

Sternbrücke Hamburg Altona

Gutachterliche Stellungnahme zum Seitens der DB AG vorgelegten Brückenentwurfs - Entwurfsideen

Erarbeitet im Auftrag der Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen
Amt für Landesplanung und Stadtentwicklung der
Freien und Hansestadt Hamburg

schlaich
bergemann partner

Beratende Ingenieure
im Bauwesen
Brunnenstr. 110c
13355 Berlin

Sternbrücke Hamburg Altona

Projekt

Gutachterliche Stellungnahme zum Seiten der DB AG vorgelegten Brückenentwurfs für die Sternbrücke Hamburg-Altona - Entwurfsideen

Ort

Hamburg-Altona

Auftraggeber



Freie und Hansestadt Hamburg

Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen
Amt für Landesplanung und Stadtentwicklung

Neuenfelder Str. 19
21109 Hamburg

Aufgestellt



**schlaich
bergemann partner**

Beratende Ingenieure
im Bauwesen
Brunnenstr. 110c
13355 Berlin
Tel. +49 (30) 814 5283-0
E-mail: berlin@sbp.de
www.sbp.de

Prof. Dr. Mike Schlaich
Dipl. Ing. Uwe Burkhardt
MSc. Moritz Meiselbach

Sternbrücke Hamburg Altona

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass und Zielsetzung	4
2	Allgemein	5
2.1	Methodik	5
2.2	Berücksichtigte Unterlagen	6
3	Vorzugsvariante DB Netz AG	7
3.1	Randbedingungen	7
3.2	Entwurf als Stabbogenbrücke	9
4	Stellschrauben zur gestalterischen Optimierung	10
4.1	Entwurf DB optimieren	11
4.2	Querverzug der Gleise	16
4.3	Querträgerhöhe in der Fahrbahn optimieren	17
4.4	Zusätzliche Stützen in der Kreuzung	21
4.5	Kreuzung stützenfrei	29
5	Zusammenfassung	33
Anhang	34
A	Visualisierungen	35
B	Kreuzungsausbildung bei zusätzlicher Anordnung von Stützen, Autor: ARGUS	42

1 Anlass und Zielsetzung

Die DB Netz AG plant den Rückbau und Ersatzneubau der Sternbrücke in Hamburg. Aus diesem Anlass wurde eine Vorplanung angefertigt dessen Grundlage im Wesentlichen der Projektanforderungskatalog der Deutschen Bahn sowie das vorgebrachte Planungsverlangen der Freien und Hansestadt Hamburg (FHH) zur Verkehrsknotenaufweitung ist. Als Ergebnis wurde eine Stabbogenbrücke entworfen, welche eine Gesamthöhe von rund 24,40 m aufweist und eine zusätzliche Mittelabhängung zwischen den Bögen besitzt (vgl. Abb. 1). Als Folge entsteht ein Brückentragwerk, welches seine Umgebung durch seine Dimensionen stark prägt.



Abb. 1: Vorzugsvariante der DB AG – Stabbogenbrücke; Quelle: Planausschnitt [1] Anlage 9.1 – Ansichten und Schnitte 4-gleisiger Überbau

Aufgrund der städtebaulich sensiblen Lage soll daher die vorliegende gutachterliche Stellungnahme im Auftrag der Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen der Freien und Hansestadt Hamburg aufzeigen, inwieweit alternative Tragwerkslösungen gegenüber der Vorzugsvariante der DB Netz AG bestehen.

2 Allgemein

2.1 Methodik

Die vorliegende gutachterliche Stellungnahme beruht auf

- der Sichtung und Auswertung der zur Verfügung gestellten Unterlagen,
- der Ortsbegehung am 30.08.2017,
- und dem Zwischenkolloquium am 10.10.2017.

Die Analyse der Vorplanung der DB beinhaltet hierbei auf Grund des zeitlich begrenzten Umfangs der Begutachtung keine umfassende statische Überprüfung der vorgelegten Dimensionen. Die Stellungnahme beruht daher vornehmlich auf

- der Überprüfung der wesentlichen Annahmen und Ansätze,
- der Identifizierung möglicher Stellschreiben zur gestalterischen Optimierung.

Resultierend aus den vorher genannten Punkten wurden fünf Stellschrauben ausgemacht, welche zu alternativen Tragwerken führen. Diese wurden in dem vorliegenden Gutachten untersucht und bewertet. Diese sind

1. die gestalterische Optimierung der vorliegenden Vorzugsvariante der DB,
2. die Verwendung zweier getrennter Brückentragwerke durch Querverzug der Gleise,
3. die Optimierung der Querträgerhöhe zum Verzicht auf eine Mittelabhängung,
4. die Anordnung zusätzlicher Stützen im Kreuzungsbereich,
5. die Darstellung von Tragwerksalternativen ohne Stützen im Kreuzungsbereich.

Nähere Informationen zu den genannten Optionen finden sich in den entsprechenden Kapiteln.

Die dargestellten alternativen Tragwerkslösungen sind rein konzeptionell erarbeitet und beruhen auf ingenieurstechnischen Erfahrungswerten und Faustformeln. Es ist daher zu berücksichtigen, dass sich durch genauere Untersuchungen gewisse Änderungen in den aufgezeigten Varianten ergeben können.

2.2 Berücksichtigte Unterlagen

Die zur Verfügung gestellten Unterlagen gliedern sich im Wesentlichen in die Vorplanung der EÜ Sternbrücke (Anlagen 01 bis 14) wie auch Präsentationen, welche von der FHH zur Verfügung gestellt wurden. Auf Grund des Umfangs der Unterlagen und der zeitlichen Beschränkung der Begutachtung konnten nur Teile der Unterlagen einer genauen Sichtung unterzogen werden, andere Bereiche wurden hierbei lediglich quer gesichtet:

Genauer gesichtete Unterlagen

- [1] DB Netz AG: Vorplanung Erneuerung EÜ Sternbrücke PV - FHH, 04/2016:

Anlage: Bezeichnung:

01	Objektblatt
02	Beiblatt Brücken
03	Erläuterungsbericht
04	Bestellung-BAst_QUAST
06	Übersichtspläne
08	Lösungsvarianten
09	Lösungsvorschlag
10	Kostenzusammenstellung
11	Vorl_Terminplan_Bauzeitenplan

- [2] Weiffen, Kathrin: Präsentation Vorstellung des aktuellen Planungsstandes bei der BSU; 17.02.2017

- [3] Weiffen, Kathrin: Präsentation Variantenübersicht; 27.07.2017

Quer gesichtete Unterlagen

- [1] DB Netz AG: Vorplanung Erneuerung EÜ Sternbrücke PV - FHH, 04/2016:

Anlage: Bezeichnung:

05	Stellungnahmen
07	Bestandsunterlagen
14	Anlagen

Die Anlagen 12 und 13 entfallen.

Regelwerke und Literatur

- [4] Geißler, Karsten: Handbuch Brückenbau - Entwurf Konstruktion, Berechnung, Bewertung und Ertüchtigung, Berlin 2014

- [5] DIN EN 1991-2 + NA - Verkehrslasten auf Brücken

3 Vorzugsvariante DB Netz AG

3.1 Randbedingungen

Gemäß der Planung der DB Netz AG, vgl. [1] Anlage 01 - Erläuterungsbericht und [2], ergibt sich der Entwurf im Wesentlichen durch folgende Randbedingungen:

- **Kreuzung stützenfrei**
Im Kreuzungsbereich werden keine Stützen angeordnet.
- **Berücksichtigung Kreuzung Planungsverlangen FHH**
Gemäß Planungsverlangen der FHH wird nachfolgendes Kreuzungsprofil berücksichtigt:

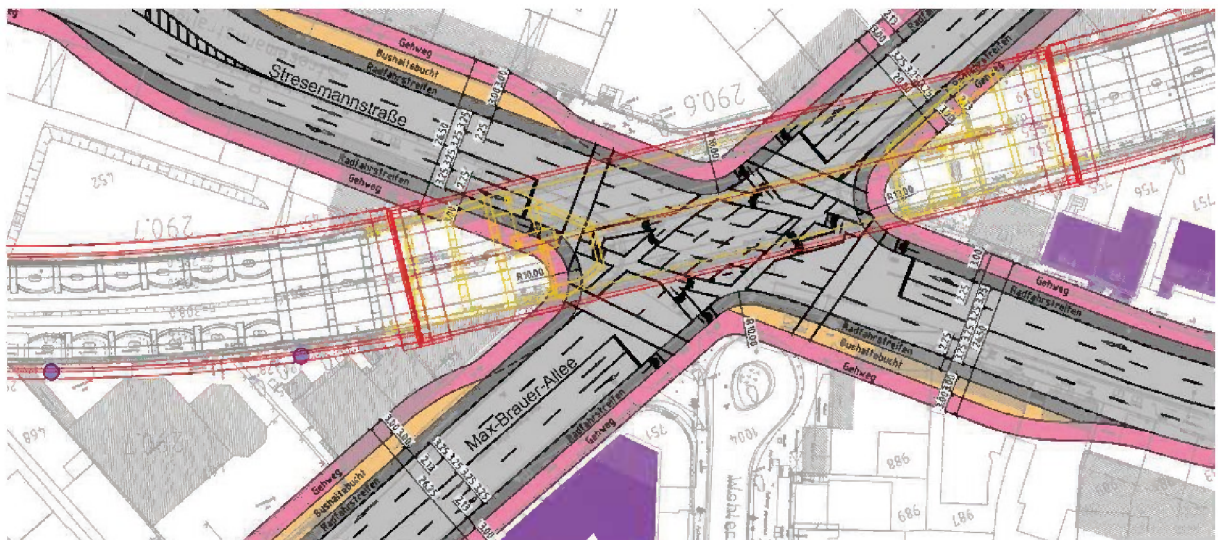


Abb. 2: Kreuzungsausführung Vorzugsvariante DB, Quelle: [1] Anlage 9.2 - Plan VP_V_A09.2_LPL_001

Durch die Anordnung von Rad- und Gehwegstreifen ergibt sich gegenüber dem aktuellen Kreuzungsprofil eine vergrößerte Spannweite auf 108 m.

- **Streckensperrung Fernbahn/ S-Bahn 16 Tage**
Der Projektanforderungskatalog der Bahn, vgl. [1]: Anlage 04, sieht für die Strecken der S-Bahn und Fernbahn nur Wochenendsperrungen vor. Von diesem abweichend wird von einer Vollsperrung aller Gleise von 16 Tagen ausgegangen.
- **Transport der vorgefertigten Brücke über Straße mittels SPMTS**
Aufgrund geringen Platzangebots in unmittelbarer Umgebung (vgl. [1] Erläuterungsbericht Kap. 6.1.8) ist es notwendig die Brücke auf einem naheliegenden Vormontageplatz vorzufertigen und anschließend mittels SPMTS (engl. „Self-propelled Modular Transport System“) über die Straße zur Kreuzung zu transportieren.

Sternbrücke Hamburg Altona

- **Lichte Durchfahrtshöhe mind. 4,50 m**
Die vorhandene lichte Durchfahrtshöhe von 4,50 m wird beibehalten.
- **Geringe Gradientenanhebung im Gleisbereich**
Es wird eine geringe Gradientenanhebung von rund 20 cm verwendet. Die Gründe hierfür sind gemäß Erläuterungsbericht vor allem im Bereich der Bauzeitverkürzung zu finden.
- **Keine Fahrbahnabsenkung**
Die Fahrbahn wird im Kreuzungsbereich der Straße nicht abgesenkt.

Sternbrücke Hamburg Altona

3.2 Entwurf als Stabbogenbrücke

Aus den erstgenannten Randbedingungen (Kreuzung stützenfrei, Berücksichtigung Kreuzung Planungsverlangen FHH) ergibt sich eine Spannweite von rund 108 m. Dies und die beschränkte Bauzeit, bzw. die Notwendigkeit die Brücke über die Straße zu transportieren, führt gemäß DB zu einem Entwurf als Stabbogenbrücke:

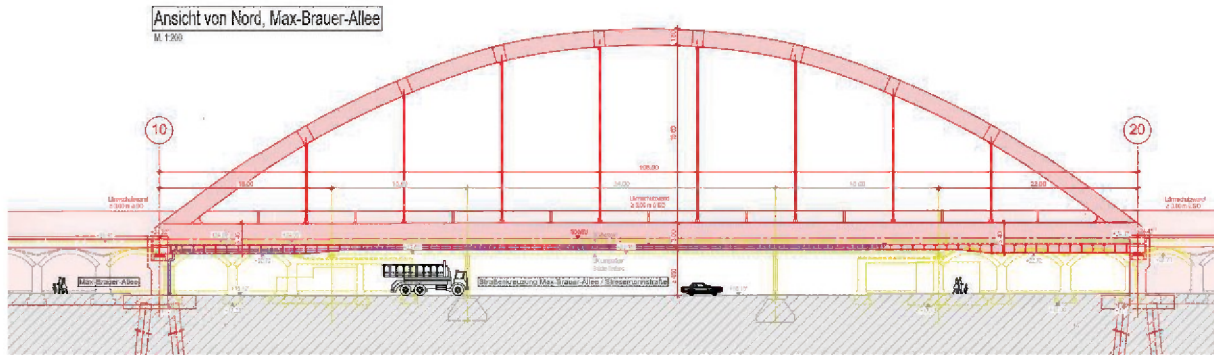


Abb. 3: Seitenansicht Vorzugsvariante DB, Quelle: [1] Anlage 9.1 - Plan VP_Ib_A09_AS_002

Resultierend aus den drei letztgenannten Randbedingungen (Lichte Durchfahrts-
höhe unter der Brücke von 4,50 m, Geringe Gradientenänderung und keine Straßen-
absenkung) ergibt sich ein gedrungenes Brückendeck mit notwendiger Mittelabhän-
gung:

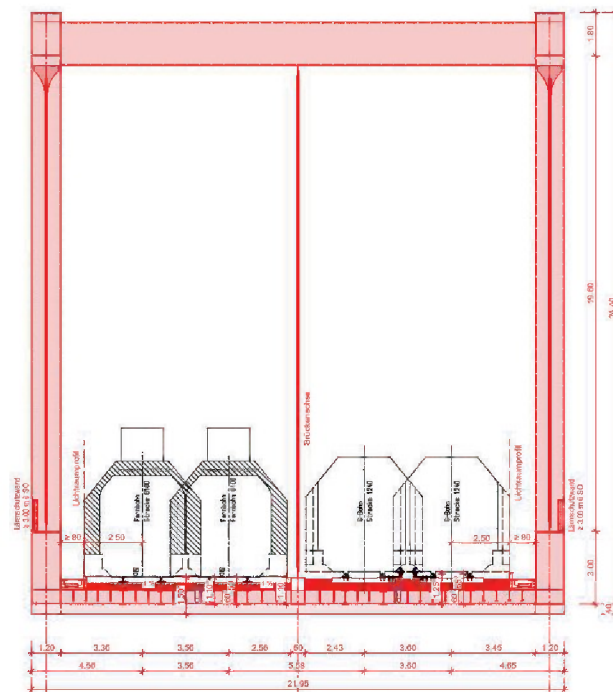


Abb. 4: Querschnitt Vorzugsvariante DB mit Abhängung, Quelle: [1] Anlage 9.1 - Plan VP_Ib_A09_AS_002

4 Stellschrauben zur gestalterischen Optimierung

Das gestalterische Optimierungspotential ist abhängig von den in Kap. 3.1 gesetzten Randbedingungen. Es wurden verschiedene Varianten untersucht, welche diese Randbedingungen mehr oder weniger aufweichen. Diese sind:

A. Entwurf DB optimieren

Es werden alle Randbedingungen entsprechend Kap. 3.1 beibehalten und der vorhandene Entwurf gestalterisch optimiert.

