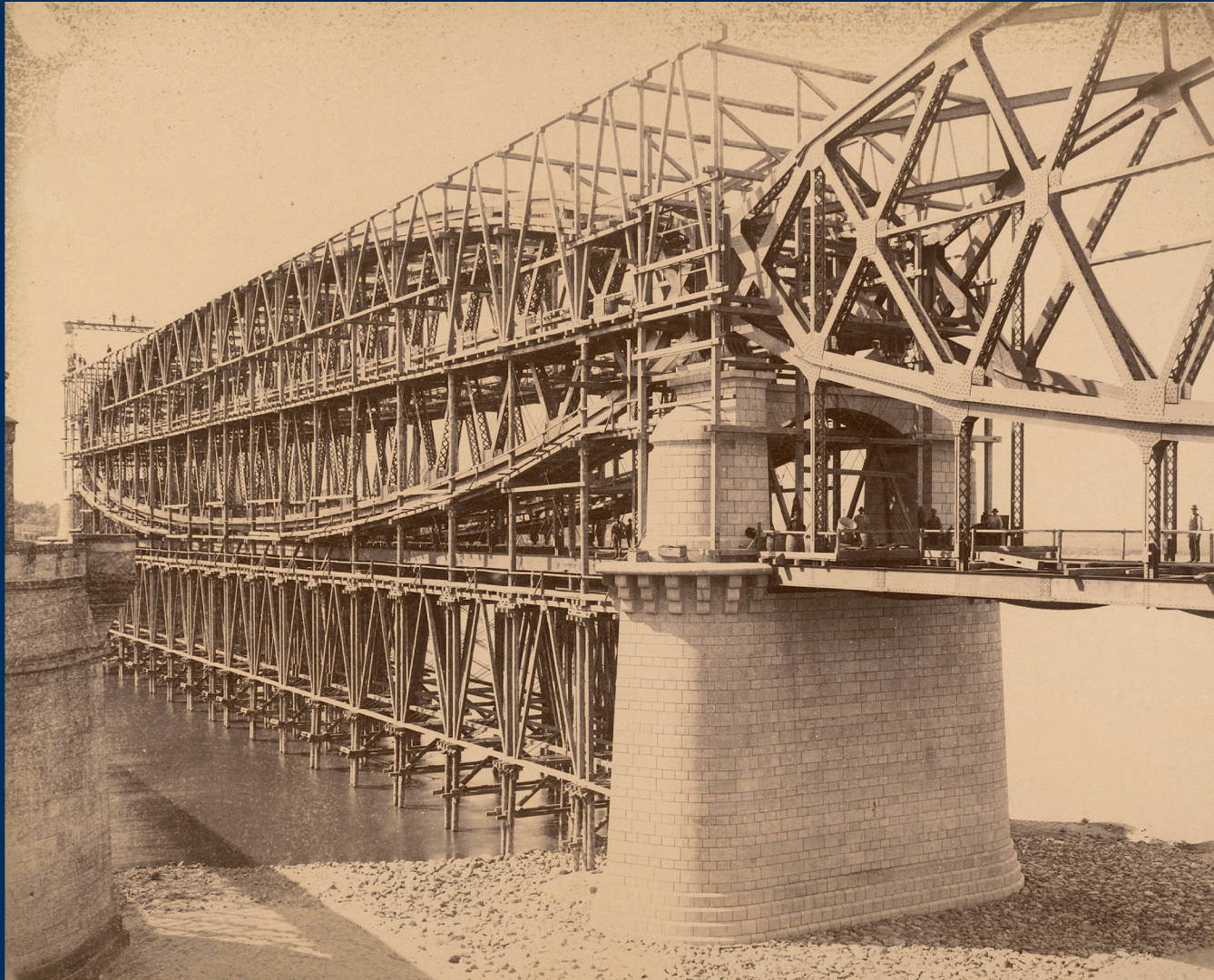




**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN Institut für Massivbau www.dbbs.tu-dresden.de



27. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

**PLANUNG, BAUAUSFÜHRUNG, INSTANDSETZUNG
UND ERTÜCHTIGUNG VON BRÜCKEN**

13./14. MÄRZ 2017

© 2017 Technische Universität Dresden

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen.

Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer, Angela Heller

Layout: Ulrich van Stipriaan

Anzeigen: Harald Michler

Titelbild: Neue Weichselbrücke, Dirschau – Ansicht vor Fertigstellung 1891
Foto: Ferdinand Schwarz, Architekturmuseum der TU Berlin, Inv. Nr. BZ-F 14,025

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-510-0



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>

Tagungsband

27. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau
Freunde des Bauingenieurwesens e.V.
TUDIAS GmbH

13. und 14. März 2017

Inhalt

Herzlich willkommen zum 27. Dresdner Brückenbausymposium	9
<i>Prof. Dr.-Ing. habil. DEng/Auckland Hans Müller-Steinhagen</i>	
Verleihung der Wackerbarth-Medaille	11
<i>Prof. Dr.-Ing. Hubertus Milke</i>	
Laudatio	12
<i>Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	
Zu aktuellen Entwicklungen im Stahl- und Stahlverbundbrückenbau	
– Fokus: Korrosionsschutz	15
<i>TRDir Dr.-Ing. Gero Marzahn</i>	
Brücken in Lateinamerika – Technik und Geschichte.....	25
<i>Dr. Dirk Bühler</i>	
Das alte und das neue Ottendorfer Viadukt	43
<i>Prof. Dr.-Ing. Thomas Bösche, Dipl.-Ing. Elke Hering, Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Jens Otto</i>	
<i>Dr.-Ing. Stephan Teich</i>	
Neubau einer „atmenden“ Stadtbahnbrücke in Düsseldorf	57
<i>Dipl.-Ing. Sonja Rode, Dipl.-Ing. Tobias Riebesehl, Dipl.-Ing. Thomas Neysters,</i>	
<i>Dipl.-Ing. Guido Herbrand</i>	
Sanierung der historischen Betonbogenbrücke in Naila	71
<i>Dipl.-Ing. Ammar Al-Jamous, Dipl.-Ing. Karsten Uhlig</i>	
Georg Christoph Mehrtens (1843–1917): Protagonist	
des Stahlbrückenbaus im wilhelminischen Deutschland	81
<i>Dr.-Ing. Karl-Eugen Kurrer</i>	
Lebenslanger Korrosionsschutz – Pilotprojekt Stahlverbundbrücke	103
<i>Dr.-Ing. Stefan Franz</i>	
Interaktion zwischen Praxis und Forschung	
– Systematische Nachrechnung des Brückenbestands in Mecklenburg-Vorpommern	117
<i>Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Hon.-Prof. Dr.-Ing. habil. Olaf Mertzsch, Dr.-Ing. Torsten Hampel</i>	
<i>Dipl.-Ing. Nico Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach</i>	
Chemnitztalviadukt – Neubau versus Bestandserhaltung	131
<i>Univ.-Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann, Dipl.-Ing. (FH) Lutz Buchmann, Dipl.-Ing. Toralf Zeißler</i>	
<i>Dipl.-Ing. Steffen Oertel</i>	
Verstärkung von Stahlbrücken in den Niederlanden	
– Einsatz von hochfestem Beton und zielgerichtete Tragwerksverstärkung	151
<i>M.Sc. Dimitri Tuinstra, Dr.-Ing. Markus Gabler</i>	
Neue Queensferry-Brücke in Schottland	
Herausforderungen bei der Planung und Montage	161
<i>Dipl.-Ing. Martin Romberg</i>	
Brückenbauexkursion 2016 – Hup Holland Hup	177
<i>Dipl.-Ing. Oliver Steinbock, Dipl.-Ing. Jakob Bochmann</i>	
Chronik des Brückenbaus	187
<i>Zusammengestellt von Dipl.-Ing. (FH) Sabine Wellner</i>	
Inserentenverzeichnis	208

