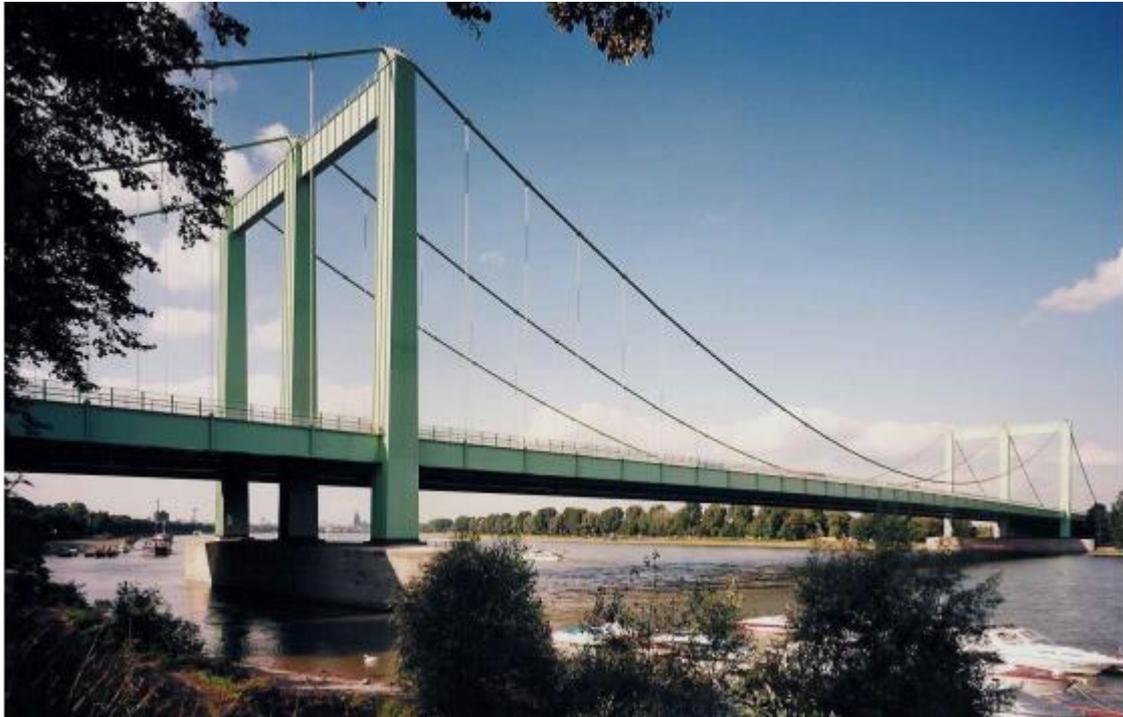


ENTSCHEIDUNGSVORLAGE RODENKIRCHENER BRÜCKE - BESTANDSBAUWERK



Projekt

45-0635 A4, 8-streifiger Ausbau von AK Köln-Süd bis AK Köln-Gremberg

Leistung

45-17-5139 Leistungsphasen 1 und 2 HOAI für die Objektplanung Verkehrsanlagen und Ingenieurbauwerke incl. lärmtechnische Berechnung, geotechnische Voruntersuchung, Bestandsvermessung sowie Projektsteuerung

Bauherr

Landesbetrieb Straßenbau NRW

Ingenieurgemeinschaft

Schüßler-Plan | LAP | Kocks | INVER

Dok-Nr.: A4-Roki_IB_02_03_EB_001_VO

1	VERANLASSUNG	3
2	UNTERLAGEN	4
3	BESTANDSBAUWERK	4
3.1	Besonderheiten	6
3.1.1	Baujahre der unterschiedlichen Bauteile	6
3.1.2	Ausbildung Verbreiterung Nord	6
3.1.3	Einteiliger Querschnitt	7
3.1.4	Denkmalschutz	7
3.1.5	Hängerausbildung	7
3.1.6	Hängeranschluss an Versteifungsträger	8
3.1.7	Verkehrsregellasten	8
4	NACHRECHNUNG	9
4.1	Lastvergleich Verkehrsregellasten	9
4.2	Defizite / Mängel gemäß Nachrechnung	10
4.2.1	Spannungsnachweise Versteifungsträger	10
4.2.2	Beulnachweise Versteifungsträger	10
4.2.3	Stabilitätsnachweise Pylone	11
4.2.4	Ermüdung	12
5	MACHBARKEITSUNTERSUCHUNG TRAGWERKSVERSTÄRKUNG	13
5.1	Randbedingungen	13
5.2	Variante 1: zusätzliche Stahllamellen an den Versteifungsträger	13
5.3	Variante 2: Einbau zusätzliche Fachwerkträger	17
6	ZUSAMMENFASSUNG	18

1 VERANLASSUNG

Die Bundesautobahn A4 ist eine europäische Hauptachse, die von Aachen über Olpe bis nach Dresden führt und für die Region um Köln von besonderer Bedeutung ist. Die vorhandenen drei Fahrspuren pro Fahrtrichtung zwischen dem Autobahnkreuz Köln-Süd und dem Autobahnkreuz Köln-Gremberg sind jedoch für das gegenwärtige Verkehrsaufkommen nicht mehr ausreichend. Staus im gesamten Kölner Süden sind die regelmäßige Folge.

Der gesamte Streckenabschnitt soll von der aktuellen 6-steifigen Verkehrsführung auf einer Länge von ca. 5,6 km auf 8-streifig ausgebaut werden, daher ist der Ausbau im Bundesverkehrswegeplan 2030 (BVWP 2030) der Bundesregierung in den „Vordringlichen Bedarf“ eingestuft. Der Ausbauabschnitt befindet sich auf dem Stadtgebiet Köln und beginnt westlich am Autobahnkreuz Köln-Süd, überquert in östlicher Richtung den Rhein im Zuge der „Rodenkirchener Rheinbrücke“ und endet im weiteren Verlauf am Autobahnkreuz Köln-Gremberg. Zwischen den beiden Autobahnkreuzen befindet sich zudem die Anschlussstelle Köln-Poll.