B. Querverzug der Gleise

Es wird davon ausgegangen, dass eine längere Streckensperrung zugelassen werden kann. Dies ermöglicht die Verwendung zweier getrennter Brückentragwerke durch Querverzug der Gleise. Hierdurch können schlankere und robustere Tragwerke entstehen.

C. Optimierung der Querträgerhöhe

Es wird davon ausgegangen, dass eine gewisse Absenkung der Straße bzw. zusätzliche Anhebung der Gradienten möglich ist, sodass die Bauhöhe des Querträgers vergrößert werden kann. Hierdurch soll auf eine Mittelabhängung verzichtet werden.

D. Zusätzliche Stützen in Kreuzung

Es werden Zwischenstützen angeordnet, welche die Spannweite reduzieren. Diese werden verkehrstechnisch abgestimmt, sodass weiterhin eine regelkonforme und gegenüber dem Bestand verbesserte Straßenkreuzung entsteht.

E. Alternative Tragwerksvariante - Kreuzung stützenfrei

Es wird beispielhaft eine alternative Tragwerksvariante dargestellt, welche die Spannweite reduziert und den Kreuzungsbereich stützenfrei hält. Alle Randbedingungen werden entsprechend Kap. 3.1 eingehalten.

Es ist zu bemerken, dass die genannten Punkte A bis E sich nur teilweise ausschließen. So ist z.B. die Kombination von C mit A, D oder E durchaus möglich.

Nachfolgend werden die genannten Varianten dargestellt und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile bewertet. Es sei darauf hingewiesen, dass die dargestellten Varianten lediglich konzeptioneller Natur sind. Gewisse Änderungen durch genauere Untersuchungen sind nicht ausgeschlossen.

4.1 Entwurf DB optimieren

Sollen alle Randbedingungen wie auch der Entwurf als Stabbogenbrücke aufrechterhalten werden, besteht nur die Möglichkeit den vorhandenen Entwurf zu optimieren. Mögliche Beispiele sind hierfür nachfolgend dargestellt.

Der aktuelle Entwurf besitzt einen Bogenstich von 22 m bei einer Spannweite von 108 m. Dies ergibt ein Verhältnis von Spannweite (l) zu Bogensticht (f) von 4,9:

Entwurf DB: $l/4.9$

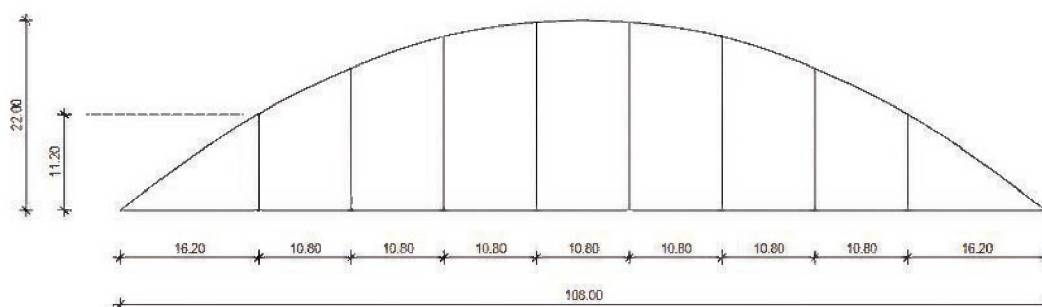
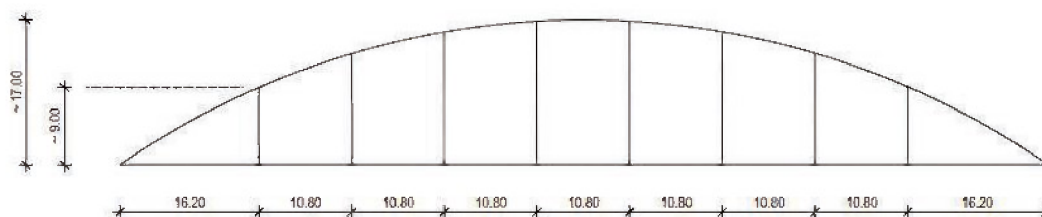


Abb. 5: Höhenprofil Entwurf DB Netz AG

Soll der Bogenstich reduziert werden, sind zwei Bedingungen zu berücksichtigen: Es muss zum einen genügend statische Bauhöhe gewährleistet werden, zum anderen muss insbesondere für den jeweils ersten Querträger eine hinreichende Höhe von rund 9,0 m gewährleistet werden, sodass das Lichtraumprofil der Züge nicht verletzt wird.

Ausgehend von zweiter Bedingung ergibt sich bei vertikaler Hängeranordnung ein geometrisch minimal möglicher Bogenstich von rund 17 m ($f = 1/6$ bis $1/7$), bei Schrägstellung von 60° rund 14 m ($f = 1/7$ bis $1/8$):

Erster Hänger bei rund 9m: $l/6 - l/7$



Erster Hänger bei rund 9m + Hänger 60° : $l/7 - l/8$

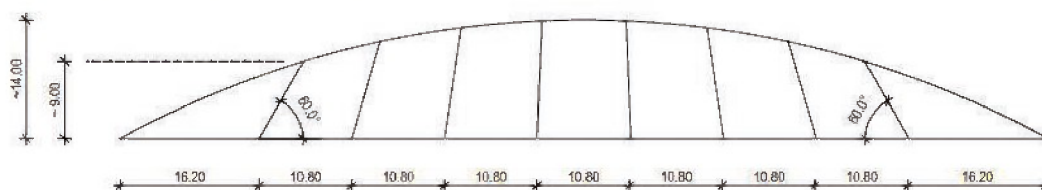


Abb. 6: Höhenprofil mit minimaler Höhe erster Hänger bei Hängerneigung 0° (oben) und 60° (unten)

Sternbrücke Hamburg Altona

Für die statische Bauhöhe sind gemäß [4] für eine Stabbogenbrücke rund $1/6$ bis $1/8$ als Bogenstich notwendig. Diese Faustformeln gelten allerdings in erster Linie für zweigleisige Überbauten, sodass aus Sicht der Verfasser ein Stich von rund $1/5$ bis $1/6$ für einen viergleisigen Überbau gewählt werden sollte.

Eine weitere Reduzierung der Bauhöhe wie in der unteren Darstellung von Abb. 6 angedeutet, ist geometrisch nur durch Schrägstellung der Hänger möglich. Schon allein um die visuell störenden Effekte der schrägen Hänger abzufangen, ist es sinnvoll einen Netzbogen auszubilden. Gemäß [4] sind Bogenstiche von $1/7$ bis $1/9$ für Netzbögen üblich. Aufgrund der vorhandenen vier Gleise sollte eher von $1/6$ bis $1/7$ ausgegangen werden.

Dies führt zu einer statischen Bauhöhe von etwa 15m bis 16m und ergibt z.B. folgende Geometrie:

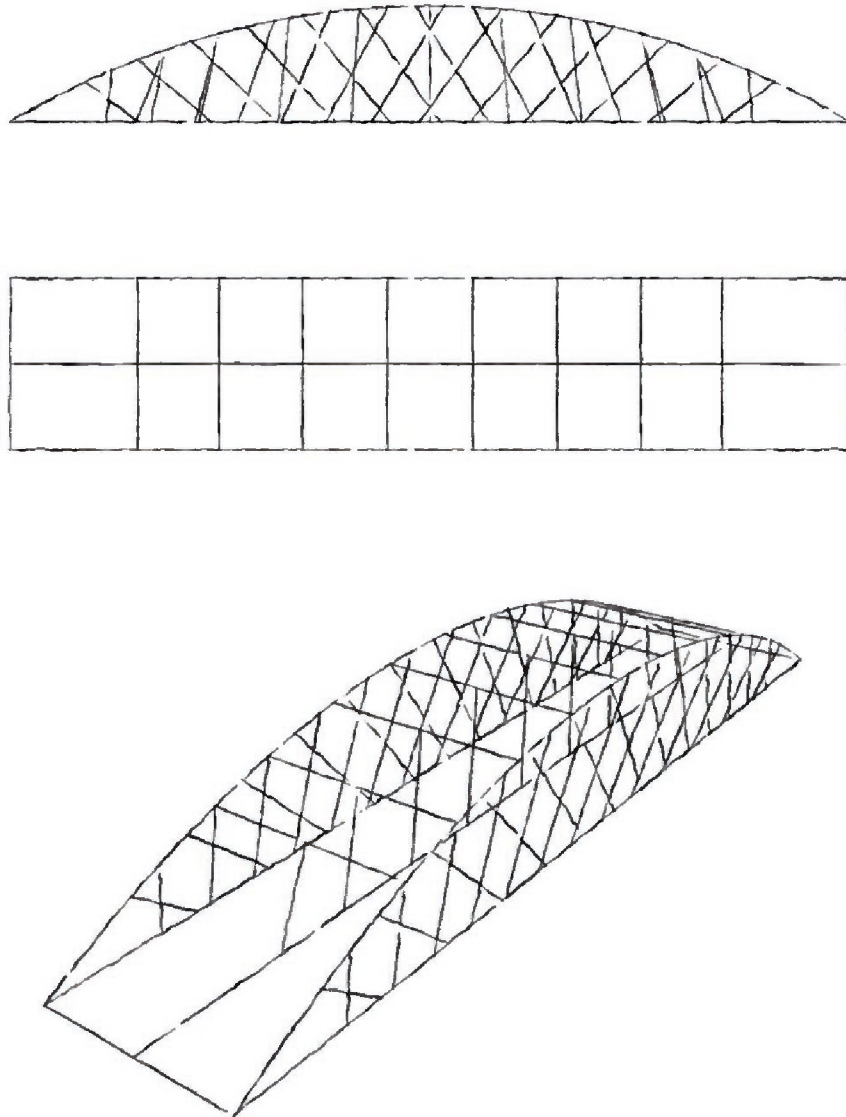


Abb. 7: Skizzen Netzbogen mit Bogenstich 16 m

Sternbrücke Hamburg Altona

Die Vorteile des Netzbogenbogens sind neben der Reduktion der Bauhöhe die Ausbildung schlanker Bögen und Längsträger.

Ein Nachteil ist unter anderem die hohe Anzahl an Hängern. Weiterhin benötigt der Entwurf von Netzbogenbrücken die Notwendigkeit einer sog. „Unternehmensinternen Genehmigung“ (UiG) bzw. einer „Zustimmung im Einzelfall“ (ZiE).

Als weitere gestalterische Variation für den Stabbogen kann z.B. ein Gabelbogen verwendet werden (Bogenstich bleibt jedoch mindestens bei ca. $1/5$), welcher den Verzicht auf die oberen Querträger im Bogen ermöglicht:

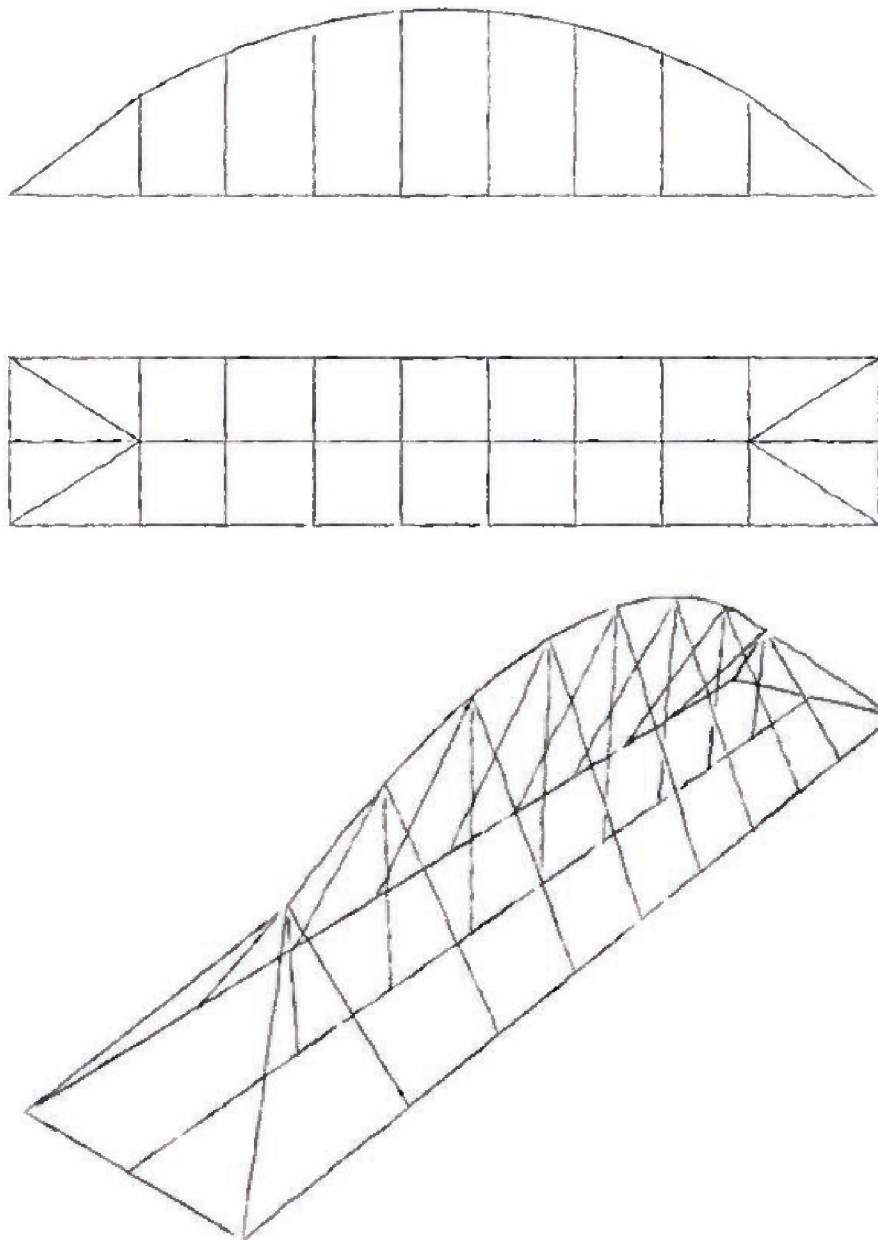


Abb. 8: Skizzen Gabelbogen mit Bogenstich 22 m

Sternbrücke Hamburg Altona

Durch die Aufgabelung des Bogens verbreitert sich der Überbau um rund 3 m. Je nach Ausbildung der Gabel kann sich die notwendige Breite noch erhöhen oder reduzieren.