Neubau einer „atmenden“ Stadtbahnbrücke in Düsseldorf

Dipl.-Ing. Sonja Rode

Landeshauptstadt Düsseldorf, Amt für Verkehrsmanagement

Dipl.-Ing. Tobias Riebesehl, Dipl.-Ing. Thomas Neysters

Ingenieurbüro Grassl GmbH, Hamburg

Dipl.-Ing. Guido Herbrand

Ingenieurbüro Grassl GmbH, Düsseldorf

1 Neubau der U81 in Düsseldorf

1.1 Gesamtmaßnahme U81

Die Stadt Düsseldorf erfüllt die Aufgaben eines sogenannten Oberzentrums in der Metropolregion Rhein-Ruhr, die insgesamt rund 10 Millionen Einwohner zählt. Die verkehrlichen Verflechtungen mit der Region sind aufgrund der Arbeitsplätze, der Ausbildungseinrichtungen, der Einkaufs- und Freizeitmöglichkeiten im Personenverkehr umfänglich. Nationale und internationale Verflechtungen ergeben sich durch die Messe und bedeutende international wirkende Firmen, die in Düsseldorf ansässig sind.

Um der künftigen Verkehrsnachfrage gerecht zu werden, hat der Rat der Stadt Düsseldorf u. a. die Netzergänzung durch die U81 beschlossen.

Mit einer besseren Erreichbarkeit und Erschließung durch den ÖPNV werden der Wirtschaftsstandort Düsseldorf gestärkt und die Lebensqualität erhöht. Durch die Verlagerung von Fahrten vom Individualverkehr zum öffentlichen Personennahverkehr kann das Verkehrsaufkommen

im Kraftfahrzeugverkehr gesenkt werden. Die Stadt Düsseldorf ist bestrebt, einen wirtschaftlichen öffentlichen Nahverkehr auf hohem Niveau sicherzustellen, durch den die Bürger innerhalb Düsseldorfs und in der Region noch mobiler mit Verkehrsmitteln des Umweltverbundes (Fuß, Rad, ÖPNV) werden.

Die Gesamtmaßnahme U81 umfasst vier Bauabschnitte und soll später einmal von der linksrheinischen Haltestelle Handweiser über die Messe/Arena, den Flughafen der Stadt Düsseldorf bis nach Ratingen verlaufen.

Der Flughafen Düsseldorf ist Deutschlands drittgrößter Passagierflughafen. Für den Wirtschaftsstandort Düsseldorf und seine international agierenden Unternehmen ist er ein unverzichtbarer Standortfaktor. Der Flughafen ist darüber hinaus die größte Arbeitsstätte Düsseldorfs und einer der wichtigsten Arbeitgeber der Region. Er gibt Beschäftigungsimpulse für ganz NRW. Die Messe Düsseldorf gehört zu den drei umsatzstärksten Messeplätzen in Deutschland. Von den jährlich über 40 internationalen Messen sind mehr als 20 weltweit die Leitmesse ihrer jeweiligen Branche.



Bild 1 Gesamtübersicht U81 (1. bis 4. Bauabschnitt)
Grafik: Landeshauptstadt Düsseldorf

1.2 Erster Bauabschnitt der U81

Mit dem ersten Bauabschnitt der U81 ist die Schaffung einer Stadtbahnverbindung zum Flughafen terminal vorgesehen (derzeit ist der Flughafen lediglich via S-Bahn vom Hauptbahnhof angebunden). Im Veranstaltungsfall besteht die Möglichkeit, direkt, d. h. ohne Umstieg, von der Messe/Arena zum Flughafen terminal zu fahren. Die neue Stadtbahnverbindung U81 ist insbesondere für Fahrgäste ab der Haltestelle Heinrich-Heine-Allee (Düsseldorfer Altstadt) in Richtung Norden sinnvoll. Heute beträgt die Fahrzeit von der Heinrich-Heine-Allee über den Hauptbahnhof und Umstieg in die S-Bahn S11 bis zum Flughafen terminal minimal 21 Minuten (mind. ein Umstieg erforderlich). Die zukünftige Fahrzeit

