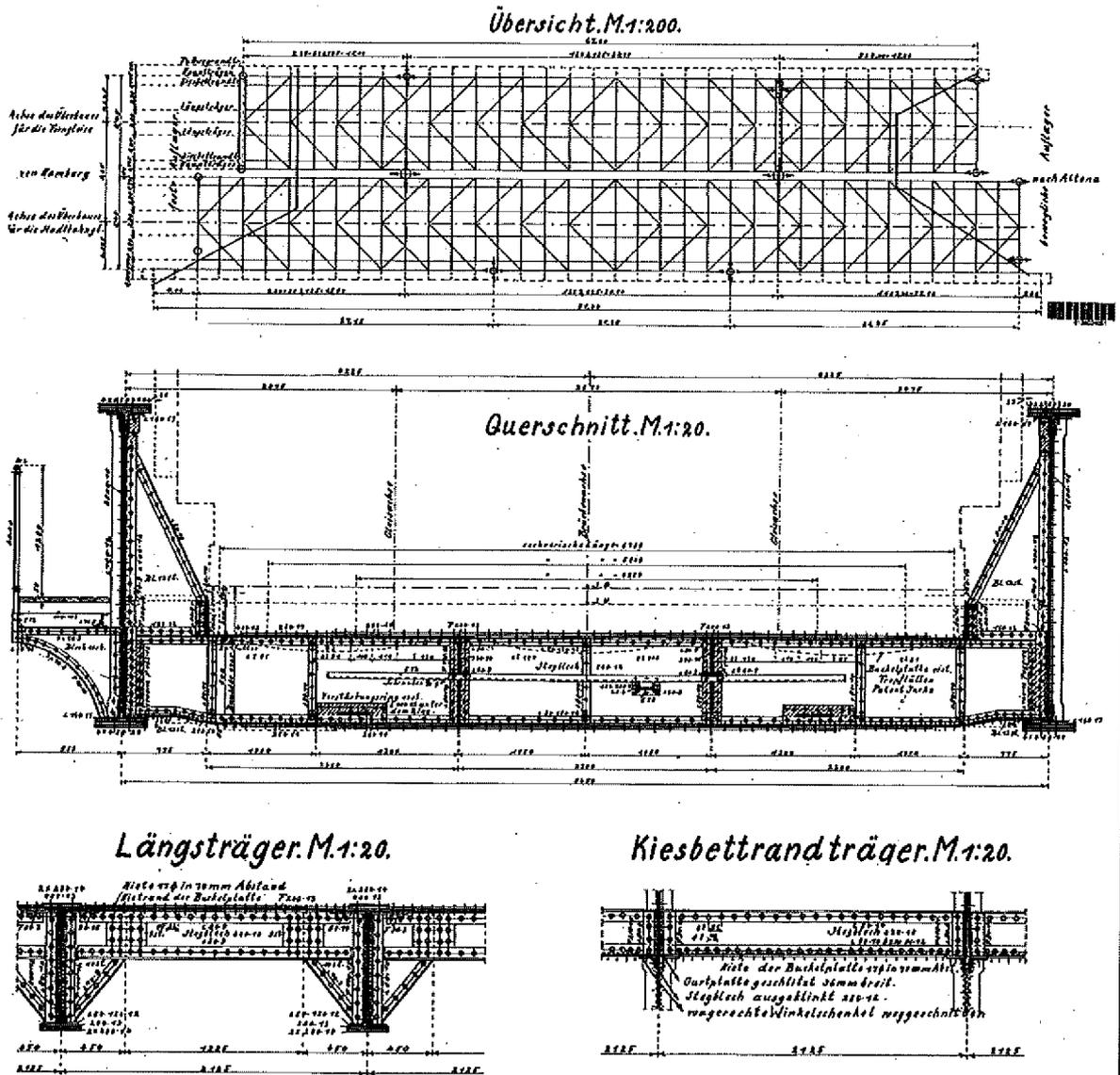
018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:

Juni 2018

1.1 Übersichtsblatt



Bauteil : 1. Allgemeines

Archiv Nr.:

Block : 1.1 Übersichtsblatt

Seite: 4

Vorgang :

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

1.2 Zusammenstellung der Belastbarkeitswerte β_{UIC}

Mittellängsträger:

$$\beta_{UIC} = (270 - 89) / 160 = 1,13$$

Randlängsträger:

$$\beta_{UIC} = (270 - 85) / 154 = 1,20$$

Querträger:

$$\beta_{UIC} = (270 - 51) / 93 = 2,36$$

Hauptträger Q1:

$$\beta_{UIC} = (0,27 \times 41610 - 3860) / 5980 = 1,23$$

Hauptträger Q2:

$$\beta_{UIC} = (0,27 \times 55350 - 5380) / 7980 = 1,12$$

Hauptträger Q3:

$$\beta_{UIC} = (0,27 \times 69110 - 6740) / 9900 = 1,20$$

Hauptträger Q4/5:

$$\beta_{UIC} = (0,27 \times 82910 - 7560) / 11330 = 1,31$$

Maßgebender geringster Wert $\beta_{UIC} = 1,12$ (Hauptträger Q2)

Bauteil : 1. Allgemeines	Archiv Nr.:
Block : 1.2 Zusammenstellung der β_{UIC} -Werte	Seite: 5
Vorgang :	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<h3>1.3 Beschreibung des Gesamtbauwerks</h3> <p>Die Eisenbahnüberführung EÜ Sternbrücke wurde im Jahr 1925 erbaut und besteht aus 2 getrennten, jeweils zweigleisigen Überbauten.</p> <p>Der südliche Überbau überführt die Strecke 6100 Berlin-Spandau nach Hamburg-Altona bei km 290,590 über die Stresemannstraße. Der nördliche Überbau überführt die S-Bahn-Linien von Eidelstedt bzw. Bhf Altona zum Dammtorbahnhof.</p> <p>Die folgenden Betrachtungen behandeln ausschließlich den südlichen Überbau (Fernbahn). Die Überbauten wurden zunächst als 3-Feldträger mit einem Bogenfachwerk im mittleren Feld errichtet. 1924/1925 erfolgte der Ersatz der Überbauten als dreifeldrige Balkenbrücke. Die beiden Hauptträger (des südlichen Überbaus) haben einen Abstand von 8,45 m. Die Stützweiten betragen 15,0 m – 34,0 m – 18,0 m.</p> <p>Um die Träger an den Enden der kurzen Endfelder am Abheben zu hindern, sind im Bereich beider Widerlager Kontergewichte am Überbau verankert.</p> <p>Die Querträger sind in Abständen von 2,125 m bzw. 2,00 m angeordnet und über Anschlussbleche auf der ganzen Höhe der Hauptträgerstege an die Hauptträger angeschlossen.</p> <p>Die mittleren Fahrbahnlängsträger haben einen Abstand von 2,30 m und lagern auf Vouten an den Querträgern auf. Die beiden Randlängsträger sind im Abstand von jeweils 2,30 m zu den Mittellängsträgern angeordnet und lagern auf den Querträgerobergurten auf.</p> <p>Das Fahrbahnblech besteht aus Buckelblechen.</p> <p>Der Anschluss der Windverbände erfolgt in der Untergurtebene der Querträger.</p> <p>Der gesamte Überbau ist eine genietete Konstruktion aus St 48.</p>	
Bauteil : 1. Allgemeines	Archiv Nr.:
Block : 1.3 Beschreibung des Gesamtbauwerks Seite: 6	
Vorgang :	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<h3>1.4 Veranlassung</h3> <p>Das Bauwerk wurde im Auftrag der DB durch das Büro bc Ingenieure nachgerechnet [U1]. Da sich in der Nachrechnung für den südlichen Überbau für den Fahrbahnträger an der Stützenachse C2 eine sehr große Überschreitung im Tragfähigkeitsnachweis ergab, wurden Messungen der Fachstelle Brückenmessung Magdeburg der DB Netz AG durchgeführt [U2], [U3]. Die Ergebnisse und Auswertungen belegen ein deutlich niedrigeres Spannungsniveau als in [U1] berechnet. Die in [U3] weitestgehend auf Grundlage der Messergebnisse ermittelten Restnutzungsdauern sind allerdings so, dass ein langfristiger Betrieb des Bauwerks problematisch erscheint.</p> <p>Auf Grundlage der Untersuchungen und Bewertungen [U1] bis [U3] möchte die DB Netz AG das Bauwerk durch einen Ersatzneubau ersetzen.</p> <p>In einer gutachterlichen Stellungnahme [U4] werden die Begründungen der DB für die Notwendigkeit eines Ersatzneubaus beurteilt und der Denkmalwert des Bauwerks herausgestellt, welcher eine besonders verantwortungsvolle Behandlung und Bewertung des Bauwerks zwingend erforderlich mache. Im Fazit der Stellungnahme wird angeregt, statt mit konservativen Eingangswerten bei der Berechnung der Restnutzungsdauer sachgerechte Anpassungen vorzunehmen und Bereiche mit zu geringer Restnutzungsdauer genauer einzugrenzen.</p> <p>Die Ingenieurgruppe Bauen wurde in der Folge seitens des Denkmalschutzamtes der Freien und Hansestadt Hamburg beauftragt, das Bauwerk nach der Richtlinie Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken (RiL 805) [V1] nachzurechnen.</p> <p>Hinweis: Für die nachfolgende Bewertung wird unterstellt, dass das Bauwerk keine größeren Schäden aufweist und der Bauwerkszustand mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_b nach [V1] und gemäß [U1] ausreichend erfasst ist.</p>	
Bauteil : 1. Allgemeines	Archiv Nr.:
Block : 1.4 Veranlassung	
Vorgang :	
Seite: 7	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

1.5 Literaturverzeichnis

Zur Nachrechnung der Brücke werden folgende Vorschriften angewandt:

[V1] Richtlinie Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken (Modulfamilie 805)

[V2] Vorschrift für Eisenbahnbrücken und sonstige Ingenieurbauwerke (VEI) –
DS 804, B6 – September 200

[V3] Entwurf RiL 805.0201 Anhang 5 (nicht eingeführt)

Die nachfolgenden Bestandsunterlagen, Dokumente und Gutachten wurden berücksichtigt:

[B1] Bestandspläne gemäß Übergabe DB Netz AG auf CD

[B2] Bauwerksbuch über Stresemannstraße – Sternbrücke gemäß Übergabe DB Netz
AG auf CD

[B3] Begutachtung/Schadensliste EBR Sternbrücke, durchgeführt 02.05.2017 gemäß
Übergabe DB Netz AG auf CD

[B4] Dokumentationsblatt Brücken-Inspektion Schadensliste, Druckdatum 25.11.2010
gemäß Übergabe DB Netz AG auf CD

[B5] Div. Schriftwechsel gemäß Übergabe DB Netz AG auf CD

[B6] Gewichtsberechnung und Anstrichflächenberechnung gemäß Übergabe DB Netz AG
auf CD

[B7] Bestandsstatik Überbau Süd: Statische Berechnung für die Sternbrücke in Altona

[D1] Verkehrlicher/betrieblicher Projektanforderungskatalog – DB Netz AG
Regionalbereich Nord, vom 19.12.2012

[D2] Daten nach Schall03-2015 Zustand 2015 und Prognose 2025 – DB Netz AG

[D3] Mail der DB Netz AG vom 30.04.2018 mit Angabe der Leistungstonnen für das Jahr
2017 und Prognose – DB Netz AG

[U1] Nachrechnung gemäß RL 805 zur Ermittlung der Belastbarkeitswerte β_{UIC} EÜ
Sternbrücke (Südüberbau, Fernbahn) – bc Ingenieure, vom 27.01.2016

Bauteil : 1. Allgemeines	Archiv Nr.:
Block : 1.5 Literaturverzeichnis	Seite: 8
Vorgang :	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<p>[U2] Bericht 16/04 Messwertgestützter Trag- und Ermüdungsnachweis für ausgewählte Längsträger der EÜ Sternbrücke in km 290,600 der Strecke 6100: Berlin-Spandau – Hamburg-Altona – DB Netz AG Fachstelle Brückenmessung Magdeburg, 31.03.2016</p> <p>[U3] Bericht 16/22 Messwertgestützter Trag- und Ermüdungsnachweis für die EÜ Sternbrücke in km 290,596 der Strecke 6100: Berlin-Spandau – Hamburg-Altona – DB Netz AG Fachstelle Brückenmessung Magdeburg, 16.10.2016</p> <p>[U4] Denkmalgeschützte Brückenbauwerke EÜ Anckelmannplatz, EÜ Sternbrücke – Hamburg: Gutachterliche Bewertung der seitens der DB vorgelegten Begründungen für die Notwendigkeit von Abriss und Ersatzneubau – Prof. Dr. Lorenz & Co. Bauingenieure GmbH; 20.03.2017</p> <p>[U5] Stellungnahme zur gutachterlichen Bewertung durch Prof. Lorenz - Schreiben der DB Netz AG Brückenmessung und Bewertung Magdeburg; vom 13.04.2017</p> <p>Darüber hinaus fand folgende Literatur Verwendung:</p> <p>[L1] Zum Ermüdungsnachweis bestehender stählerner Eisenbahnbrücken – DB Netz AG, Volkmar Quoos, Fachstelle Brückenmessung, vom 19.04.2016</p> <p>[L2] Zum Restnutzungsdauernachweis für stählerne Eisenbahnbrücken - Quoos, Geißler, Sedlacek, Hensen, Der Stahlbau 2001</p> <p>[L3] Messungen am Stahlüberbau der neuen Hammer Eisenbahnbrücke anlässlich von Belastungsversuchen – Weber, Kehl, Der Stahlbau 1993</p> <p>[L4] Die Fachstelle Brückenmessung der DB Netz AG – Friebe, Der Stahlbau 2017</p>	
Bauteil : 1. Allgemeines	Archiv Nr.:
Block : 1.5 Literaturverzeichnis	Seite: 9
Vorgang :	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:																		
Programm :	018 / 0017																		
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018																		
Inhalt - Kapitel 2																			
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%;">2.</td> <td style="width: 90%;">Berechnungsgrundlagen.....</td> <td style="width: 5%; text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td>2.1.</td> <td>Darstellung und Beschreibung des statischen Systems.....</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> <tr> <td>2.2.</td> <td>Auswertung und Berücksichtigung der Messergebnisse.....</td> <td style="text-align: right;">5</td> </tr> <tr> <td>2.3.</td> <td>Lastannahmen und Teilsicherheiten.....</td> <td style="text-align: right;">13</td> </tr> <tr> <td>2.4.</td> <td>Materialkennwerte und Teilsicherheiten.....</td> <td style="text-align: right;">17</td> </tr> <tr> <td>2.5.</td> <td>Begründete Abweichungen vom Regelwerk.....</td> <td style="text-align: right;">18</td> </tr> </table>		2.	Berechnungsgrundlagen.....	2	2.1.	Darstellung und Beschreibung des statischen Systems.....	2	2.2.	Auswertung und Berücksichtigung der Messergebnisse.....	5	2.3.	Lastannahmen und Teilsicherheiten.....	13	2.4.	Materialkennwerte und Teilsicherheiten.....	17	2.5.	Begründete Abweichungen vom Regelwerk.....	18
2.	Berechnungsgrundlagen.....	2																	
2.1.	Darstellung und Beschreibung des statischen Systems.....	2																	
2.2.	Auswertung und Berücksichtigung der Messergebnisse.....	5																	
2.3.	Lastannahmen und Teilsicherheiten.....	13																	
2.4.	Materialkennwerte und Teilsicherheiten.....	17																	
2.5.	Begründete Abweichungen vom Regelwerk.....	18																	
Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen	Archiv Nr.:																		
Block : Inhaltsverzeichnis	Seite: 1																		
Vorgang :																			

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.: 018 / 0017
Programm :	
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

2. Berechnungsgrundlagen

2.1. Darstellung und Beschreibung des statischen Systems

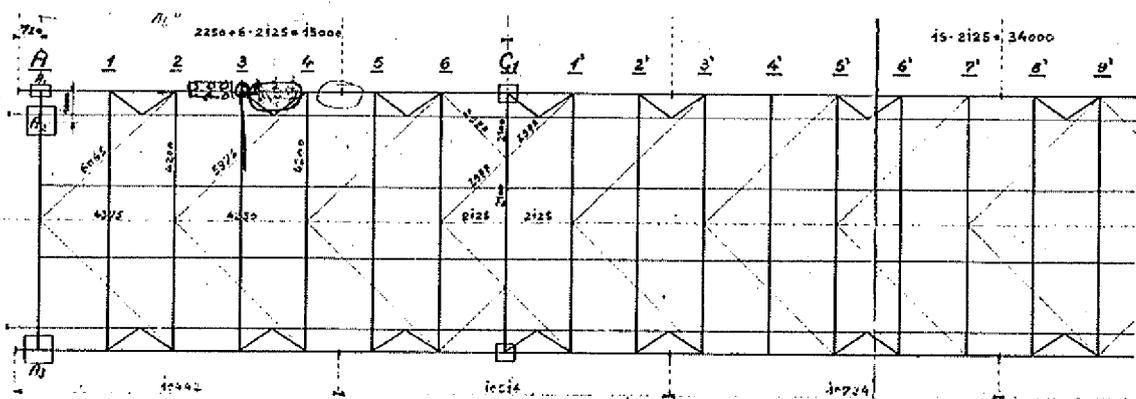
Zunächst wurde - zur besseren Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse aus [U1] und weil uns zu Beginn keine Bestandspläne und -statik vorlagen - das System gemäß [U1] nachgebildet und ausgewertet. Hierbei wurden die Höhenversätze der Schwerlinien der einzelnen Elemente vernachlässigt. Die Fahrbahnelemente Längsträger und Querträger wurden im Gesamtsystem berücksichtigt.

Aufgrund gegenüber [U1] günstigeren Lastansätzen ergaben sich geringere Spannungen als in [U1], jedoch konnte keine gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen in [U3] festgestellt werden. Daraufhin erfolgten Systemanpassungen im Sinne einer Kalibrierung gemäß Bewertungsstufe 4 (RiL 805.0001).

Im ersten Anpassungsschritt wurden die Träger in ihrer wahren Höhenlage eingegeben (Berücksichtigung der Höhenversätze der Schwerlinien).

Weitere Kalibrierungsschritte sind in Kapitel 2.2 beschrieben.

Das Lagerschema für den südlichen Überbau kann dem nachfolgenden Planausschnitt entnommen werden - zu beachten ist, dass das schadhafte Rollenlager B3 seit 2009 durch ein provisorisches Lager im Abstand von 1,40 m vom Lager B3 abgefangen wird.



Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen	Seite: 2	Archiv Nr.:
Block : 2.1 Statisches System		
Vorgang :		

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

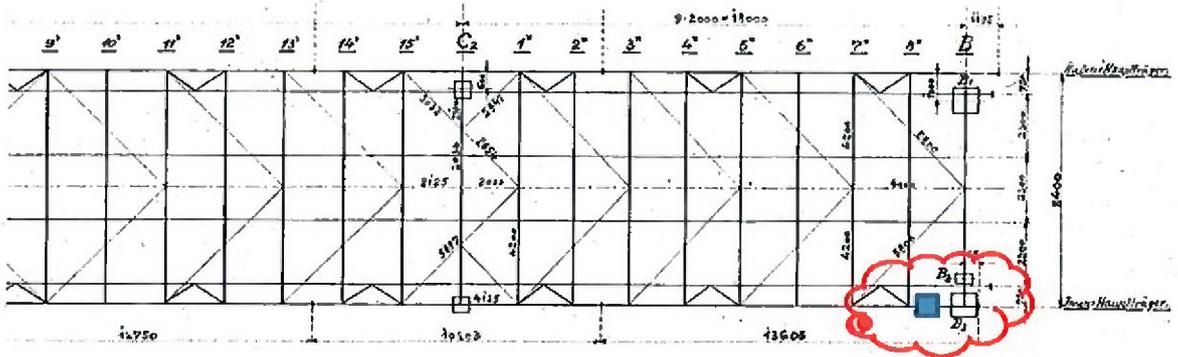
Projekt Nr.:

Programm :

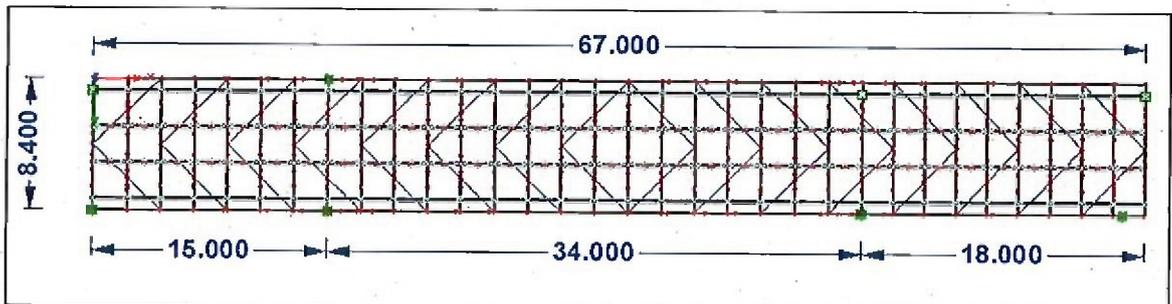
018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018



Für die Berechnung wird das Programm RSTAB der Diubal Software GmbH verwendet. Das folgende Bild zeigt das Modell in der Draufsicht:



Durch die Berücksichtigung der wahren Höhenlage für die Träger und den dabei entstehenden Höhenversatz müssen die Träger untereinander gekoppelt werden – siehe folgender Modellausschnitt. Die Querträger werden an die Hauptträger fest-fest gekoppelt, die Randlängsträger an die Querträger fest-gelenkig angeschlossen. Der Windverband wird ebenfalls modelliert, ist aber im Ergebnis ohne Bedeutung. Die Konsolauflager der Längsträger an den Querträgern wird durch zusätzliche (fiktive) Konsolstäbe berücksichtigt.

Die Festlegung der Querschnittswerte ist in Kapitel 2.2 beschrieben.

Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen

Block : 2.1 Statisches System

Seite: 3

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

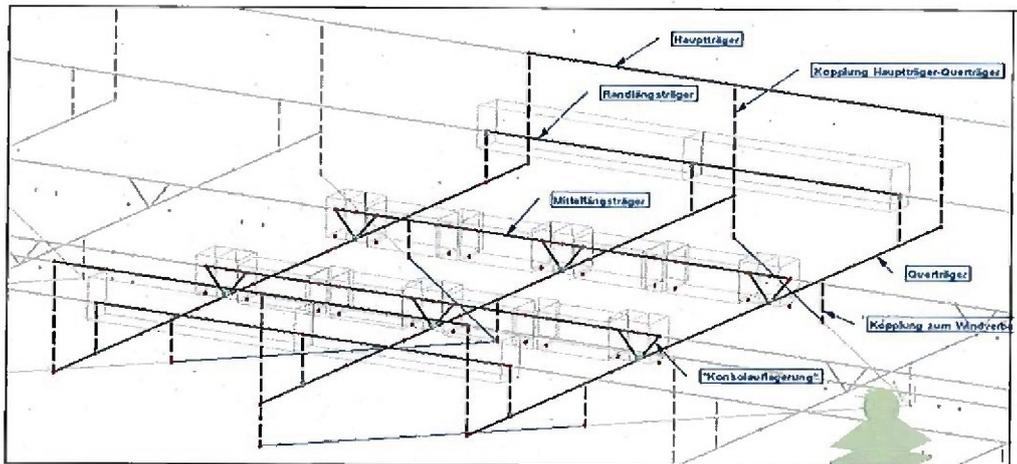
Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der **EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau**
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018



Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen

Block : 2.1 Statisches System

Seite: 4

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.: 018 / 0017
Programm :	
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

2.2. Auswertung und Berücksichtigung der Messergebnisse

In [U2] und [U3] wurden Messungen am Bauwerk beschrieben und hinsichtlich der Beanspruchungen des Überbaus sowie weiter führender Nachweise ausgewertet. Die in [U2] beschriebene Messung wurde in der 12. KW 2016 durchgeführt. Die in [U3] beschriebene Messung wurde im Sommer 2016 durchgeführt. Aus der Erfahrung vieler Messungen ist bekannt, dass real gemessene Dehnungen/Spannungen am Bauwerk oft geringer ausfallen als rechnerisch ermittelte Spannungen. Ursache hierfür sind vor allem im Rechenmodell nicht berücksichtigte mittragende Beteiligungen vor allem der Fahrbahn (hier Buckelbleche) und des Schotteraufbaus.

Die mittragende Wirkung des Schotters ist temperaturabhängig und insbesondere bei geringen Temperaturen ($< 0^\circ$) besonders ausgeprägt. Aufgrund ihrer Temperaturabhängigkeit ist es nicht zulässig, diese Mitwirkung generell zu berücksichtigen. Da die Messung in [U3] im Sommer durchgeführt wurde, liegt sie hinsichtlich der Mitwirkung des Schotterbetts auf der sicheren Seite und wird im Folgenden ausgewertet:

Es wurden Messungen gemäß nachfolgender Übersicht aus [U3] an den mittleren Längsträgern im Bereich der Stütze C2 und nahe des Widerlagers B (Altona), an den Querträgern 7" und 8" nahe des Widerlagers B, an den Hauptträgern in Achse 9', Stützenachse C2 und Feld zwischen QT 5" und 6" sowie an den Diagonalen des Windverbandes durchgeführt.

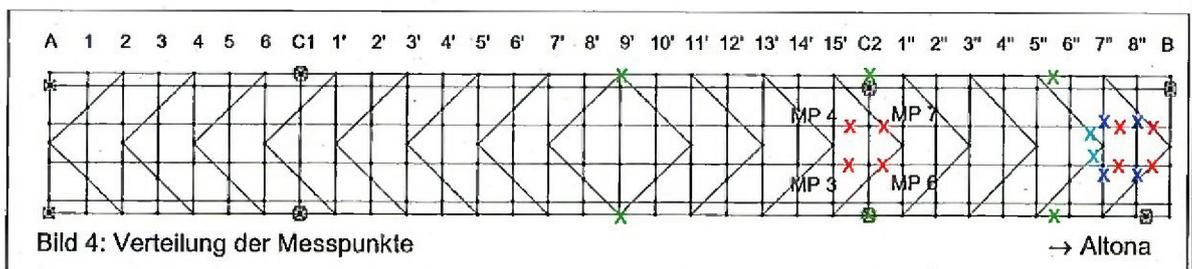


Bild 4 aus [U3]: Messpunkte am Überbau

Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen	Seite: 5	Archiv Nr.:
Block : 2.2 Auswertung der Messergebnisse		
Vorgang :		

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen Programm :	Projekt Nr.: 018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<p>Neben der Erfassung der Regelzugfahrten wurden Fahrten mit einer Belastungslok (Baureihe 185) bei definierten Geschwindigkeiten $v = 10 \text{ km/h}$, $v = 30 \text{ km/h}$ und $v = 60 \text{ km/h}$ (zulässige Streckengeschwindigkeit) in beiden Fahrtrichtungen gemessen.</p> <p>An der Spannungsverteilung der Längs- und Querträger und der Lage der Nulllinie ist erkennbar, dass sich die Buckelbleche am Lastabtrag beteiligen. Ebenso ist eine Durchlaufwirkung an den Längsträgern ersichtlich. Die Spannungen an den Obergurten der Längs- und Querträger sind deutlich geringer als an den Untergurten (hoch liegende Nulllinie). An den Hauptträgern ist hinsichtlich Spannungsverteilung zwischen Ober- und Untergurt der gegenteilige Effekt zu beobachten – die Obergurtspannungen fallen größer aus. Dies ist bei Betrachtung der Bauwerksgeometrie nicht weiter verwunderlich, da die Mitwirkung der Fahrbahn die Nulllinie dort nach unten verschiebt.</p> <p>Aus den Spannungen /Dehnungen der Überfahrten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten konnte auf Grundlage von [L3] der messwertgestützte Schwingfaktor Φ_{obs} ermittelt werden. Dieser beträgt nach [U3] für die Fahrbahn $\Phi_{obs} = 1,11$ und für die Hauptträger $\Phi_{obs} = 1,04$.</p> <p>In [U3] werden nachfolgend auf Grundlage der Messergebnisse Einflusslinien berechnet und diese für das Lastbild UIC 71 ausgewertet. Damit werden Nachweise der Tragsicherheit sowie der Ermüdungssicherheit geführt, allerdings unter Ansatz der Schwingfaktoren nach [V2]. Die wesentlich günstigeren Schwingfaktoren Φ_{obs} finden Eingang in eine nachgelieferte Betrachtung [U5].</p> <p>Die grundsätzliche Vorgehensweise ist auch in [L4] beschrieben.</p> <p>Gemäß RiL 805.0104 können die Erkenntnisse aus den Messungen der Kalibrierung des Systems dienen bzw. können direkt Eingang in die Nachweise finden (RiL 805.0102).</p> <p>Zur Kalibrierung des Systems werden die Überfahrten der Belastungslok BR 185 abgebildet und für die Kalibrierung genutzt.</p> <p>Die Kalibrierung ist nicht trivial, da z. Teil Querbiegungen in den Gurten der Träger (Längs- und Querträger) festgestellt wurden, zum anderen sich bei Fahrten in den Gleisrichtungen nicht überall die gleichen Spannungen ergaben, sondern z. Teil deutliche Abweichungen festgestellt wurden.</p> <p>Die wesentlichen Kalibrierungsschritte sind im Folgenden beschrieben:</p>	
Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen Block : 2.2 Auswertung der Messergebnisse	Archiv Nr.: Seite: 6
Vorgang :	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen

Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

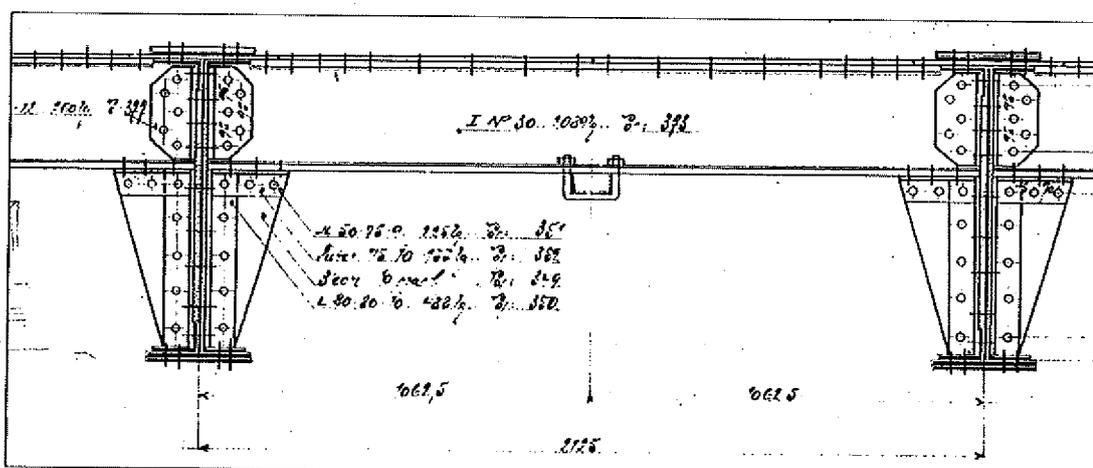
Datum:

Juni 2018

Längsträger – Modellierung Durchlaufwirkung

Da als auffälliges Ergebnis in [U1] eine sehr große Beanspruchung für den Mittellängsträger und daraus ein sehr geringer Belastbarkeitswert von lediglich $\beta_{UIC} = 0,46$ errechnet wurde, kommt der Modellierung des Längsträgers eine große Bedeutung zu.

Die Situation ist im folgenden Bild dargestellt:



Für die Längsträger ist eine Durchlaufwirkung gegeben, da die Obergurte über die Obergurtlaschen 250x12 durchgebunden sind und sich für die Untergurte über den Anschluss an die Konsolen ebenso eine Durchlaufwirkung einstellt.

In [U1] wird für den Längsträger am Querträgerauflager die volle Mitwirkung der Konsole und somit eine Trägerhöhe > 800 mm, also fast die dreifache Trägerhöhe des Längsträgers in Feldmitte angenommen. Diese Annahme erscheint unrealistisch.

Stattdessen werden für den Querschnitt am Auflager lediglich die Gurte berücksichtigt.

Die Berücksichtigung der Konsolauflagerung wurde bereits in Kapitel 2.1 beschrieben.

Querschnitte – Mitwirkung Buckelbleche

Gemäß den Erkenntnissen aus [U3] wird für die Längs- und Querträger die Mitwirkung der Buckelbleche als fiktive Vergrößerung der Obergurtfläche berücksichtigt.

Für die Hauptträger wird eine Anpassung der Querschnitte über die Berücksichtigung des Beuleinflusses gemäß Ril 805.0201 Anhang 4 vorgenommen. Zusätzlich wird beim verbleibenden Querschnitt die Nulllinie verschoben.

Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen

Block : 2.2 Auswertung der Messergebnisse

Seite: 7

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : **Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau**
Strecke 6100, km 290,590

Datum:

Juni 2018

Ansatz des Lastbilds

Grundlage der Erkenntnisse aus [U3] sind Messungen bei Überfahrten der Belastungslok BR 185. Um eine realistische Kalibrierung des Modells vorzunehmen, wurde eine Überfahrt mit den Achslasten der Belastungslok BR 185 berechnet.

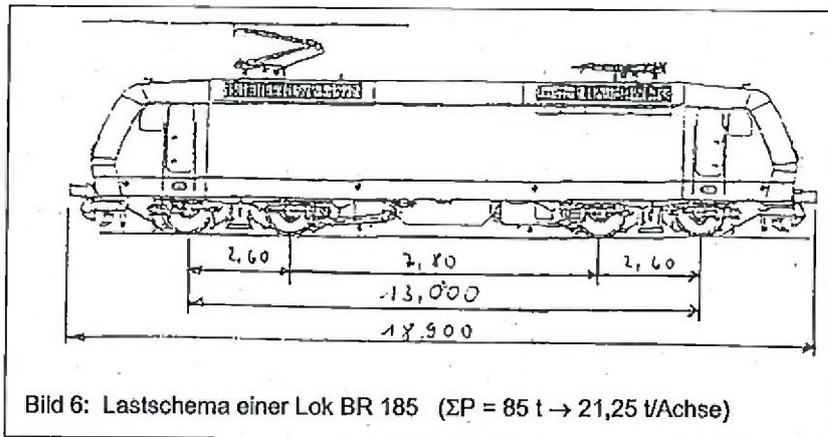
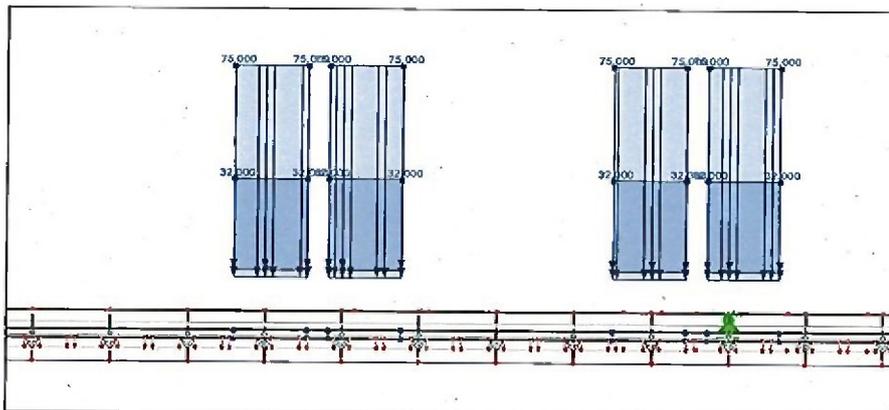


Bild 6: Lastschema einer Lok BR 185 ($\Sigma P = 85 \text{ t} \rightarrow 21,25 \text{ t/Achse}$)

Bild 6 aus [U3]: Lastschema Lok BR 185 (je Achse 21,25 t)

Die Verteilung der Achslasten wurde in Längsrichtung jeweils als durchgehende Linienlast mit einer Länge von 2,0 m angesetzt – siehe folgendes Bild.



In Querrichtung wurden für die Belastung eines Gleises der benachbarte Mittellängs- und der benachbarte Randlängsträger belastet. Die Lasten wurden hierbei zu 70 % auf den Mittellängs und zu 30 % auf den Randlängsträger verteilt – siehe folgendes Bild.

Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen

Block : 2.2 Auswertung der Messergebnisse

Seite: 8

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

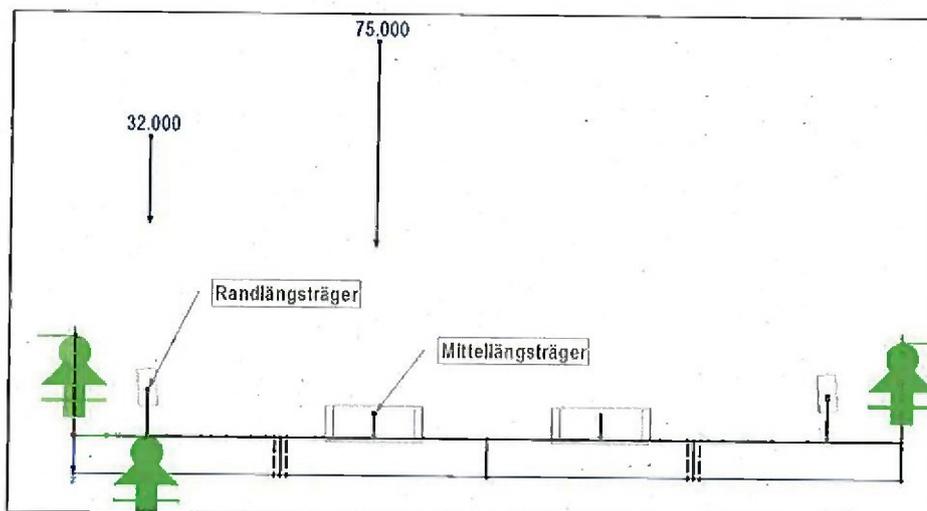
Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der EÜ **Sternbrücke - Südlicher Überbau**
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018



Vergleich des kalibrierten Systems mit den Messergebnissen

Mit den vorgenannten Angaben werden die Spannungen für Überfahrt der BR 185 berechnet und mit den gemessenen Spannungen verglichen.

Die Querschnitte werden dabei so angepasst, dass sich eine gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen ergibt.

Berücksichtigt wurden ebenfalls die Spannungen am unbelasteten Gleis. Mit den nachfolgend beschriebenen Querschnittswerten sowie der angesetzten Lastverteilung ergab sich auch hier eine gute Übereinstimmung. Diese Vergleichswerte werden nachfolgend nicht angegeben. Sie sind letztendlich auch nicht bemessungsrelevant.

Längsträger

Für die Längsträger wird zusätzlich zum Walzprofil NP 30 (alleiniger Ansatz in der Bestandsstatik [B7]) ein fiktives Blech am Obergurt mit einer Dicke von $t = 10$ mm angesetzt, welches die Obergurtlasche und das mitwirkende Deckblech repräsentiert. Die Breite des fiktiven Blechs wird variiert um eine gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen zu erzielen. Mit einer Breite von 90 cm ergeben sich folgende Verhältnisse:

Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen

Block : 2.2 Auswertung der Messergebnisse

Seite: 9

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt.Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

Längsträger: Überfahrt BR 185			berechnete Spannungen			gemessene Spannungen			
		Ort	My	σ -UG	σ -OG	σ -UG	%	σ -OG	%
Wy unten	806,9	15'-C2	16,9	20,94	6,37	22,8	109	-6,8	107
Wy oben	2654,6	C2-1"	15,7	19,46	5,91	14,3	73	-4	68
b OG	90	7"-8"	24,4	30,24	9,19	28,8	95	-5,4	59
A	159	8"-B	20,1	24,91	7,57	14,7	59	-7	92
zs	23,8								
I	19183								

Die Übereinstimmung ist relativ gut, mit Überschreitungen der gemessenen Spannungen am Träger im Feld 15'-C2.

Die für die Längsträger maßgebenden Momente und Spannungen sind aber an anderer Stelle größer, zudem wird nahe der Meßstelle im Feld 15'-C2 das Negative Moment (Stützmoment) gegenüber dem hier gemessenen größeren positiven Moment (Feldmoment) maßgebend, somit wird die Überschreitung als nicht relevant eingestuft.