Als Zwischenvariante besteht ebenso die Möglichkeit die Bogenebenen zueinander zu kippen (Bogenstich $1/5$ bis $1/6$), sodass sich eine geringere Länge der Querträger zwischen den Bögen einstellt. Als Resultat ergeben sich geneigte Hänger in Querrichtung:

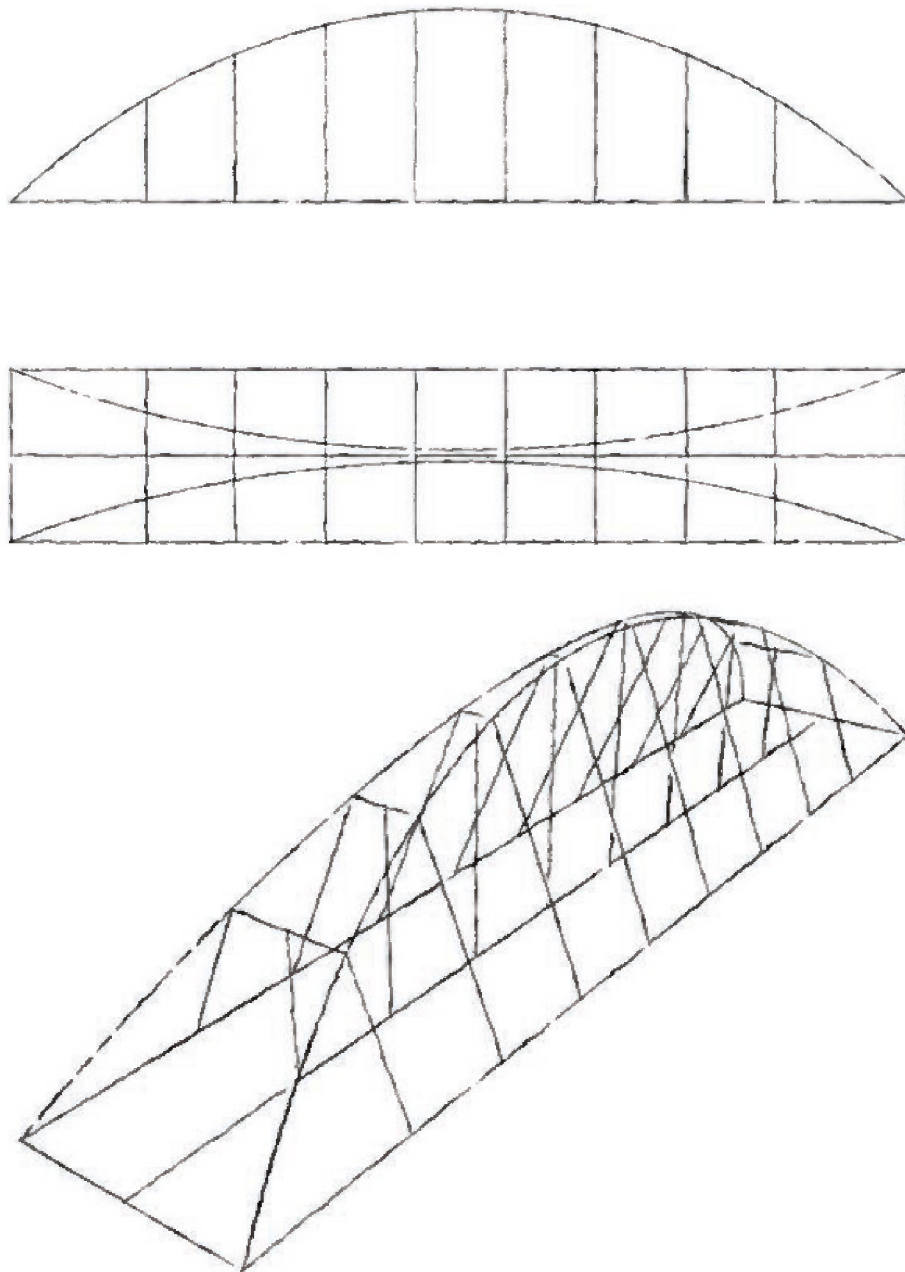


Abb. 9: Skizzen *Gekippte Bögen* mit Bogenstich von rund 20 m

Die Verbreiterung des Überbaus beträgt für die gezeigte Variante etwa 1,70 m.

Sternbrücke Hamburg Altona

Weiterhin besteht die Möglichkeit durch Verringerung des Kippwinkels ebenso eine Verringerung der notwendigen Überbaubreite zu erhalten.

Für die alternativen Bogenoptionen gelten Vor- und Nachteile sinngemäß zum Netzbogen. Die Verbreiterung ist beim Antransport der Brücke und bei der Ausbildung der Widerlager zu berücksichtigen.

Neben der gestalterischen Optimierung der Bauhöhe/ des Tragwerksystems besteht weiterhin die Möglichkeit die Querträger zwischen den Bögen zu optimieren. Durch Umlagerung der Bauhöhen ist es möglich die Dimensionen zu reduzieren. Beispielfhaft sei auf die nachfolgende Abbildung verwiesen:

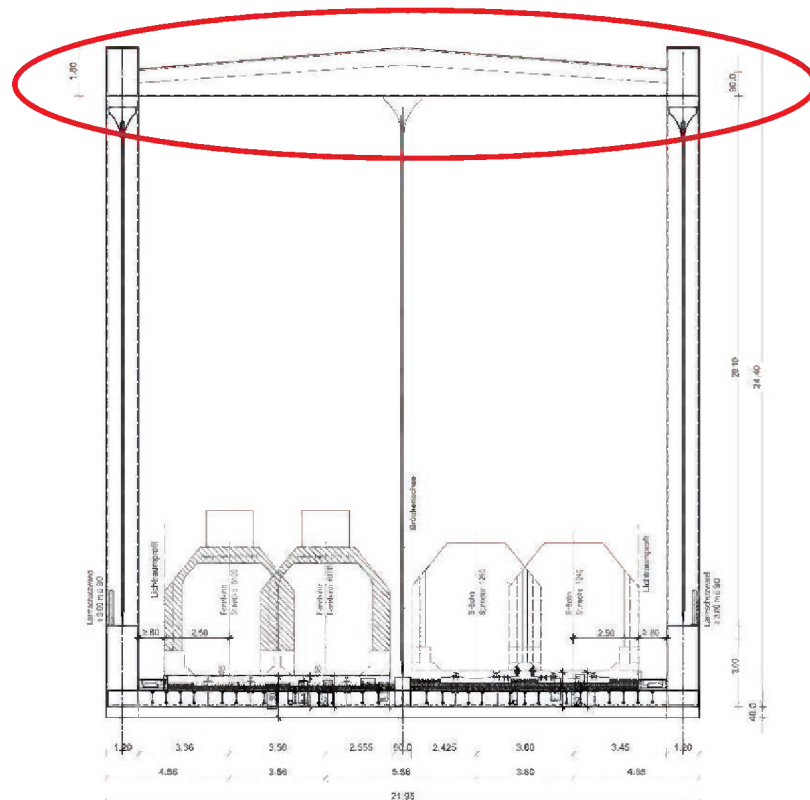
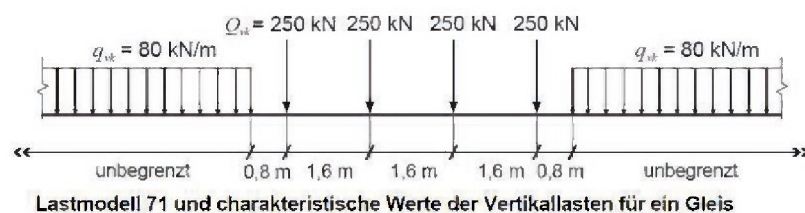


Abb. 10: Beispiel für Umlagerung der Querträgerbauhöhen

Als weiterer Optimierungsansatz sollte ebenso die Hinterfragung der angesetzten Lasten gesehen werden. Als Beispiel sei hier auf die Lastansätze für die S-Bahn Gleise verwiesen: Gemäß Projektanforderungskatalog der DB fahren planmäßig auf den S-Bahngleisen keine Güterzüge. Nichtsdestotrotz wird das Lastmodell 71 angewendet, welches von Linienlasten von 80 kN/m ausgeht (vgl. Abb. 11), das tatsächliche Gewicht der S-Bahn beträgt aber eher 20-30 kN/m.



Lastmodell 71 und charakteristische Werte der Vertikallasten für ein Gleis

Abb. 11: Lastmodell 71, Quelle: [5] Kap. 6.3.2

4.2 Querverzug der Gleise

Der Querverzug der Gleise und die dadurch mögliche Anordnung von 2x2 gleisigen Überbauten wurde bereits von der DB Netz AG untersucht. Im Erläuterungsbericht heißt es hierzu:

„Es wurde für alle angedachten Bauabläufe festgestellt, dass für beide Verkehre lang andauernde, teilweise zeitlich versetzte Sperrungen resultieren“ ([1] Anlage 03 - Erläuterungsbericht, S. 31). Und weiterhin: „Diese Sperrzeiten wurden von der DB Netz AG, wie auch von der S-Bahn Hamburg als betrieblich nicht durchsetzbar angesehen.“ ([1] Anlage 03 - Erläuterungsbericht, S. 31).

Hinsichtlich der langen Nutzungszeiten der Brücke von über 80 Jahren sollte allerdings kritisch hinterfragt werden, ob längere Sperrzeiten nicht zumutbar wären. Die Vorteile wären insbesondere:

- Bessere Wartung / Instandsetzung / Austauschbarkeit → nachhaltigere Konstruktion
- 2-gleisiger statt 4-gleisiger Überbau → Reduktion der Bauhöhe auf rund 12m ($l/h=9$)
- Keine Mittelabhängung über Querbalken → robustere Konstruktion

In der vorliegenden Planung werden die vorhandenen Gleise auf einer Länge von knapp 330m in 16 Tagen aus- und wieder eingebaut. Ein Verzug der S-Bahngleise nach Norden führt zu Gleisbauarbeiten von 480m. Daher sollte noch einmal überprüft werden, ob:

- Die 480 m möglicherweise weiter optimiert werden können unter Ausnutzung der minimalen Trassierungs-Radien für die Hamburger S-Bahn,
- ein Ausbau und Einbau der Gleise in neuer Lage möglicherweise in $480/330 \cdot 16 = 24$ Tagen möglich ist, wenn alle Vorarbeiten wie Verbreiterung der Kasematten, etc. vorab erfolgen können.

Varianten für die Ausbildung möglicher Überbauten sind auf der nachfolgenden Abbildung beispielhaft dargestellt.

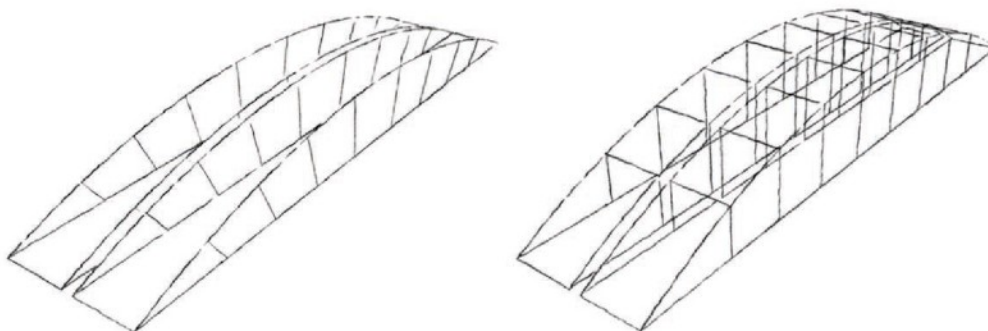


Abb. 12: Skizzen Tragwerksvarianten 2x2 gleisige Überbauten

4.3 Querträgerhöhe in der Fahrbahn optimieren

Wie in Abb. 1 ersichtlich, prägen die zwischen den Bögen gespannten Querträger durch ihre Dimensionen wie auch durch die Mittelabhängung einen erheblichen Teil des Erscheinungsbildes der Brücke. Eine Möglichkeit der gestalterischen Optimierung ist daher auf die Mittelabhängung zu verzichten, indem die Querträgerhöhe in der Fahrbahn erhöht wird. Hierdurch können diese direkt zwischen den äußeren Achsen spannen und benötigen bei genügender Bauhöhe keine Mittelstützung.

Die genannte Variante wurde bereits in [1] Anlage 14, Machbarkeitsstudie Fahrbahn (05.12.2015), untersucht:

II. maximal mögliche Bauhöhe 2050 mm (OK Schiene bis KUK)

A. orthotrope Fahrbahn mit Schotterbett

1. Querträgerabstand 2,50 m

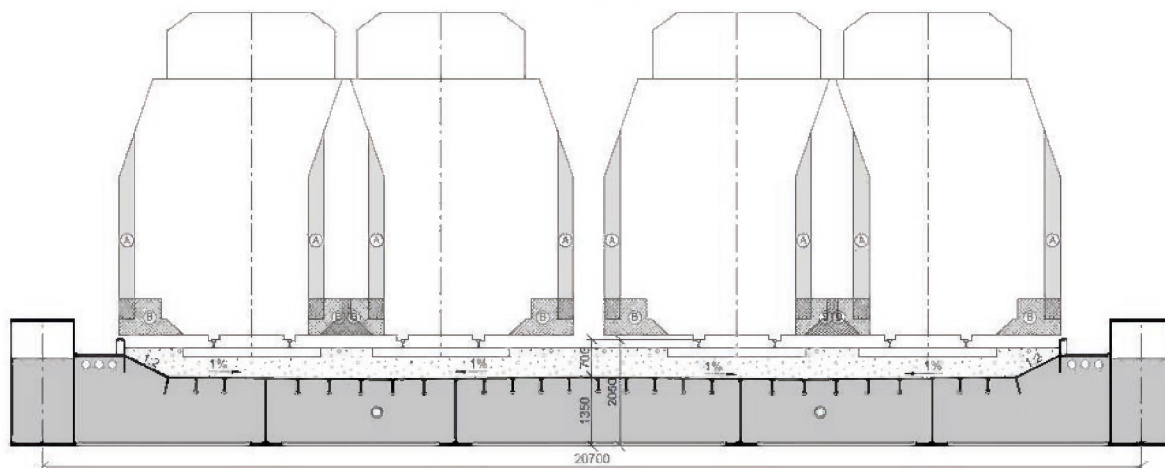


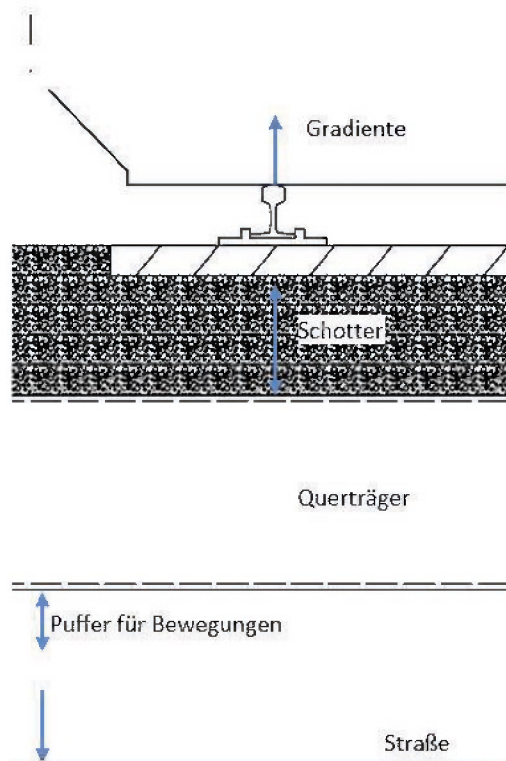
Abb. 13: Querschnittsausbildung ohne Mittelabhängung Quelle: [1] Anlage 14, Machbarkeitsstudie Fahrbahn (17.04.2015)

In dieser Machbarkeitsstudie wurde nachgewiesen, dass bei einem Querträgerabstand von 2,50 m und einer Querträgerbauhöhe von 1,350 m (bzw. 1310 mm) auf eine Mittelabhängung verzichtet werden kann. Aufgrund der benötigten Bauhöhe und der daraus resultierenden Gradientenanhebung bzw. Straßenabsenkung wurde in der Vorplanung der DB Netz AG die genannte Variante allerdings nicht weiterverfolgt und die Querträgerhöhe des Bestands von 0,605 m und Mittelabhängung übernommen.

Wird der Querträgerabstand halbiert, so ist es möglich die benötigte Querträgerhöhe zu reduzieren. Es wurde zwar nachgewiesen, dass es mit 0,605 m Bauhöhe nicht ohne Mittelaufhängung möglich ist, weitere Zwischenlösungen wurden nicht weiter vertieft. Nimmt man konservativ eine Verringerung der benötigten Höhe um 25 cm von 1,350 m auf 1,105 m durch Halbierung des Querträgerabstands an, beträgt die notwendige Erhöhung des Querträgers gegenüber der Vorzugsvariante (Höhe 0,605 m) 50cm.