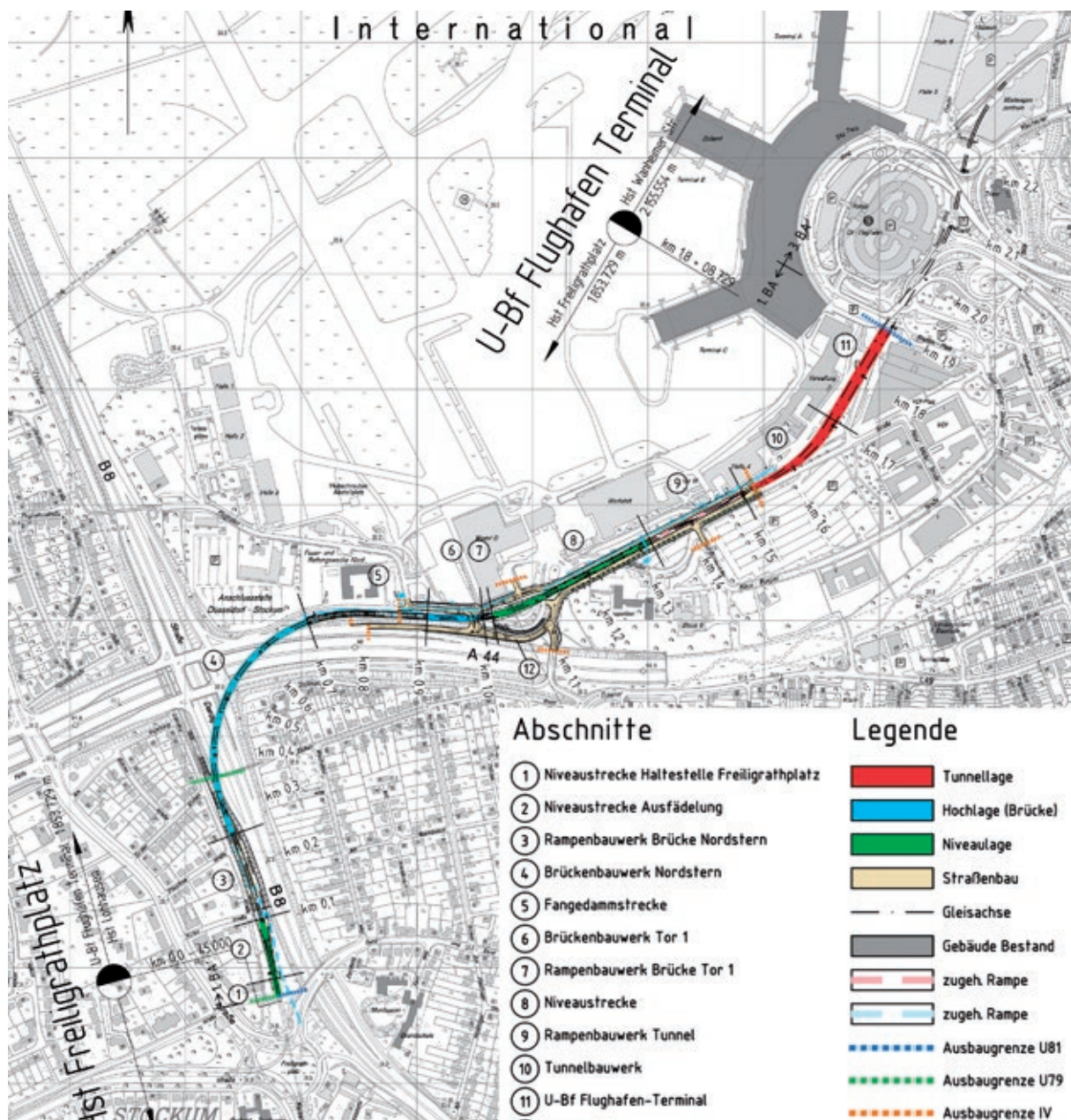


Bild 2 Übersicht U81 (1. Bauabschnitt)

Zeichnung: Ingenieurbüro Vössing GmbH

Tabelle 1 Projektdaten zum 1. Bauabschnitt der U81

Länge des 1. Bauabschnitts	1,9 km
Länge der Brücke über Nordstern (zwischen den Rampen)	441,2 m
Länge Tunnel inkl. U-Bahnhof	390 m
Projektstart	September 2011
Bedarfsbeschluss	November 2013
Variantenbeschluss	Oktober 2014
Beginn Planfeststellungsverfahren	September 2015
erwarteter Planfeststellungsbeschluss	Mitte 2017
geplanter Baubeginn	Ende 2017
voraussichtliche Inbetriebnahme	Ende 2022

von der Heinrich-Heine-Allee bis zum Flughafen-terminal beträgt mit der U81 15 Minuten (ohne Umstieg), daraus ergibt sich ein Fahrzeitvorteil von mindestens 6 Minuten. Für die Nutzer, die heute indirekt über den Hauptbahnhof zum Flughafen fahren müssen, wird mit der neuen Stadtbahn U81 eine attraktive Verbindung zum Flughafen geschaffen.

Die künftige Stadtbahntrasse schließt nördlich der bestehenden Haltestelle Freiligrathplatz an die vorhandenen Gleise der Stadtbahnlinie U79 von und nach Duisburg an. Ab hier wird die neue Strecke mittig zwischen den Gleisen der U79 mit einem Rampenbauwerk auf die Brücke in Hochlage geführt.

Auf dieser neuen Brücke über den Verkehrsknotenpunkt Nordstern, die nachfolgend näher beschrieben wird, überquert die Trasse in einem weiten Rechtsbogen von Süden in Richtung Osten zunächst die Danziger Straße B8 (0-Ebene), die Verteilerebene des Nordsterns (+1-Ebene) sowie dessen zugehörige Rampen (Kreuzungspunkt Autobahn A44/B8) und anschließend die Autobahn A44 (-1-Ebene).

Nördlich der A44 wird die Strecke der U81 auf einem Damm bis auf Höhe Flughafentor 1 geführt. Dort soll der Individualverkehr die Stadtbahntrasse unterqueren. Weiter wird die U81 über eine Rampe wieder auf Niveaulage in Richtung Flughafenterrain geführt.

Am westlichen Ende des Areals Airport City verläuft die Stadtbahntrasse von der Oberfläche unterirdisch in die Ebene -1 und danach in einem Linksbogen in den Bereich unterhalb der geplanten Flughafenbebauung.

Teilweise unterhalb der geplanten Flughafenbebauung sowie angrenzend zu einem bestehenden Hotel und Congress Center wird der neue U-Bahnhof Flughafenterrain entstehen, welcher zukünftig die Erschließung des Flughafens durch die Stadtbahn übernimmt. Von hier aus werden der bestehende Terminal C, die geplante Flughafenbebauung sowie der Bereich Airport City erschlossen.

2 Brückenbauwerk über den Nordstern

2.1 Varianten

Für die Brücke über den Nordstern wurden im Rahmen der Vorplanung in einem mehrstufigen Planungsprozess mögliche Brückenvarianten un-

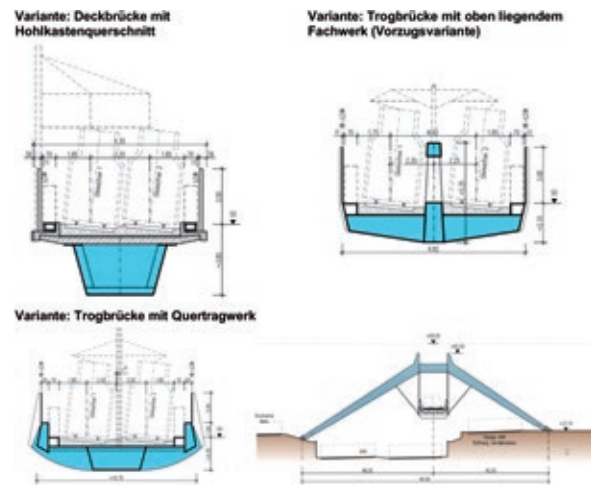


Bild 3 Brückenvarianten, Stufe 2

Zeichnung: Ingenieurbüro Grassl GmbH

tersucht. Dabei wurden insgesamt sieben Trassenverläufe und zwölf Brückenvarianten ausgearbeitet und bewertet.

Nach einer ersten Auswahl wurden in der zweiten Bearbeitungsstufe der Vorplanung drei verbleibende Varianten, die sich hauptsächlich durch ihre Konstruktionsart unterscheiden, vertieft betrachtet. Bewertungskriterien waren unter anderem Konfliktpunkte mit dem Bestand, Einfluss auf den Betriebsablauf, Bauwerksgestaltung, Konstruktion, Bauverfahren, Verkehrsbeeinflussung, Auswirkungen auf die Umwelt (insbesondere Schallbelastung) und Kosten für Bau und Unterhaltung.