Querträger

Bei den zwei gemessenen Querträgern nimmt der Querträger 8" eine Sonderstellung ein, zum einen aufgrund der Nähe zum Endquerträger – hier entstehen durch die Mitwirkung am Gesamtsystem Effekte, welche schwer durch eine Trägerrostabbildung zu erfassen sind, zum anderen durch die abweichende Querschnittsausbildung gegenüber den normalen Querträgern.

Ausgewertet wird daher nur der Querträger 7".

Am Obergurt wird zusätzlich zum Querschnitt ein fiktives Blech mit einer Dicke von $t = 10$ mm angesetzt, welches das mitwirkende Deckblech repräsentiert.

Die Breite des fiktiven Blechs wird variiert um eine gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen zu erzielen. Mit einer Breite von 150 cm ergeben sich folgende Verhältnisse:

Querträger: Überfahrt BR 185			berechnete Spannungen			gemessene Spannungen			
		Ort	My	σ -UG	σ -OG	σ -UG	%	σ -OG	%
Wy unten	9631	7"	203	21,08	10,54	20	95	-10	95
Wy oben	19256								
b OG	150								
A	445								
zs	57,1								
I	550181								

Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen	Seite: 10	Archiv Nr.:
Block : 2.2 Auswertung der Messergebnisse		
Vorgang :		

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

Mit der Kalibrierung ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung.

Hauptträger

Für die Hauptträger ergibt sich aus den Messungen der Effekt, dass die Nulllinie aufgrund der Mitwirkung der Fahrbahn nach unten wandert und dass die gemessenen Spannungen größer als die errechneten Spannungen bei alleinigem Ansatz der Hauptträgerquerschnitte sind. Der letztgenannte Effekt ist schwerlich erklärbar.

Für die Nachweise der Tragsicherheit ist die Abminderung der Tragfähigkeit infolge Beulen gemäß Anhang 4 der RiL 805.0201 zu berücksichtigen.

Der Abminderungsfaktor wird vereinfacht für einen Hauptträger berechnet:

$b = 2400$ mm (bei der Hauptträgerhöhe von ca. 2700 mm werden die anliegenden Winkel berücksichtigt)

$$t_{\text{steg}} = 16 \text{ mm}$$

$$\alpha = a / b = 2000 / 2400 = 0,83$$

$$k_{\sigma} = 23,9$$

$$\sigma_e = 18980 \times \left(\frac{t}{b}\right)^2 = 0,844$$

$$\sigma_{pi} = 23,9 \times 0,844 = 20,16$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{f_{yk}}{\sigma_{pi}}} = \sqrt{\frac{31,2}{20,16}} = 1,244$$

$$\kappa = 1,25 \times \left(\frac{1}{\lambda_p} - \frac{0,2 Z}{\lambda_p^2}\right) = 0,827$$

Bei Berücksichtigung des Beulabminderungsfaktors bereits beim Spannungsnachweis sowie einem Kalibrierungsfaktor für die Lage der Spannungsnulllinie von 0,45 ergeben sich folgende Verhältnisse – siehe nachfolgendes Bild.

Die Übereinstimmungen sind durchweg sehr gut und liegen auf der sicheren Seite.

Im Modell werden allerdings die Querschnittswerte der Hauptträger nach der Bestandsstatik verwendet. Erst beim Spannungsnachweis werden die oben aufgeführten Faktoren berücksichtigt.

Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen	Seite: 11	Archiv Nr.:
Block : 2.2 Auswertung der Messergebnisse		
Vorgang :		

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

Hauptträger: Überfahrt BR 185							
Ort	berechnete Spannungen			gemessene Spannungen			
	My	σ_y -UG	σ_y -OG	σ_y -UG	%	σ_y -OG	%
9' - Q4	2057	20,30	24,81	18,1	89	-22,8	92
C'' - Q5	-1587	-13,06	-15,96	-12,9	99	13,5	85
5''-6'' - Q1	1010	19,86	24,27	16,2	82	-23,5	97
	Wy unten	Wy oben		I Netto	h		
Q1	50859	41612		7582743	274	Red.faktor	0,827
Q2	67653	55352		10233777	278	Red.faktor wg Beulen	
Q3	84475	69116		12962325	282	Höhenfakt	0,45
Q4	101332	82908		15769540	286		
Q5	121499	99408		18907970	286		

Hinweis:

Die Spannungsvergleiche wurden für die berechneten Spannungen lediglich aus den Momenten M_y ermittelt. Weitere Anteile aus Normalkraft N und Querbiegung M_z sowie Torsion M_T sind vernachlässigbar.

Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen	Seite: 12	Archiv Nr.:
Block : 2.2 Auswertung der Messergebnisse		
Vorgang :		

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

2.3. Lastannahmen und Teilsicherheiten

Gemäß den Untersuchungen in [U1] werden für die Einstufung des Bauwerks lediglich die ständigen Einwirkungen sowie die vertikalen Belastungen aus dem Zugverkehr berücksichtigt.

Ständige Lasten

Im Lastfall G1 werden die Eigengewichte der Stahlkonstruktion erfasst.

Analog zu [U1] werden die Eigengewichte der Längs-, Quer- und Hauptträger berücksichtigt. Die Generierung erfolgt programmseitig. Für nicht berücksichtigte Kleinteile erfolgt ein Zuschlag von 5 %.

Zusätzlich werden die Lasten aus den Knotenpunkten Anschluss Quer- / Hauptträger sowie aus dem angehängten Gehweg wie in [U1] als Einzellasten aufgebracht.

Aus der Gewichtsrechnung des Bestandes lassen sich die Gewichtsanteile für Hauptträger, Fahrbahn (Buckelblech, Längs- und Querträger), Verbände sowie Fußweg aufaddieren zu $370,3 \text{ t} = 3.700 \text{ kN}$

Um auf dieselbe Eigengewichtsbelastung zu kommen, werden die Hauptträger mit einer zusätzlichen Differenzstreckenlast beaufschlagt.

Im Lastfall G2 wird analog zu [U1] die Belastung infolge der Schotterfahrbahn erfasst:

Schotter	$20 \times 0,34$	= 6,8 kN/m ²
Gleise		= 0,49 kN/m ²
Schwellen		= 0,55 kN/m ²
Zuschlag		= 0,14 kN/m ²
<hr/>		
Summe G2		= 10 kN/m ²

Im Lastfall G3 werden schließlich die Gegengewichte, welche ein Abheben an den Widerlagern vermeiden, erfasst:

Achse A	= 2 x 1066 kN
Achse 8"	= 2 x 661 kN

Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen	Seite: 13	Archiv Nr.:
Block : 2.3 Lastannahmen und Teilsicherheiten		
Vorgang :		

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der **EÜ Sternbrücke** - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018

Verkehrslasten

Das Lastbild UIC 71 gemäß [V2] Bild 7 ist nach Erfordernis für eine ungünstige Laststellung zu teilen. Günstig wird die Achslastverteilung gemäß der 3-Schwellen-Regel nach Bild 9 in Ansatz gebracht.

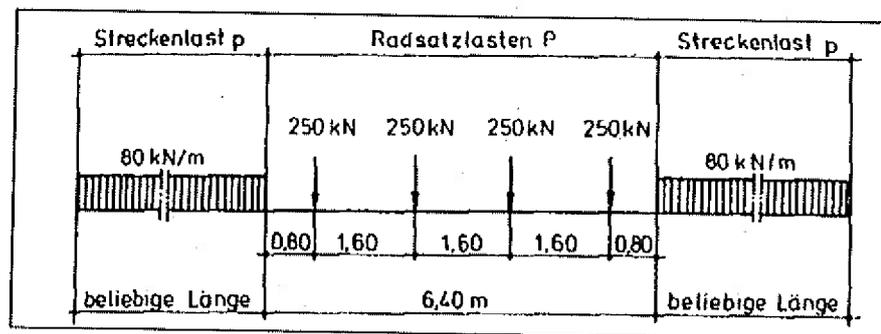


Bild 7 aus [V2]: Lastbild UIC 71

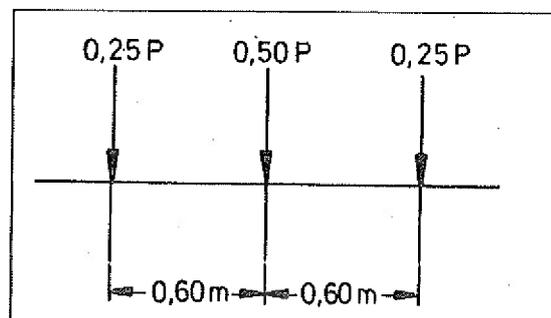


Bild 9 aus [V2]: 3-Schwellen-Regel

Nach den in Kapitel 2.2 beschriebenen Kalibrierungsannahmen wird auch für das Lastbild UIC 71 eine gleichmäßige Verteilung der Achslasten vorgenommen. Die Achslasten werden hierbei als Überlast gegenüber der durchlaufenden Streckenlast von 80 kN/m angesetzt. Die Verteilung erfolgt entsprechend der Kalibrierungsannahmen mit 70% auf den Mittellängsträger und 30% auf den Randlängsträger.

Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen

Block : 2.3 Lastannahmen und Teilsicherheiten

Seite: 14

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen Programm :	Projekt Nr.: 018 / 0017														
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018														
<p>Für den Nachweis der Tragfähigkeit werden die Schwingfaktoren gemäß [V2] angesetzt, für die Nachweise der Restlebensdauer werden die gemessenen Schwingfaktoren ϕ verwendet.</p> <p>Angaben zu den Lasttonnagen der Vergangenheit sowie der Zukunft liegen nur eingeschränkt und teilweise widersprüchlich vor.</p> <p>Gemäß den Angaben der DB für die Belegung 2015 ist ersichtlich, dass von 328 Zügen pro Tag (Σ für beide Fahrrichtungen) 28 Güterzüge beteiligt sind. Die Prognose für 2025 sieht dagegen bei 305 Zügen pro Tag (Σ für beide Fahrrichtungen) lediglich 8 Güterzüge vor [D2].</p> <p>Hieraus kann gefolgert werden, dass die Lasttonnage der Zukunft rückläufig gegenüber der heutigen Belastung ist.</p> <p>Abweichend davon sind die Angaben im Projektanforderungskatalog [D1]: Hier werden $35,2 \times 10^6$ bzw. $36,8 \times 10^6$ Lasttonnen pro Gleis und Jahr angegeben. Dies ist gegenüber der in [U1] angegebenen Lasttonnage von $31,4 \times 10^6$ bzw. $30,5 \times 10^6$ Lasttonnen pro Gleis und Jahr eine Zunahme um $\geq 15\%$.</p> <p>Dieser Widerspruch konnte leider trotz Nachfragen bei der DB nicht aufgeklärt werden. Für die Nachweise der Restnutzungsdauer werden daher die in [D3] mitgeteilten Angaben verwendet:</p> <table border="0" data-bbox="292 1361 1436 1503"> <tr> <td><u>Für die Vergangenheit</u></td> <td><u>$31,4 \times 10^6$ bzw. $30,5 \times 10^6$ Lasttonnen pro Gleis und Jahr [U1]</u></td> </tr> <tr> <td><u>Für das Jahr 2017</u></td> <td><u>$29,0 \times 10^6$ Lasttonnen pro Gleis und Jahr</u></td> </tr> <tr> <td><u>Für die Zukunft</u></td> <td><u>$35,2 \times 10^6$ bzw. $36,8 \times 10^6$ Lasttonnen pro Gleis und Jahr</u></td> </tr> </table> <p>Da keine detaillierten Angaben für die Jahre vor 2017 vorliegen, bleibt die Angabe für 2017 unberücksichtigt.</p> <p><u>Teilsicherheiten gemäß RiL 805.0102 Tabelle 1:</u></p> <table border="0" data-bbox="292 1704 1157 1890"> <tr> <td>Stahlkonstruktion mit genauer Mengenermittlung</td> <td>$\gamma_{F01} = 1,15$</td> </tr> <tr> <td>Eigenlast Fahrbahn + Bettung, Kontrolle Füllhöhe</td> <td>$\gamma_{F02} = 1,5$</td> </tr> <tr> <td>Eigenlast Kontergewichte</td> <td>$\gamma_{F03} = 1,3$</td> </tr> <tr> <td>Verkehrslasten Lastbild UIC 71</td> <td>$\gamma_{F0} = 1,3$</td> </tr> </table>		<u>Für die Vergangenheit</u>	<u>$31,4 \times 10^6$ bzw. $30,5 \times 10^6$ Lasttonnen pro Gleis und Jahr [U1]</u>	<u>Für das Jahr 2017</u>	<u>$29,0 \times 10^6$ Lasttonnen pro Gleis und Jahr</u>	<u>Für die Zukunft</u>	<u>$35,2 \times 10^6$ bzw. $36,8 \times 10^6$ Lasttonnen pro Gleis und Jahr</u>	Stahlkonstruktion mit genauer Mengenermittlung	$\gamma_{F01} = 1,15$	Eigenlast Fahrbahn + Bettung, Kontrolle Füllhöhe	$\gamma_{F02} = 1,5$	Eigenlast Kontergewichte	$\gamma_{F03} = 1,3$	Verkehrslasten Lastbild UIC 71	$\gamma_{F0} = 1,3$
<u>Für die Vergangenheit</u>	<u>$31,4 \times 10^6$ bzw. $30,5 \times 10^6$ Lasttonnen pro Gleis und Jahr [U1]</u>														
<u>Für das Jahr 2017</u>	<u>$29,0 \times 10^6$ Lasttonnen pro Gleis und Jahr</u>														
<u>Für die Zukunft</u>	<u>$35,2 \times 10^6$ bzw. $36,8 \times 10^6$ Lasttonnen pro Gleis und Jahr</u>														
Stahlkonstruktion mit genauer Mengenermittlung	$\gamma_{F01} = 1,15$														
Eigenlast Fahrbahn + Bettung, Kontrolle Füllhöhe	$\gamma_{F02} = 1,5$														
Eigenlast Kontergewichte	$\gamma_{F03} = 1,3$														
Verkehrslasten Lastbild UIC 71	$\gamma_{F0} = 1,3$														
Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen Block : 2.3 Lastannahmen und Teilsicherheiten	Seite: 15 Archiv Nr.:														
Vorgang :															

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen Programm :	Projekt Nr.: 018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<p><u>Lastfallkombinationen:</u></p> <p>Für den Nachweis der Tragfähigkeit wird folgende Kombination gebildet:</p> $1,15 \times G1 + 1,5 \times G2 + 1,3 \times G3 + 1,3 \times \Phi \times Q_{ult}$	
Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen Block : 2.3 Lastannahmen und Teilsicherheiten	Archiv Nr.:
Vorgang :	Seite: 16

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

2.4. Materialkennwerte und Teilsicherheiten

Für den verwendeten Stahl St 48 gelten gemäß RiL 805.0103 folgende Kennwerte:

E-Modul	$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
Streckgrenze	$f_{yk} = 312 \text{ N/mm}^2$
Nieten RSt 44	$f_{uk} = 440 \text{ N/mm}^2$

Als Teilsicherheitsbeiwerte sind zu berücksichtigen (RiL 805.0201, Tabelle 2):

$$\gamma_M = 1,1$$

$$\gamma_B = 1,05 \text{ (Zustandskategorie 3)}$$

Damit gilt:

$$\sigma_{r,d} = 312 / (1,1 \times 1,05) = 270 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{r,d} = 312 / (1,1 \times 1,05) / \sqrt{3} = 156 \text{ N/mm}^2$$

Zulässige Spannungsdoppelamplituden gemäß RiL 805.0201 Tabelle 5 (für Bauteile aus St 48)

Hinweis: In [U1] wurde mit den zulässigen Spannungsdoppelamplituden nach [V2] für einen S355 gerechnet.

Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen	Seite: 17	Archiv Nr.:
Block : 2.4 Materialkennwerte und Teilsicherheiten		
Vorgang :		

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen Programm :	Projekt Nr.: 018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<p>2.5. Begründete Abweichungen vom Regelwerk</p> <p>In Kapitel 4 werden differenzierte Ansätze zur Ermüdungsbetrachtung der betroffenen Bauteile vorgenommen. Die Ansätze sind DB-intern entwickelt und liegen vor in Form des Entwurfs des Anhang 5 der RiL 805.0201 [V3] sowie einer DB-Präsentation zu Möglichkeit und Notwendigkeit der Fortschreibung der RiL 805 [L1].</p> <p>Die Ansätze sind begründet und erlauben eine realistischere Betrachtung der Ermüdungsbelastung sowie der daraus resultierenden Restnutzungsdauer.</p>	
Bauteil : 2. Berechnungsgrundlagen Block : 2.5 Begründete Abweichungen vom Regelwerk	Archiv Nr.:
Vorgang :	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:	
Programm :	018 / 0017	
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018	
Inhalt - Kapitel 3		
3. Tragsicherheitsnachweise	2	
3.1. Längsträger	2	
3.2. Querträger	6	
3.3. Hauptträger	9	
3.4. Windverband	12	
3.5. Anschlüsse	13	
3.6. Ermittlung der β -UIC-Werte	14	
3.7. Schlussfolgerung	15	
Bauteil : 3. Tragsicherheitsnachweise	Archiv Nr.:	
Block : Inhaltsverzeichnis		Seite: 1
Vorgang :		

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018

3. Tragsicherheitsnachweise

3.1. Längsträger

Mittlerer Längsträger

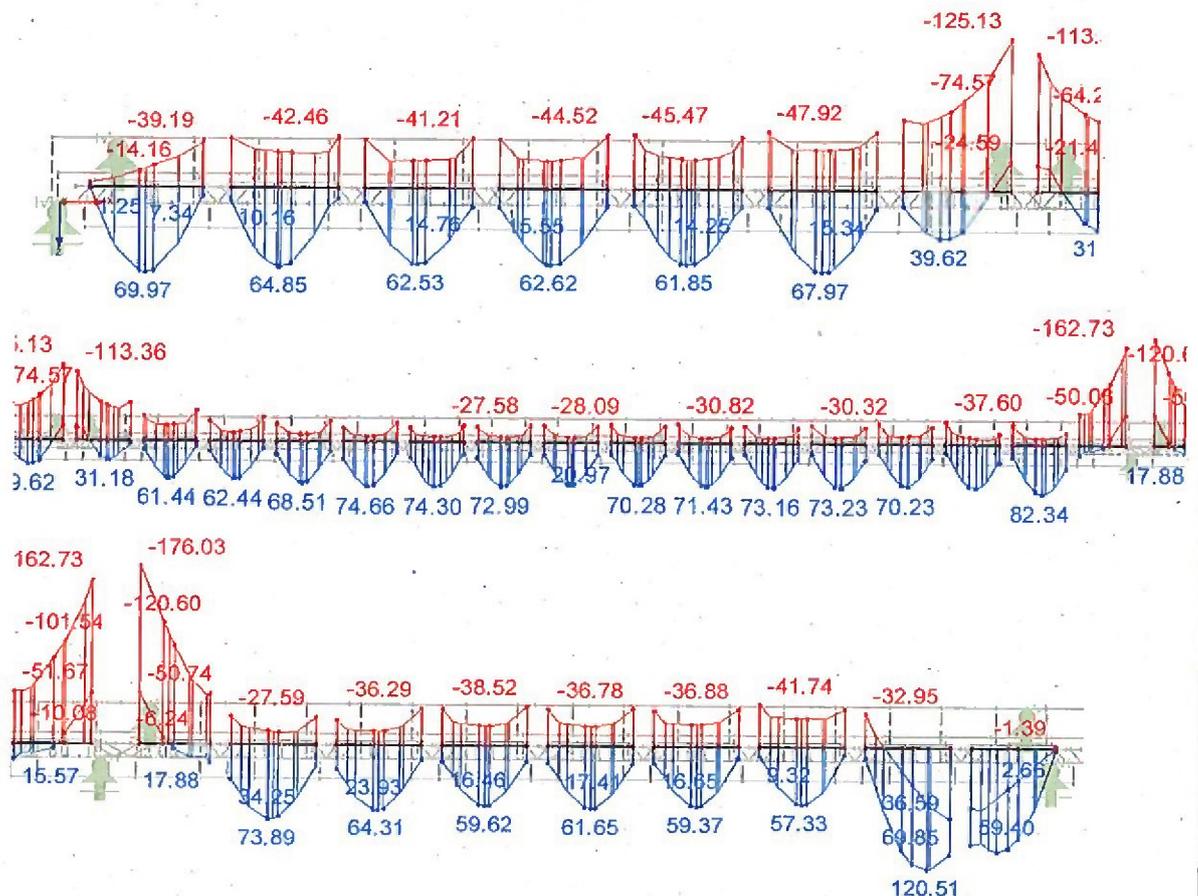
Schwingfaktor: $l_0 = 4 \times 2,0 \text{ m} = 8,0 \text{ m}$ (geschlossene Fahrbahn)