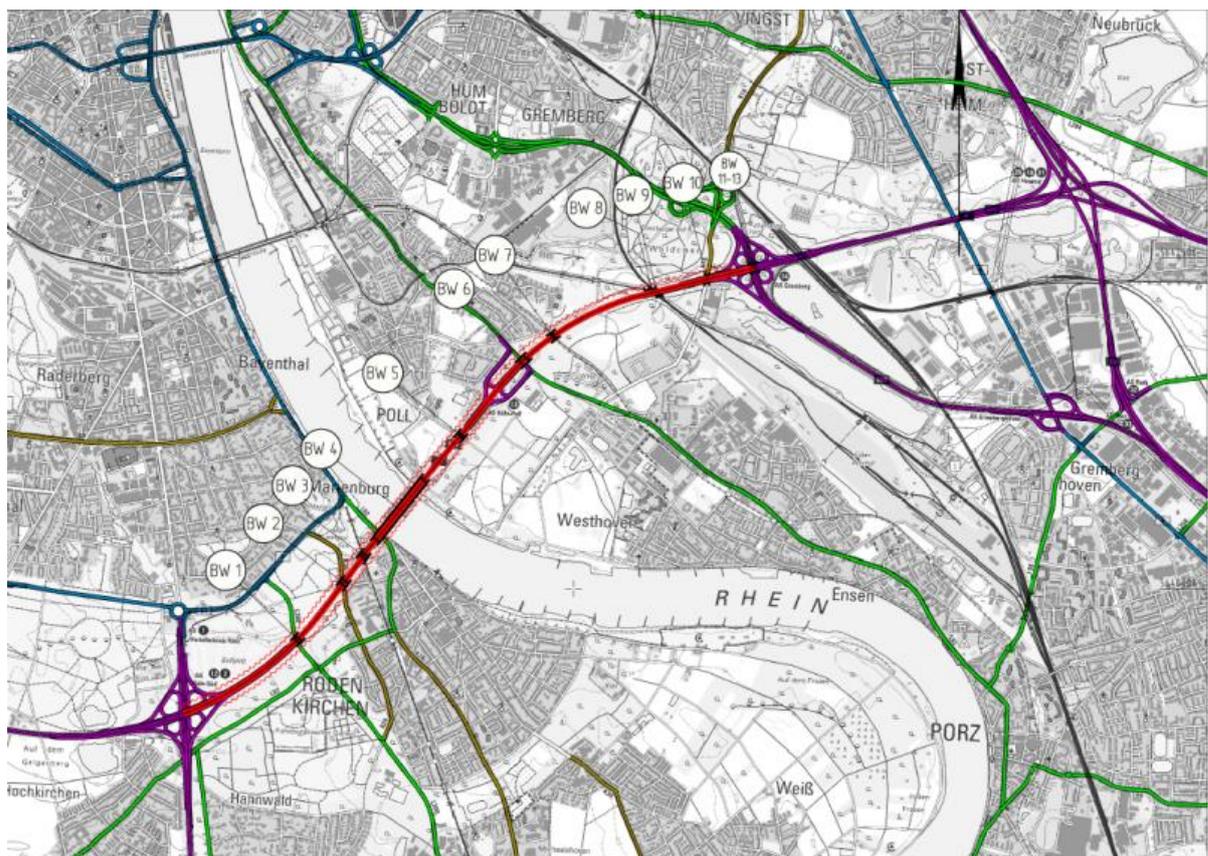


Abbildung 1 Streckenabschnitt gem. BVWP 2030

Der Verlauf des 8-streifigen Ausbaus der A4 ist im Wesentlichen von der Lage der Rheinbrücke abhängig.

2 UNTERLAGEN

- [1] Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie)
- [2] Nachrechnung Rodenkirchener Brücke, INGE-LAP, Stand: April 2020
- [3] Rheinbrücke Köln -Rodenkirchen Bauwerksakte, Bestandsunterlagen
- [4] Bauwerksbuch Rheinbrücke Rodenkirchen mit LSW, Stand 03.07.2019
- [5] Protokoll Abstimmungstermin WSA vom 27.01.2020

3 BESTANDSBAUWERK

Die Rheinbrücke Rodenkirchen wurde 1938 bis 1941 gebaut. Der Überbau wurde im zweiten Weltkrieg zerstört, die Unterbauten und die 59,40 m hohen Pylone konnten nach Instandsetzungsarbeiten für den Neuaufbau der Rheinbrücke wiederverwendet werden.

Der Wiederaufbau unter Verwendung der Bauteile aus den 1930-er Jahren fand in den Jahren 1952 – 1954 statt. Der Wiederaufbau wurde als erdverankerte Hängebrücke nach einem Entwurf von H. Homberg ausgeführt, Hauptspannweite von 378 m sowie einer Gesamtbreite von 26,40 m. Die Länge der Seitenfelder beträgt bis zu den Widerlagern jeweils 94,50 m, woraus sich eine Gesamtlänge von 567 m ergibt.

In den 1990 – 1994 erfolgte eine Erweiterung des Bestandsbauwerks aufgrund zunehmender Verkehrsbelastung im Zuge des 6-streifigen Ausbaus der BAB A4. Im Rahmen der Erweiterung wurde die Bestandsbrücke durch eine dritte Tragkabelebene unterstromseitig ergänzt und die Gesamtbreite auf insgesamt $2 \times 26,40 = 52,80$ m erhöht, so dass drei Fahrstreifen zuzüglich Standstreifen und Geh-/Radweg je Fahrtrichtung zur Verfügung stehen. Bei den Bauarbeiten in 1990er Jahren wurde auf gesamter Brückenbreite eine orthotrope Fahrbahnplatte eingebaut.



Abbildung 2: Bauwerk 1954 und Bauwerk 1995 mit den drei Kabelebenen

3.1 Besonderheiten

3.1.1 Baujahre der unterschiedlichen Bauteile

Bezeichnungen: Teilbauwerk Süd: Achse B und C
 Verbreiterung Nord: Achse A

Die unterschiedlichen Bauteile haben folgende Baujahre:

- 1938 - 1941 Unterbau TBW Süd
Pylon TBW Süd
- 1952 - 1954 Tragkabel TBW Süd
Versteifungsträger, Querträger TBW Süd
- 1990 - 1994 Unterbau Verbreiterung Nord
Tragkabel Verbreiterung Nord
Versteifungsträger, Querträger Verbreiterung Nord
Orthotrope Platte Verbreiterung Nord und TBW Süd
- 1996 - 1997 Hängerseile, Verbreiterung Nord und TBW Süd

3.1.2 Ausbildung Verbreiterung Nord

Die 1990 bis 1994 ausgeführte Verbreiterung Nord wurde mit gelenkigen Anschlüssen an das TBW Süd angeschlossen. Die Stahl-Pylone wurden Halb-Rahmen an die bestehenden Pylon-Rahmen mittels Gelenken angeschlossen. Die Ausführung der Gründungsverbreiterung erfolgte mittels Blockfugen an die Bestandsgründung.