Die im Rahmen der weiteren Planungsphasen vertieft ausgearbeitete Vorzugsvariante ist eine 6-feldrige Stahlkonstruktion mit mittig obenliegendem Tragwerk als Fachwerkträgerkonstruktion. Der Überbau wird an den beiden Widerlagern als semi-integrales Bauwerk fest eingespannt. Die Einspannung in die ohnehin vorhandenen schwergewichtigen Widerlager bietet den Vorteil, dass die Feldbereiche der großen Endfelder des Durchlaufträgers entlastet werden.

Die Vorzugsvariante zeichnet sich im Vergleich zu den übrigen Varianten durch den größten Trassierungsradius und die geringste Stützenanzahl aus. Infolge des obenliegenden Tragwerks ist es möglich, eine im unmittelbaren Umfeld des Nordsterns gelegene vorhandene Fußgängerbrücke zu erhalten, was bei Brückenkonstruktionen mit untenliegenden Tragwerken nicht möglich gewesen wäre. Zudem erzeugt das gewählte Mittelfachwerk kleine Ansichtsflächen und vermittelt somit ein harmonisches Erscheinungsbild.



Bild 4 Luftbild mit Trassierung der Brücke über den Nordstern

Zeichnung: Ingenieurbüro Grassl GmbH

2.2 Trassierung und Stützenstellungen

In der Draufsicht ist das Bauwerk über einen großen Bereich als Kreisbogen mit einem Radius von 245,35 m (in Bauwerksachse) trassiert. Eine Ausnahme bildet der Bereich zwischen Widerlagerachse 10 und Pfeiler 20. Dieser Bereich liegt mit einer Länge von ca. 90,0 m in einem Übergangsbogen. Das Bauwerk beschreibt dabei eine Richtungsänderung von 106,1 gon.

Bedingt durch den Ausrundungshalbmesser der Gleistrasse mit einem Radius von 4.000,0 m beschreibt der Überbau in der Ansicht ebenfalls einen Kreisbogen.

Durch die gewählte Trassierung, das statische Tragwerkskonzept mit Einspannung des Überbaus in die Widerlager und die Anordnung der Brückenpfeiler konnte ein annähernd symmetrisch zur Brückenmitte angeordnetes System geplant werden. Dabei stellte sich die Festlegung der Stützenstandorte, die sich ausschließlich aus der möglichen Positionierung in den Grünstreifen zwischen den vorhandenen Verkehrswegen ergaben, als eine große Herausforderung dar. Die Stützweiten der Brücke betragen in Brückenachse (von Achse 10 in Richtung Achse 70) 76,42 m – 76,86 m – 64,06 m – 62,75 m – 81,94 m – 79,15 m.

Zur Abtragung der großen vertikalen sowie horizontalen Einspannkräfte des Überbaus in die Widerlager 10 und 70 werden diese ober-

halb des Bemessungsgrundwasserspiegels auf Pfählen tief gegründet. Die Nähe zum vorhandenen Trogbauwerk der A44 erfordert für die Pfeiler 50 und 60 ebenfalls eine Tiefgründung. Um hier direkte Mitnahmesetzungen der neuen Gründungen auf das Trogbauwerk zu verhindern, wird oberhalb der Gründungsebene des Troges die Abtragung von Lasten durch den Einbau von Hülssenschläuchen vermieden. Außerdem wird unterhalb der Pfahlkopfplatten ein Hohlraumbildner eingebaut, der den Kraftfluss ausschließlich in die Pfähle gewährleistet. Die Lasteintragung der Pfähle in den tragfähigen Baugrund erfolgt dadurch großflächig erst unterhalb der vorhandenen Sohle des Trogbauwerks der A44. Zur Reduzierung der Pfahllängen ist zudem eine Verpressung der Pfahlmantelfläche vorgesehen. Die Pfeiler 20, 30 und 40 werden oberhalb des Bemessungsgrundwasserstandes flach gegründet.

2.3 Überbau als Mittelfachwerkträger

Die Ausführung des Überbaus erfolgt als luftdicht verschweißte Stahlkonstruktion. Die Anzahl der Fachwerkfelder ergibt sich in Abhängigkeit der Stützweite zu: Feld 1 = 6 + 1, Feld 2 = 6, Feld 3 = 5, Feld 4 = 5, Feld 5 = 6 und Feld 6 = 6 + 1. Die Knotenabstände der Fachwerkfelder betragen je nach Stützweite der Felder zwischen 12,55 m im Feld 4 bis 13,66 m im Feld 5. Die Neigung der Diagonalen beträgt ca. 40°. Das zusätzliche Fachwerkfeld in den Endfeldern 1 und 6 wird für die Einspannung des Überbaus in die Widerlager benötigt.



Bild 5 Blick entlang der Brücke über den Nordstern

Visualisierung: Landeshauptstadt Düsseldorf

Die Konstruktionshöhe des Mittelfachwerkträgers beträgt zwischen Konstruktionsunterkante des Untergurts und Konstruktionsoberkante des Obergurts über die Bauwerkslänge konstant 6,60 m. Die Gesamtbreite des Querschnitts beträgt 11,85 m. Die annähernd quadratischen Grundabmessungen des Obergurts betragen 0,60 m. Zur Aufnahme der aus der Trassenkrümmung resultierenden Querbiegung erhält der Obergurt jeweils seitliche Erweiterungen von 0,50 m, so dass die Gesamtbreite des Obergurts 1,60 m beträgt. Die Diagonalen verjüngen sich von ca. 1,00 m am Untergurtanschnitt auf ca. 0,60 m im Obergurtanschnitt. In der Ansicht sind die Diagonalen 0,60 m und an den hoch belasteten Auflagerpunkten 0,70 m breit. Die Diagonalen und der Obergurt werden als luftdicht verschweißte Hohlkästen ausgebildet.

Am Untergurt des Hauptfachwerks schließen beidseitig Kragarme in Abständen von ca. 2,10 m bis 2,30 m zur Auflagerung der Fahrbahnplatten an. Diese werden als orthotrope Platten bestehend aus dem Fahrbahnblech, den Längsrippen und den Kragarmen ausgebildet. Zusammen mit den als durchgehendes Blech ausgeführten Untergurten der Kragarme bilden sie geschlossene Torsionskästen. Auch diese werden luftdicht verschweißte. Auf den Fahrbahnplatten lagert der Schotteroberbau mit einer Regelbauhöhe von 0,60 m. Nach außen schließen weiterhin die Dienstgehege mit den Kabelkanälen, Entwässerungsleitungen, Lärmschutzwänden und Geländern an.