Sternbrücke Hamburg Altona

Grundsätzlich bestehen die folgenden Möglichkeiten mehr Bauhöhe für die Querträger zu erhalten:



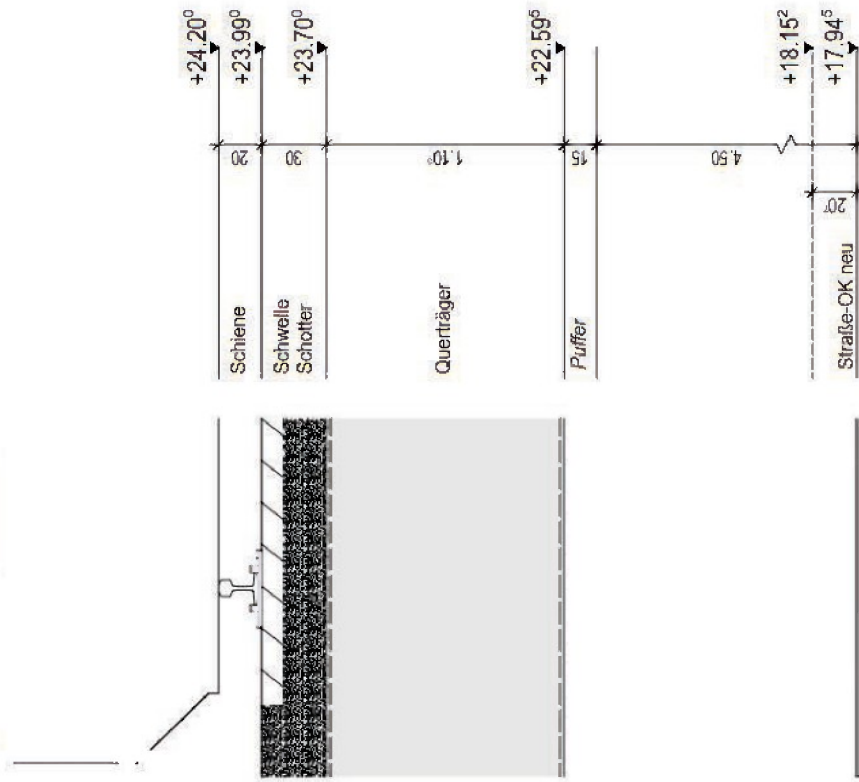
1. Anheben der Schienengradiente:
bislang 20cm (machbar in 16 Tagen)
 bis zu **40cm** konstruktiv möglich bei mehr Sperrzeit
2. Reduktion Schotterhöhe durch Stahlschwellen:
bislang 20cm
3. Reduktion des Puffers für Bewegungen
 (bislang rund **45cm**)
 evtl. Reduktion um **15-30cm** möglich
4. Absenken der Straße:
10cm möglich, evtl. **20cm – 30cm**

Abb. 14: Möglichkeiten zur Erhöhung der Querträgerbauhöhe

Wie aus der Abbildung ersichtlich gibt es vier wesentliche Möglichkeiten zur Optimierung des Oberbaus. Zum einen kann die Schienengradiente um bis zu 40 cm erhöht werden ohne die benachbarten Brücken und Bahnsteige zu tangieren. Der Vorentwurf der DB verwendet eine Erhöhung von 20 cm mit der Begründung, dass größere Anhebungen zu längeren Sperrzeiten führen. Zum anderen kann das Schotterbett durch die Verwendung von Stahlschwellen reduziert werden, was ebenfalls bereits im Entwurf der DB Anwendung findet. Daher kann im Wesentlichen eine Reduktion der notwendigen Bauhöhe nur durch eine Verringerung des Puffers für Bewegungen, Baulöcher, etc. wie auch durch Absenkung der Straße erfolgen.

In Abb. 15 ist eine Beispielrechnung für eine Querträgeroptimierung dargestellt. Betrachtet wird zum einen die Vorzugsvariante der DB Netz AG mit einer Spannweite von 108 m und einer Querträgerhöhe von 0,605 m, zum anderen eine Variante mit einer Querträgerhöhe von 1,105 m und einer Spannweite von 50 m. Beispiele für Spannweitenreduzierungen finden sich in Kapitel 4.4 oder 4.5.

Höhenprofil ohne Mittelabhängung
Spannweite $l=50\text{m}$



Höhenprofil DB
Spannweite $l=108\text{m}$

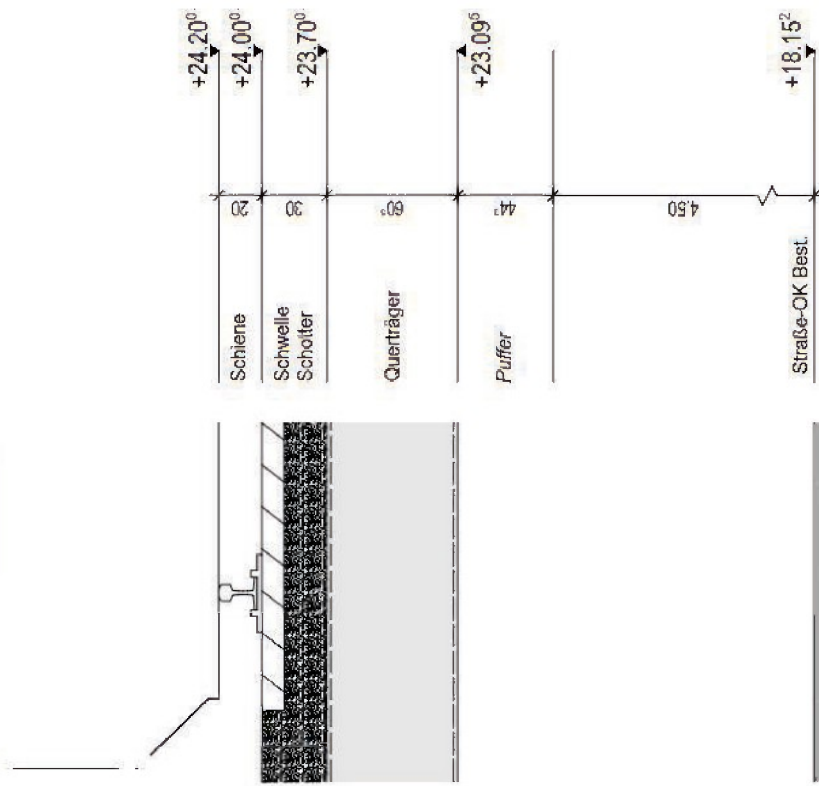


Abb. 15: Beispielrechnung Höhenvergleich im Viertels-Punkt der Brücke (Km 290,5+70,56)

Die Unterschiede der beiden Varianten bestehen zum einen aus der Reduktion des Puffers, welcher notwendig ist um vertikale Verformungen der Brücke auszugleichen, zum anderen in der Absenkung der Straße:

Wird auf der sicheren Seite eine maximal zulässige Verformung von $1/500$ angesetzt, ergeben sich aus der Verformung in Längsrichtung 10 cm ($=50\text{m}/500$) notwendiger Puffer, aus Querrichtung 5 cm ($\approx 20\text{m}/500$). Das notwendige Vorhaltemaß beträgt daher in Summe rund 15 cm. In der Regel werden allerdings die Verdrehungen an den Auflagern maßgebend, sodass die vertikalen Verformungen tatsächlich noch kleiner ausfallen.

Aus der Reduktion des Puffers ergeben sich folglich Einsparungen von rund 30 cm. Die übrigen benötigten 20 cm sind z.B. aus einer Absenkung der Straße zu gewinnen wie in der vorigen Abbildung dargestellt. Gemäß Machbarkeitsstudie, [1] Anlage 03, ist eine maximale Absenkung der Straße von 10 cm möglich. Begründet wird dies durch die anliegenden Hauseingänge. Aus Sicht der Verfasser sollte dennoch in Erwägung gezogen werden eine größere Absenkung in Kauf zu nehmen bzw. eine zusätzliche Erhöhung der Gleisgradienten auszubilden: Durch die Vergrößerung der Querträgerhöhe in der Fahrbahn wird neben dem Verzicht auf eine Mittelabhängung und der damit einhergehenden gestalterischen Verbesserung ebenso eine robustere Konstruktion geschaffen, da die Mittelabhängung großen Wechselbeanspruchungen ausgesetzt ist und im möglichen Anprallbereich der Züge liegt.

Es sei darauf hingewiesen, dass die genannten Werte grobe Richtwerte darstellen und gegebenenfalls Toleranzen aus dem Bauprozess berücksichtigt werden müssen. Präzisere Aussagen sind nur mit weiteren Untersuchungen zu treffen. Auch die Randbereiche der Brücke sind gesondert zu betrachten, da hier sehr wenig Puffer für Bewegungen vorliegt. Hier sind die Querträger momentan schon 1,05 m hoch, so dass hier von einer geringeren Erhöhung der Bauhöhe ausgegangen werden kann und die Absenkung der Straße um 20 cm ausreichen sollte.

Als mögliche weitere Optimierung hinsichtlich Oberbaus/ Überbaus sei z.B. auch auf die „Silent Bridge“ Technologie verwiesen, welche die Schienen in die Querträger integriert und auf Schotter und Schwelle verzichtet. Die tatsächliche Umsetzbarkeit ist allerdings zu prüfen.

4.4 Zusätzliche Stützen in der Kreuzung

Abweichend von der Vorzugsvariante der DB ist es grundsätzlich nicht auszuschließen bei entsprechender Ausarbeitung der Straßenkreuzung Stützen im Kreuzungsbereich anzuordnen, welche den straßenverkehrstechnischen Anforderungen genügen.

Nachfolgend seien beispielhaft einige Varianten skizziert und Vor- und Nachteile benannt. Die Varianten wurden mit dem Stadt- und Verkehrsplanungsbüro *ARGUS Stadt und Verkehr, Hamburg* entworfen. Für die genaue Darstellung bzw. die verkehrstechnische Erörterung der Varianten sei auf den Anhang B verwiesen.

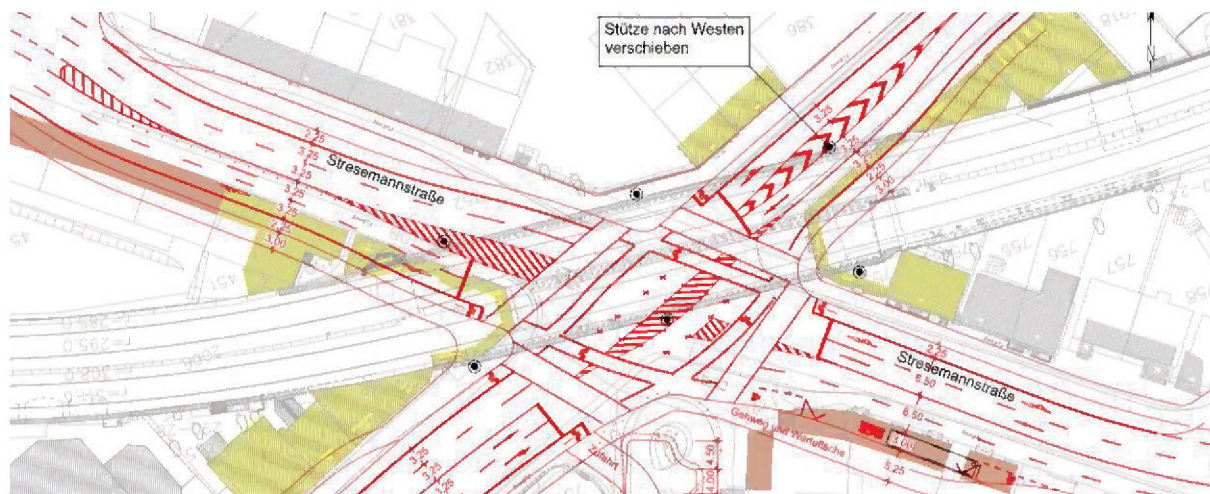
Variante 1 – Sechs Stützen


Abb. 16: Variante 1: Stützenanordnung, Quelle: ARGUS

Die Variante 1 beschreibt eine vierfeldrige Brücke, welche Spannweiten zwischen 20 m bis 40 m besitzt. In den jeweiligen Längsachsen werden pro Seite 3 Stützen angeordnet (Abb. 16). Als Brückentyp könnte beispielhaft eine Art Zügelgurtbrücke Anwendung finden, vgl. nachfolgende Skizze.



Abb. 17: Skizze vierfeldrige Brücke

Möglich wären ebenso typische Balkenbrücken. Bedingt durch die reduzierte Spannweite eröffnen sich dem Entwerfenden verschiedenste Möglichkeiten.

Durch die geringen Spannweiten ergeben sich niedrigste Bauhöhen und durch die Vielzahl möglicher Tragwerke ergibt sich ein großes gestalterisches Potential.

Wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt, ergeben sich allerdings wesentliche Konfliktpunkte: Zum einen resultieren durch die Nähe der Stützen zu den Bestandswiderlagern sehr komplexe Bauzwischenzustände deren Umsetzbarkeit noch zu prüfen ist und ein hohes Planungsrisiko bildet. Zum anderen kollidiert die Stützenstellung mit den in den Straßen vorhandenen Sielleitungen/ Entwässerungsleitungen, wodurch umfangreiche Arbeiten im Straßenraum notwendig sind.

Weiterhin sind, bedingt durch die Kreuzungsausbildung, zusätzliche Bestandshäuser betroffen (vgl. auch Anhang B.1) und durch die Anordnung der Stütze in Kreuzungsmitte muss das Straßenkreuzungsprofil direkt umgesetzt werden, was die Flexibilität dieser Variante erheblich reduziert. Es ergeben sich lange Sperrzeiten der Kreuzung und durch die komplexe Linienführung wird der Fahrkomfort möglicherweise eingeschränkt.