Schwingfaktor $\Phi = 1,37$

Reduktion infolge max. Geschwindigkeit:

$$\Phi_v = 1 + (1,37 - 1) \times 60 / 80 = 1,28$$

Extremale Schnittgrößen Momenten-Linie



Bauteil : 3. Tragsicherheitsnachweise

Block : 3.1 Längsträger

Seite: 2

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

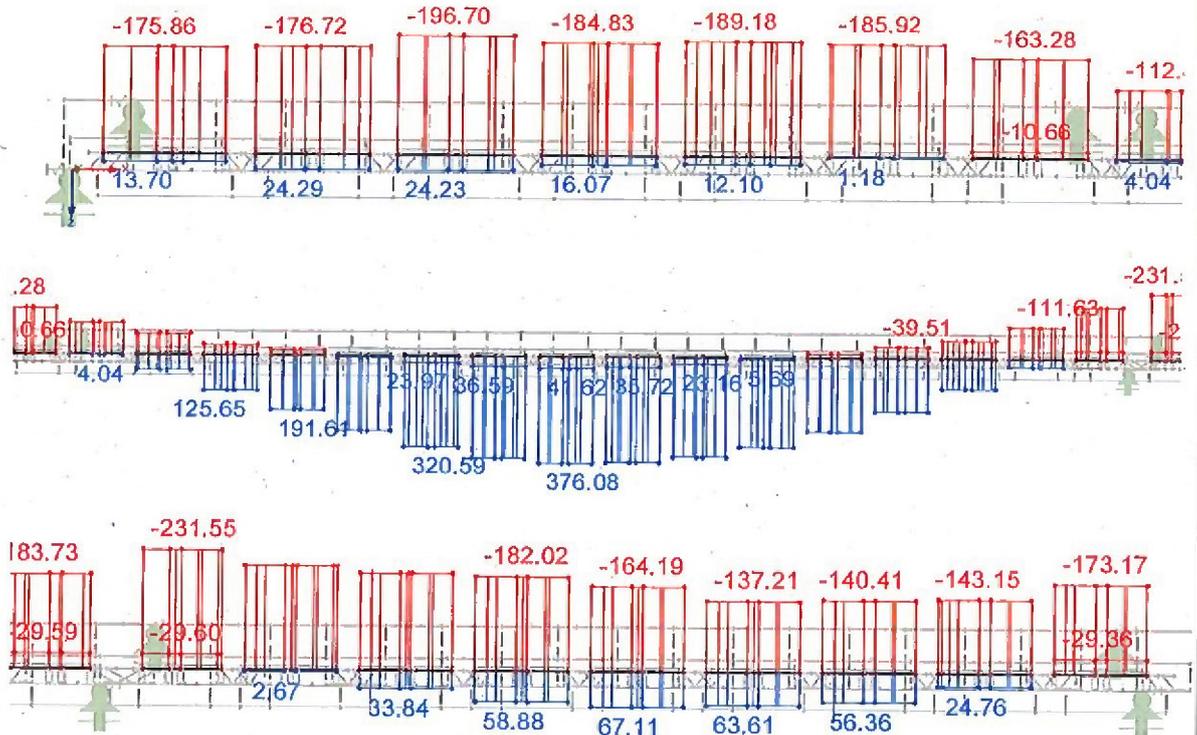
Programm :

018 / 0017

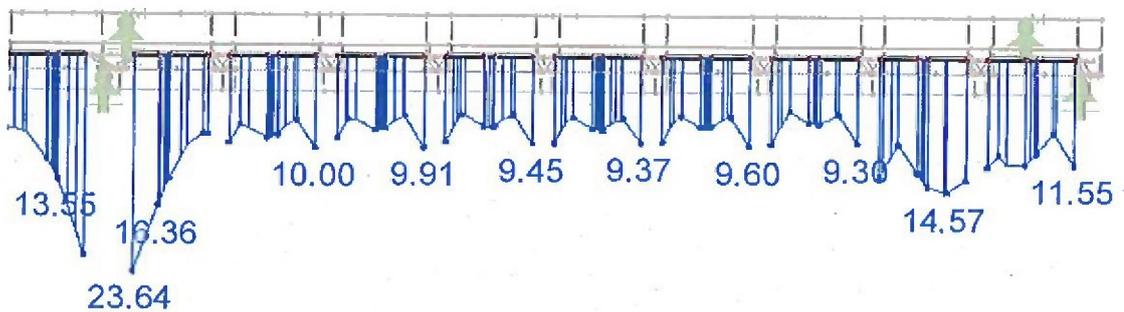
Bauwerk : Nachrechnung der **EÜ Sternbrücke** - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018

Extremale Schnittgrößen Normalkraft-Linie



Die Spannungsermittlung erfolgt programmseitig. Das Maximum ergibt sich an der Stützachse C2. Der folgende Ausdruck zeigt die maximale Vergleichsspannung dort.



Selbst bei Berücksichtigung einer Erhöhung von 10 % im Stützenbereich C2 gemäß den Erkenntnissen aus Kapitel 2.2 ist die zulässige Vergleichsspannung eingehalten:

$$\sigma_{vd} = 1,1 \times 23,64 = 26 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{vrd} = 1,1 \times 27 = 29,7 \text{ kN/cm}^2.$$

Bauteil : 3. Tragsicherheitsnachweise
Block : 3.1 Längsträger

Seite: 3

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.: 018 / 0017
Programm :	
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

Randlängsträger

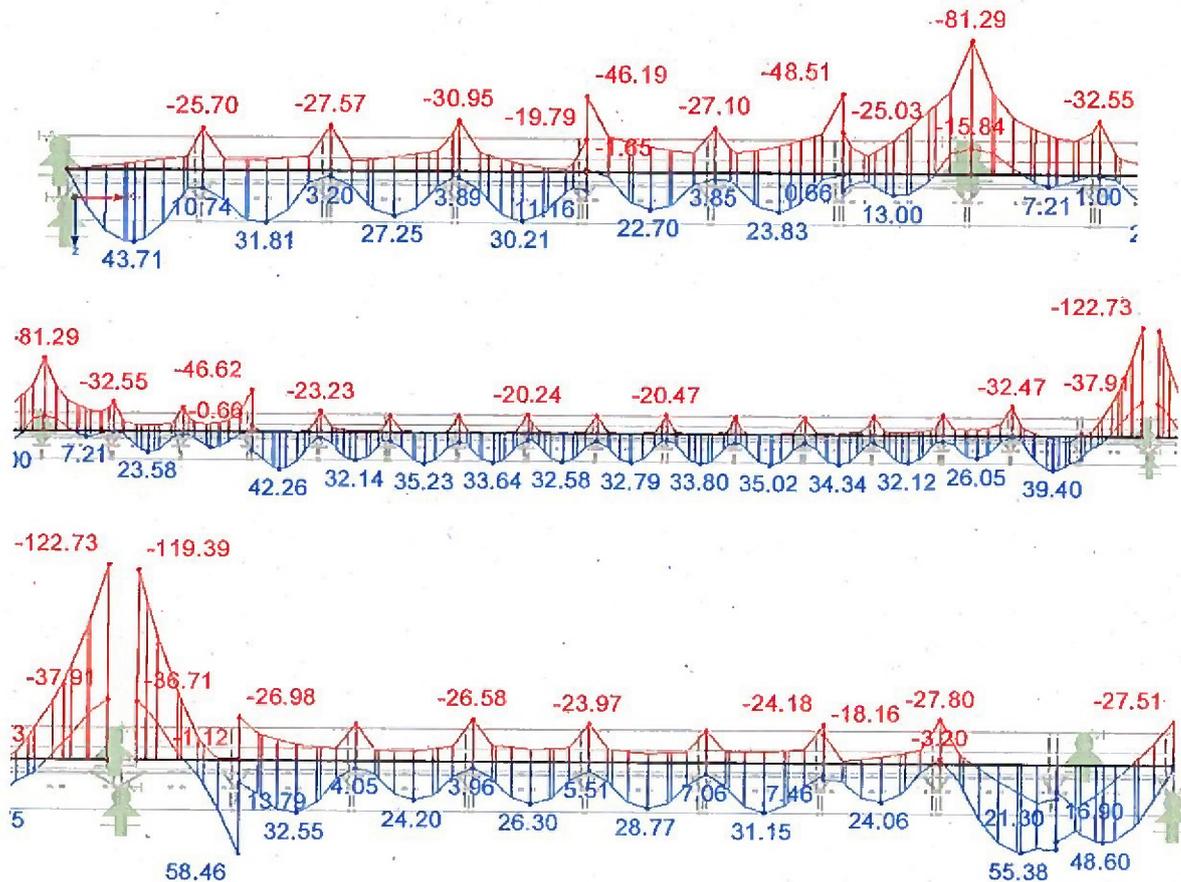
Schwingfaktor: $l_{\phi} = 4 \times 2,0 \text{ m} = 8,0 \text{ m}$ (geschlossene Fahrbahn)

Schwingfaktor $\Phi = 1,37$

Reduktion infolge max. Geschwindigkeit:

$$\Phi_v = 1 + (1,37 - 1) \times 60 / 80 = 1,28$$

Extremale Schnittgrößen Momenten-Linie



Bauteil : 3. Tragsicherheitsnachweise	Seite: 4	Archiv Nr.:
Block : 3.1 Längsträger		
Vorgang :		

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

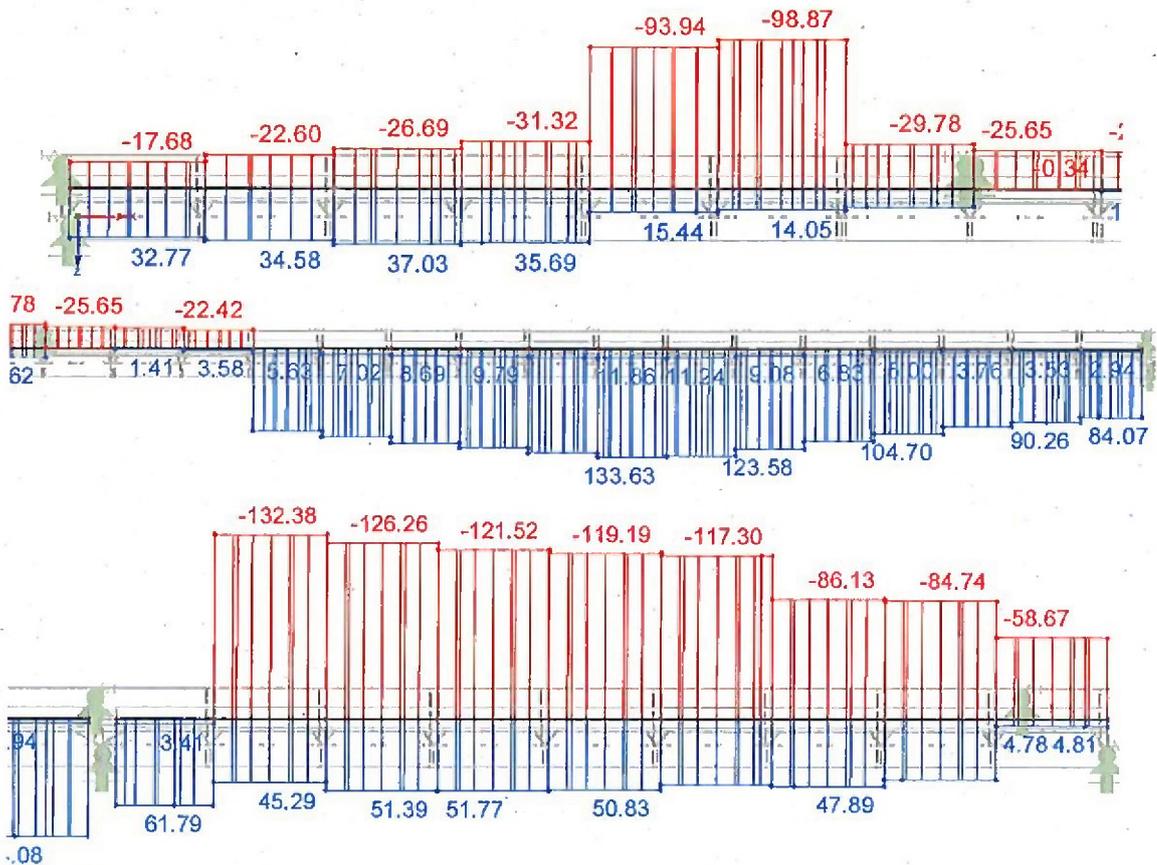
Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der **EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau**
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018

Extremale Schnittgrößen Normalkraft-Linie



Die Spannungsermittlung erfolgt programmseitig. Das Maximum ergibt sich an der Stützachse C2. Der folgende Ausdruck zeigt die maximale Vergleichsspannung dort.



Selbst bei Berücksichtigung einer Erhöhung von 10 % im Stützenbereich C2 gemäß den Erkenntnissen aus Kapitel 2.2 ist die zulässige Spannung eingehalten:

$$\sigma_d = 1,1 \times 22,65 = 24,9 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{rd} = 27 \text{ kN/cm}^2.$$

Bauteil : 3. Tragsicherheitsnachweise

Block : 3.1 Längsträger

Seite: 5

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der **EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau**
Strecke 6100, km 290,590

Datum:

Juni 2018

3.2. Querträger

Normale Querträger

Schwingfaktor: $l_{\phi} = 2 \times 8,4 \text{ m} = 16,8 \text{ m}$ (Trägerrost)

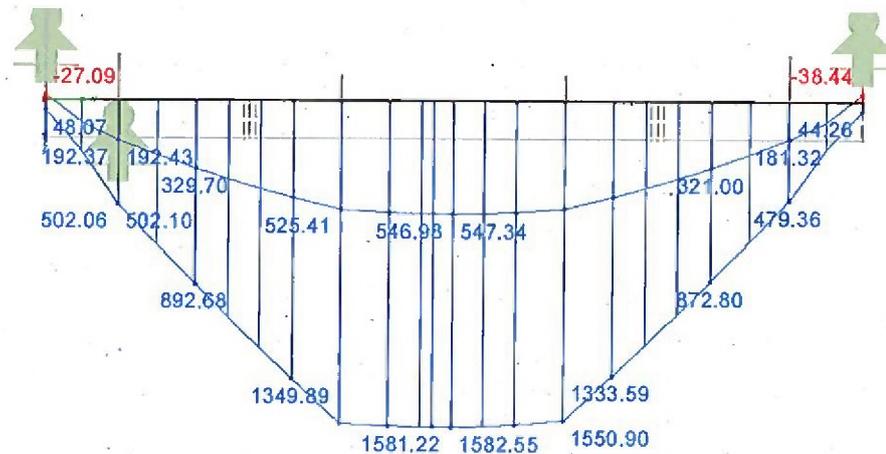
Schwingfaktor $\Phi = 1,19$

Reduktion infolge max. Geschwindigkeit:

$$\Phi_v = 1 + (1,19 - 1) \times 60 / 80 = 1,14$$

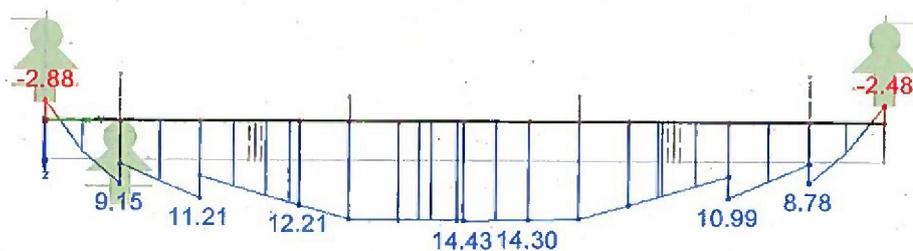
Die Ausnutzung der Querträger ist relativ gleichmäßig verteilt. Am höchsten beansprucht ist der Querträger 7" (der Querträger, an dem gemessen wurde). Nachfolgend werden Schnittgrößen und Spannungen für diesen Querträger angegeben.

Extremale Schnittgrößen Momenten-Linie



Die Normalkraft ist vernachlässigbar.

Die Spannungsermittlung erfolgt programmseitig.



$$\sigma_d = 14,4 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{rd} = 27 \text{ kN/cm}^2.$$

Bauteil : 3. Tragsicherheitsnachweise

Block : 3.2 Querträger

Seite: 6

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018

Stütz- und Randquerträger

Schwingfaktor: $l_{\phi} = 2 \times 8,4 \text{ m} = 16,8 \text{ m}$ (Trägerrost)

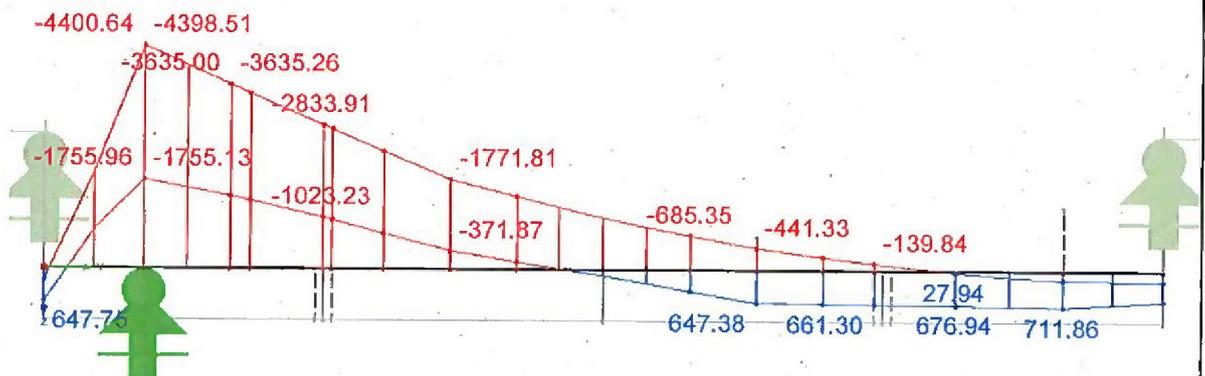
Schwingfaktor $\Phi = 1,19$

Reduktion infolge max. Geschwindigkeit:

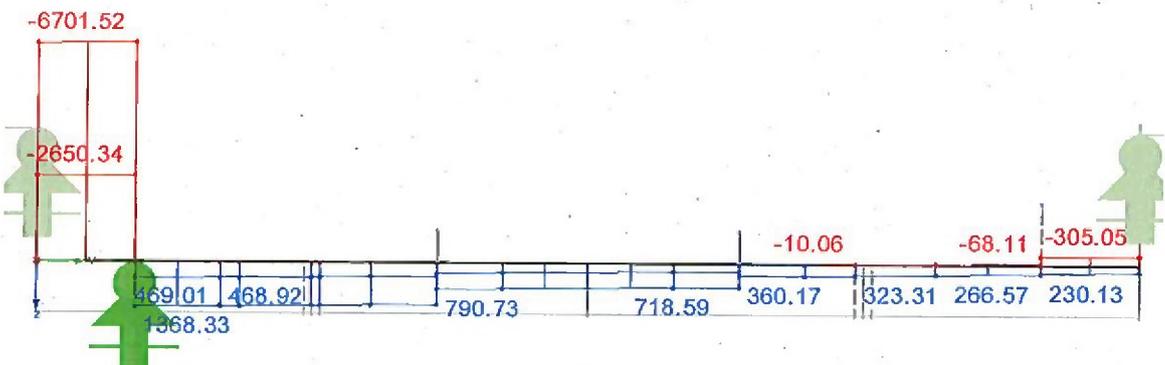
$$\Phi_v = 1 + (1,19 - 1) \times 60 / 80 = 1,14$$

Am höchsten beansprucht ist der Stützquerträger in der Achse C2. Nachfolgend werden Schnittgrößen und Spannungen für diesen Querträger angegeben.