Die Brückenlager werden mit einer Spreizung von 5,00 m auf den Pfeilern angeordnet. Die Auflager-

träger ergeben sich aus den verlängerten Stegblechen der dortigen Kragarme und einem horizontalem Untergurt zu Hohlkästen, die im Inneren durch Bleche zur Aufnahme der Lagerlasten ausgesteift sind.

2.4 Tragsystem als „atmende Brücke“

Angesichts der Trassierung des Bauwerks in einem großen Bogen, der großen Länge sowie der relativ geringen Querbiegesteifigkeit aufgrund der geringen Überbaubreite und des in Brückenachse angeordneten Haupttragsystems bietet sich eine Ausführung des Tragsystems als „atmende Brücke“ an. Festpunkte sind nur an den beiden Widerlagern vorhanden. Für eine zusätzliche Einspannung der Stützen in den Überbau ist die Pfeilerhöhe zu gering. Auf den Pfeilern werden daher allseitig bewegliche Lager angeordnet, so dass sich die Längenänderung des Überbaus aufgrund von Temperatureinwirkung durch ein seitliches Ausweichen des Überbaus in Querrichtung einstellt. Durch die Möglichkeit des seitlichen Ausweichens werden die sich einstellenden Spannungen aufgrund von Zwängungen reduziert. Die verbleibenden Kräfte werden durch die tief gegründeten Widerlager aufgenommen.

Die Ausführung des Bauwerks als *atmende Brücke* bietet folgende Vorteile:

- Die Gleise können fugenlos ohne Schienenauszüge über das Bauwerk geführt werden.

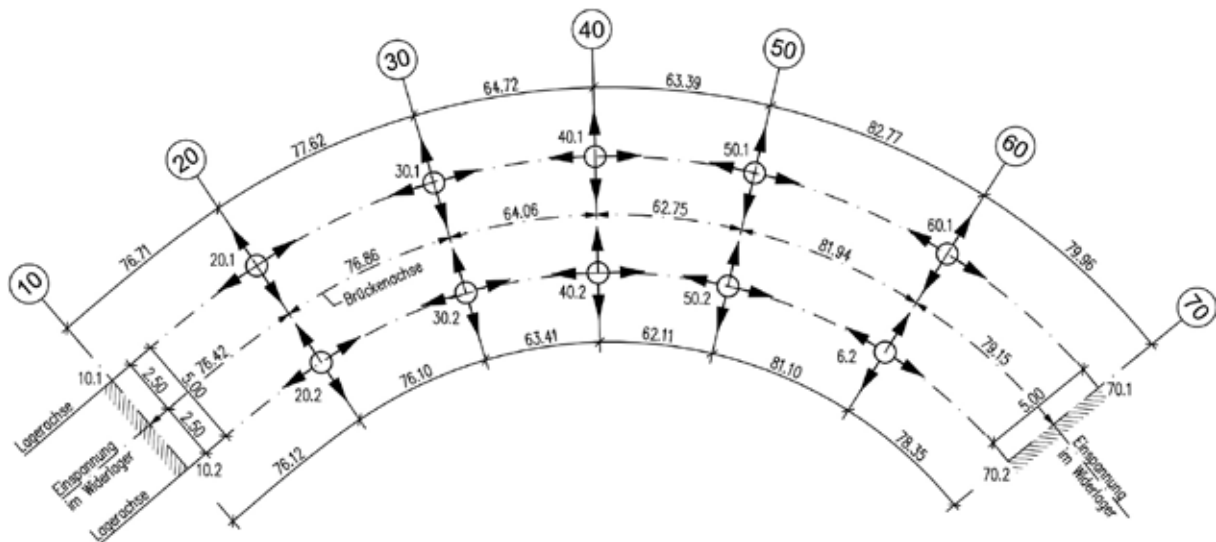


Bild 6 Lagerschema der Brücke über den Nordstern

Zeichnung: Ingenieurbüro Grassl GmbH

- Horizontale Auflagerkräfte entstehen an den Stützen nur aus Reibung und sind daher gering. Dieses ermöglicht die Ausführung relativ schlanker Gründungen auf den nur begrenzt zur Verfügung stehenden Flächen zwischen den vorhandenen Verkehrswegen.
- Die Anzahl der Verschleißteile wird verringert. Lager, Fahrbahnübergänge und Schienenauszüge an den Widerlagern entfallen.

Die entstehenden Querverformungen auf den Pfeilerköpfen definieren die Anforderung an die Lager, möglichst große Verschiebung in Querrichtung bei geringer Reibung aufnehmen zu können. Zur Bemessung von Stahlüberbauten sind, unter

der Annahme einer Aufstelltemperatur von 10 °C, konstante Temperaturunterschiede von -37 K und +43 K anzusetzen. Im Scheitelpunkt bei Lagerachse 40 stellen sich aus den charakteristischen Temperaturlasten Verschiebungen von -200 mm bis +230 mm ein. Es kommen allseitig bewegliche Lager mit einem geringen Reibwiderstand – Gleitlager – zur Ausführung.

2.5 Gestaltung

Die in einem weiten Bogen über den Nordstern verlaufende Brücke stellt aufgrund ihrer prominenten Lage sowie ihrer Form und Länge das prägendste Bauwerk des ersten Bauabschnitts dar.

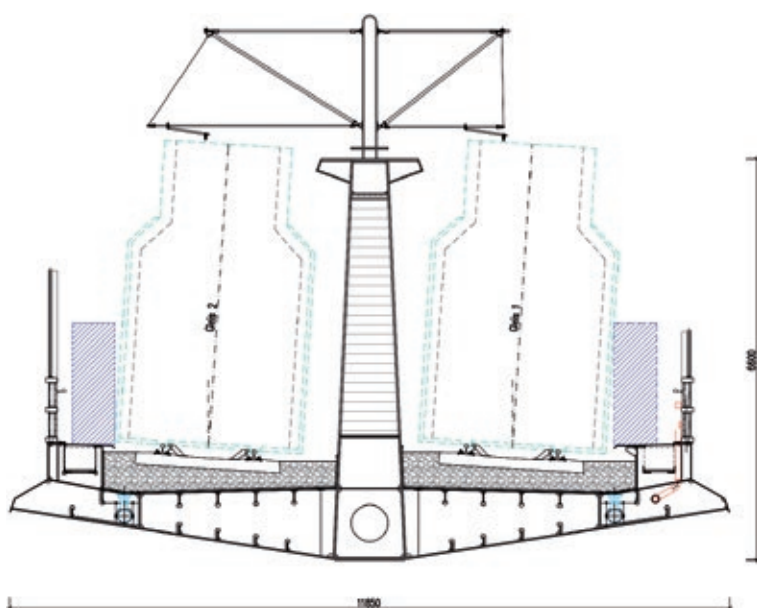


Bild 7 Regelquerschnitt der Brücke über den Nordstern

Zeichnung: Ingenieurbüro Grassl GmbH

Sie besitzt einen Stahlüberbau als Fachwerkträger. An dessen Untergurt ist der Fahrbanträger mit schräg geneigten Unterseiten angeschlossen. Die außen angesetzten Gesimskappen werden über den statisch wirksamen Querschnitt hinaus erweitert und auf ihrer Oberseite ebenfalls angeschragt. Auch bei dem mittigen, durchlaufenden Fachwerkträger wird der Obergurt über die statisch benötigte Breite hinaus noch etwas verbreitert und dort die Unterseite mit einem schrägen Anzug versehen. Damit wird die schon vorhandene dynamische Grundform zusätzlich gesteigert.