Das TBW Süd ist für die Standsicherheit des Gesamtbauwerks immer notwendig, die Verbreiterung Nord ist für sich alleine nicht standsicher.

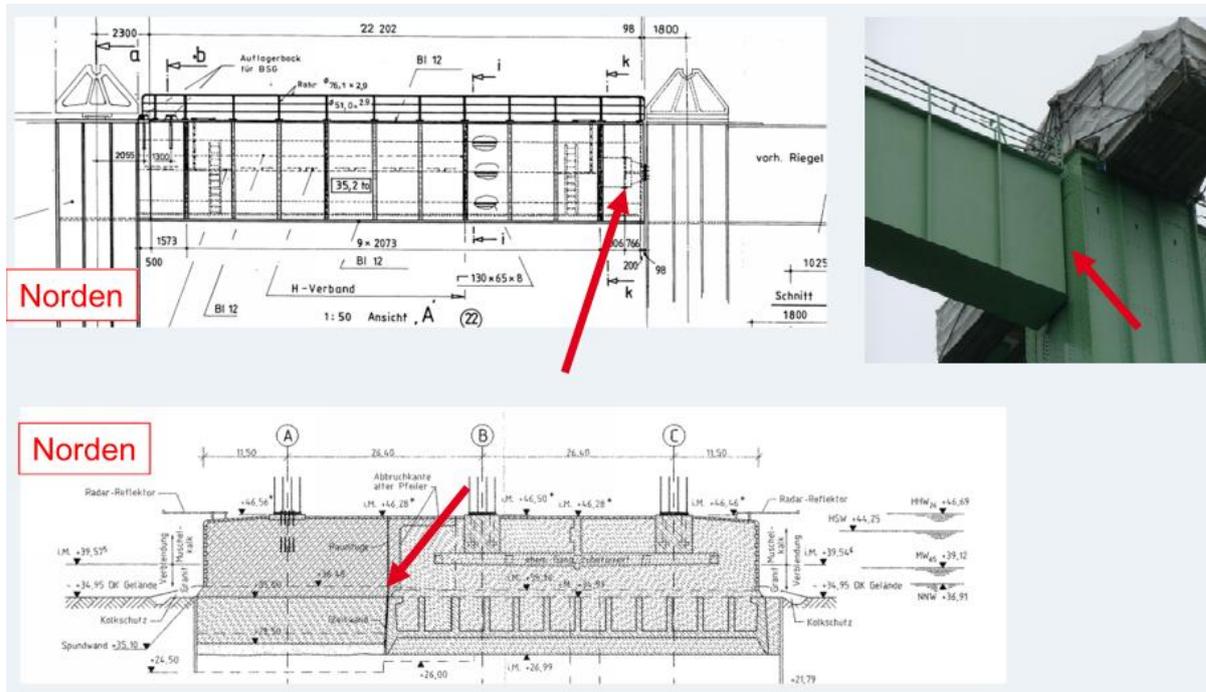


Abbildung 5 Verbreiterung Nord, Ausbildung Pylon / Pylongründung

3.1.3 Einteiliger Querschnitt

Die RB Rodenkirchen hat einen einteiligen Querschnitt, d.h. beide Richtungsfahrbahnen der A4 sind auf einem gemeinsamen Überbau angeordnet. Die Mittelachse B wird sowohl von der Richtungsfahrbahn in Richtung Aachen als auch von der Richtungsfahrbahn in Richtung Olpe belastet.

Ein einteiliger Querschnitt hat bei zweibahnigen Bundesfernstraßen deutliche Nachteile bei den großen Stützweiten. Infolge des einteiligen Querschnitts ergeben sich Nachteile bei Instandsetzungs-, Verstärkungs- und Erneuerungsarbeiten, diese Arbeiten verursachen bei einteiligen Querschnitten Behinderungen des Verkehrs.

3.1.4 Denkmalschutz

Die Rheinbrücke Rodenkirchen steht seit 1996 unter Denkmalschutz.

3.1.5 Hängerausbildung

Die Hänger sind am Tragkabel schlaufenförmig umgelenkt und an Kabelschellen befestigt. Die Hängerausbildung mit dem geringen Umlenkradius entspricht nicht derzeit aktuellen Vorschriften.

Bei dem vorhandenen geringen Umlenkradius besteht ein erhöhtes Risiko von Drahtbrüchen in der äußeren Seillage.



Abbildung 6 Hänger beim Einbau 1996 / Umlenkradius an der Kabelschelle

3.1.6 Hängeranschluss an Versteifungsträger

Die untere Hängerverankerung erfolgt mittels einer Stahlkonstruktion. Der Obergurt des Versteifungsträgers ist geschlitzt, das Knotenblech der Verankerung geht direkt in den Steg des Versteifungsträgers über.

Es erfolgt eine direkte Lasteinleitung aller Lasten über den Versteifungsträger in die Hänger.