Extremale Schnittgrößen Momenten-Linie



Extremale Schnittgrößen Querkraft-Linie



Die Spannungsermittlung erfolgt programmseitig.

Bauteil : 3. Tragsicherheitsnachweise

Block : 3.2 Querträger

Seite: 7

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

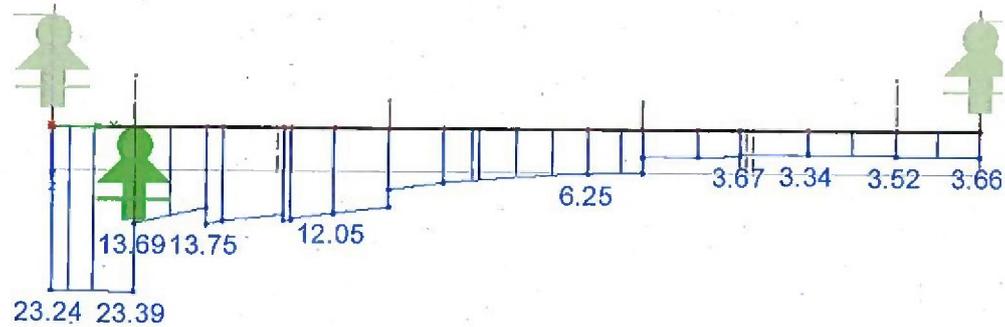
Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der **EÜ Sternbrücke** - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018

Nachfolgend ist die Vergleichsspannung angegeben.



$$\sigma_{vd} = 23,4 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{vrd} = 1,1 \times 27 = 29,7 \text{ kN/cm}^2.$$

Bauteil : 3. Tragsicherheitsnachweise

Block : 3.2 Querträger

Seite: 8

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018

3.3. Hauptträger

Für die Hauptträger werden abweichend zum Nachweis der Fahrbahn (Längs- und Querträger) die Schnittgrößen aus der Programmberechnung abgelesen und die Nachweise im Nachgang von Hand geführt.

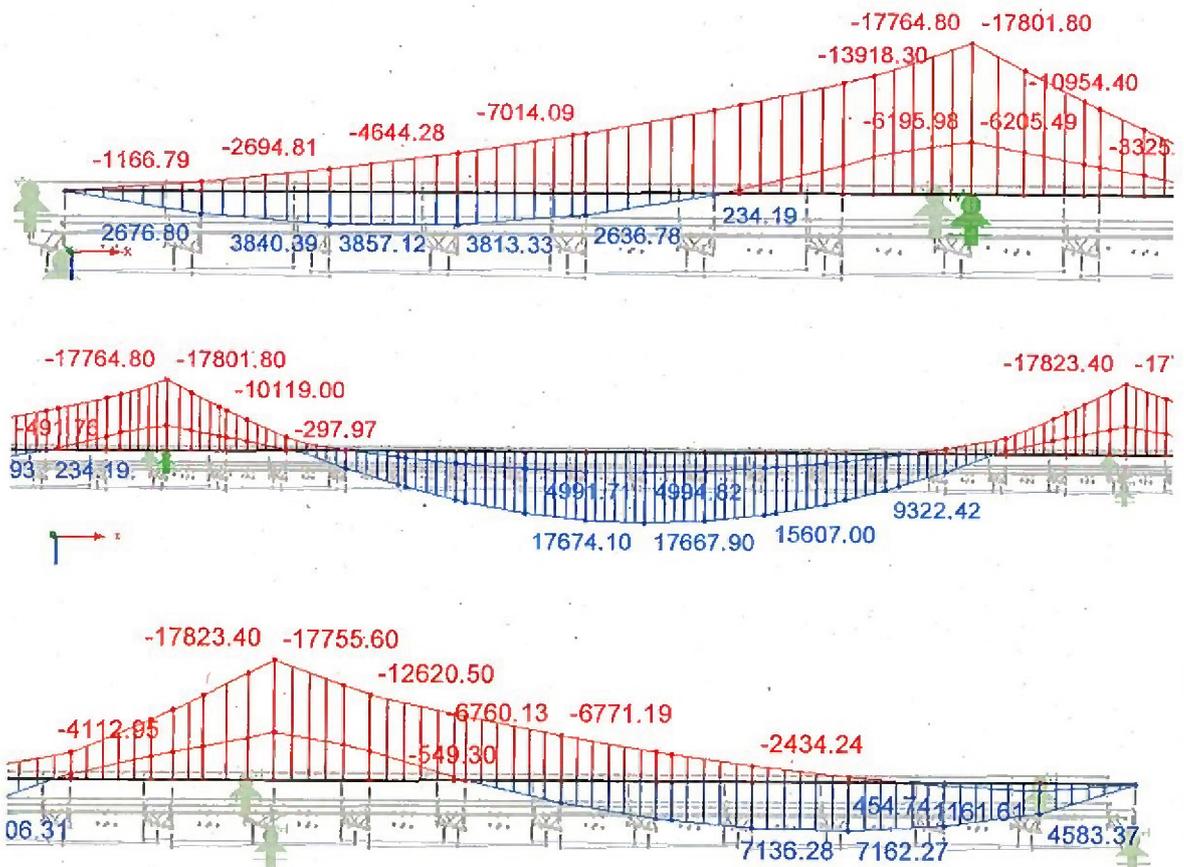
Schwingfaktor: $l_0 = 2 \times 67 \text{ m} / 3 = 44,6 \text{ m}$ (mehrgleisig)

Schwingfaktor $\Phi = 1,04$

Reduktion infolge max. Geschwindigkeit:

$$\Phi_v = 1 + (1,04 - 1) \times 60 / 80 = 1,03$$

Extremale Schnittgrößen Momenten-Linie



Bauteil : 3. Tragsicherheitsnachweise

Block : 3.3 Hauptträger

Seite: 9

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen

Projekt Nr.:

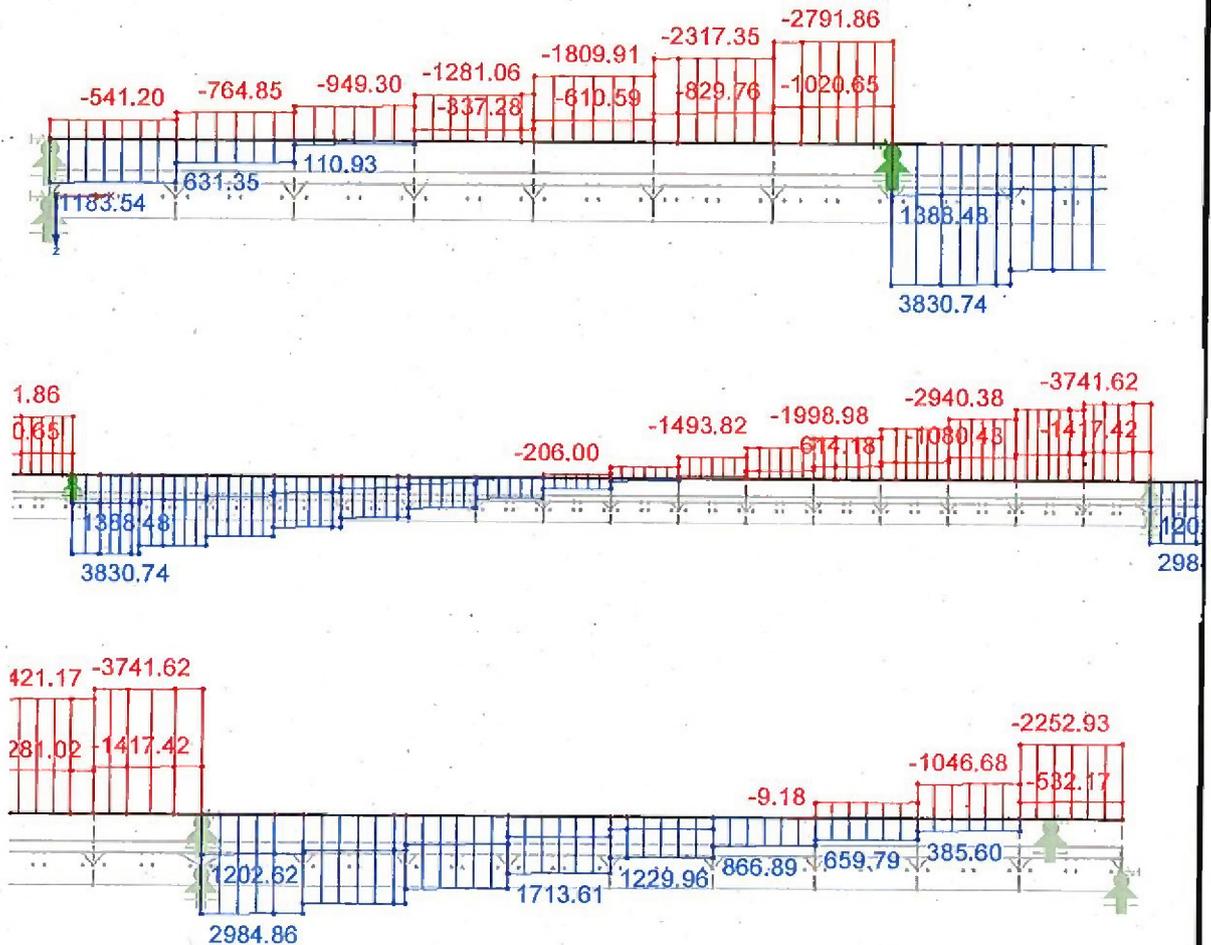
Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018

Extremale Schnittgrößen Querkraft-Linie



Normalkräfte sind vernachlässigbar.

Spannungsnachweise:

Q1: $W_{y,oben} = 41610 \text{ cm}^3$; $W_{y,unten} = 50860 \text{ cm}^3$, $A_Q \geq 432 \text{ cm}^2$

$M_{dmax} = 8440 \text{ kNm} \rightarrow \sigma_{d,oben} = -20,3 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{rd} = 27 \text{ kN/cm}^2$

$M_{dmin} = -8880 \text{ kNm} \rightarrow \sigma_{d,unten} = 21,3 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{rd} = 27 \text{ kN/cm}^2$

$Q_{dmax} = 3410 \text{ kN} \rightarrow \tau_d = 7,9 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \sigma_{vd} = 25,3 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{vrd} = 29,7 \text{ kN/cm}^2$.

Bauteil : 3. Tragsicherheitsnachweise

Block : 3.3 Hauptträger

Seite: 10

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.: 018 / 0017
Programm :	
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<p>Q2: $W_{y,oben} = 55350 \text{ cm}^3$; $W_{y,unten} = 67650 \text{ cm}^3$, $A_Q \geq 432 \text{ cm}^2$ $M_{dmax} = 12140 \text{ kNm} \rightarrow \sigma_{d,oben} = -21,9 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{rd} = 27 \text{ kN/cm}^2$ $M_{dmin} = -12530 \text{ kNm} \rightarrow \sigma_{d,oben} = 22,6 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{rd} = 27 \text{ kN/cm}^2$ $Q_{dmax} = 3790 \text{ kN} \rightarrow \tau_d = 8,8 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \sigma_{vd} = 27,2 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{vrd} = 29,7 \text{ kN/cm}^2$.</p> <p>Q3: $W_{y,oben} = 69110 \text{ cm}^3$; $W_{y,unten} = 84480 \text{ cm}^3$, $A_Q \geq 432 \text{ cm}^2$ $M_{dmax} = 15400 \text{ kNm} \rightarrow \sigma_{d,oben} = -22,2 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{rd} = 27 \text{ kN/cm}^2$ $M_{dmin} = -15840 \text{ kNm} \rightarrow \sigma_{d,oben} = 22,9 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{rd} = 27 \text{ kN/cm}^2$ $Q_{dmax} = 3810 \text{ kN} \rightarrow \tau_d = 8,8 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \sigma_{vd} = 27,5 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{vrd} = 29,7 \text{ kN/cm}^2$.</p> <p>Q4/5: $W_{y,oben} \geq 82900 \text{ cm}^3$; $W_{y,unten} \geq 101300 \text{ cm}^3$, $A_Q \geq 432 \text{ cm}^2$ $M_{dmax} = 17670 \text{ kNm} \rightarrow \sigma_{d,oben} = -21,3 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{rd} = 27 \text{ kN/cm}^2$ $M_{dmin} = -17820 \text{ kNm} \rightarrow \sigma_{d,oben} = 21,5 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{rd} = 27 \text{ kN/cm}^2$ $Q_{dmax} = 3830 \text{ kN} \rightarrow \tau_d = 8,9 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \sigma_{vd} = 26,5 \text{ kN/cm}^2 < \sigma_{vrd} = 29,7 \text{ kN/cm}^2$.</p>	
Bauteil : 3. Tragsicherheitsnachweise	Seite: 11
Block : 3.3 Hauptträger	Archiv Nr.:
Vorgang :	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen Programm :	Projekt Nr.: 018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<p>3.4. Windverband</p> <p>Die Beanspruchungen des Windverbands aus den vertikalen Lasten sind vernachlässigbar gering.</p>	
Bauteil : 3. Tragsicherheitsnachweise Block : 3.4 Windverband	Seite: 12 Archiv Nr.:
Vorgang :	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen Programm :	Projekt Nr.: 018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<p>3.5. Anschlüsse</p> <p>Die Anschlüsse wurden bereits in [U1] nachgewiesen, mit dem Ergebnis, dass die Tragfähigkeit durchweg gegeben ist..</p>	
Bauteil : 3. Berechnungsgrundlagen Block : 3.5 Anschlüsse	Archiv Nr.:
Vorgang :	Seite: 13

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen Programm :	Projekt Nr.: 018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<p>3.6. Ermittlung der β-UIC-Werte</p> <p>Mittellängsträger: $\beta_{UIC} = (270 - 89) / 160 = 1,13$</p> <p>Randlängsträger: $\beta_{UIC} = (270 - 85) / 154 = 1,20$</p> <p>Querträger: $\beta_{UIC} = (270 - 51) / 93 = 2,36$</p> <p>Hauptträger Q1: $\beta_{UIC} = (0,27 \times 41610 - 3860) / 5980 = 1,23$</p> <p>Hauptträger Q2: $\beta_{UIC} = (0,27 \times 55350 - 5380) / 7980 = 1,12$</p> <p>Hauptträger Q3: $\beta_{UIC} = (0,27 \times 69110 - 6740) / 9900 = 1,20$</p> <p>Hauptträger Q4/5: $\beta_{UIC} = (0,27 \times 82910 - 7560) / 11330 = 1,31$</p>	
Bauteil : 3. Berechnungsgrundlagen Block : 3.6 Ermittlung der β -UIC-Werte	Seite: 14 Archiv Nr.:
Vorgang :	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen Programm :	Projekt Nr.: 018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<p>3.7. Schlussfolgerung</p> <p>Der Nachweis der Tragfähigkeit konnte für die einzelnen Bauteile geführt werden. Es sind keine rechnerischen Defizite vorhanden. Insoweit können die Feststellungen aus [U3] und [U5] im Wesentlichen bestätigt werden.</p>	
Bauteil : 3. Berechnungsgrundlagen Block : 3.7 Schlussfolgerung	Archiv Nr.:
Vorgang :	Seite: 15

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.: 018 / 0017
Programm :	
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

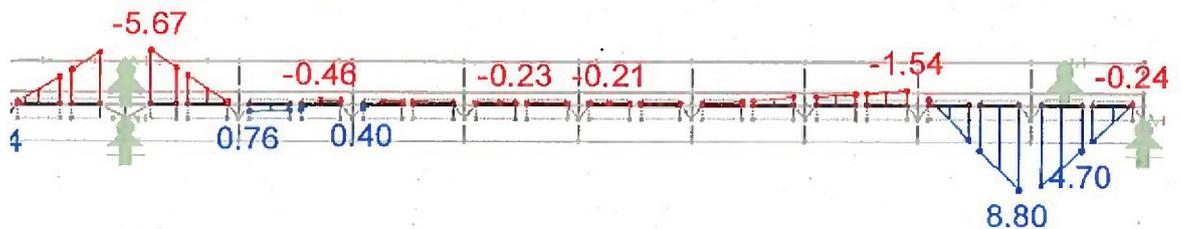
4. Restnutzungsdauernachweise

4.1. Längsträger

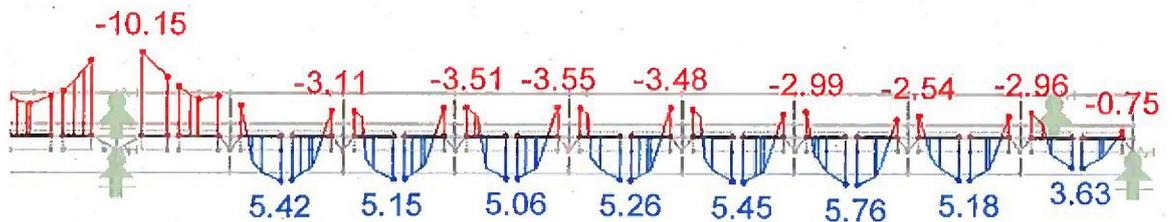
Mittlerer Längsträger

Schwingfaktor nach [U3]: $\Phi \leq 1,11$

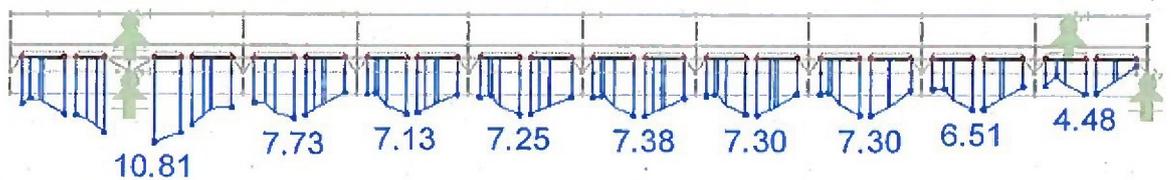
Spannungen infolge ständige Lasten:



Spannungen infolge $\Phi \times \text{UIC}$:



Schwingbreite infolge $\Phi \times \text{UIC}$:



→ Spannungsverhältnis $\kappa = 0,317$

Kerbfall WII Lochstab: zul. $\Delta\sigma_{Be,K} / \gamma_B = 108,8 / 1,05 = 103,6$

→ $\beta_{D,UIC} = 103,6 / 108,1 = 0,96 < 1,05$

Bauteil : 4. Restnutzungsdauernachweise	Seite: 2	Archiv Nr.:
Block : 4.1 Längsträger		
Vorgang :		

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der **EÜ Sternbrücke** - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018

Nachweis der Restnutzungsdauer:

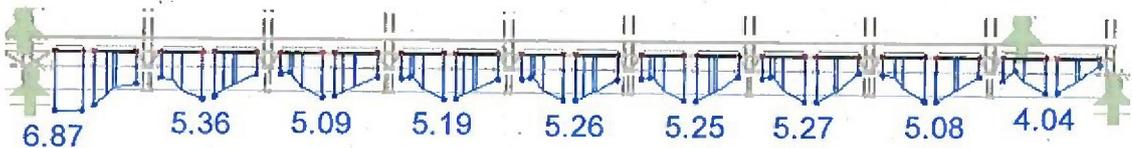
$$D_{\text{Verg},1976} = 0,15 \times (1 / 0,96)^5 = 0,184$$

$$\rho_1 = 0,94$$

$$\rho_2 = 31,4 \times 10^6 / 25 \times 10^6 = 1,256$$

$$\rho_3 = 0,22 \quad \text{mit } a = 68,7 / 108,1 = 0,636$$

Schwingbreite infolge $\Phi \times \text{UIC}$ auf einem Gleis:



$$\rho_4 = 0,91$$

$$D_{\text{Verg}} = 0,94 \times 1,256 \times 0,22 \times 0,91 \times 0,184 = 0,044$$

$$D_{\text{Zuk}} = 0,025 \times 36,8 / 31,4 \times 0,044 = 0,0013$$

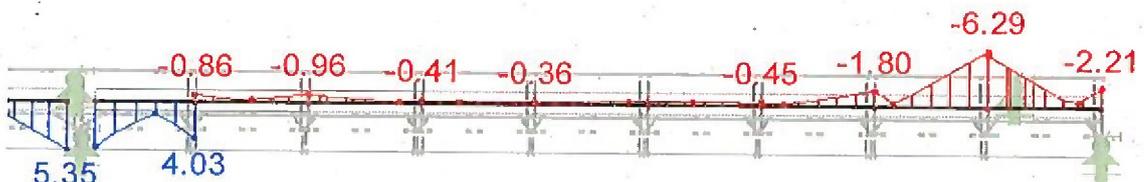
$$R = (1 - 0,044) / (0,01 + 0,0013) - 22 = 63 \text{ Jahre} > 50 \text{ Jahre}$$

Bei Berücksichtigung einer 10%-igen Erhöhung der Schwingbreite infolge UIC-Lasten ergibt sich eine Restnutzungsdauer von 55 Jahren > 50 Jahre.