Die Dynamik des Bauwerks wird durch die Gestaltung der Geländer und Lärmschutzwände an den Brückenrändern weiter unterstrichen.

Grundelement ist dabei ein Geländer mit drei deutlich vor die Pfosten vorstehenden Querholmen. Die Holme unterstreichen die horizontale Ausrichtung der Nordsternbrücke. In den Bereichen, in denen schallabsorbierende Kassetten benötigt werden, sind diese als Ausfachungen bündig zwischen die Pfosten und Holme des Geländers eingefügt. In den Bereichen, in denen darüber hinaus noch reflektierende Elemente vorzusehen sind, werden die Pfosten höher ausgebildet und eine entsprechende Verglasung eingesetzt.

Die Pfeiler der Brücke erhalten eine Rhombusform, die auch in den breiteren Pfeilerköpfen weitergeführt wird. Während die Pfeiler aus Stahlbeton bestehen, werden die Köpfe als Stahlbauteile mit deutlich dunklerer Farbgestaltung ausgebildet.

Für die Stahlteile des Brückenüberbaus und der beschriebenen Ausstattungselemente ist eine helle Farbgebung vorgesehen.



Bild 8 Blick von der B8, FR Süd auf die Brücke über den Nordstern

Visualisierung: Landeshauptstadt Düsseldorf



Bild 9 Blick von der A44-Ausfahrtsrampe zum Nordstern

Visualisierung: Landeshauptstadt Düsseldorf

2.6 Bauwerk-Baugrund-Interaktion

Bei der Berechnung integraler Brücken ist eine Sensitivanalyse für die Bauwerk-Baugrund-Interaktion durchzuführen. Ziel ist es, den Einfluss von oberen und unteren Grenzwerten der Baugrundsteifigkeiten an den Widerlagern auf die Bemessung des Überbaus zu bestimmen und ein Berechnungsmodell für die Ausführungsstatik des Überbaus festzulegen. Die Systemfindung, und hierbei insbesondere die Ausbildung und Anordnung der Tiefgründungen, fand in enger Abstimmung mit dem zuständigen Baugrundgutachter statt. Dabei handelt es sich um ein mehrstufiges Iterationsverfahren, bei dem die Anzahl und Neigung der Pfähle sowie die Steifigkeiten der Gründungsfedern am Berechnungsmodell mehrfach dem rechnerischen Setzungsverhalten angeglichen wurden.

Am Ende des 1. Abstimmungsprozesses stand ein Berechnungsmodell unter Berücksichtigung der Mittelwerte der Baugrundsteifigkeiten, welche durch Federsteifigkeiten und Bettungsansätze für die Bohrpfähle abgebildet werden. Die Pfähle mit einem Durchmesser von 0,90 m werden mit einer Neigung von 4 : 1 hergestellt. Durch die entgegengerichtete Neigung der Pfähle in Brückenlängsrichtung zur Mitte des Widerlagers sowie senkrecht dazu in Brückenquerrichtung entsteht ein räumlicher Pfahlbock, der die Abtragung der Einspannkräfte in den Baugrund gewährleistet. Aufgrund des hohen Eigengewichts werden ausschließlich Druckpfähle ausgebildet.

Ausgehend von diesem Berechnungsmodell wurden weitere Analysen erstellt und der Einfluss der Bauwerk-Baugrund-Interaktion auf die Bemessung des Stahlüberbaus an verschiedenen Systemvarianten untersucht. Neben einer star-

ren Lagerung der Pfahlkopfplatte werden weitere drei Systeme inkl. Pfahlgründung generiert. Gemäß den Ermittlungen des Baugrundgutachters ist eine Variation der Federsteifigkeiten der Gründungspfähle von 140 % bis 80 % (obere und untere Grenzwerte) zu den Mittelwerten durchzuführen. An den beschriebenen Systemen wurden verschiedene Lastfälle (ständige Einwirkungen, Temperatur und Verkehrslasten) untersucht und ausgewertet. Der Systemvergleich erfolgt beim vorliegenden Fachwerk vornehmlich über die Auswertung von Normalkräften (Obergurt und Diagonalen). Weiterhin wird für die Fahrbahn bzw. den Untergurt die Einspannsituation am Widerlager untersucht (Biegemomente M_y und M_z).

Generell ist bei den Systemvergleichen festzuhalten, dass die Steifigkeit der Widerlagergründungen nur bis zur nächsten Pfeilerachse 20 bzw. 60 nennenswerten Einfluss auf die Schnittgrößen des eingespannten Stahlüberbaus haben. Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der beiden Systeme mit oberen und unteren Grenzwerten gegenüber dem System mit Mittelwerten befinden sich größtenteils im Bereich von $< 5 \%$. Die Stäbe außerhalb des widerlagernahen Bereichs weisen bereits mehrfach Differenzen von $< 3 \%$ auf.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse der Bauwerk-Baugrund-Interaktion wurde abschließend festgelegt, dass die statischen Berechnungen der Ausführungsstatik am Gesamtsystem inkl. Abbildung der Widerlager sowie der zugehörigen Pfahlgründungen erfolgen und die Mittelwerte der Baugrundsteifigkeiten angesetzt werden. Eine komplette Berechnung des Überbaus an zwei Systemen, mit oberen und unteren Grenzwerten, ist aus ingenieurmäßiger Sicht und in Abstimmung mit dem zuständigen Prüfenieur nicht erforderlich.