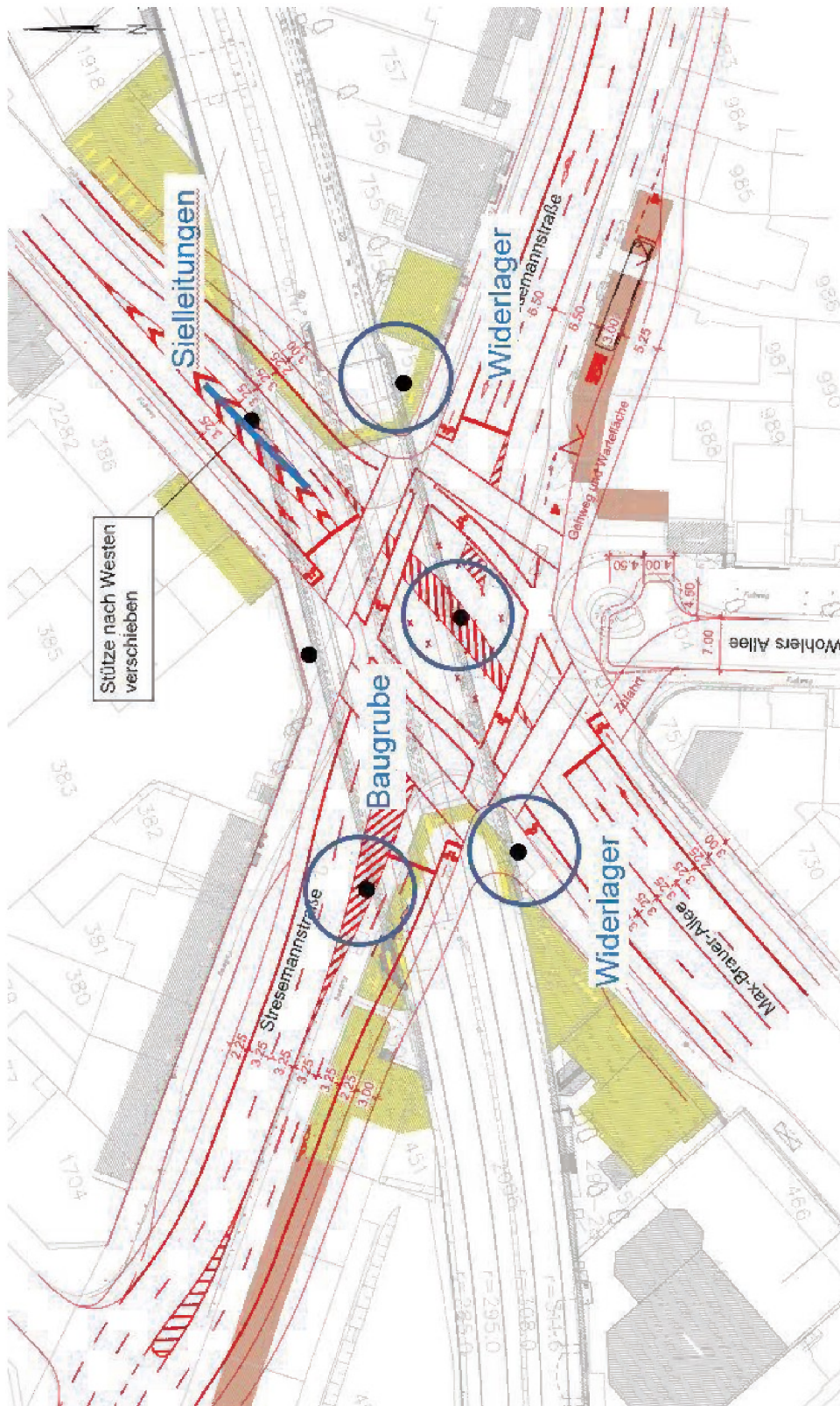


Abb. 18: Variante 1 - Konflikte

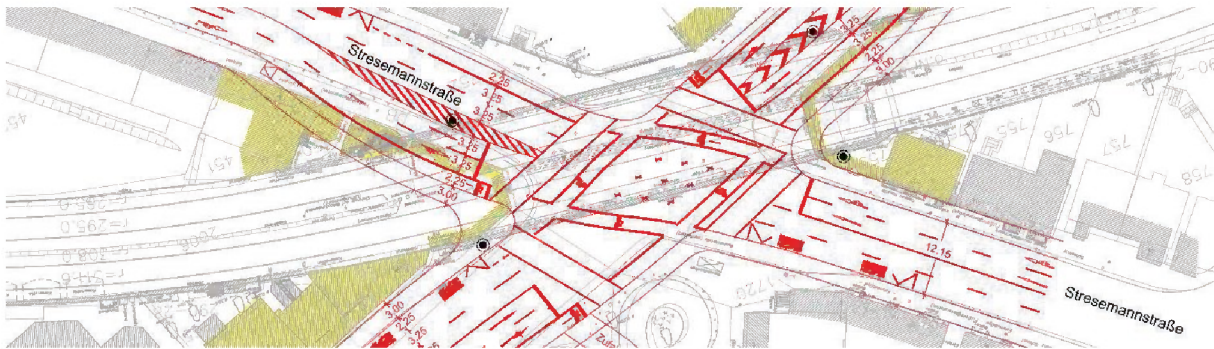
Variante 2 - Vier Stützen


Abb. 19: Variante 2 - Anordnung von 4 Stützen, Quelle: ARGUS

Die Variante 2 beschreibt eine dreifeldrige Brücke mit einer mittleren Spannweite von rund 50 m bis 60 m und entsprechenden Seitenfeldern zwischen 20 m und 30 m. In den jeweiligen Längsachsen werden pro Seite 2 Stützen angeordnet (Abb. 19). Als Brückentyp kommt z.B. eine wellenförmige Balkenbrücke in Trogbauweise in Frage:



Abb. 20: Skizze dreifeldrige wellenförmige Trogbrücke

Die relativ geringen Spannweiten führen zu niedrigen Bauhöhen, welche gestalterisch ansprechende Tragwerksvarianten ermöglichen, insbesondere in Kombination mit optimierten Querträgern (vgl. Kapitel 4.3).

Zwar verbessert sich der Konflikt mit den Bestandshäusern und der Fahrkomfort, allerdings kollidieren wie auch bei Variante 1 die Stützen mit den Bestandswiderlagern und Sielleitungen (Abb. 21). Ebenso ergeben sich durch das vorgeschriebene Spannweitenverhältnis zwischen Seitenfeld und Mittelfeld abhebende Kräfte in den Widerlagerachsen, welche zu komplexen Auflagerkonstruktionen führen.

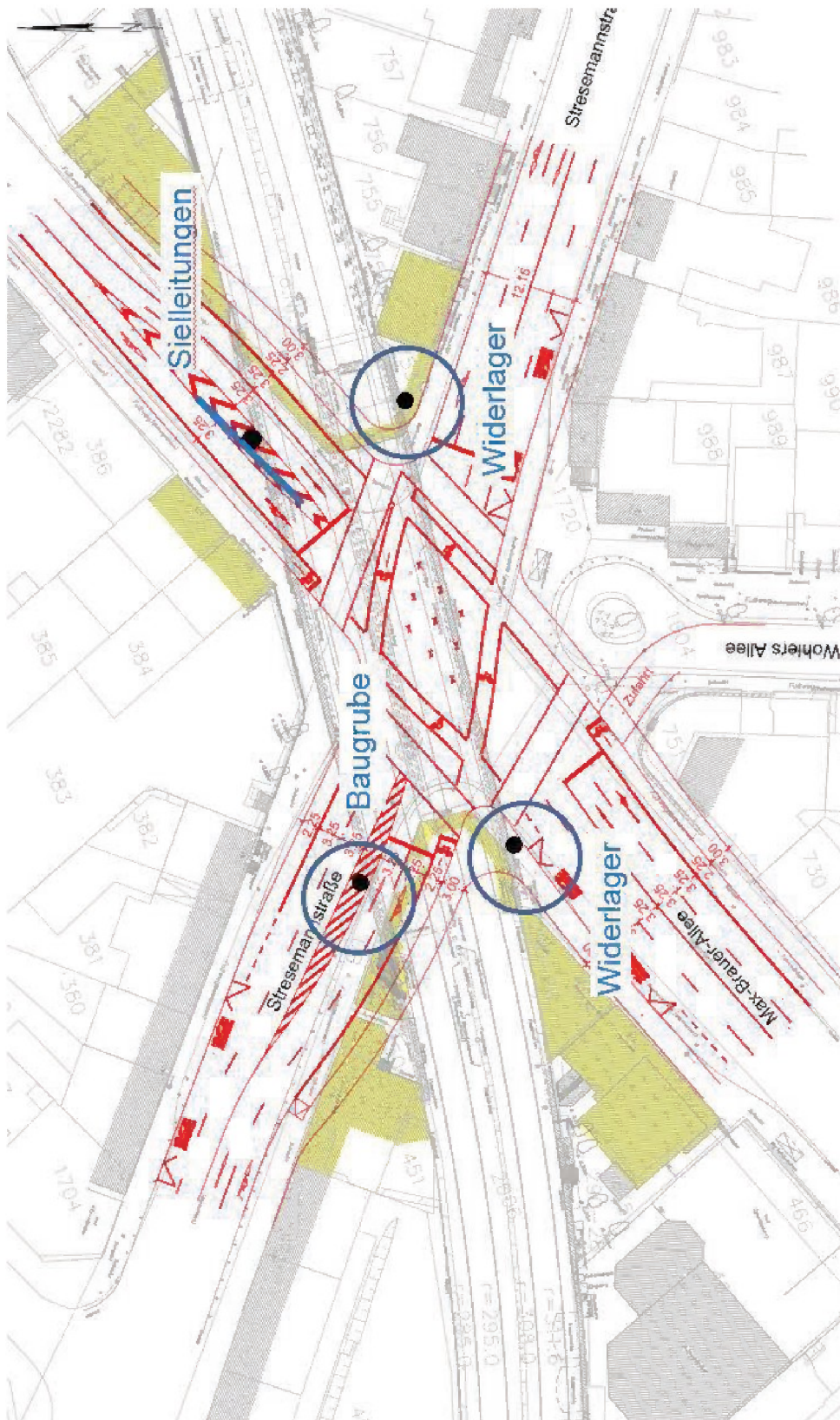


Abb. 21: Variante 2 - Konflikte

Variante 3 - Drei Stützen

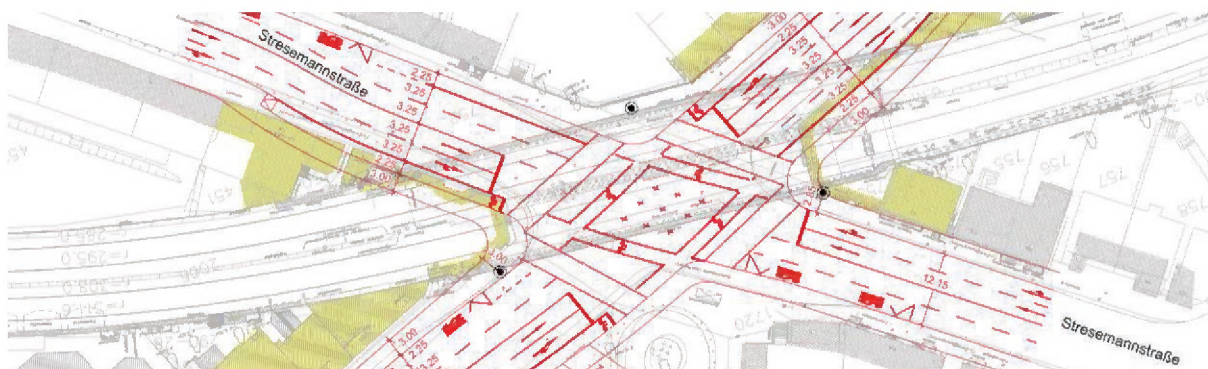


Abb. 22: Variante 3 - Anordnung von 3 Stützen, Quelle: ARGUS

Die Variante 3 stellt ein Mischsystem zwischen Zwei- und Dreifeldträger dar: Auf der Nordseite besitzt diese Variante nur eine Stützung und daher eine Spannweite von etwas mehr als 50 m, auf der Südseite Spannweiten entsprechend Variante 2. Als Brückentyp kommt z.B. ein beidseitig angeordneter Fachwerkträger in Frage:



Abb. 23: Skizze Fachwerkbrücke

Die reduzierten Spannweiten führen zu moderaten Bauhöhen und die Anordnung nur einer Stütze auf der Nordseite hebt den Konflikt mit den Sielleitungen im Straßenbereich auf.

Allerdings ist weiterhin ein möglicher Konflikt mit den Bestandswiderlagern vorhanden (vgl. Abb. 24). Ebenso wie in Variante 2 können zum Teil abhebende Kräfte in den Widerlagerachsen entstehen und durch die spezielle Stützenanordnung entstehen evtl. größere Verwindungen im Brückendeck. Die notwendige Anordnung der Stützen im Gehwegbereich führt zu gewissen Einschränkungen für Radfahrer und Fußgänger und zur Notwendigkeit anprallsichere Stützen auszuführen.

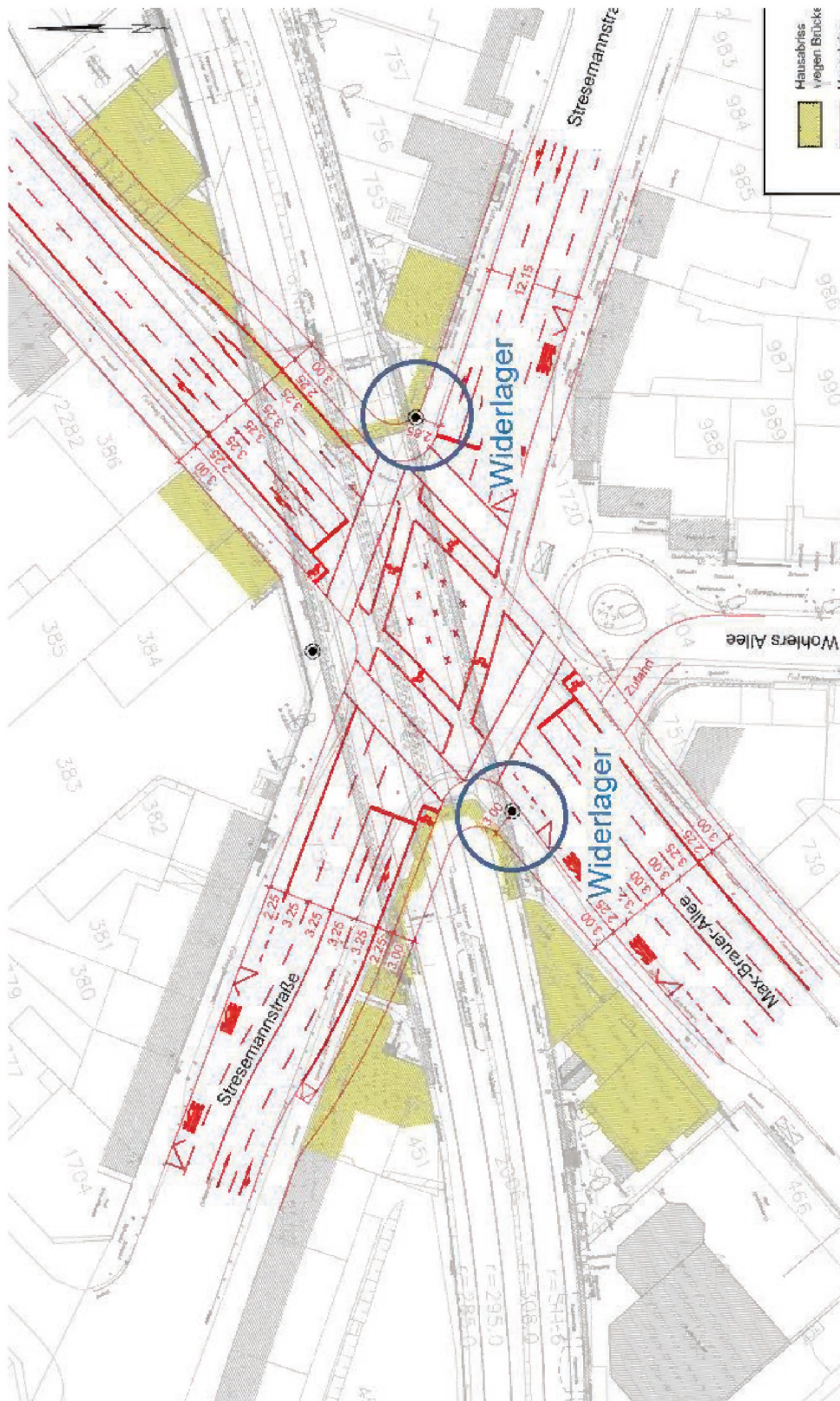


Abb. 24: Variante 3 - Konflikte

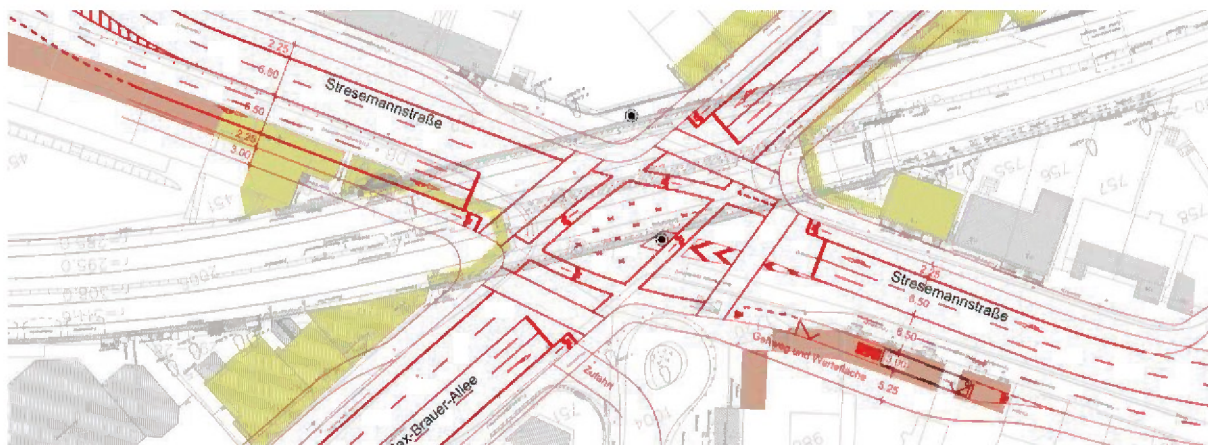
Variante 4 - Zwei Stützen


Abb. 25: Variante 4 - Anordnung von 2 Stützen, Quelle: ARGUS

Die Variante 4 beschreibt einen Zweifeldträger mit beidseitigen Spannweiten von rund 50 m. Wie auch bei Variante 3 kann z.B. ein Fachwerkträger als Tragwerks-system Anwendung finden:



Abb. 26: Skizze Fachwerkbrücke

Die reduzierte Spannweite führt zu moderaten Bauhöhen und die Verwendung von 2 Stützen im Mittelbereich zu keinen Konflikten mit den Bestandswiderlagern oder Sielleitungen.