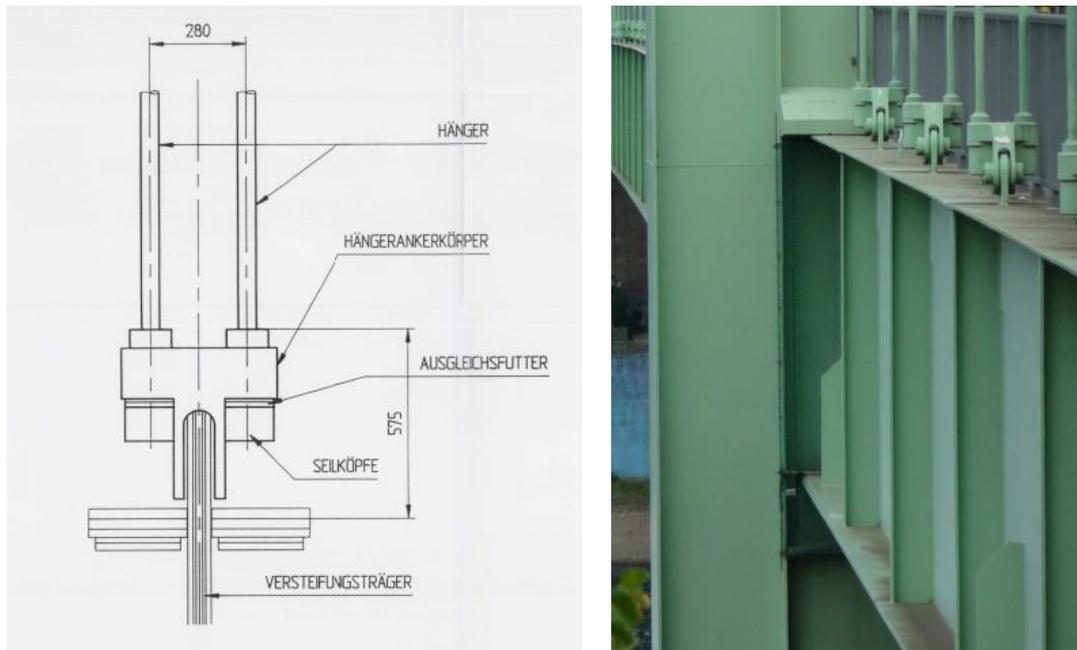


Abbildung 7 Hängeranschluss an Versteifungsträger

3.1.7 Verkehrsregellasten

Das Bauwerk ist in die Brückenklasse 60/30 nach DIN 1072 eingestuft. Zur Einhaltung der rechnerischen Nachweise der Haupttragelemente wurde das normative Verkehrslastmodell jedoch reduziert:

- Hauptspur Flächenlast: 5,0 kN/m², keine Abminderung
- Schwerfahrzeug: SLW 60, keine Abminderung
- Nebenspur und Restflächen: 2,1 kN/m² anstatt 3,0 kN/m²
- Mittelstreifen, Geh- und Radweg: 1,0 kN/m² anstatt 3,0 kN/m²

Bei einer Gesamtbrückenfläche von 29.626 m² ist die Reduzierung der Flächenlasten bemessungsrelevant für die Haupttragglieder.

4 NACHRECHNUNG

Der 8-streifige Ausbau der A4 erfordert eine Fahrbahnbreite von ca. 18,75 m je Richtungsfahrbahn auf der Rheinbrücke. Die bestehende Rheinbrücke weist eine Fahrbahnbreite von 2 x 19,00 m auf, so dass prinzipiell eine 8-streifige Verkehrsführung auf dem Bestand möglich wäre.

Im Zuge der Nachrechnung gemäß der Nachrechnungsrichtlinie [1] wird das Bestandsbauwerk statisch dahingehend untersucht, ob es für das aktuelle Lastmodelle LM1 tragfähig ist. Es wurden auch Berechnungen für das LMM-Lastmodell für eine evtl. Weiternutzung von Teilbauwerken durchgeführt.

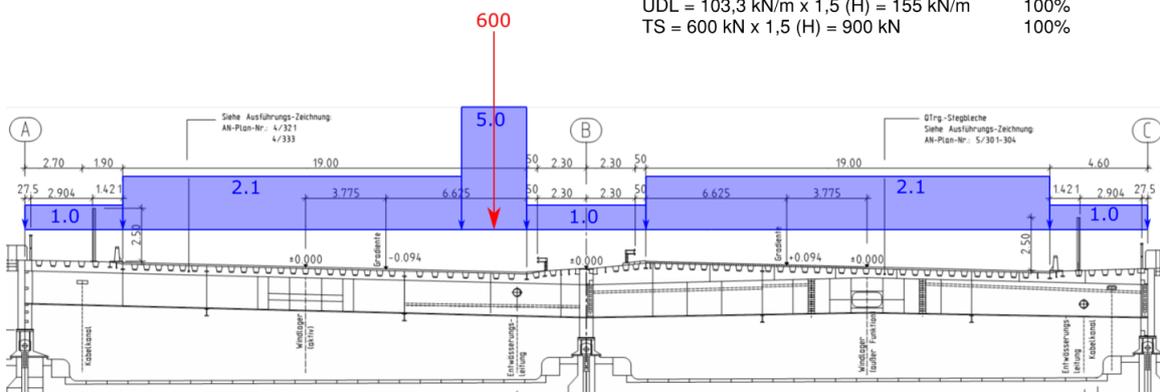
Nachfolgend werden nur die für die Entscheidungsvorlage maßgebenden Ergebnisse dargelegt, die vollständige Nachrechnung ist in [2] dokumentiert.

4.1 Lastvergleich Verkehrsregellasten

Das gemäß NR-Richtlinie [2] nachzuweisende Verkehrslastmodell ist das LM1 nach DIN Fachbericht. Zum Vergleich ist in der nachfolgenden Grafik der Vergleich Verkehrslastmodelle dargestellt. Die dimensionierte Verkehrslastsonderregelung wird als Bezugsgröße mit 100% angenommen.

Verkehrslastsonderregelung
ab Erweiterung 1994

UDL = 103,3 kN/m x 1,5 (H) = 155 kN/m 100%
TS = 600 kN x 1,5 (H) = 900 kN 100%



Lastmodell LM1 nach DIN Fachbericht

UDL = 151,5 kN/m x 1,5 = 227 kN/m 146%
TS = 800 kN x 1,5 = 1200 kN 133%

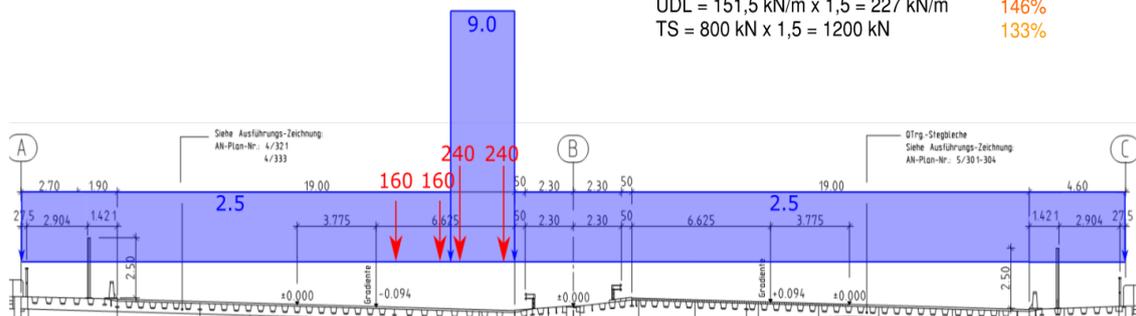


Abbildung 8 Vergleich Verkehrsregellasten

4.2 Defizite / Mängel gemäß Nachrechnung

4.2.1 Spannungsnachweise Versteifungsträger

Die Spannungsnachweise der Versteifungsträger sind nicht erfüllt. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit ergeben sich Spannungsüberschreitungen im Bereich der Untergurte und der Versteifungsträger.