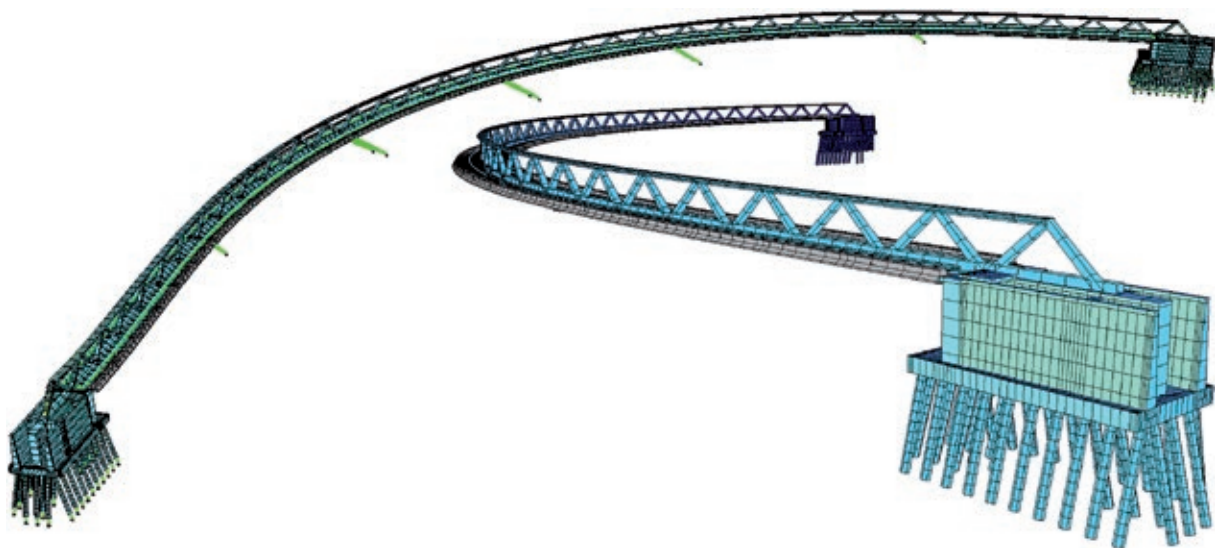


Bild 10 FE-Modell – links und oben: Ausdehnung aus Erwärmung

Grafik: Ingenieurbüro Grassl GmbH

2.7 Überbaueinspannung in die Widerlager

Die Widerlager in den Achsen 10 und 70 werden in Stahlbetonbauweise mit zur Trasse der U81 parallelen Flügelwänden hergestellt. Aufgrund der Überbaueinspannung sind keine Auflagerbänke mit Lagern und Fahrbahnübergängen vorhanden.

Zur Integration des Mittelfachwerks ins Widerlager wird zusätzlich zu den Flügelwänden eine mittige Wand in der Achse des Fachwerks erforderlich. Im Anschlusspunkt der Enddiagonale werden weiterhin Querwände angeordnet, welche die Mittelwand mit den beiden Flügelwänden verbindet und dadurch ein geschlossener Kasten entsteht. Die Einspannung des Stahlüberbaus erfolgt über einbetonierte Stahlbleche. Die betonberührten Stahlbleche werden mit Kopfbolzen versehen, welche den Verbund zum Beton herstellen.

Der Untergurt des Mittelfachwerks wird durchgehend bis zur Enddiagonale in die Stahlbetonmittelwand geführt. Im Bereich der Enddiagonalen werden seitlich an die Stege des Untergurts weitere Stahlbleche angeordnet. Diese Stahlbleche stellen den direkten Verbund zu den Querwänden her und gewährleisten den Lastabtrag der überwiegend zugbeanspruchten Enddiagonalen. Zur Abtragung der horizontalen Einspannkräfte werden die Randträger des Überbaus in die Flügelwände des Widerlagers geführt. Das Fahrbahnblech und die oberen Längsrippen weisen aufgrund des vertikalen Einspannmomentes am Widerlager überwiegend Zugbeanspruchungen auf. Zur Abtragung dieser Zugkräfte werden die Längsrippen in die Widerlagerwand bzw. die Schleppplatte verlängert. Die Druckkräfte des Bodenblechs und der unteren Längsrippen werden über Druckplatten in die Widerlagerwand eingeleitet. Die maßgebend druckbeanspruchten Diagonalen in der

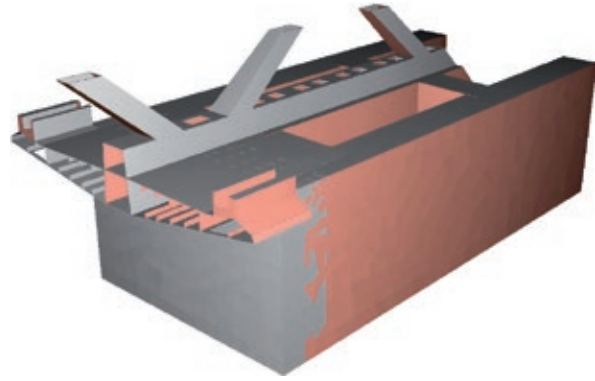


Bild 11 FE-Modell – Überbaueinspannung ins Widerlager Grafik: Ingenieurbüro Grassl GmbH

Widerlagerachse leiten die Kraft über die Stege und Querschotte des Untergurts sowie Druckplatten in das Widerlager ein.

Um eine handhabbare Verarbeitung der Bewehrungsstäbe zu ermöglichen und eine gute Qualität der komplexen Bewehrungsführung sowie des Verbunds zu gewährleisten, werden ausreichend große Montage- und Betonieröffnungen in der Fahrbahnplatte und im Untergurt vorgesehen. Die Öffnungen werden im Anschluss an die Betonage mit Stahlblechen verschlossen.

2.8 Lärmschutzmaßnahmen

Vor dem Hintergrund der vorhandenen hohen Vorbelastung der Anlieger durch Schallimmissionen durch den Flughafen, die A44, die B8 sowie die Stadtbahn U79 von und nach Duisburg wurde bei der Planung der Nordsternbrücke besonderes Augenmerk auf die Lärmschutzmaßnahmen gelegt.

Die Gleise werden mit Betonschwellen ausgerüstet und im Schotterbett verlegt. Für den Oberbau wird eine Regeleinbauhöhe von mindestens 60 cm bezogen auf die tiefer liegende Schiene eingehalten. Dabei wurde zur Vermeidung der infolge einer Überfahrt des Brückenbauwerks durch eine Stadtbahn entstehenden Körperschallanregungen, die zu einer zusätzlichen Geräuschabstrahlung der Brückenkonstruktion führen, der Einsatz von Unterschotter- und Seitenschutzmaten eingeplant.

Zur Vermeidung des sogenannten Kurvenquietschens und -kreischens werden auf dem Überbau Schienenschmieranlagen vorgesehen. Wegen der Überbaulänge werden je Richtungsgleis zwei Anlagen jeweils im Bereich des Mittelfachwerks angeordnet – je eine Anlage im Bereich der bei-

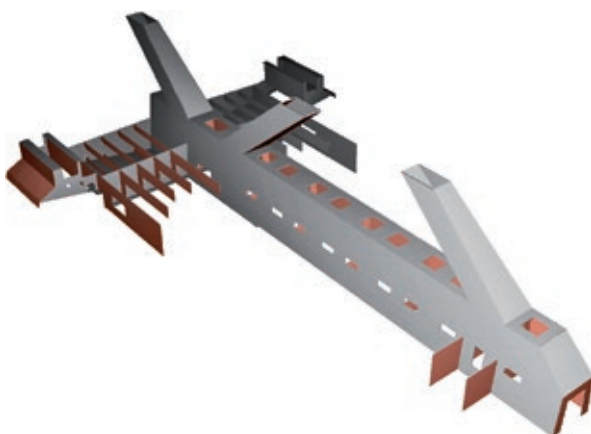


Bild 12 FE-Modell – Stahlbleche zur Einspannung ins Widerlager (ohne Fahrbahnblech) Grafik: Ingenieurbüro Grassl GmbH

den Widerlager und eine Anlage für beide Gleise in Brückenmitte.