Allerdings bedingt die Anordnung der Südstütze im Kreuzungsbereich die Notwendigkeit das Kreuzungsprofil sofort umzusetzen. Ebenso müssen wie auch in Variante 1 zur straßenverkehrlichen Kompensation der Mittelstützung zusätzliche Bestandshäuser abgerissen werden (vgl. auch Anhang B.4).

4.5 Kreuzung stützenfrei

Wie aus dem vorigen Kapitel ersichtlich birgt die Anordnung von Stützen im Kreuzungsbereich teils erhebliche Nachteile, welche nur bedingt kompensiert werden können. Gegenüber den Varianten 1 bis 3 besitzt Variante 4 hierbei noch die geringsten Konflikte und lediglich eine Stütze ist im Straßenbereich anzuordnen. Aus dieser Variante hervorgehend ist es naheliegend die Stützen in der Achse nach außen zu versetzen:

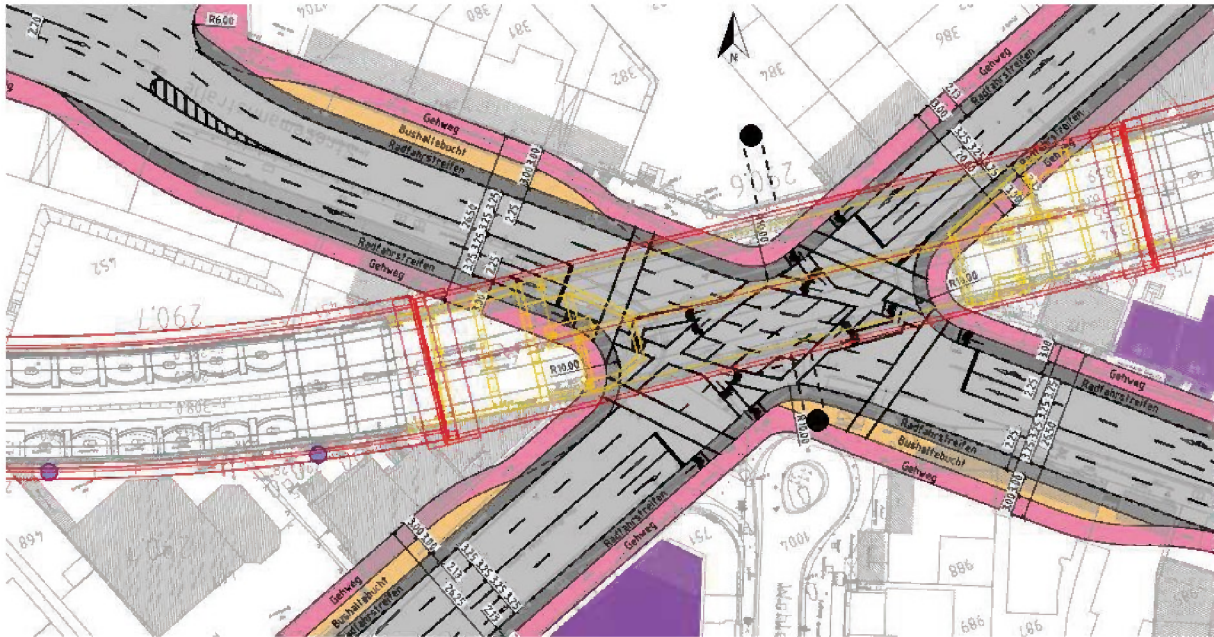


Abb. 27: Stützenanordnung zum Erhalt einer stützenfreien Kreuzung

Hierdurch halbiert sich ebenso wie in Variante 4 die Spannweite, mit dem Vorteil, dass sämtliche Randbedingungen gemäß Kap. 3.1 eingehalten werden können. Möglicherweise muss die Bauzeit geringfügig für den Einbau der Diagonalstützung verlängert werden. Die Straßenkreuzung benötigt keine wesentlichen Änderungen und kann gemäß Planungsverlangen der FHH ausgeführt werden (s. auch Anhang B.5)

Aus der geraden Stütze entsteht eine diagonale Abstützung, welche oberhalb des Lichtraumprofils der Bahn angreift (vgl.

Abb. 28 Bild 1 und 2). Die diagonalen Stützungen erzeugen Zugkräfte, welche durch ein Zugband in der Straße kurzgeschlossen werden müssen. Um dies zu vermeiden, wird das Zugband in Fahrbahnhöhe angeordnet und die Stützung senkrecht ausgeführt,

Abb. 28 Bild 3. Die vertikale Stütze kann dabei z.B. auch als robuste Betonstütze ausgeführt werden und die Stahlkonstruktion mittels Kalottenlager aufgelagert werden. Durch die Halbierung der Spannweite ist eine Reduzierung der Bauhöhe auf rund 10 m möglich. Aufgrund der Querträgerabhängung und der gegebenen Spannweite wird z.B. ein Fachwerkträger als Tragwerkssystem vorgeschlagen. Skizzenhaft ist eine mögliche Ausführung in Abb. 29 dargestellt. Um eine weitere Reduzierung der Spannweite und geringere Dimensionen für die Diagonalen zu erhalten, wird die schräge Stützung aufgegabelt. Das resultierende Stützwerk kann dann auf einer Betonstütze aufgeständert werden. Eine entsprechende Visualisierung findet sich im Anhang A.4. Es sei darauf hinzuweisen, dass nur die Entwurfsidee vermittelt werden soll und keine Ausgestaltung vorgenommen wurde.

Sternbrücke Hamburg Altona

Beispielhaft sind weitere Visualisierungen A.5 und A.6 beigefügt, welche das gestalterische Potential verdeutlichen sollen.

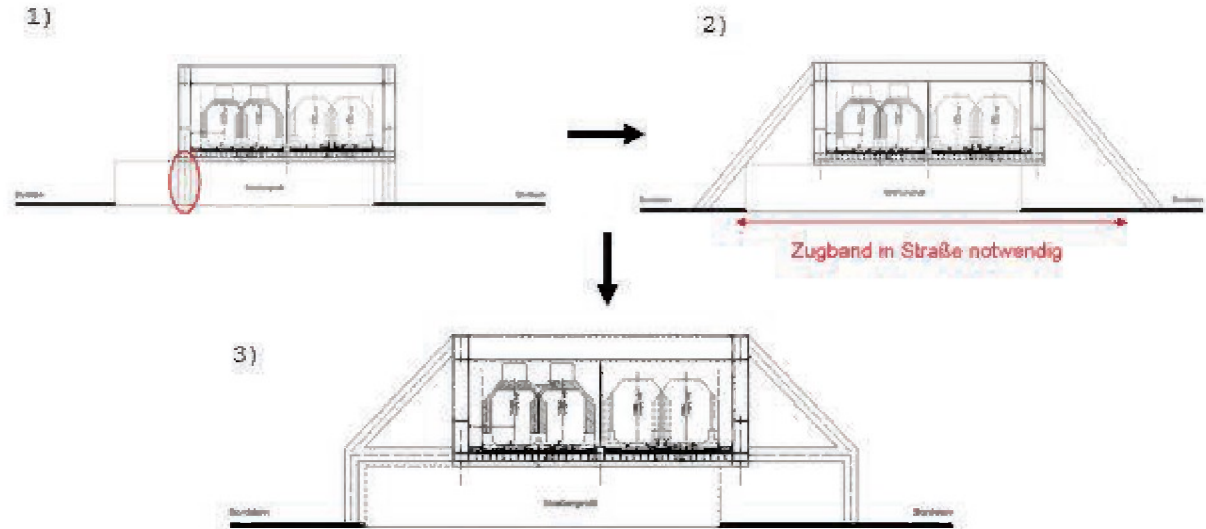


Abb. 28: Entwicklung versetzte Mittelabstützung

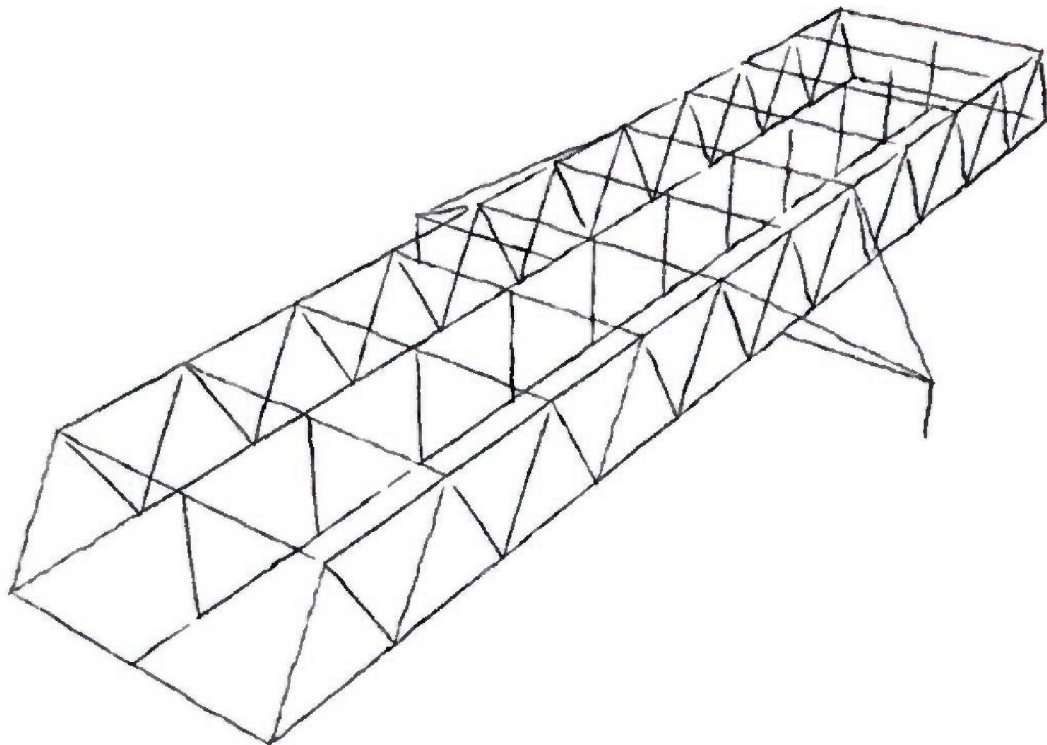


Abb. 29: Skizze Tragwerksvariante *Kreuzung stützenfrei* mit diagonaler Abstützung in Brückenmitte

Der Bauablauf kann entsprechend [1] Erläuterungsbericht Kap. 10 erfolgen. Durch die vorhandene Diagonalstützung ist allerdings gegenüber der Vorzugsvariante der DB als weiterer Arbeitsschritt das Verbinden des Fachwerkträgers mit den zwei „Auslegern“ – die zwei diagonalen Druckstützen und das horizontale Zugband – notwendig:

Zuerst erfolgt wie auch für die Vorzugsvariante der DB der Transport des Stahlüberbaus vom Vormontageplatz mittels SMPT auf der Max-Brauer-Allee hin zum Einbauort. Die vertikalen Betonstützen sind bereits errichtet und müssen so angeordnet werden, dass sie nicht in Konflikt zum Transportweg stehen:

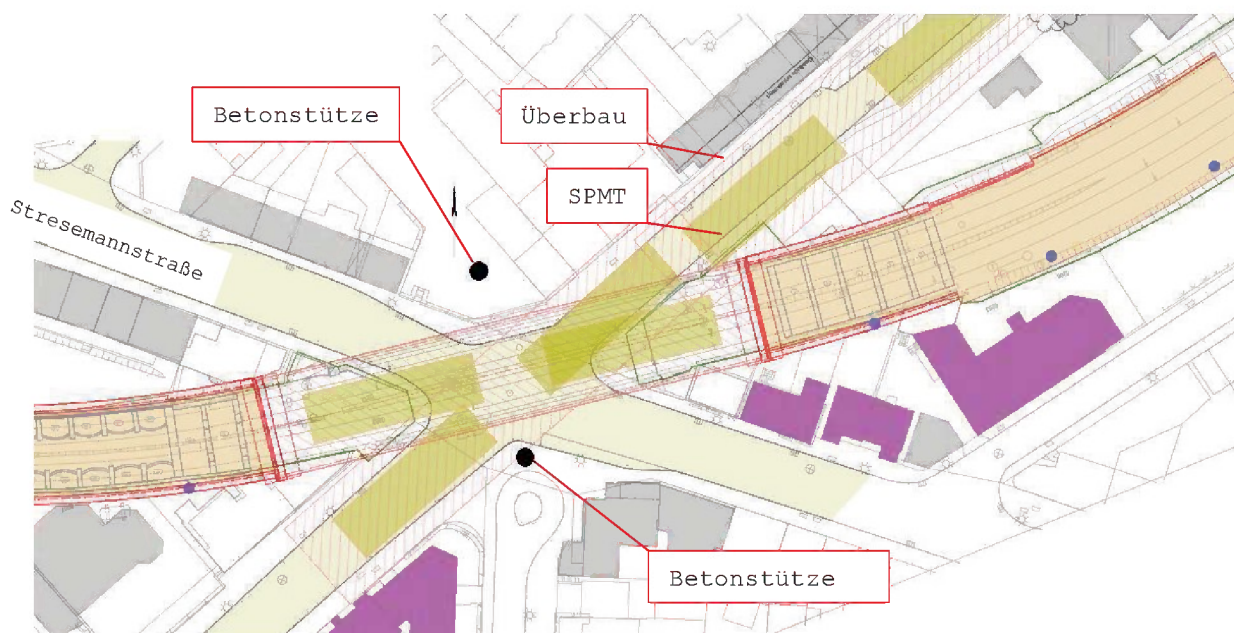


Abb. 30: Transport des Überbaus über die Max-Brauer-Allee zum Einbauort, Grundlage: [1] Anlage 9.1: VP_Ib_A09_TPW_008 Lageplan mit Transportweg

Die zwei „Ausleger“ werden als zwei Teile vorgefertigt, vgl. Abb. 31, und ebenfalls zum Einbauort transportiert.

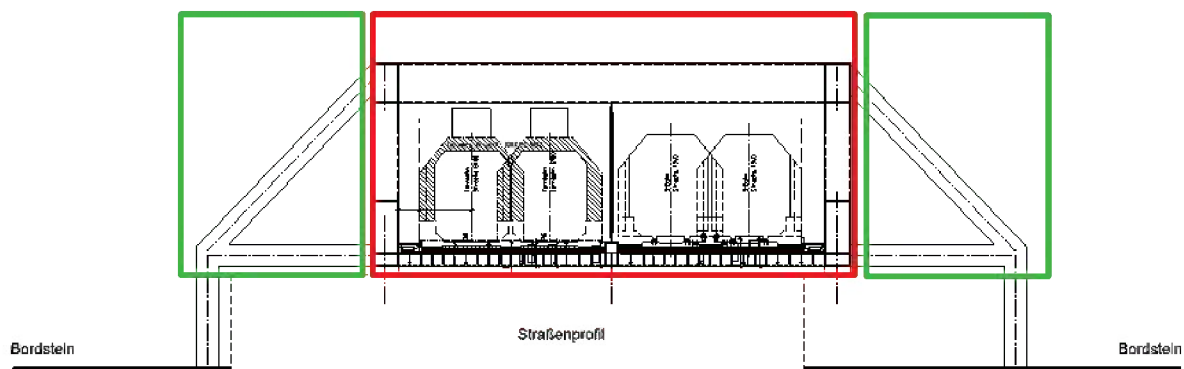


Abb. 31: Segmente Montage Stahlbau Variante Kreuzung stützenfrei: Rot – Stahlüberbau, Grün – „Ausleger“

Ist der Antransport erfolgt, wird die Stahlkonstruktion angehoben und auf die Widerlagerbänke abgesetzt. Es folgt das Anschweißen der Ausleger an den Anschlusspunkten zum Überbau, vgl. Abb. 32.