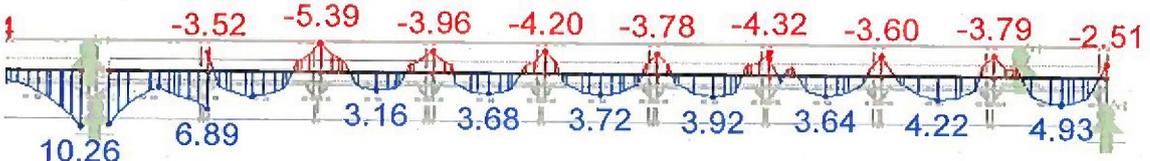
Randlängsträger

Schwingfaktor nach [U3]: $\Phi \leq 1,11$

Spannungen infolge ständige Lasten:



Spannungen infolge $\Phi \times \text{UIC}$:



Bauteil : 4. Restnutzungsdauernachweise

Block : 4.1 Längsträger

Seite: 3

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

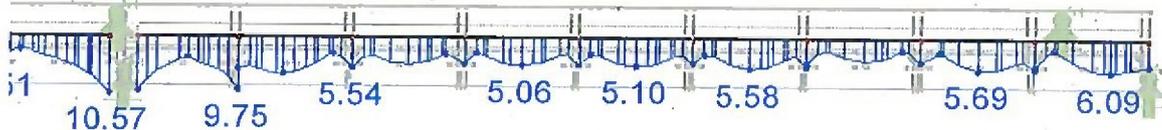
Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der **EÜ Sternbrücke** - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018

Schwingbreite infolge Φ x UIC:



→ Spannungsverhältnis $\kappa = 0,323$

Kerbfall WII Lochstab: zul. $\Delta\sigma_{Be,x} / \gamma_B = 108,4 / 1,05 = 103,2$

→ $\beta_{D,UIC} = 103,2 / 105,7 = 0,98 < 1,05$

Nachweis der Restnutzungsdauer:

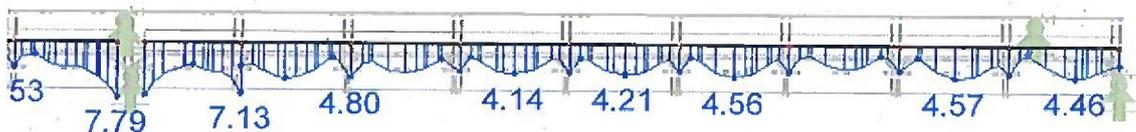
$$D_{Verg,1876} = 0,15 \times (1 / 0,98)^5 = 0,166$$

$$\rho_1 = 0,94$$

$$\rho_2 = 31,4 \times 10^6 / 25 \times 10^6 = 1,256$$

$$\rho_3 = 0,314$$

Schwingbreite infolge Φ x UIC auf einem Gleis:



$$a = 77,9 / 105,7 = 0,737$$

$$\rho_4 = 0,91$$

$$D_{Verg} = 0,94 \times 1,256 \times 0,314 \times 0,91 \times 0,166 = 0,057$$

$$D_{Zuk} = 0,025 \times 36,8 / 31,4 \times 0,057 = 0,0017$$

$$R = (1 - 0,057) / (0,01 + 0,0017) - 22 = 58 \text{ Jahre} > 50 \text{ Jahre}$$

Bauteil : 4. Restnutzungsdauernachweise

Block : 4.1 Längsträger

Seite: 4

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der EÜ **Sternbrücke** - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

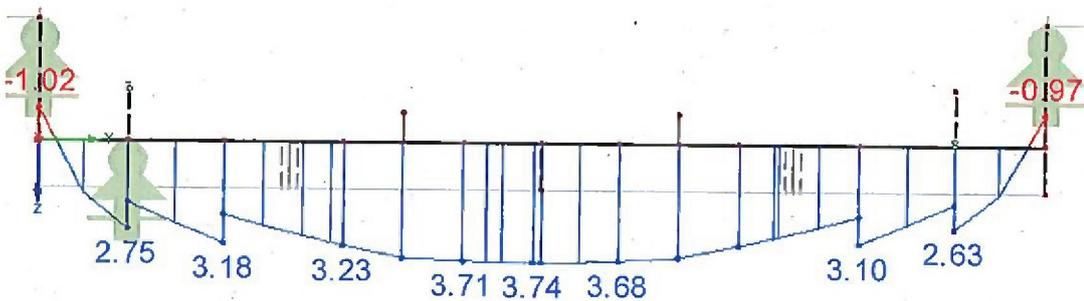
Datum:
Juni 2018

4.2. Querträger

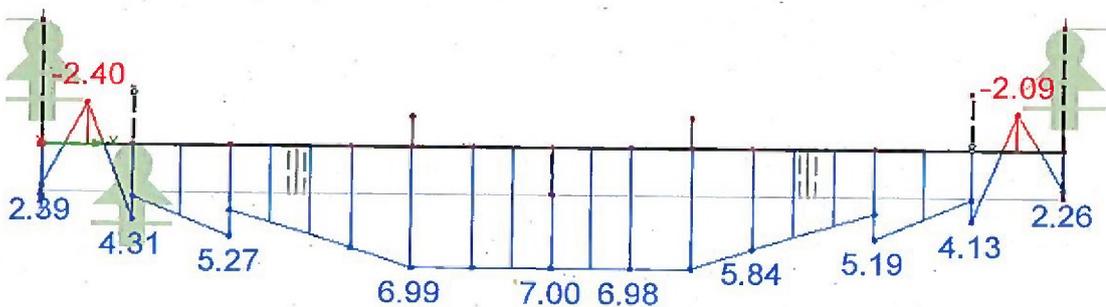
Der Nachweis wird für den Querträger in Achse 7" geführt.

Schwingfaktor nach [U3]: $\Phi \leq 1,11$

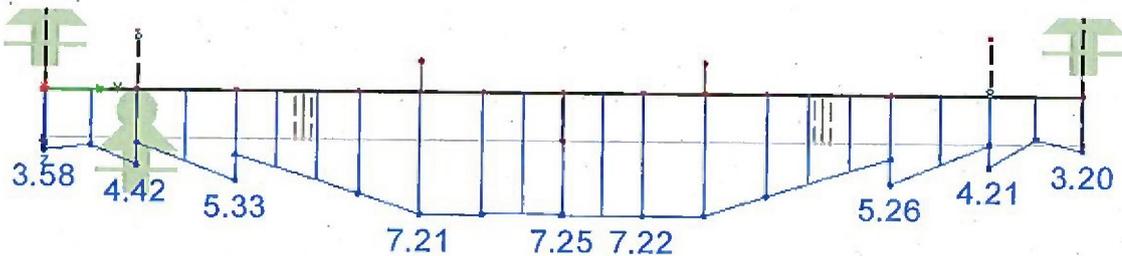
Spannungen infolge ständige Lasten:



Spannungen infolge $\Phi \times$ UIC:



Schwingbreite infolge $\Phi \times$ UIC:



→ Spannungsverhältnis $\kappa = 0,325$

Kerbfall WII Lochstab: zul. $\Delta\sigma_{Be,x} / \gamma_B = 108,25 / 1,05 = 103,1$

Bauteil : 4. Restnutzungsdauernachweise

Block : 4.2 Querträger

Seite: 5

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der **EÜ Sternbrücke** - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:
Juni 2018

$$\rightarrow \beta_{D,UIC} = 103,1 / 72,5 = 1,42 > 1,05$$

Kein Nachweis der Restnutzungsdauer erforderlich

Der Nachweis wird trotzdem geführt.

Nachweis der Restnutzungsdauer:

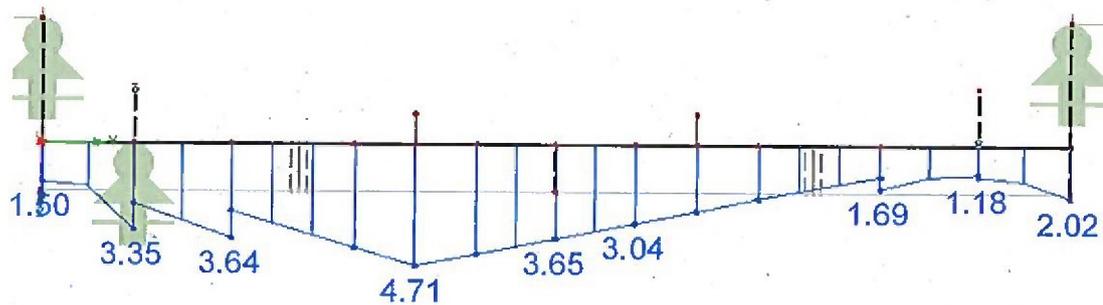
$$D_{Verg,1876} = 0,15 \times (1 / 1,42)^5 = 0,026$$

$$\rho_1 = 0,94$$

$$\rho_2 = 31,4 \times 10^6 / 25 \times 10^6 = 1,256$$

$$\rho_3 = 0,23$$

Schwingbreite infolge $\Phi \times UIC$ auf einem Gleis:



$$a = 47,1 / 72,5 = 0,65$$

$$\rho_4 = 0,91$$

$$D_{Verg} = 0,94 \times 1,256 \times 0,23 \times 0,91 \times 0,026 = 0,0063$$

$$D_{Zuk} = 0,025 \times 36,8 / 31,4 \times 0,0063 = 0,00018$$

$$R = (1 - 0,0063) / (0,01 + 0,00018) - 22 = 76 \text{ Jahre} > 50 \text{ Jahre}$$

Bauteil : 4. Restnutzungsdauernachweise

Block : 4.2 Querträger

Seite: 6

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : **Ingenieurgruppe Bauen**

Projekt Nr.:

Programm :

018 / 0017

Bauwerk : Nachrechnung der EÜ **Sternbrücke** - Südlicher Überbau
Strecke 6100, km 290,590

Datum:

Juni 2018

4.3. Hauptträger

Schwingfaktor nach [U3]: $\Phi = 1,04$

Die Spannungen infolge ständige Lasten, infolge $\Phi \times \text{UIC}$, die Schwingbreite infolge $\Phi \times \text{UIC}$ sowie die Schwingbreite infolge $\Phi \times \text{UIC}$ auf einem Gleis werden tabellarisch ermittelt, zusammengestellt und ausgewertet (Kerbfall WII Lochstab):

Biegespannungen

LF	Q1	Q2	Q3	Q4/Q5
Biegespannungen				
Ständige Lasten	68,5	71,8	71,9	67,2
$\Phi \times \text{UIC}$	103,5	111,9	111,3	106,1
$\Delta \Phi \times \text{UIC}$ (Schwingbr.)	187,6	139,2	129,4	118,7
$\Delta \Phi \times \text{UIC}$ (ein Gleis)	134,3	98,7	93,6	84,8
a	0,7	0,7	0,7	0,7
Spannungsverhältnis κ	-0,1	0,2	0,3	0,3
zul. $\Delta \sigma_{\text{Be},\kappa} / \gamma_B$	124,7	111,0	104,7	104,7
$\beta_{D,\text{UIC}}$	0,7	0,8	0,8	0,9
$D_{\text{Verg},1876}$	1,16	0,47	0,43	0,28

Nachweis der Restnutzungsdauer:

$$\rho_1 = 0,94$$

$$\rho_2 = 31,4 \times 10^6 / 25 \times 10^6 = 1,256$$

$$\rho_3 = 0,27$$

$$\rho_4 = 0,98$$

Hauptträger Q1:

$$D_{\text{Verg}} = 0,94 \times 1,256 \times 0,27 \times 0,98 \times 1,16 = 0,362$$

$$D_{\text{Zuk}} = 0,025 \times 36,8 / 31,4 \times 0,362 = 0,011$$

$$R = (1 - 0,362) / (0,01 + 0,011) - 22 = 9 \text{ Jahre}$$

Bauteil : 4. Restnutzungsdauernachweise

Block : 4.3 Hauptträger

Seite: 7

Archiv Nr.:

Vorgang :

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

Hauptträger Q2:

$$D_{\text{Verg}} = 0,94 \times 1,256 \times 0,27 \times 0,98 \times 0,47 = 0,146$$

$$D_{\text{Zuk}} = 0,025 \times 36,8 / 31,4 \times 0,146 = 0,0043$$

$$R = (1 - 0,146) / (0,01 + 0,0043) - 22 = 38 \text{ Jahre}$$

Hauptträger Q3:

$$D_{\text{Verg}} = 0,94 \times 1,256 \times 0,27 \times 0,98 \times 0,43 = 0,135$$

$$D_{\text{Zuk}} = 0,025 \times 36,8 / 31,4 \times 0,135 = 0,0032$$

$$R = (1 - 0,135) / (0,01 + 0,0032) - 22 = 43 \text{ Jahre}$$

Hauptträger Q4/Q5:

$$D_{\text{Verg}} = 0,94 \times 1,256 \times 0,27 \times 0,98 \times 0,28 = 0,087$$

$$D_{\text{Zuk}} = 0,025 \times 36,8 / 31,4 \times 0,087 = 0,0022$$

$$R = (1 - 0,087) / (0,01 + 0,0022) - 22 = 53 > 50 \text{ Jahre}$$

Schubspannungen

LF	Q1	Q2	Q3	Q4/Q5
Schubspannungen				
Ständige Lasten	22,0	24,8	25,0	25,5
$\Phi \times \text{UIC}$	37,7	42,0	42,0	42,0
$\Delta \Phi \times \text{UIC}$ (Schwingbr.)	39,6	44,0	44,0	44,0
$\Delta \Phi \times \text{UIC}$ (ein Gleis)	28,2	31,3	31,3	31,3
a	0,7	0,7	0,7	0,7
Spannungsverhältnis κ	0,3	0,3	0,3	0,3
zul. $\Delta \tau_{\text{Be}, \kappa} / \gamma_B$	82,9	82,9	82,9	82,9
$\beta_{D, \text{UIC}}$	2,1	1,9	1,9	1,9

$\beta_{D, \text{UIC}} > 1,05 \rightarrow$ Kein Nachweis der Restlebensdauer für Schubbeanspruchung erforderlich.

Bauteil : 4. Restnutzungsdauernachweise	Seite: 8	Archiv Nr.:
Block : 4.3 Hauptträger		
Vorgang :		

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

Bewertung der Nachweise der Restlebensdauer und weitergehende Nachweise:

Nach [V3] sowie [L1] und ergänzender telefonischer Abstimmung mit Prof. Dr.-Ing. K. Geißler können folgende günstige Faktoren berücksichtigt werden:

- $\rho_1 = 0,87$ (Korrekturfaktor gemäß [V3])
- Entfall des Sicherheitselements (bei Brücken mit überschaubarer Restnutzungsdauer)
- Nachfolgend wird der Sicherheitsbeiwert mit 50 % von 0,01 angesetzt. Dieser Ansatz ist bei Berücksichtigung der Erläuterungen in [L1] sowie dem vermutlich reichlichen Ansatz der Jahrestonnage gerechtfertigt.

Hintergrund: Mit dem Sicherheitsbeiwert sollten 1996 Unwägbarkeiten hinsichtlich der verkehrlichen Entwicklung erfasst werden. Mittlerweile weiß man, dass der Verkehr ab 1980 stabil geblieben ist. Der Sicherheitsbeiwert ist in dieser Größe überzogen.

- Extrapolation der Kurve Bild 2 aus Anhang 5 gemäß [V1] bzw. [V3]:

d.h. ab 1980 pro Jahr $\rho_1 = 0,2 / 16 = 0,0125$ ($=\rho_{1,Zuk}$ pro Jahr)

Hiermit werden die geringeren Ermüdungsbeanspruchungen von Bauteilen mit großer maßgebender Länge (keine Fahrbahnelemente) erfasst.

Damit werden die Nachweise für die Hauptträger neu geführt:

Hauptträger Q1:

$\rho_1 = 0,87$ (aus [V3])

$D_{Verg,1996} = 0,87 \times 1,256 \times 0,27 \times 0,98 \times 1,16 = 0,33$ (bis ins Jahr 1996)

$D_{Zuk,1996-2018} = 0,0125 \times 0,33 = 0,0042$ (pro Jahr)

$D_{Zuk,>2018} = 0,0125 \times 36,8 / 31,4 \times 0,33 = 0,0048$ (pro Jahr)

$R = (1 - 0,33 - 22 \times 0,0042) / (0,005 + 0,0048) - 0 = 59 > 50$ Jahre

Hauptträger Q2:

$\rho_1 = 0,87$ (aus [V3])

$D_{Verg,1996} = 0,87 \times 1,256 \times 0,27 \times 0,98 \times 0,47 = 0,136$ (bis ins Jahr 1996)

$D_{Zuk,1996-2018} = 0,0125 \times 0,136 = 0,0017$ (pro Jahr)

$D_{Zuk,>2018} = 0,0125 \times 36,8 / 31,4 \times 0,136 = 0,0019$ (pro Jahr)

$R = (1 - 0,136 - 22 \times 0,0017) / (0,005 + 0,0019) - 0 = 120 > 50$ Jahre

Bauteil : 4. Restnutzungsdauernachweise	Seite: 9	Archiv Nr.:
Block : 4.3 Hauptträger		
Vorgang :		

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<p><u>Hauptträger Q3:</u></p> $\rho_1 = 0,87 \text{ (aus [V3])}$ $D_{\text{Verg,1996}} = 0,87 \times 1,256 \times 0,27 \times 0,98 \times 0,43 = 0,124 \text{ (bis ins Jahr 1996)}$ $D_{\text{Zuk,1996-2018}} = 0,0125 \times 0,124 = 0,0015 \text{ (pro Jahr)}$ $D_{\text{Zuk,> 2018}} = 0,0125 \times 36,8 / 31,4 \times 0,124 = 0,0018 \text{ (pro Jahr)}$ $R = (1 - 0,124 - 22 \times 0,0015) / (0,005 + 0,0018) - 0 = 124 > 50 \text{ Jahre}$ <p><u>Hauptträger Q4/Q5:</u></p> $\rho_1 = 0,87 \text{ (aus [V3])}$ $D_{\text{Verg,1996}} = 0,87 \times 1,256 \times 0,27 \times 0,98 \times 0,28 = 0,081 \text{ (bis ins Jahr 1996)}$ $D_{\text{Zuk,1996-2018}} = 0,0125 \times 0,081 = 0,0010 \text{ (pro Jahr)}$ $D_{\text{Zuk,> 2018}} = 0,0125 \times 36,8 / 31,4 \times 0,081 = 0,0012 \text{ (pro Jahr)}$ $R = (1 - 0,081 - 22 \times 0,0019) / (0,005 + 0,0012) - 0 = 140 > 50 \text{ Jahre}$ <p>Nachfolgend werden die Nachweise aus [U3] und [U5] mit den Erkenntnissen bzw. Empfehlungen aus [V3] und [L1] zum Vergleich neu geführt. Dabei findet eine genauere Aufgliederung der Jahrestonnage Berücksichtigung, sowie die wesentliche Tatsache, dass ein Hauptträgererelement nicht in gleicher Weise wie die Längsträger durch die Zugüberfahrten hinsichtlich Ermüdung beansprucht wird.</p> <p><u>Längsträger</u></p> $\rho_1 = 0,87 \text{ (aus [V3])}$ $D_{\text{Verg,1996}} = 0,87 \times 1,256 \times 0,23 \times 0,91 \times 0,389 = 0,089 \text{ (bis ins Jahr 1996)}$ $D_{\text{Zuk,1996-2018}} = 0,025 \times 0,089 = 0,0022 \text{ (pro Jahr)}$ $D_{\text{Zuk,> 2018}} = 0,025 \times 36,8 / 31,4 \times 0,089 = 0,0026 \text{ (pro Jahr)}$ $R = (1 - 0,089 - 22 \times 0,0022) / (0,005 + 0,0026) - 0 = 113 > 50 \text{ Jahre}$ <p>Auch mit Sicherheitselement 0,01 Restnutzungsdauer > 50 Jahre</p> <p><u>Querträger</u></p> <p>R > 50 Jahre siehe [U3]</p>	
Bauteil : 4. Restnutzungsdauernachweise	Seite: 10
Block : 4.3 Hauptträger	Archiv Nr.:
Vorgang :	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen Programm :	Projekt Nr.: 018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<p><u>Hauptträger</u></p> <p>$\rho_1 = 0,87$ (aus [V3])</p> <p>$D_{Verg,1996} = 0,87 \times 1,256 \times 0,23 \times 0,978 \times 1,025 = 0,252$ (bis ins Jahr 1996)</p> <p>$D_{Zuk,1996-2018} = 0,0125 \times 0,252 = 0,0031$ (pro Jahr)</p> <p>$D_{Zuk,>2018} = 0,0125 \times 36,8 / 31,4 \times 0,252 = 0,0037$ (pro Jahr)</p> <p>$R = (1 - 0,252 - 22 \times 0,0031) / (0,005 + 0,0037) - 0 = 78 > 50$ Jahre</p> <p>Mit Sicherheitselement 0,01 Restnutzungsdauer = 50 Jahre</p>	
Bauteil : 4. Restnutzungsdauernachweise Block : 4.3 Hauptträger	Archiv Nr.:
Vorgang :	Seite: 11