Außerdem werden parallel zur Trasse der U81 beidseitig Schallschutzwände auf dem Brückenbauwerk angeordnet, die entsprechend dem Schallschutzgutachten der Höhe nach gestaffelt werden. Die Ausführung der Schallschutzwände erfolgt im Bereich bis 1,0 m über Schienenoberkante als hochabsorbierende Wand und darüber als transparente Schallschutzwand.

2.9 Bauverfahren

Der Stahlüberbau der Brücke über den Nordstern soll weitestgehend im Werk vorgefertigt und in großen Vormontageeinheiten zur Baustelle befördert werden. Bedingt durch die Abmessungen des Überbaus sind mehrere Sektionen vorgesehen. Die Anlieferung zur Baustelle erfolgt in Sektionslängen bis ca. 28,0 m, was der Länge von zwei Fachwerkfeldern entspricht.



Bild 13 Vogelperspektive – Taktschieben bis Hilfsstütze im Trog der A44

Visualisierung: Ingenieurbüro Grassl GmbH



Bild 14 Vogelperspektive – Herstellung der Widerlager/Montage auf Traggerüsten

Visualisierung: Ingenieurbüro Grassl GmbH



Bild 15 Vogelperspektive Brücke über den Nordstern

Visualisierung: Landeshauptstadt Düsseldorf

Die Montage des Bauwerks gliedert sich aufgrund der Trassierung in zwei Bereiche. Der ca. 351,0 m lange Brückenabschnitt von Achse 20 bis Achse 70 liegt im Grundriss in einem konstanten Radius und kann somit auf einem Kreisbogen eingeschoben werden. Als Montagefläche ist der Bereich hinter dem Widerlager 70 vorgesehen. Auf den bereits hergestellten Unterbauten des Widerlagers und dem ersten Abschnitt des angrenzenden Dammbauwerks wird eine Montageebene mit Taktkeller hergestellt, auf der die Gerüste für die Stahlbaumontage errichtet werden. Die Anlieferung der Montageeinheiten erfolgt über die A44 auf die Rampe zum Verteilerkreuz des Nordsterns. Dort wird eine Aufstellfläche parallel zur Montagefläche eingerichtet, so dass mit einem Autokran die Montageeinheiten vom Schwerlasttransporter auf das Montagegerüst über dem Taktkeller gehoben, ausgerichtet und verschweißt werden können. Nach Fertigstellung eines Taktes erfolgt der schrittweise Vorschub des Überbaus, wobei der erste Takt nur aus dem Mittelfachwerk als Vorbauschub besteht.

Für den Überbauvershub ist die Herstellung mindestens einer Hilfsstütze jeweils in den Feldmitten der Überbaufelder erforderlich. Im Feld vor dem Widerlager 70 werden zwei Hilfsstützen ca. in den Drittelpunkten notwendig, um nach dem Einschub des Überbaus den letzten Takt mit der Einspannung in das Widerlager 70 montieren zu

können. Der Aufbau der Zwischenstützen erfolgt in Abhängigkeit des Vorschubzustandes. Die Hilfsstützen werden flach auf Betonfundamenten im Bereich des Mittelstreifens der A44 sowie der B8 und am Fahrbahnrand der Rampen gegründet. Eine entsprechende bauzeitliche Verkehrsführung muss um diese Stützpunkte herum eingerichtet werden. Damit das Montagegerüst im Trog der A44 relativ gleichmäßig verteilte Vertikallasten in das bauzeitliche Fundament einleitet, wird das Traggerüst mit Abspannungen in Richtung der Pfeiler 50 und 60 sowie senkrecht zur A44 versehen, welche die Reibungskräfte aus dem Vorschub sowie die Windlasten aufnehmen.

Die Ergänzung der Fahrbahnplatten des ersten Taktes (Vorbauschub) erfolgt nach Einschub des Überbaus mit Autokränen über einem Montagegerüst oberhalb der Rampe vom Verteilerkreuz zur B8 im Zusammenhang mit der örtlichen Montage des Brückenabschnitts zwischen Achse 10 bis Achse 20. Dieser Bereich liegt mit einer Länge von ca. 90,0 m im Grundriss in einem Übergangsbogen und muss daher vor Ort auf Traggerüsten montiert werden.

Nach dem Einschub des Überbaus erfolgen zudem die Herstellung der Widerlager sowie die Verbindung mit dem Stahlüberbau. Abschließend wird die Ausrüstung des Überbaus mit Lärmschutzwänden, Oberbau, Oberleitungen usw. hergestellt.

3 Ausblick

Mit dem voraussichtlichen Planfeststellungsbeschluss Mitte des Jahres 2017 werden die Weichen für die Umsetzung des 1. Bauabschnittes der U81 gestellt.

Zum 2. Bauabschnitt mit der Rheinquerung liegt bereits eine Machbarkeitsuntersuchung vor. Die Vorplanung wird in 2017 aufgenommen, so dass ein weiterer wichtiger Planungsabschnitt zur Umsetzung der Gesamtmaßnahme begonnen wird.

4 Zusammenfassung

Der 1. Bauabschnitt der neuen zweigleisigen Stadtbahnlinie der U81 reicht von der bestehenden Haltestelle Freiligrathplatz bis zum Flughafen Düsseldorf. Im Zuge des 1,9 km langen Abschnitts muss der Verkehrsknotenpunkt Nordstern überquert werden. Durch die Trassierung im Radius, die Brückenlänge von 441,2 m sowie das gewählte Tragsystem einer 6-feldrigen Mittelfachwerkbrücke bietet sich die Möglichkeit, mit der Lösung als „atmende Brücke“ ein innovatives Tragsystem zu realisieren. Der Stahlüberbau wird als semi-integrales Bauwerk starr in die Widerlager eingespannt und liegt an den weiteren fünf Pfeilerachsen auf Gleitlagern auf. Der Überbau entzieht sich den Zwangsschnittgrößen aus Temperatur durch seitliches Ausweichen.

Projektbeteiligte

Bauherr:	Landeshauptstadt Düsseldorf, Amt für Verkehrsmanagement
Entwurf:	Ingenieurgemeinschaft U81 – Grassl/Vössing
Gestalterische Beratung:	Reinhart + Partner, Architekten und Stadtplaner
Genehmigungs- u. Ausführungsplanung:	Ingenieurgemeinschaft U81 – Grassl/Vössing
Baugrundgutachter:	geoteam Ingenieurgesellschaft mbH
Statisch-konstruktive Prüfung:	Prüfgemeinschaft Meinsma/Löschmann