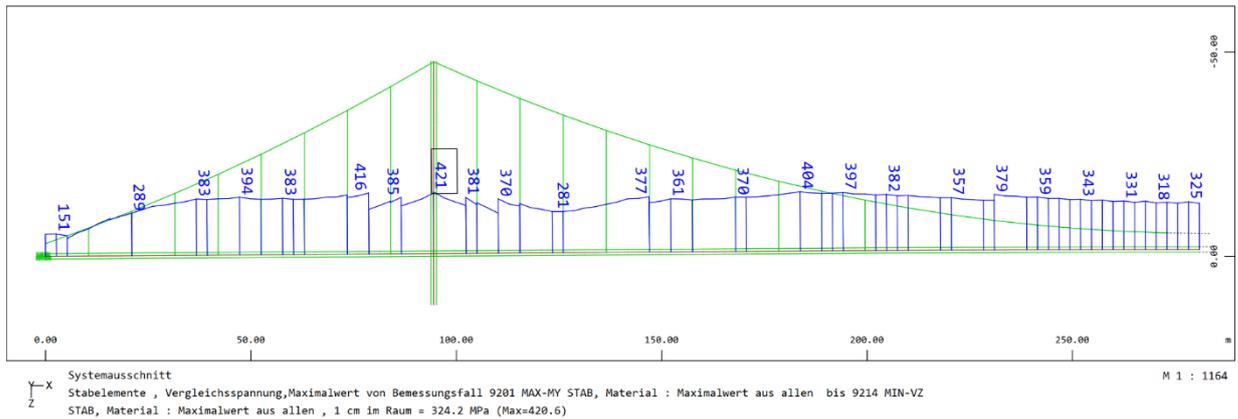


Abbildung 9 Vergleichsspannungen Versteifungsträger LM1, $\sigma > 355 \text{ N/mm}^2$

4.2.2 Beulnachweise Versteifungsträger

Da die Spannungsnachweise der Versteifungsträger nicht eingehalten sind, können die Stabilitätsnachweise der Versteifungsträger nicht mit der Methode der reduzierten Spannungen geführt werden. Alternativ ist daher nur eine Nachweisführung mit der Methode der effektiven Querschnitte möglich. Diese Nachweisführung ist jedoch in Deutschland nach gültigem Normenwerk nicht vorgesehen und daher nur mit Zustimmung im Einzelfall und in Abstimmung mit der genehmigenden Behörde möglich. Im Rahmen der Nachrechnung wurden die Stabilitätsnachweise der VT-Stegbleche mit dem normativ nicht eingeführten Nachweisen der effektiven Querschnitte geführt, es ergeben sich Überschreitungen von bis zu ca. 50 %, nahezu über den gesamten Bereich des Versteifungsträgers.

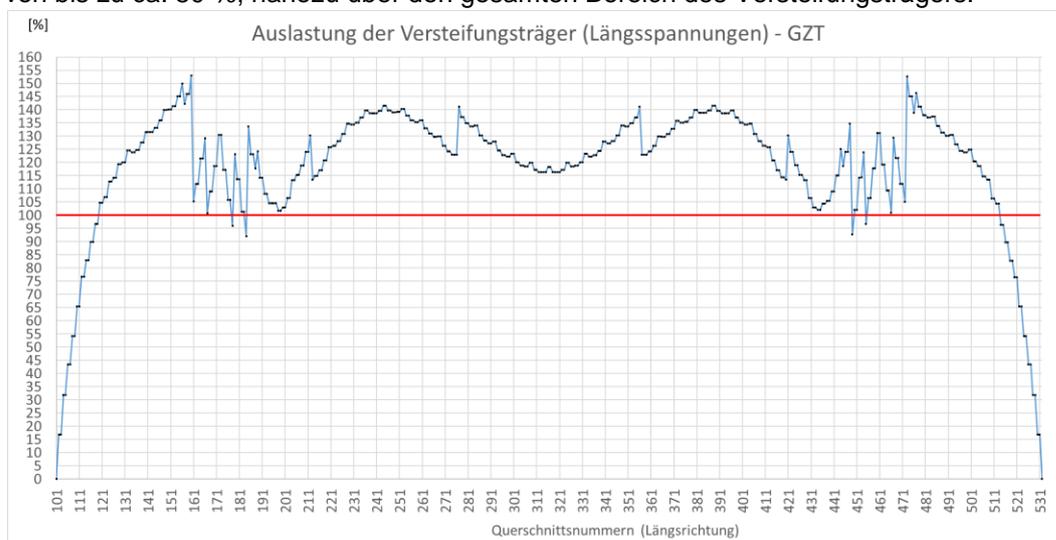


Abbildung 10 LM1-Ausnutzung Stabilität VT, NW effektive Querschnitte

Bereits bei den Beulnachweisen aus 1990 waren rechnerische Defizite bei den Versteifungsträgern vorhanden.

Vorhandene rechnerische Beulsicherheit Existing Calculated Safety Against Buckling	
<u>vorh VB*</u> =	1.14 DAST-Richtlinie 012 - Ab.6.4
Erforderliche rechnerische Beulsicherheit Necessary Calculated Safety Against Buckling	
EINZELFELD LADEN =	1 (H = 1 und HZ = 2)
erf VB(σ) =	1.39 DAST-Richtlinie 012 - Tabelle 7
erf VB(τ) =	1.32
σ_{ki}/σ_{lki} =	.032 < 0.5 DAST-Richtlinie 012 - Ab.8.2.2
<u>erf VB*</u> =	1.36 DAST-Richtlinie 012 - Ab.8.3
erf VB*/vorh VB* = 1.19	