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.:
Programm :	018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<h4>4.4. Schlussfolgerung</h4> <p>Für die Tragelemente der EÜ Sternbrücke wurden in [U1], [U3] und [U5] die Nachweise der Restnutzungsdauer geführt.</p> <p>In [U1] wurden nicht ausreichende Restnutzungszeiten für den Mittellängsträger ermittelt. Für die Randlängsträger, die Querträger und die Hauptträger konnten im Ermüdungsnachweis durchweg Werte $\beta_{D,UIC} > 1,05$ errechnet werden, so dass für diese Träger der Nachweis der Restnutzung entbehrlich ist.</p> <p>In [U3] wurden die Nachweise der Restnutzungsdauer auf Grundlage der durchgeführten Messungen, allerdings ohne Berücksichtigung der gemessenen Schwingbeiwerte Φ_{obs} geführt. Im Ergebnis wurden für die Längsträger und die Hauptträger Restnutzungszeiten von 17 Jahren ermittelt. Für die Querträger wurden günstigere Ergebnisse erzielt. Nachfolgend wurden in [U5] nochmal die Nachweise unter Berücksichtigung der gemessenen Schwingbeiwerte Φ_{obs} geführt. Damit konnte für die Längsträger eine Restnutzungsdauer > 30 Jahre ermittelt werden.</p> <p>In der vorliegenden Berechnung gemäß dem aktuell gültigen Regelwerk liefert der Nachweis für den Hauptträger Querschnitt Q1 an der meist beanspruchten Stelle das ungünstigste Ergebnis mit einer Restnutzungsdauer von 9 Jahren. Für die anderen Bereiche der Hauptträger (Querschnitte Q2 bis Q5) werden auch bei exakter Anwendung der RiL 805 Restnutzungszeiten von ca. 40 bis > 50 Jahren ermittelt. Allerdings erscheint es angebracht, neuere Erkenntnisse und detailliertere Betrachtungen anzuwenden, welche bereits DB-intern für eine Fortschreibung der RiL 805 vorgeschlagen sind. Hiermit findet im Wesentlichen das günstigere Ermüdungsverhalten von Bauteilen mit großer maßgebender Länge (keine Fahrbahnelemente) Berücksichtigung.</p> <p>Mit diesen Ansätzen kann für alle Bauteile eine Restnutzungsdauer > 50 Jahre berechnet werden.</p> <p>Hinweis: Das Regelwerk RiL 805.0201 begrenzt den Nachweis der Restlebensdauer auf eine nachweisbare Zeit > 50 Jahre. Berechnete Zahlenwerte > 50 Jahre sind daher „unter Vorbehalt“ zu bewerten. In diesen Fällen empfiehlt sich, vor Ablauf der Restnutzungsdauer einen erneuten Nachweis mit aktualisierten Randbedingungen zu führen.</p>	
Bauteil : 4. Restnutzungsdauernachweise	Archiv Nr.:
Block : 4.4 Schlussfolgerung	
Vorgang :	Seite: 12

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen Programm :	Projekt Nr.: 018 / 0017
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018
<p>Zum Vergleich wurden die Nachweise aus [U3] und [U5] mit angebrachten Modifikationen hinsichtlich genauerer Erfassung der Jahrestonnagen sowie der Ermüdungsbeanspruchung für Haupttragelemente neu geführt mit dem Ergebnis, dass sich auch hier durchweg eine Restnutzungsdauer > 50 Jahre nachweisen lässt.</p>	
Bauteil : 4. Restnutzungsdauernachweise Block : 4.4 Schlussfolgerung	Seite: 13 Archiv Nr.:
Vorgang :	

Verfasser : Ingenieurgruppe Bauen	Projekt Nr.: 018 / 0017
Programm :	
Bauwerk : Nachrechnung der EÜ Sternbrücke - Südlicher Überbau Strecke 6100, km 290,590	Datum: Juni 2018

5. Schlussseite

Aufsteller der Nachrechnung

INGENIEURGRUPPE BAUEN
Fritz-Erler-Str. 25
D-76133 Karlsruhe

Datum:

Juni 2018

Verantwortlicher Partner;

Bearbeiter



Bauteil : 5. Schlussseite	Seite: 1	Archiv Nr.:
Block :		
Vorgang :		



INGENIEURGRUPPE BAUEN | FRITZ-ERLER-STR. 25 | 76133 KARLSRUHE

Freie und Hansestadt Hamburg
Kulturbehörde / Denkmalschutzamt
Abteilung Bau- und Kunstdenkmalpflege
Große Bleichen 30
20354 Hamburg

EÜ Sternbrücke –
Bewertung des Nachweises der Stützen für den Lastfall Anprall
018/0017/000

Zeichen: [REDACTED]
Tel.: (0721) 82 99 [REDACTED]
Datum: 22.11.2018

Sehr geehrter [REDACTED]

Sie hatten uns gebeten, den Nachweis „Untersuchung der Stützen der EÜ Sternbrücke in km 250,590 der Strecke 6100 Hamburg Hbf – Hamburg-Altona in Bewertungsstufe 2 nach Richtlinie 805“ durchzusehen und zu kommentieren.

Der genannte Nachweis vom 29.10.2018 wurde durch die DB Netz AG, Fachstelle Brückenmessung, Magdeburg aufgestellt und ist als Ergänzung zu den Untersuchungen des Überbaus zu sehen.

Durchgeführte Untersuchungen für den Nachweis der Stützen im Lastfall Anprall

1976 fand eine Untersuchung der Stützen hinsichtlich Anprall aus dem Straßenverkehr statt. Anlass war eine geplante und in der Folge ausgeführte Straßenabsenkung und die damit verbundene Forderung der Deutschen Bahn, die Standsicherheit im Anpralllastfall nachzuweisen. Die Stützen und Lager konnten für eine Anpralllast von 100 Mp (= 1 MN) nachgewiesen werden.

Durch das [REDACTED] fand 2016 eine Nachrechnung und Bewertung beider Überbauten auf Grundlage der RiL 805 statt, gleichzeitig wurden bei den Berechnungen die Stützen für eine Anpralllast von 1 MN in Fahrtrichtung bzw. 0,5 MN quer zur Fahrtrichtung in Höhe 1,25 m über Gelände jeweils mit ausreichender Sicherheit nachgewiesen. Mit Datum vom 29.10.2018 wurde durch die DB Netz AG, Fachstelle Brückenmessung eine Untersuchung der Stützen nach RiL 805 mit Nachweis für den Anpralllastfall durchgeführt. Als Anpralllast wurde eine Kraft von 1 MN in 1,2 m Höhe über der Fahrbahn unter drei Anfahrwinkeln (0°, 45°, 90°) zur Stütze angesetzt.

Für den Knicksicherheitsnachweis wurde im ungünstigsten Fall ein β_{UIC} -Wert von $\beta_{UIC} = 0,6 < 1$ errechnet. Somit wurde keine ausreichende Tragfähigkeit nachgewiesen.

Anforderungen des Regelwerks

In der Richtlinie 805 – Tragsicherheit bestehender Eisenbahnbrücken (RiL 805) finden sich keine Angaben für einen Nachweis Anprall aus Straßenverkehr an eine Eisenbahnbrücke. Die Richtlinie 804 - Eisenbahnbrücken planen, bauen und instand halten verweist im Modul 804.1101 hinsichtlich eines Fahrzeuganpralls auf Stützen und Pfeiler (aus Straßen-, Schienen- oder Wasserverkehr) auf die DIN EN 1991-1-7.

Die DIN EN 1991-1-7 führt unter Kapitel 4.3.1 Anprall auf stützende Unterbauten in Tabelle 4.1 Anhaltswerte für äquivalente statische Anprallkräfte auf. Für innerstädtische Straßen wird empfohlen:

In Fahrtrichtung $F_{dx} = 0,5$ MN; quer zur Fahrtrichtung $F_{dy} = 0,25$ MN.

Der Nationale Anhang zu DIN EN 1991-1-7 spezifiziert die Anforderungen:

BERATENDE INGENIEURE VBI
PRÜFINGENIEURE FÜR
BAUTECHNIK VPI



INGENIEURGRUPPE
BAUEN GbR
FRITZ-ERLER-STRASSE 25
76133 KARLSRUHE
TEL +49 (721) 82 99-0
FAX +49 (721) 82 99-75
KARLSRUHE@
INGENIEURGRUPPE-BAUEN.DE

ZERTIFIZIERT NACH
DIN EN ISO 9001:2015

BANKVERBINDUNG



UST-IONR. DE143611580

KARLSRUHE | MANNHEIM
BERLIN | FREIBURG

Tabelle NA.2-4.1 gibt die äquivalenten statischen Anprallkräfte für Straßen innerorts bei zulässigen Geschwindigkeiten $v < 50$ km/h mit $F_{dx} \leq 0,5$ MN (in Fahrtrichtung); $F_{dy} \leq 0,5$ MN (quer zur Fahrtrichtung) an.

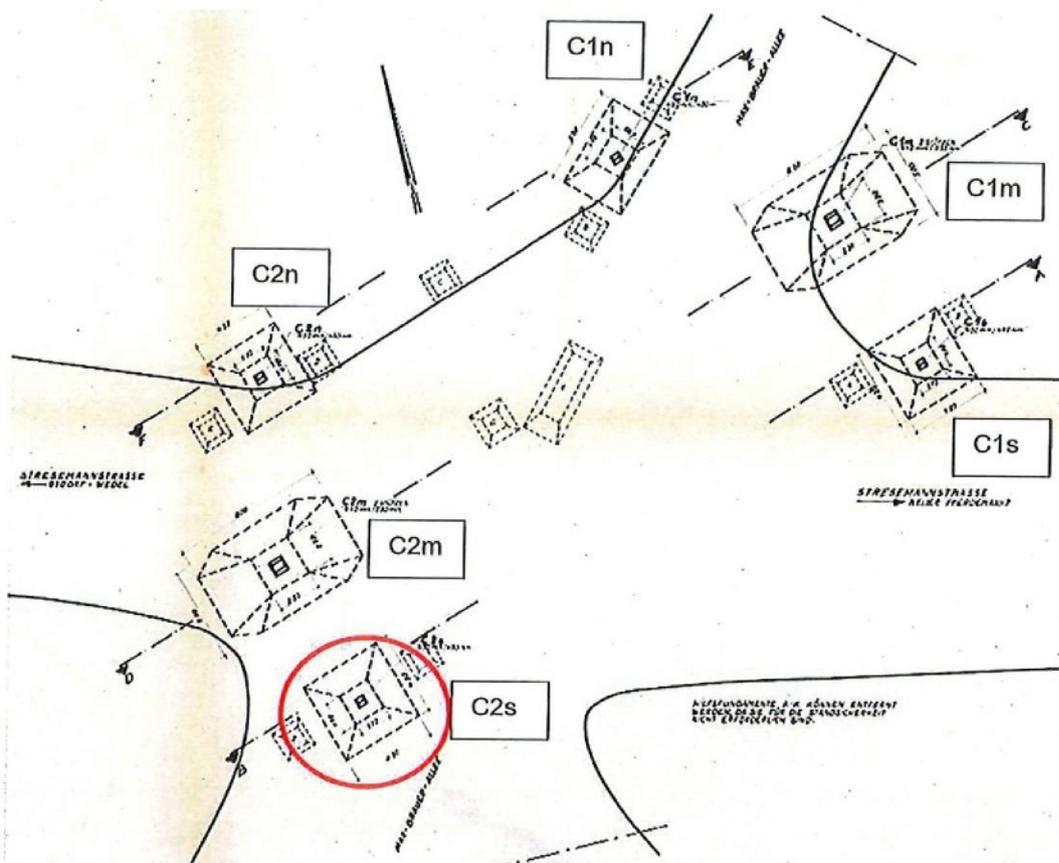
Für zulässige Geschwindigkeiten $v \geq 50$ km/h werden die Kräfte angegeben mit In Fahrtrichtung $F_{dx} = 1,0$ MN; quer zur Fahrtrichtung $F_{dy} = 0,5$ MN.

Die Anprallkräfte wirken (für den maßgebenden LKW-Anprall) in einer Höhe $h = 1,25$ m über der Fahrbahnoberfläche.

Auf eine Sicherung der Stützen zusätzlich zum Nachweis gegen Anprall darf verzichtet werden bei Straßen innerhalb geschlossener Ortschaften mit Geschwindigkeitsbegrenzungen auf $v \leq 50$ km/h.

Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse

Der folgende Ausschnitt aus dem Bestandsplan zeigt die Stützenanordnung in Bezug auf die unterführten Straßen Stresemannstraße und Max-Brauer-Allee.



Die Stützen in der Mittelachse der Brücke (C1m und C2m) tragen beide Überbauten. Die Stützenquerschnitte sind massiver ausgebildet als die Stützenquerschnitte der Randstützen.

In der Betrachtung der DB Netz AG wurde alleine der Querschnitt der Randstützen für den Nachweis herangezogen. Daher werden die Mittelstützen hier nicht näher betrachtet.

Die Randstützen des nördlichen Überbaus sind durch Schutzplanken geschützt, die Stütze C1s des südlichen Überbaus ist derzeit durch vorgestellte Bauten (Ampel, Geländer, etc.) gegen eine Anfahrt aus östlicher Richtung (Stresemannstraße) geschützt. Eine Anfahrt aus südlicher Richtung (Max-Brauer-Allee) ist höchst unwahrscheinlich.

Ungeschützt und anfahrgefährdet aus mehreren Richtungen ist dagegen die Stütze C2s des südlichen Überbaus (siehe farbige Markierung in der Übersicht). Hier ist auch eine Anfahrung unter einem Winkel von 45° gegenüber den Hauptachsen der Stütze zu untersuchen.

Als zulässige Höchstgeschwindigkeiten sind für die Max-Brauer-Allee 50 km/h und für die Stresemannstraße 30 km/h ausgeschildert.

Im Folgenden wird der Nachweis für die Stütze C2s betrachtet.

Anmerkungen zur Nachweisführung der DB Netz AG

Die RIL 805 gibt im Modul 805.0201 Absatz 2 (2) die Überlagerungskombination für den Nachweis mit der Sonderlast Fahrzeuganprall mit

$$S_d = \Sigma G_i + Q_{ULC} + A_i \text{ an.}$$

Analog zu anderen auf dem Teilsicherheitskonzept basierenden Regelungen wird die Kombination mit dem Lastfall Anprall als außergewöhnliche Kombination mit Teilsicherheiten auf der Einwirkungsseite $\gamma_{FI} = 1,0$ ermittelt.

Abweichend davon werden im Nachweis der DB Netz AG die vollen Sicherheiten gemäß Modul 805.0102 Tabelle 1 für die allgemeine Kombination angesetzt. Für die Anpralllast wird eine Teilsicherheit von $\gamma_F = 1,1$ berücksichtigt.

Die Knicklänge der Stütze wird wie die Stützenlänge mit $s_k = 3,20$ m angesetzt. Die Anpralllast wird auf einer Höhe $h = 1,20$ m über Fahrbahn angesetzt.

Im maßgebenden Knickspannungsnachweis wird der Anteil Δn anstelle des genau ermittelten Wertes $\Delta n = 0,02$ mit $\Delta n = 0,1$ angesetzt.

Gemäß Bestandsplan beträgt die Stützenlänge $h = 3,75$ m, diese entspricht auch der Knicklänge s_k .

Nach den Angaben der Berechnung von 1976 wurde das Straßenniveau im Bereich der Stütze C2s um 38 cm abgesenkt. Eine Bestätigung dieser Annahme lässt sich im Vergleich mit heutigen Fotos nicht eindeutig bestätigen. Daher wird (ggf. auf der sicheren Seite liegend) die Anpralllast 1,25 m über dem damaligen Straßenniveau, also ca. 1,20 m über dem Fußgelenkpunkt der Stütze angesetzt.

Die Anpralllast wird für den ungünstigen Fall einer Anfahrung aus der Max-Brauer-Allee mit $F_{dx} = 1,0$ MN angesetzt. Das Biegemoment folgt zu:

$$M = 1000 \times (3,75 - 1,2) / 3,75 \times 1,2 = 816 \text{ kNm}$$

Die Spannung aus der Anpralllast ergibt sich analog zum Schreiben der DB zu

$$\sigma_{An3} = 0,707 \times (140,1 + 76,87) \times 816 / 750 = 166,9 \text{ N/mm}^2$$

Die Auflagerkraft infolge charakteristischer ständiger Lasten kann aus der Statik der bc Ingenieure für die Stütze C2s mit $N_G = 1.620$ kN abgelesen werden (Auswertung Querkraftlinie S. 85).

Die Spannung infolge ständiger Normalkraft ist $\sigma_{gk} = 22 \text{ N/mm}^2$.

Für den Knicknachweis mit Biegung infolge Anprall ist das Ausweichen in der Momentenebene zu berücksichtigen. Hier gilt $i_n = 15,4$ und damit $\bar{\lambda}_{lc} = 0,3$ und $\kappa = 0,95$. Damit ist $\Delta n = 0,02$

Somit folgt der korrigierte maßgebende Nachweis für den Belastbarkeitswert zu

$$\beta_{ULC,2+\text{Anprall}} = [(1 - 0,02) \times 270,13 - 22 / 0,95 - 166,9] / (1,03 \times 41,52 / 0,95) = 1,67 \gg 0,6$$

Die Ausnutzung im Hinblick auf die Tragfähigkeit der Stütze lässt sich angeben mit:

$$\mu = (22 / 0,95 + 1,03 \times 41,52 / 0,95 + 166,9) / (270,13 \times (1 - 0,02)) = 0,89 < 1$$

Bei genauer Berücksichtigung des Regelwerks lässt sich der Nachweis für den Lastfall Stützenanprall für die betrachtete Stütze C2s führen.

Die Nachweise für die nicht betrachteten übrigen Randstützen lassen sich ebenso in gleicher Weise mit ausreichenden Reserven führen. Für die Mittelstützen fallen die Nachweise aufgrund der massiveren Querschnitte noch günstiger aus.

Zusammenfassung

Für den Nachweis der Stützen im Lastfall Stützenanprall liegen 3 Nachweise vor. Während die ersten beiden Nachweise ein ausreichendes Sicherheitsniveau bescheinigen, kommt der zuletzt von der DB Netz AG – Fachstelle Magdeburg geführte Nachweis zu dem Ergebnis, dass die Stützen der Sternbrücke keine ausreichende Standsicherheit für einen Stützenanprall aufweisen. Dies gilt insbesondere für den Anprall über Eck (Anfahrwinkel 45° zur Stütze).