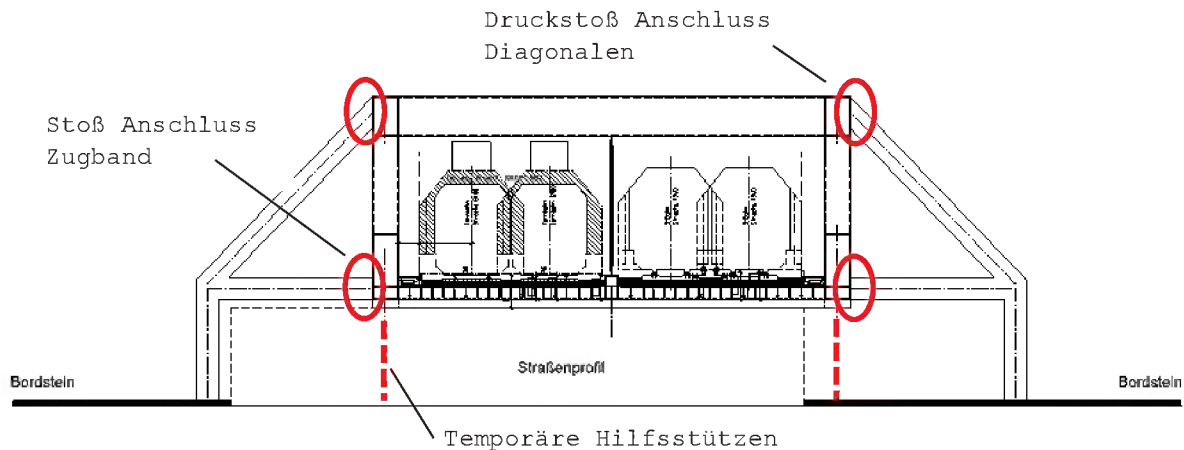


Abb. 32: Anschlusspunkte Ausleger zu Überbau

Der zusätzlich benötigte Zeitaufwand für den Einbau und das Anschweißen der Ausleger kann mit voller Prüfung des Zugstoßes und zusätzlicher unabhängiger Prüfung der Schweißnähte auf rund 2-3 Tage abgeschätzt werden. Um einen parallelen Einbau des Oberbaus zu gewährleisten ist es daher sinnvoll nach Einheben und Ausrichten des Überbaus die Ausleger temporär zu stützen. Nach Fertigstellen der Schweißarbeiten kann der weitere Ausbau dann entsprechend der Vorplanung der DB Netz AG erfolgen (vgl. [1] Erläuterungsbericht Kap. 10).

5 Zusammenfassung

In den vorangehenden Kapiteln wurden verschiedene Tragwerksalternativen dargestellt. In der nachfolgenden Abbildung sind die Vor- und Nachteile der Optimierungsvarianten noch einmal zusammengefasst:



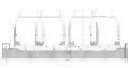

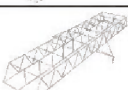
Option		Vorteile	Nachteile
A – Bogen optimieren		<ul style="list-style-type: none"> - Reduktion der stat. Bauhöhe auf bis zu 15m - Keine Änderung der Randbedingungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe gestalterische Verbesserung - Z.T. UiG und ZIE notwendig
B – Querverzug der Gleise		<ul style="list-style-type: none"> - Reduktion der stat. Bauhöhe auf ca. 12m - Robustere Konstruktion - Nachhaltigere Konstruktion 	<ul style="list-style-type: none"> - Vollsperrung aller Gleise - Pendelverkehr S-Bahn - Hilfsbrücke
C – Querträger optimieren		<ul style="list-style-type: none"> - Robustere Konstruktion - Keine Mittelaufhängung - Kombinierbar mit A,D und E 	<ul style="list-style-type: none"> - Absenkung der Straße - Anhebung der Gradienten
D – Zusätzliche Stützen in Kreuzung		<ul style="list-style-type: none"> - Sehr Geringe Bauhöhen - Geringe Spannweiten - Gestalterisch ansprechend 	<ul style="list-style-type: none"> - Kreuzung sofort umsetzen - Bestandshäuser betroffen - Lange Sperrzeiten Straße
E – Kreuzung stützenfrei		<ul style="list-style-type: none"> - Reduktion der stat. Bauhöhe auf ca. 10m - Halbierte Spannweite - Keine Änderung der Randbedingungen 	

Abb. 33: Vor- und Nachteile der verschiedenen Optimierungsvarianten

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die Optimierung des vorhandenen Bogens (Option A) nur geringe Nachteile besitzt, für die dargestellte stützenfreie Variante (Option E) sich sogar keine wesentlichen Nachteile ergeben. Aus diesem Grund wurden mit Absprache des Amts für Landesplanung und Stadtentwicklung der Stadt Hamburg Visualisierungen für die Option A – *gekippte Bögen* und *Netzwerkbogen* – und die Option E angefertigt. Die Option D mit 3 Stützen würde ein ähnliches Bild wie Option E, jedoch ohne die schrägen Ausleger, ergeben. Hierbei sind allerdings die statischen und konstruktiven Belange wie abhebende Auflagerkräfte, Deckverwindung und Nähe zum Bestandsunterlager weiter zu vertiefen.

Die Visualisierungen können dem Anhang A entnommen werden.

Anhang

A - Visualisierungen

B - Kreuzungsausbildung bei zusätzlicher Anordnung von Stützen, Autor: ARGUS

A – Visualisierungen

- A.1 Visualisierung Brücke Vorzugsvariante DB Netz AG
- A.2 Visualisierung Brücke *gekippte Bögen*
- A.3 Visualisierung Brücke *Netzwerkbogen*
- A.4 Visualisierung Brücke *Kreuzung stützenfrei*
- A.5 Visualisierung Brücke *Kreuzung stützenfrei*, beispielhaft mit Varianz der Diagonalstützung
- A.6 Visualisierung Brücke *Kreuzung stützenfrei*, beispielhaft mit Varianz der Diagonalstützung in Kombination mit optimierten Querträgern (Verzicht Mittelabhängung)

Sternbrücke Hamburg Altona

A.1 - Visualisierung Brücke Vorzugsvariante DB Netz AG



Sternbrücke Hamburg Altona

A.2 - Visualisierung Brücke gekippte Bögen



Sternbrücke Hamburg Altona

A.3 - Visualisierung Brücke Netzwerkbogen



A.4 - Visualisierung Brücke Kreuzung stützenfrei



A.5 - Visualisierung Brücke Kreuzung stützenfrei, beispielhaft mit Varianz der Diagonalstützung



Sternbrücke Hamburg Altona

A.6 - Visualisierung Brücke Kreuzung stützenfrei, beispielhaft mit Varianz der Diagonalstützung in Kombination mit optimierten Querträgern (Verzicht Mittelabhängung)



B – Kreuzungsausbildung bei zusätzlicher Anordnung von Stützen, Autor: ARGUS

B.1 Variante 1: Anordnung von 6 Stützen, Quelle: ARGUS

B.2 Variante 2a und 2b: Vier Stützen, Quelle: ARGUS

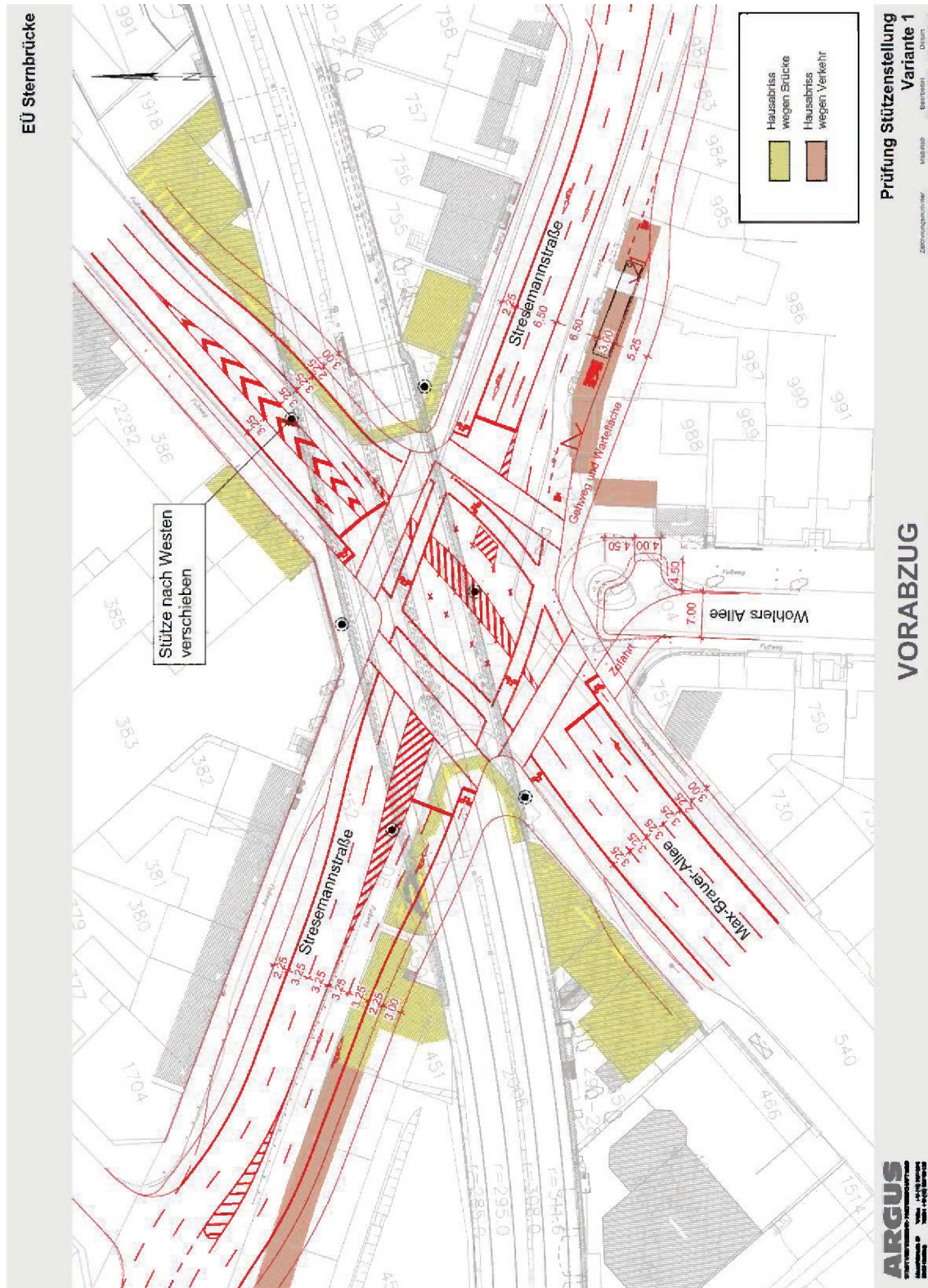
B.3 Variante 3a und 3b: Drei Stützen, Quelle ARGUS