Abbildung 11 Überschreitung Beulnachweise in Statik 1994

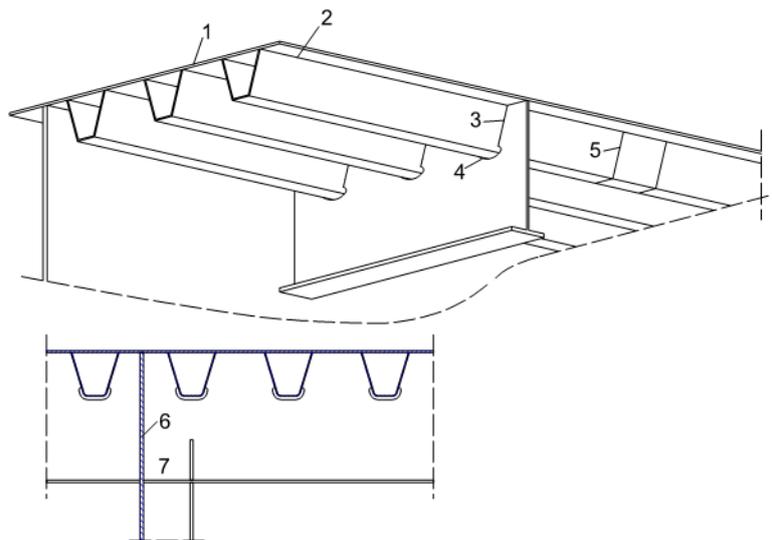
4.2.3 **Stabilitätsnachweise Pylone**

Bei den Pylonen ergeben sich unter LM1-Lasten bei den globalen und lokalen Stabilitätsnachweisen Überschreitungen von bis zu 23%.

4.2.4 Ermüdung

Die Bestandskonstruktion mit den verschiedenen Baujahren entspricht nicht den aktuellen Vorschriften für ermüdungssichere Konstruktionen. Folgende Detailpunkte entsprechen nicht den Anforderungen an ermüdungssichere Konstruktionen:

- Dicke Deckblech der Fahrbahnplatte
- Schweißnahtausbildung
- Durchdringungspunkte Längsrippen mit Querträger
- Freischnitte an Durchdringungspunkten



- | | |
|--|--|
| <p>1 Deckblech</p> <p>2 Anschlussnähte der Längsrippen an das Deckblech</p> <p>3 Anschlussnähte zwischen Längsrippen und Querträgerstegblech</p> <p>4 Querträgerausschnitt</p> | <p>5 Längsrippenstoß</p> <p>6 Querträgerstoß</p> <p>7 Verbindung zwischen Querträger und Hauptträger</p> |
|--|--|

Abbildung 12 Bauliche Details Regelausführung Stahlfahrbahn

5 MACHBARKEITSUNTERSUCHUNG TRAGWERKSVERSTÄRKUNG

5.1 Randbedingungen

Für eine Weiternutzung des Bauwerks müssten die Defizite / Mängel behoben werden. Einzuhaltende Randbedingungen für evtl. Tragwerkswerkverstärkungen:

1. Bei dem einteiligen Querschnitt kann der Autobahnverkehr nicht umgeleitet werden, alle Arbeiten sind unter fließendem Verkehr durchzuführen.
2. Bei Arbeiten unter Verkehr treten Schwingungen und Verformungen auf, eine fachgerechte Ausführung ist kaum möglich. Vor allem Schweißarbeiten sind bei Schwingungen nicht fachgerecht umsetzbar, siehe auch nachfolgenden Variantenvergleich.
3. Das TBW Süd wurde 1954 hergestellt. Es wurde sowohl St 52 als auch St 37 verwendet. In der Werkstatt wurde die Konstruktion geschweißt, die Baustellenstöße wurden genietet. Aus Erfahrungen mit vergleichbaren Konstruktionen aus derselben Bauzeit ist die Schweißbarkeit nicht gegeben.
4. Der tatsächliche Zustand der vorhandenen Bausubstanz ist trotz der vorhandenen Ergebnisse der Bauwerksprüfungen nicht bekannt. Weitere, bisher nicht bekannte Bauwerksschäden können ggfs. erst nach Entfernen des Belages bzw. der Korrosionsschutzbeschichtung festgestellt werden. Es ist wahrscheinlich, dass erst nach dem Entfernen des vorhandenen Korrosionsschutzes Bindefehler, Schweißnahttrisse, beschädigte Niete sowie andere Fehler und Schäden sichtbar werden. Dadurch ergibt sich ein hohes Ausführungsrisiko.
5. Bei dem vorliegenden System der Hängebrücke hängen die Schnittgrößen und Spannungen der Versteifungsträger wesentlich von den Steifigkeitsverhältnissen ab.
Die statische Berechnung einer Hängebrücke ist nicht-linear, sie ist zig-fach statisch unbestimmt und erfolgt nach Theorie III. Ordnung (große Verformungen).
Eine Verstärkung der Versteifungsträger führt zu einer Erhöhung der Steifigkeit und somit wiederum auch zu einer Vergrößerung der Biegemomente im Versteifungsträger. Dieses iterative Verfahren führt zu Lastumlagerungen und Verformungen der Sollgradienten, die dann mittels Seilvorspannung wieder anzupassen wäre.
6. Die Verkehrsregelasten aus den LM1-Lasten liegen deutlich über den Dimensionierungs-Lastmodell BK 60/30 mit den reduzierten Flächenlasten.
7. Bei den Versteifungsträgern sind die Spannungs- und Beulsicherheitsnachweise deutlich überschritten.

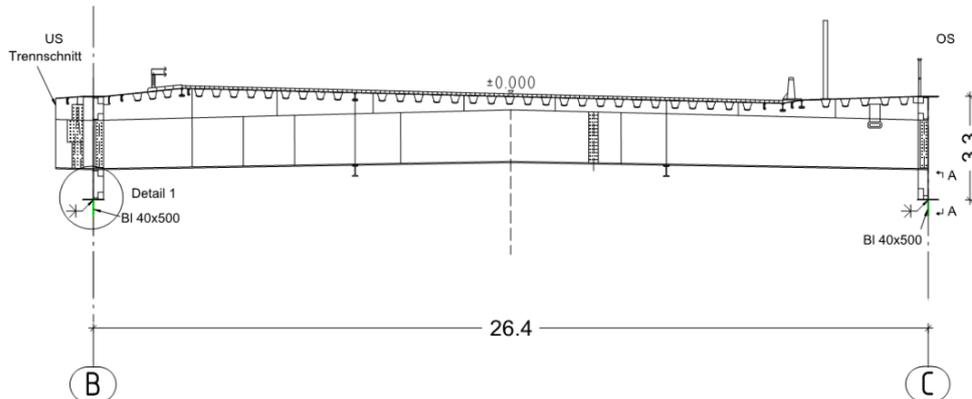
5.2 Variante 1: zusätzliche Stahl lamellen an den Versteifungsträger

Die vorhandenen Versteifungsträger sind offene Doppel – T Querschnitte, an den Unter- und Obergurten sind unterschiedliche Lamellen angebracht. In den Stoßbereichen wurden alle 10,50 m entsprechende Stoßlaschen und entsprechenden Nietverbindungen ausgeführt.