Eine kurze Zusammenstellung des geltenden Regelwerks listet die anzusetzenden Stoßlasten sowie die Anforderungen für darüber hinaus gehende Sicherheitsmaßnahmen auf. Für die im Bereich des Bauwerks geltende Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h ist eine Stützenbemessung auf Anprall ausreichend.

Die Betrachtung der örtlichen Situation zeigt auf, dass die Stütze C2s sowie die Mittelstützen C1m und C2m besonders anfahrgefährdet sind. Die Mittelstützen sind aufgrund des massiveren Querschnitts weniger kritisch als die Randstützen.

Für die Stütze C2s wird exemplarisch der Nachweis für den Lastfall Stützenanprall geführt. Hierbei werden Unterschiede zu den konservativeren Annahmen im Nachweis der DB Netz AG aufgezeigt. Der Nachweis kann für die Stütze C2s (und für alle anderen Stützen) mit ausreichender Sicherheit geführt werden.

Sollten Sie noch Fragen zu den Erläuterungen haben, beantworten wir diese gerne.

Mit freundlichen Grüßen

I. A. 



INGENIEURGRUPPE BAUEN PartG mbB | FRITZ-ERLER-STR. 25 | 76133 KARLSRUHE

Freie und Hansestadt Hamburg
Kulturbehörde / Denkmalschutzamt
Abteilung Bau- und Kunstdenkmalpflege

Große Bleichen 30
20354 Hamburg

Zeichen: [REDACTED]

Datum: 23.04.2020
1. Entwurf vom 18.03.
ohne [U24]

2. Entwurf vom 03.04.

EÜ Sternbrücke –
Bewertung der Gutachterlichen Stellungnahme von [REDACTED]
018/0017/000

BERATENDE INGENIEURE VBI
PRÜFINGENIEURE FÜR
BAUTECHNIK VPI

INGENIEURGRUPPE BAUEN

Sehr geehrte [REDACTED]
sehr geehrten [REDACTED]

Sie hatten um eine Bewertung der „Gutachterlichen Stellungnahme - Statisch konstruktive Erfordernisse bei der Sanierung der EÜ Sternbrücke in Hamburg“ von [REDACTED] vom 08.03.2020 gebeten.

Wir haben die Stellungnahme und weitere Unterlagen mit mail vom 10.03., 12.03., 16.03. und 22.03.2020 erhalten.

Ergänzend hierzu wurde mit mail vom 27.03. eine durch die DB gekürzte Version eines Gutachtens des Büros HRA übersandt, welche nur für den internen Gebrauch gedacht ist.

Unsere Bewertung geht im Wesentlichen auf das in der Besprechung vom 12.03. in Hamburg vorgestellte Gutachten von [REDACTED] ein und berücksichtigt weitere im Gutachten aufgeführte Unterlagen sowie Anmerkungen aus der Besprechung.

Inhalt des Gutachtens

Das Gutachten ist folgendermaßen aufgebaut: Nach einer kurzen Einführung und einer Zusammenfassung der denkmalschützerischen Aspekte werden die vorhandenen Schäden beschrieben. Hierbei wird vor allem der aktuellste Prüfbericht aus dem Jahr 2017 zitiert (im Gutachten als Unterlage [U15]). Ein wesentlicher Aspekt für die weiteren Betrachtungen ist, dass die Zustandskategorie des Überbaus mit 3 (= erhaltungsbedürftig) und in 6 Jahren gemäß [U15] mit 4 (= teil- oder ganz erneuerungsbedürftig) angegeben wird.

Im folgenden Kapitel werden die erforderlichen zu führenden Nachweise prinzipiell beschrieben.

Im ausführlichen Kapitel 7 werden die durchgeführten Berechnungen bewertet. Hierbei sind vor allem drei Berechnungen von Interesse:

BERATENDE INGENIEURE
PartG mbB

AMTSGERICHT MANNHEIM
PR 700485

USTIDNR. DE143611588

SITZ DER GESELLSCHAFT:
FRITZ-ERLER-STR. 25
76133 KARLSRUHE

ZERTIFIZIERT NACH
DIN EN ISO 9001:2015

BANKVERBINDUNG



FRITZ-ERLER-STR. 25
76133 KARLSRUHE

TEL. +49 (721) 82 99-0
FAX +49 (721) 82 99-75

KARLSRUHE@
INGENIEURGRUPPE-BAUEN.DE

KARLSRUHE | MANNHEIM
BERLIN | FREIBURG

Zum einen die als Unterlage [U13] durchgeführte Berechnung der Ingenieurgruppe Bauen. Ausführlich werden hier die vorgeschlagenen Abweichungen vom Regelwerk (die auf dem DB-eigenen Entwurf zur Fortschreibung des Regelwerks beruhen) bewertet. Im Fazit werden diese Abweichungen als unzulässig eingestuft, da der Nachweis gleicher Sicherheit für diese Ansätze geführt werden müsste und weiter die Unsicherheit vom Bauwerk in die betriebliche Überwachung verlagert würde, was nach dem Sicherheitskonzept des Eurocodes nicht zulässig sei.

Der Nachrechnung im Gutachten des Büros HRA (Unterlage [U24]) wird bescheinigt, dass eine sehr umfangreiche Modellierung vorgenommen wurde und das System über einen Vergleich mit den gemessenen Spannungen validiert wurde. In der weiteren Betrachtung werden aus [U24] lediglich die Spannungen aus ständiger Last entnommen (welche messtechnisch nicht erfassbar sind).

Unter Verwendung dieser Spannungen aus [U24] und den gemessenen Spannungen aus Verkehrsbelastung wird in [U25] die Restnutzungsdauer für verschiedene Varianten untersucht. Für die ungünstigste Variante (bei der die Annahmen zum Verkehrsaufkommen der Zukunft und zur Begegnungshäufigkeit dem Projektanforderungskatalog der DB für den Neubau entnommen wurden), werden im Gutachten die aus der Ermittlung der Restnutzungsdauer berechneten Endtermine des nutzbaren Zeitraums angegeben. Diese sind für die Hauptträger im Stützbereich zw. Feld 2 und 3 das Jahr 2035, für die Hauptträger im Feld 2 bei 14,88 m von Stütze C2 das Jahr 2058 und für die Querträger das Jahr 2060.

Im folgenden Kapitel werden die konstruktiven Mängel des Bauwerks erläutert. Diese betreffen einen möglichen Anprall auf die Stützen, auf die Hauptträger sowie den (unten liegenden) Verband des Überbaus. Zudem werden die mangelhafte Fahrbahnabdeckung, Entfluchtungsmöglichkeit und Inspizierbarkeit sowie der Mangel an Führungen in den Gleisen genannt.

Weitere, baustoffliche Mängel werden in Kapitel 9 erläutert. Hierbei wird das spröde Versagen beim Anprall an tragende Bauteile thematisiert.

In der Zusammenfassung wird resümiert, dass das Ziel einer Sanierung erreicht werden kann, aber zumindest ab 2035 mit erheblichen Substanzverlusten verbunden sei. Die Lager sind kurzfristig instand zu setzen bzw. auszutauschen (*Anmerkung: Im Rahmen der Sofortmaßnahmen 2023 – siehe unter Weitere Hinweise*), an den Gegengewichten im Widerlagerbereich sind Arbeiten durchzuführen, der Korrosionsschutz des Überbaus ist zu erneuern, Arbeiten an den Fundamenten der Pendelstützen werden erforderlich, alle Bauteile mit rechnerisch geringer Restnutzungsdauer sind auszutauschen. Für die genannten Arbeiten erscheint es bei einer geplanten Weiternutzung unabdingbar, die Brücke spätestens im Jahr 2035 zu demontieren und nach Abschluss der Arbeiten wieder zu montieren.

Weitere Angaben im Rahmen der Besprechung am 12.03.2020

Im Vortrag gab [REDACTED] dazu u. a. folgende Erläuterung:

Gemäß VV Bau § 18 (Ausgabe 2019) erlischt der Bestandsschutz, wenn von einer öffentlichen Anlage eine Gefahr für die öffentliche Sicherheit oder die Sicherheit des Bahnbetriebs ausgeht. Dies ist bei der Betrachtung der Stützen für das Szenario Anprall der Fall. Eine mögliche Lösung könnte die Reduzierung der zulässigen Geschwindigkeit und ggf. zusätzlich ein Verbot für Busse und LKWs sein. Gleiches gilt auch für den Anprall an den Überbau.

Dem Vortrag folgte die Information von [REDACTED] zu sogenannten Sowieso-Maßnahmen, welche unabhängig vom Austausch tragender Bauteile für einen längerfristigen Erhalt, spätestens 2023 durchzuführen sind. Diese betreffen den Austausch der Lager, der Buckelbleche und die Erneuerung der Entwässerung.

Im Anschluss wurde durch das Büro Vössing Ingenieure erläutert, welche Erfordernisse und verkehrlichen Erschwernisse mit einem Erhalt der Brücke verbunden sind.

Diese Ausführungen sind detaillierter im „Erläuterungsbericht zur Machbarkeitsstudie einer Bestandssanierung der vorhandenen Überbauten“ der Vössing Ingenieure erläutert (im Gutachten als Unterlage [U26] aufgeführt) und im Einzelnen nicht Gegenstand der vorliegenden Bewertung.

Bewertung des Gutachtens

Die nachfolgende Bewertung bezieht sich auftragsgemäß im Wesentlichen auf das Kapitel 7 und die dort angegebene Restnutzungsdauer des Überbaus.

Bei der Beurteilung über die Frage Erhalt oder Neubau sind aber andere Gesichtspunkte ebenso zu berücksichtigen und ggf. noch höher zu gewichten.

Zur Einschätzung der berechneten Restnutzungsdauer ist zu betonen, dass hiermit kein exaktes Datum errechnet wird, an dem dann unweigerlich Risse oder andere Schäden auftreten. Die RIL 805 sagt hierzu: „Der normierte Restnutzungsdauernachweis hat den Charakter einer Abschätzung.“ Infolge der grundlegenden Annahmen für den Nachweis liegt diese Abschätzung auf der sicheren Seite (z. B. Ermüdungskurve nach Corten und Dolan).

Im Folgenden wird die weiterverwendete Spannungsermittlung für Spannungen aus ständigen Lasten aus [U24] als richtig unterstellt.

In der Unterlage [U25] wird mit dieser Spannung und den aus den Messungen ermittelten Spannungen für Zugverkehr die Restnutzungsdauer für verschiedene Verkehrsaufkommen der Zukunft (t/a) und unterschiedliche Begegnungshäufigkeiten ermittelt. Abweichend zu vorherigen Berechnungen der DB wird nun ungünstig der Teilsicherheitsbeiwert für den baufichen Zustand berücksichtigt. Die Zunahme des Verkehrsaufkommens für die Zukunft wirkt sich zwar ungünstig aus, aber bei weitem nicht so stark wie eine Erhöhung der Begegnungshäufigkeit.

Die Begegnungshäufigkeit wird für die Vergangenheit gemäß Regelwerk (ohne genauere Werte) mit dem hohen Wert von 12,5 % berücksichtigt. Eine stochastische Betrachtung nach Quooos führt hier lediglich zu einer Begegnungshäufigkeit von 5,1 %.

Für die Zukunft werden Häufigkeiten von 12,5 %, 25 % und 40 % untersucht. Diese führen bei der Annahme von 40×10^6 t/a zu Restnutzungsdauern im Bereich der Stütze C2 von 28 Jahren (12,5 %), 21 Jahren (25 %) und 12 Jahren (40%), jeweils bezogen auf das Jahr 2023. Die Annahme einer Begegnungshäufigkeit von 40 % erscheint völlig überzogen und unrealistisch.

Bedeutsam ist aber auch die Annahme des Kerbfalls. Dieser wird in [U25] abweichend vom Regelwerk ungünstig mit WIII (höchste Beanspruchungsklasse genieteteter Verbindungen) angesetzt. Bei Annahme des Kerbfalls WII (gemäß Regelwerk) ändern sich die Restnutzungsdauern deutlich zu 57 Jahren (12,5 %), 53 Jahren (25 %) und 46 Jahren (40%), wieder bezogen auf das Jahr 2023.

Bei Annahme einer immer noch sehr hoch erscheinenden Begegnungshäufigkeit von 25 % könnte damit ohne Abweichung vom Regelwerk eine Restnutzungsdauer bis 2076 nachgewiesen werden.

Für den Hauptträger im Feldbereich und die Querträger kann der Nachweis der Restnutzungsdauer bei Annahme des Kerbfalls WII (gemäß Regelwerk) sogar entfallen ($\beta_{D,UC} > 1,05$). D.h., hier ergibt sich rechnerisch keine Begrenzung der Restnutzungsdauer.

Eine Auswirkung der aus [U24] entnommenen Annahmen auf weitere Bauteile kann auf Grundlage von [U24] nicht abgeschätzt werden, ggf. liegt dies an der Kürzung des Dokuments.

█ geht auf die in unserer Nachrechnung vorgeschlagenen Abweichungen vom Regelwerk ein, welche auf dem DB-eigenen Entwurf zur RIL 805 (Stand 2002) sowie Aufsätzen und Vorträgen des damaligen Fachautors █ und des seinerzeitigen wissenschaftlichen Beraters █ beruhen. Zum einen wird angemerkt, dass für die abweichenden Annahmen der Nachweis gleicher Sicherheit wie bei einem Nachweis nach Regelwerk zu erbringen wäre. Dem ist entgegen zu halten, dass dort, wo

erkannt wurde, dass die Richtlinie aufgrund zu ungünstiger Annahmen zu sehr auf der sicheren Seite liegt (wie das z. B. bei den Schädigungsannahmen für Trägerelemente großer Stützweite für die Zukunft der Fall ist), der Nachweis ausreichender Sicherheit genügen sollte.

Bezüglich der Behauptung, dass es unzulässig sei, Unsicherheiten in die betriebliche Überwachung zu verlagern, ist anzumerken, dass dies gerade ein wesentliches Element der RiL 805 ist und dort über den Betriebszeitintervallnachweis Nutzungen über eine rechnerische Lebensdauer hinaus ermöglicht. Dieser Aspekt wird auch im aktuellen Entwurf zur RiL 805 stärker gewichtet werden. Tatsächlich steht die Sicherheit (der Zuverlässigkeitsindex β) in engem Zusammenhang mit den Inspektionsintervallen. Siehe außerdem dazu „Commentary and worked examples to EN 1993-1-10“, ECCS.

Weitere Hinweise

Im Gutachten von [REDACTED] wird zum Prüfbericht der Brückenprüfung aus 2017 (Unterlage [U15]) angemerkt, dass die momentane Zustandskategorie 3 sich in 6 Jahren (ab 2017, d.h. im Jahr 2023) auf 4 (= teil- oder ganz erneuerungsbedürftig) verschlechtern wird. Diese Empfehlung beruht aber nicht nur auf den sichtbaren Schäden der Brücke, sondern auch auf Berechnungen der Restnutzungsdauer seitens der DB.

Im Erläuterungsbericht des Ingenieurbüros Vössing (Unterlage [U26]) wird unter Bezug auf die Untersuchung des Büros HRA (Unterlage [U24]) festgehalten, dass für eine Weiternutzung ab 2023 folgende Sofortmaßnahmen erforderlich sind:

- Austausch sämtlicher Buckelbleche
- Austausch aller Brückenlängsträger
- Austausch aller Lager

Für eine Weiternutzung über 2035 hinaus wären dann ggf. zusätzliche Bauteile auszutauschen.

Hinsichtlich der mit den Sofortmaßnahmen verbundenen Einschränkungen wird gesagt: „Einen wesentlichen zeitlichen Unterschied zwischen den oben genannten Sofortmaßnahmen (Weiternutzung ab 2023) und den Maßnahmen für eine geplante Restnutzungsdauer von mehr als 12 Jahren ab 2023 wird es dabei nicht geben.“ D.h. dass ungefähr die gleichen betrieblichen Einschränkungen und verkehrlichen Behinderungen in 2023 zu erwarten sind, unabhängig welche und wie viele Bauteile zum Erreichen einer längerfristigen Restnutzungsdauer gemäß [U25] auszutauschen sind.

Somit kommt der Frage, wie schnell ein Ersatzneubau realisiert werden kann, bei der Bewertung der betrieblichen Erschwernisse eine große Bedeutung zu, da die Sofortmaßnahmen offenbar erforderlich sind, um einen sicheren Bahnbetrieb über 2022 hinaus zu gewährleisten.

In der zu [U24] vorliegenden gekürzten Version werden Hinweise in Bezug auf einen möglichen Erhalt der Brücke gegeben, denen grundsätzlich zuzustimmen ist: Der Bauwerkszustand sollte/muss möglichst zweifelsfrei bekannt sein, um abgesicherte Aussagen für ein dauerhaftes Fortbestehen zu treffen. Hierzu müssen Bauwerksuntersuchungen nachgeholt werden. Der Zustand nicht zugänglicher Bauteilelemente (z. B. Obergurtlamellen der Querträger) ist nicht bekannt. Im Rahmen einer möglichen Sanierung könnten bislang unbekannte Schäden entdeckt werden.

Abschließend wird ein Erhalt der Brücke in [U24] als nicht erfüllbar angesehen. Kernpunkt für diese Aussage sind die in [U25] berechneten geringen Restnutzungsdauern.

Wie wir aber in den Ausführungen zu [U25] auf der vorigen Seite gezeigt haben, ist ein entscheidender Faktor bei der Ermittlung der Restnutzungsdauer der Ansatz des Kerbfalls. Dieser wird in [U25] sehr konservativ und über die Anforderungen des Regelwerks hinausgehend angesetzt. Der konservative Ansatz wird in [U24] aufgrund der Nichtprüfbarkeit von Lamellenpaketen begründet.

Hinweis hierzu: Diese Begründung kann nicht für die Hauptträger gelten, da deren Ober- und Untergurt gut einsehbar sind.

Zusammenfassung

Im Gutachten von [REDACTED] wird versucht, ein Fazit aus den vorangegangenen Untersuchungen zur rechnerischen Ermittlung der Restnutzungsdauer der Brücke bzw. deren einzelner Tragelemente zu ziehen. Eine Schwierigkeit dabei ist, dass aufgrund unterschiedlicher Modellansätze auch unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden. Hinsichtlich der detaillierten Modellierung des Büros HRA ist anzumerken, dass das Gutachten nur gekürzt und ohne Inhaltsangabe der gekürzten Teile zur Verfügung gestellt wurde. Letztendlich werden aber auch im Gutachten HRA die aktuellen Berechnungen der DB Fachstelle Magdeburg für die Beanspruchungen aus Zugverkehr herangezogen.

Bei der Auswertung der DB Fachstelle Magdeburg ist entscheidend, welcher Kerbfall (Schwächung) für die Nachweisstellen zu Grunde gelegt wird. Hier gibt es einen großen Unterschied zu unseren – nach Regelwerk – getroffenen Ansätzen. Im Ergebnis erhält man bei der ungünstigen Annahme gemäß DB eine Restnutzungsdauer bis 2035 und mit dem Ansatz gemäß Regelwerk bis mind. 2069.

Darüber hinaus führt das Gutachten von [REDACTED] weitere Aspekte auf, die bei einer Fortnutzung des Bauwerks zu betrachten sind. Dazu gehören beispielsweise die mangelhafte Entfluchtung und die Gefährdungslage bei einem Anprall an die Stützen und den Überbau. Die Gefährdung bei einem Anprall kann beispielsweise durch ein Herabsetzen der zulässigen Geschwindigkeit gelöst werden.

Der beträchtliche Aufwand und die damit verbundenen verkehrlichen Einschränkungen, die mit einem ohnehin notwendigen Austausch tragender Bauteile verbunden sind, unterscheiden sich nicht wesentlich gegenüber denen, die bei Durchführung der Sofortmaßnahmen entstehen. Für diese Maßnahmen wird das Jahr 2023 genannt. Sollte sich der Ersatzneubau über das Jahr 2023 hinaus verzögern, ist unklar, inwieweit die Sofortmaßnahmen noch aufgeschoben werden können.

Sollten Sie noch Fragen zu den Erläuterungen haben, beantworten wir diese gerne.

Mit freundlichen Grüßen

[REDACTED]