B.4 Variante 4: Zwei Stützen, Quelle ARGUS

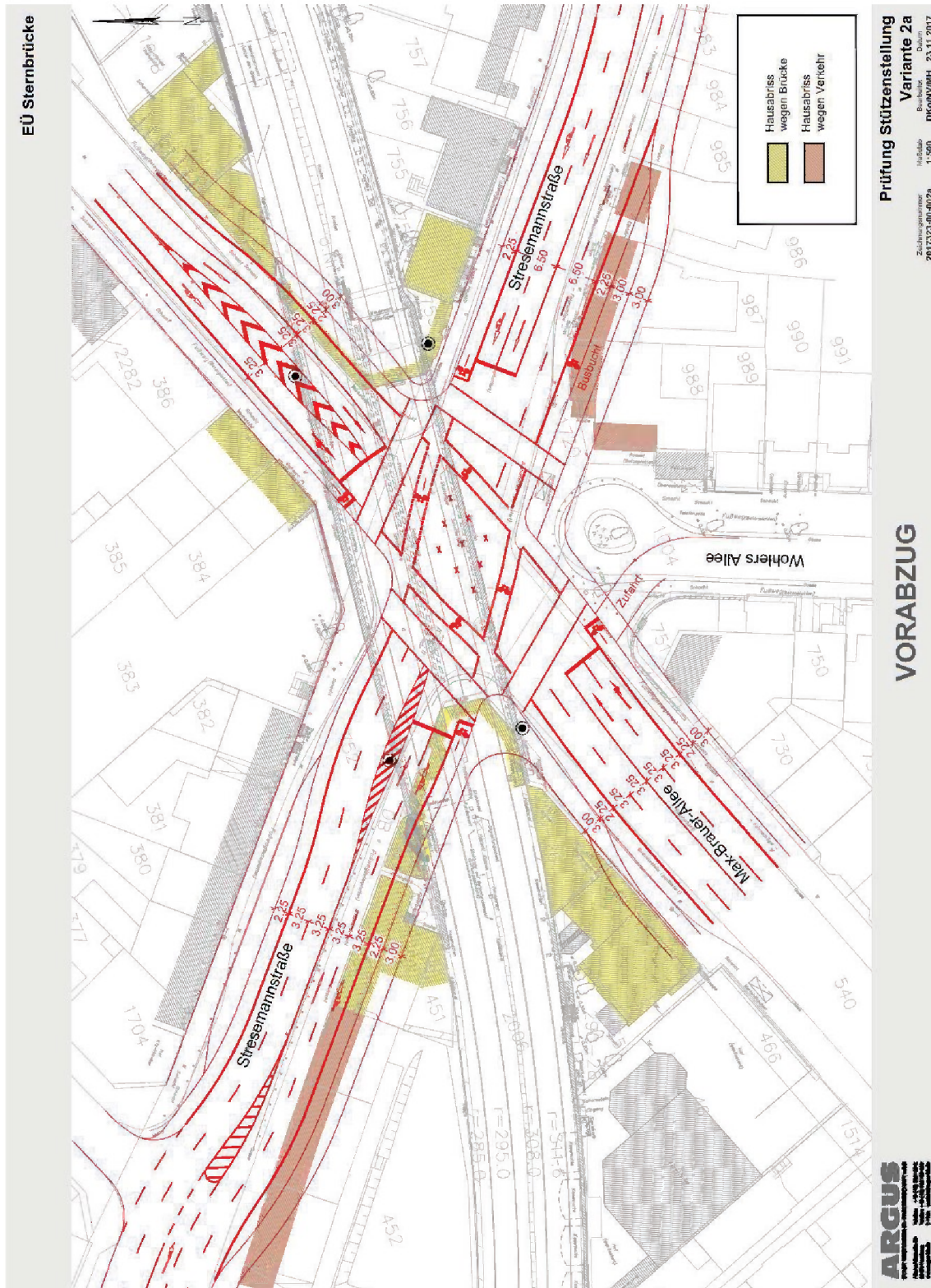
B.5 Stützenfreie Kreuzung, Quelle ARGUS

Sternbrücke Hamburg Altona

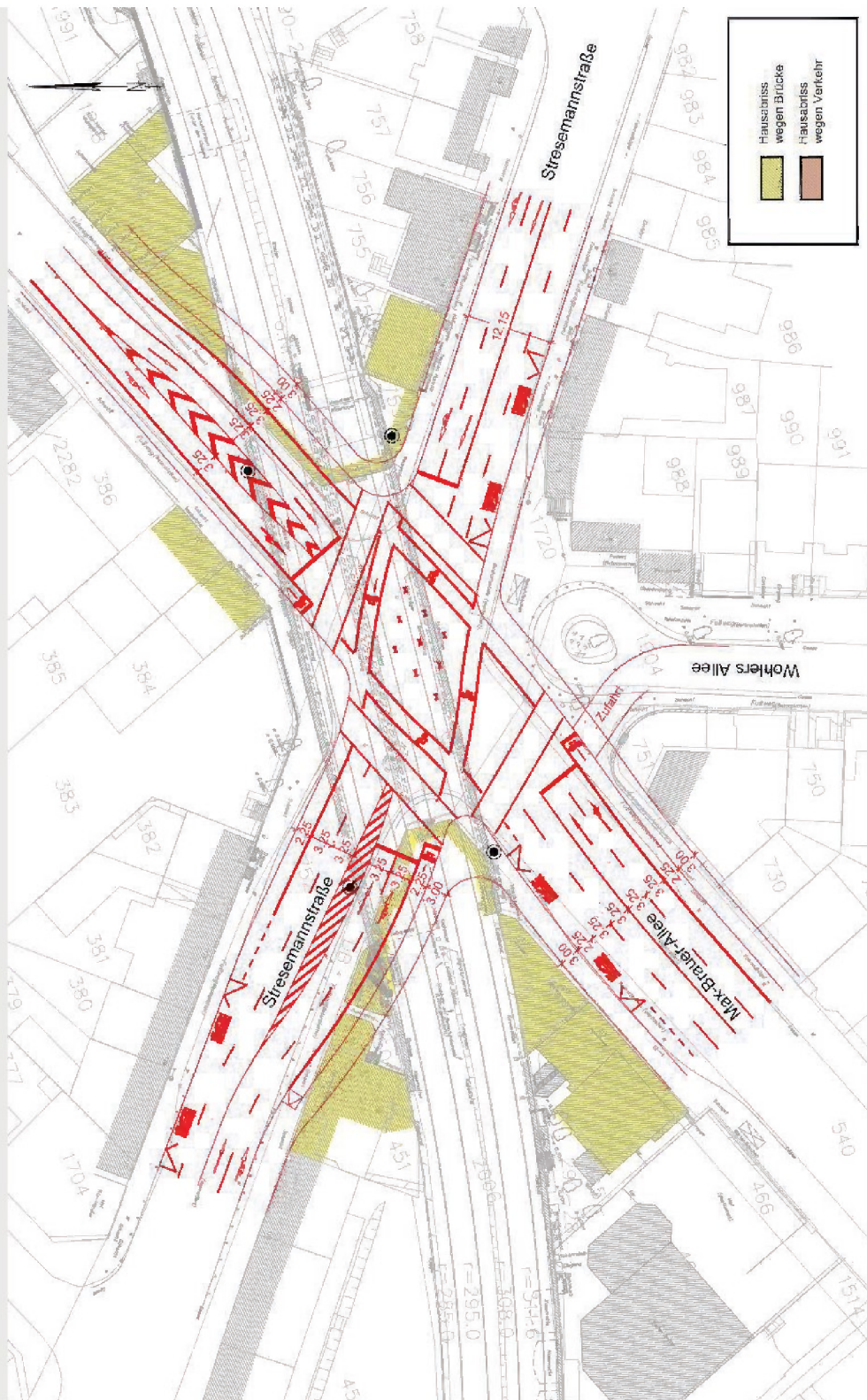
B.1 - Variante 1: Anordnung von 6 Stützen, Quelle: ARGUS



B.2 - Variante 2a und 2b: Vier Stützen, Quelle: ARGUS



EÜ Sternbrücke

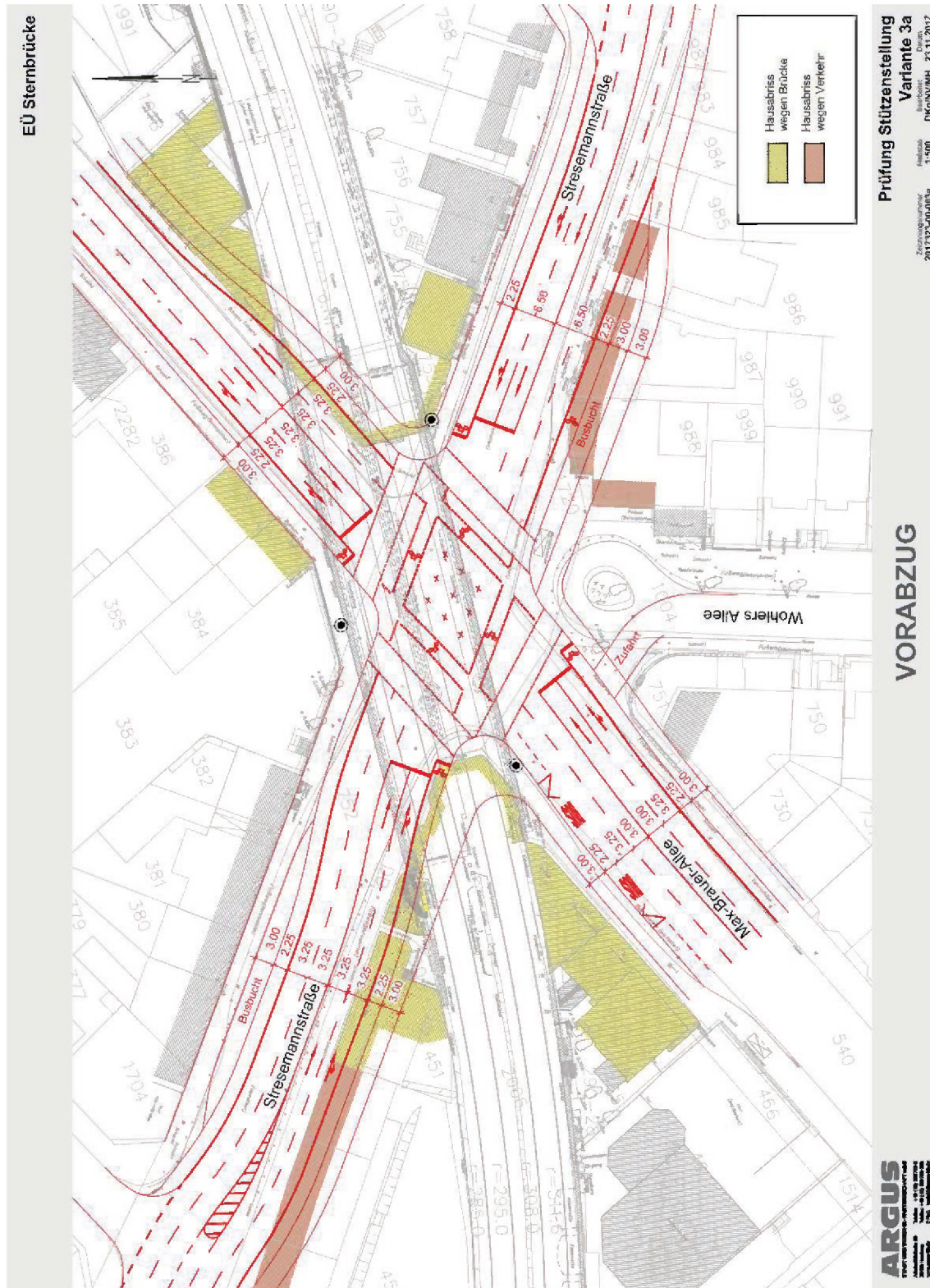


Prüfung Stützstellung
Variante 2b
Bauherr: DLRG
Bearbeiter: DLRG
Datum: 23.11.2017
Zeichnungsnummer: 2017323-00-002b
Maststab: 1:500
DKONV/MI

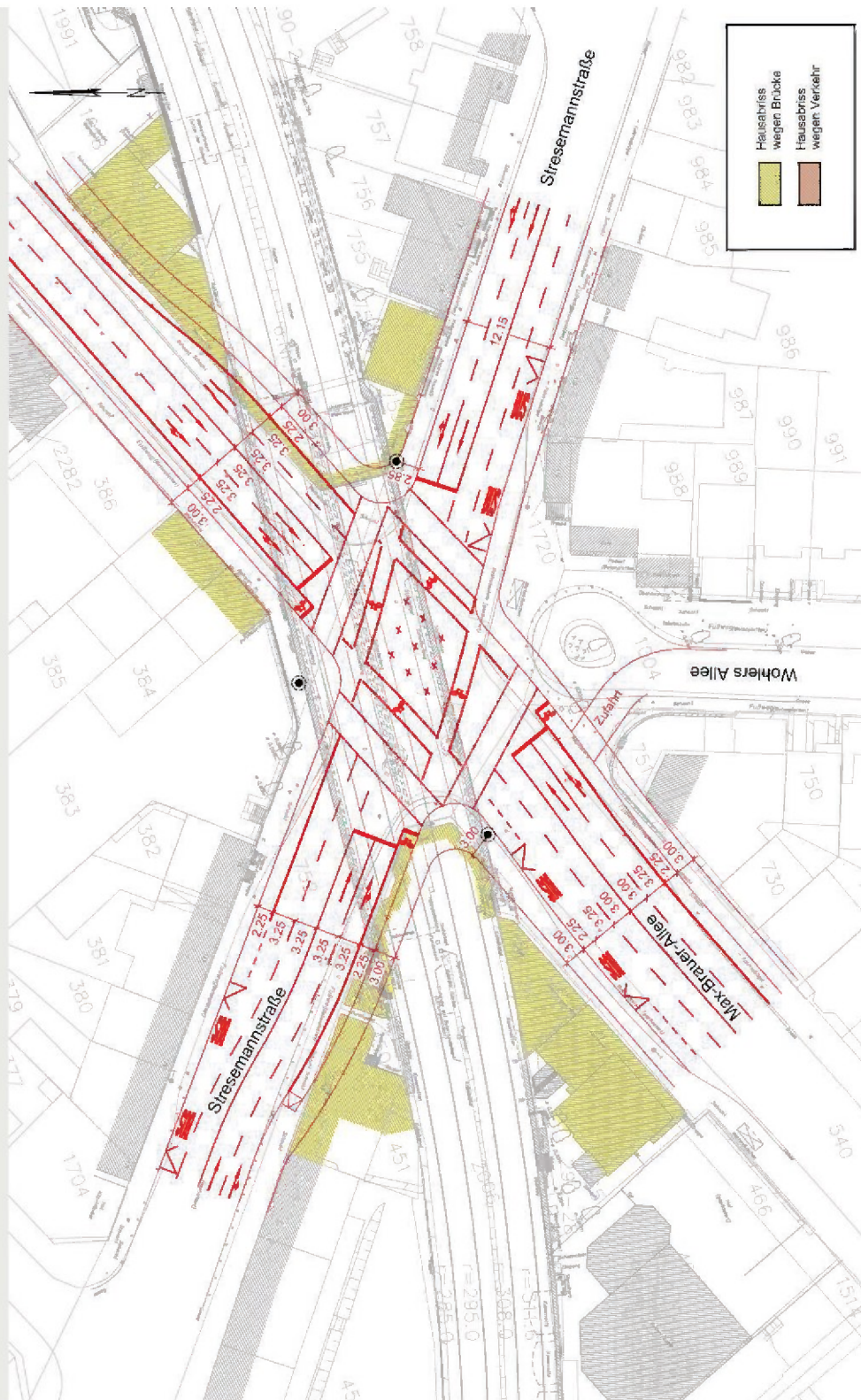
VORABZUG



B.3 - Variante 3a und 3b: Drei Stützen, Quelle: ARGUS



EÜ Sternbrücke

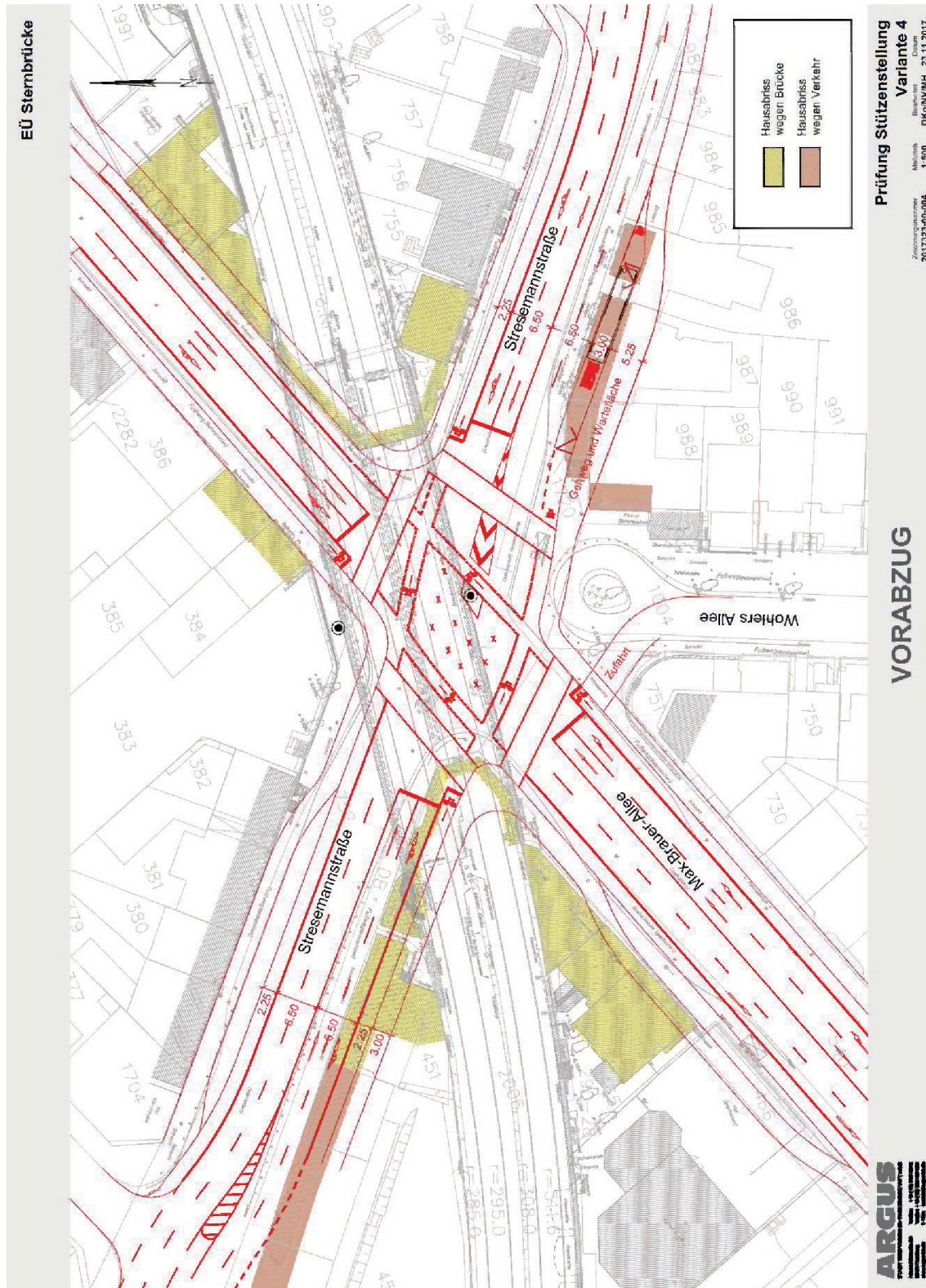


Prüfung Stützenstellung
Variante 3b

VORABZUG

ARGUS
Technische Zeichnung
Projekt: Sternbrücke Hamburg Altona
Blatt: 47 von 47
Datum: 30.11.2017

B.4 - Variante 4: Zwei Stützen



B.5 – Stützenfreie Kreuzung