Die Verstärkungen müssen an die jeweilige Anzahl der vorhandenen Untergurt lamellen sowie im Bereich der Stoßlaschen angepasst werden. Dadurch können die Verstärkungen nur abschnittsweise eingebaut werden.

Durch evtl. Verstärkungsmaßnahme können zwar die Spannungen in den Untergurten und in den Stegen der Versteifungsträger unter Verkehrslasten reduziert werden. Insgesamt erhöhen sich jedoch die Kräfte in den Untergurten, so dass ein seitliches Ausweichen des Untergurtes maßgebend wird. Zur Stabilisierung der Untergurte gegen das Knicken wären Querrahmen erforderlich.

Querschnitt 1:100



Schnitt A-A 1:20

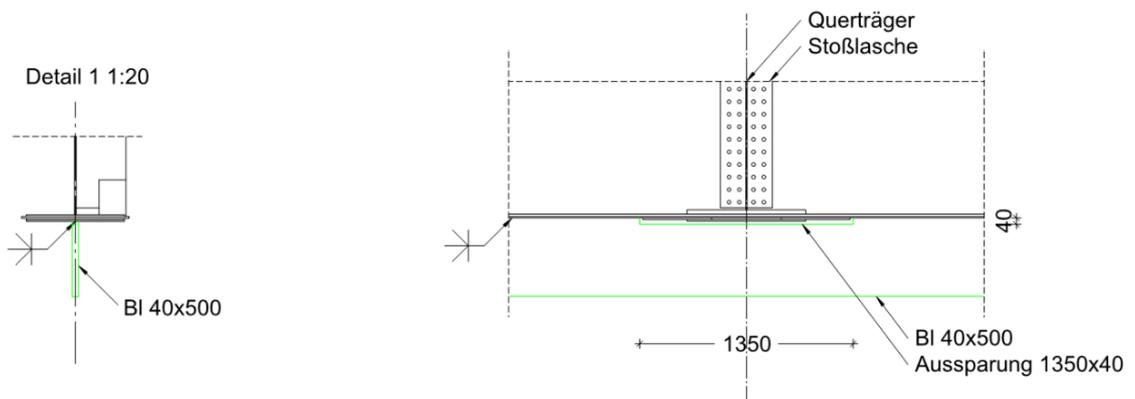


Abbildung 13 Prinzipskizze Verstärkung Variante 1

Infolge der nicht gegebenen Schweißbarkeit am TBW Süd muss die Konstruktion geschraubt ausgeführt werden. Infolge der Querschnittsvergrößerung nach unten ergeben sich Einschränkungen beim Freibord des Schiffahrtsprofils.

Die vorhandenen Halsnähte der Versteifungsträger am Anschluss der Stege an den Obergurt und an den Untergurt sind für die Aufnahme der höheren Lasten nicht ausreichend dimensioniert.

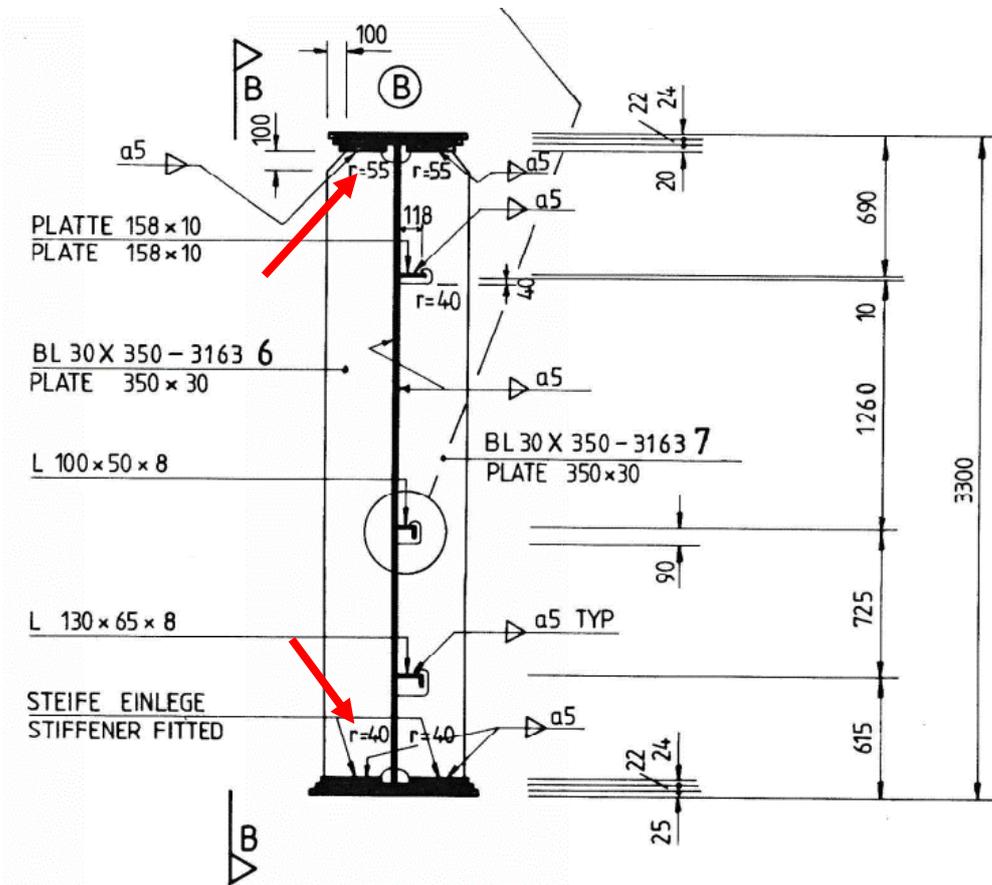


Abbildung 14 Anschluss Steg an Obergurt, aus Plan 4/300d

Eine Aufschweißung der Bestands-Schweißnähte zwischen den Gurtlamellen ist nicht möglich.

Die Anschlüsse der Hänger sind mit durchgesteckten Knotenblechen ausgeführt, die Knotenbleche sind mit den Stegen verschweißt, siehe auch Abschnitt 3. Infolge der Lasterhöhungen erhalten auch die Knotenbleche der Hängeranschlüsse an den Versteifungsträger höhere Belastungen. Die durchgesteckten Knotenbleche sind für die Zusatzlasten nicht ausreichend dimensioniert. Je Versteifungsträger sind 52 Hängeranschlüsse vorhanden, insgesamt gibt es $3 \times 52 = 156$ Hängeranschlüsse. Am Versteifungsträger Achse C sind an den Hängeranschlüssen genietete Blechstöße mit Aufdopplungen vorhanden. Infolge der Randbedingungen und der vorhandenen Lamellenpakete können die Knotenbleche fachtechnisch nicht sinnvoll ausgetauscht bzw. verstärkt werden.

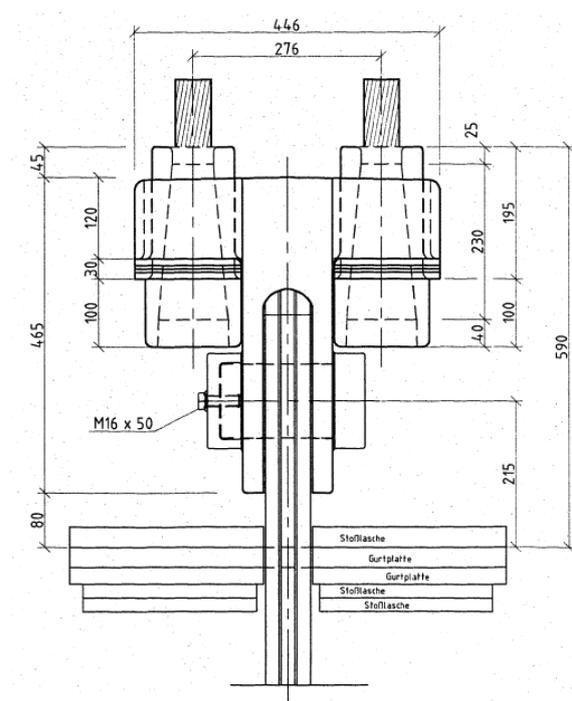


Abbildung 15 Detail Hängeranschluss an VT, aus Plan 5/805-02; Ansicht VT C

Zusammenfassung Variante 1

Eine Verstärkung mit zusätzlichen Stahllamellen lässt sich nicht umsetzen.

5.3 Variante 2: Einbau zusätzliche Fachwerkträger

Durch den Einbau von zwei zusätzlichen Fachwerkträgern, welche sich an der globalen Lastabtragung der Verkehrslasten beteiligen, können die Spannungen in den bestehenden Versteifungsträgern reduziert werden.

Die zusätzlichen Fachwerkträger werden im Abstand von 2,60 m bzw. 3,00 m von der jeweiligen Achse der Versteifungsträger angeordnet und schubsteif mit dem Deckblech verbunden. Den Obergurt der neuen Fachwerkträger bildet somit das vorhandene Deckblech mit den Längsrippen. Der Untergurt des Fachwerks ist ein geschweißter Doppel T- Träger mit einer Bauhöhe von 60 cm.

Die gesamte Konstruktion müsste geschraubt ausgeführt werden. Die nachfolgenden Skizzen zeigen eine mögliche Ausbildung der Fachwerkträger sowie die prinzipielle Machbarkeit der Anschlüsse an den Bestand. Die Verstärkungen sind in „grün“ dargestellt.

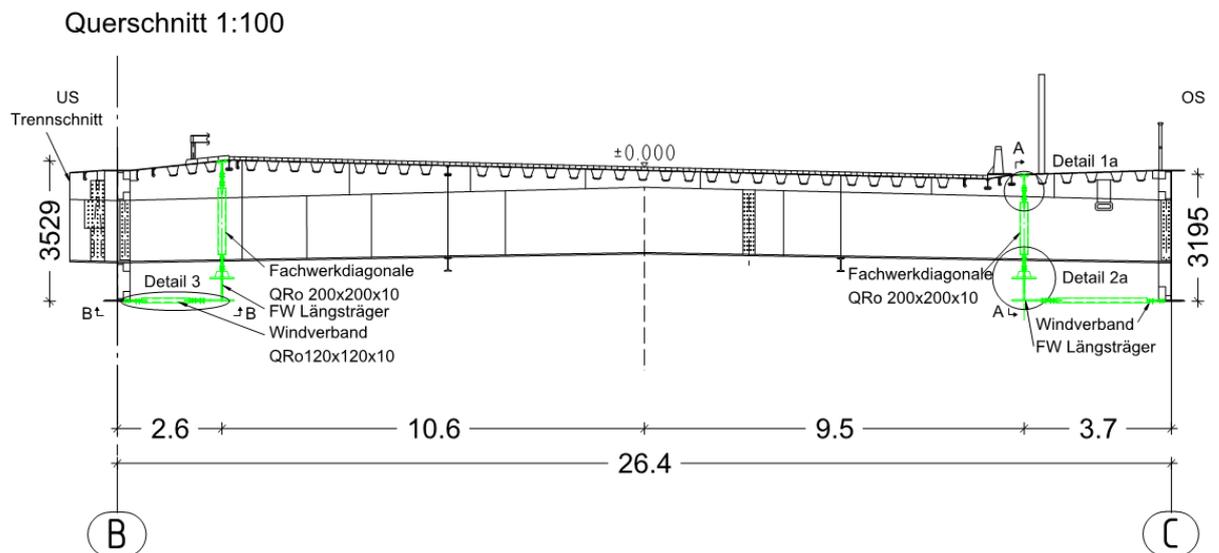


Abbildung 16 Prinzipskizze Verstärkung Variante 2

Analog zu Variante 1 können die durch Verkehrslast- und Eigengewichtserhöhung verursachten Lasterhöhungen von den Halsnähten und Knotenblechen der Versteifungsträger nicht aufgenommen werden.

Zusammenfassung Variante 2

Eine Verstärkung mit zusätzlichen Fachwerkträgern lässt sich nicht umsetzen.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Das Bestandsbauwerk ist nicht zukunftsfähig und ist durch einen Ersatzneubau zu ersetzen. Die erforderlichen Nachweise können für das Haupttragglied des Versteifungsträgers nicht erfüllt werden und es bestehen konstruktive Defizite am Bestandsbauwerk.

Die erhebliche Steigerung gegenüber dem Dimensionierungs-Lastmodell (BK 60/30 mit reduzierten Flächenlasten) können nicht aufgenommen werden. Die Spannungs- und Beulsicherheitsnachweise sind so deutlich überschritten, dass eine Verstärkung nicht möglich ist.