

A 281 Autobahneckverbindung Bremen - Eine Schrägseilbrücke in Verbundbauweise

Herr Dipl.-Ing. M. Grassl, Ingenieurbüro Grassl GmbH, Hamburg

Herr Dipl.-Ing. R. Meister, Geschäftsführer der Bremer Gesellschaft für Projektmanagement im Verkehrswegebau mbH (GPV)

Herr Dipl.-Ing. M. Borowski, Ingenieurbüro Grassl GmbH, Hamburg

Zusammenfassung:

Die Hochstraße zwischen der Duckwitz- und der Georg-Wulf-Straße ist Teil der 1. Baustufe des 2. Bauabschnitts der BAB A 281 (Eckverbindung zwischen der A 27 und A 1).

Die Hochstraße liegt im innerstädtischen Bereich von Bremen und hat eine Gesamtlänge von ca. 1120 m. Sie gliedert sich in 3 Teile. Teil A – Richard-Dunkel-Straße (468,5 m), Teil B – Flughafendamm (311,5 m) und Teil C – BSAG-Gelände (342,0 m). Der vier- bzw. fünfstegige Plattenbalkenquerschnitt in Verbundbauweise hat eine Breite zwischen den Geländern von 22,5 bis 26,0 m und eine Bauhöhe von ca. 1,6 m. Hervorzuheben bei diesem Projekt ist das Sonderbauwerk als Schrägseilbrücke im Teil B der Hochstraße sowie die umfangreichen Planungen zu den Bauverfahren, Verkehrsführungen, Verkehrssperrungen die im Rahmen der Entwurfsbearbeitung mit den Planungsbeteiligten abzustimmen waren.

Summary:

As part of the second part of the construction on the BAB A281, the first construction stage is the overpass connecting the Duckwitz- and the Georg-Wulf-Strasse (at the junction between the A27 and the A1).

The overpass is located in the city centre of Bremen, the total length of approx. 1120 meters is split into three parts: A - Richard-Dunkel-Strasse (468.5 m), B - Flughafendamm (311.5 m) and C - the BSAG grounds (342.0 m). The width of the cross-section of the four- and five-slab beams in the composite construction between the two railings is 22.5 to 26.0 m with a headway of approx. 1.6 m. Most noteworthy in this project is the special construction of the cable stayed bridge in part B of the overpass. Furthermore, extensive planning of construction method, the change in traffic and road closures as part of the construction phase had to be synchronized between all parties involved in the planning process.

1 EINLEITUNG

Die Bundesautobahn A281 ist eine Fernstraßenbaumaßnahme der Bundesrepublik Deutschland. Sie stellt künftig die nordwestliche Eckverbindung zwischen den vorhandenen Autobahnen A27 und A1 dar (Abbildung 1). Die GPV (Gesellschaft für Projektmanagement im Verkehrswegebau mbH) wurde von der Freien Hansestadt Bremen mit der Planung und Realisierung dieser anspruchsvollen Baumaßnahme beauftragt.

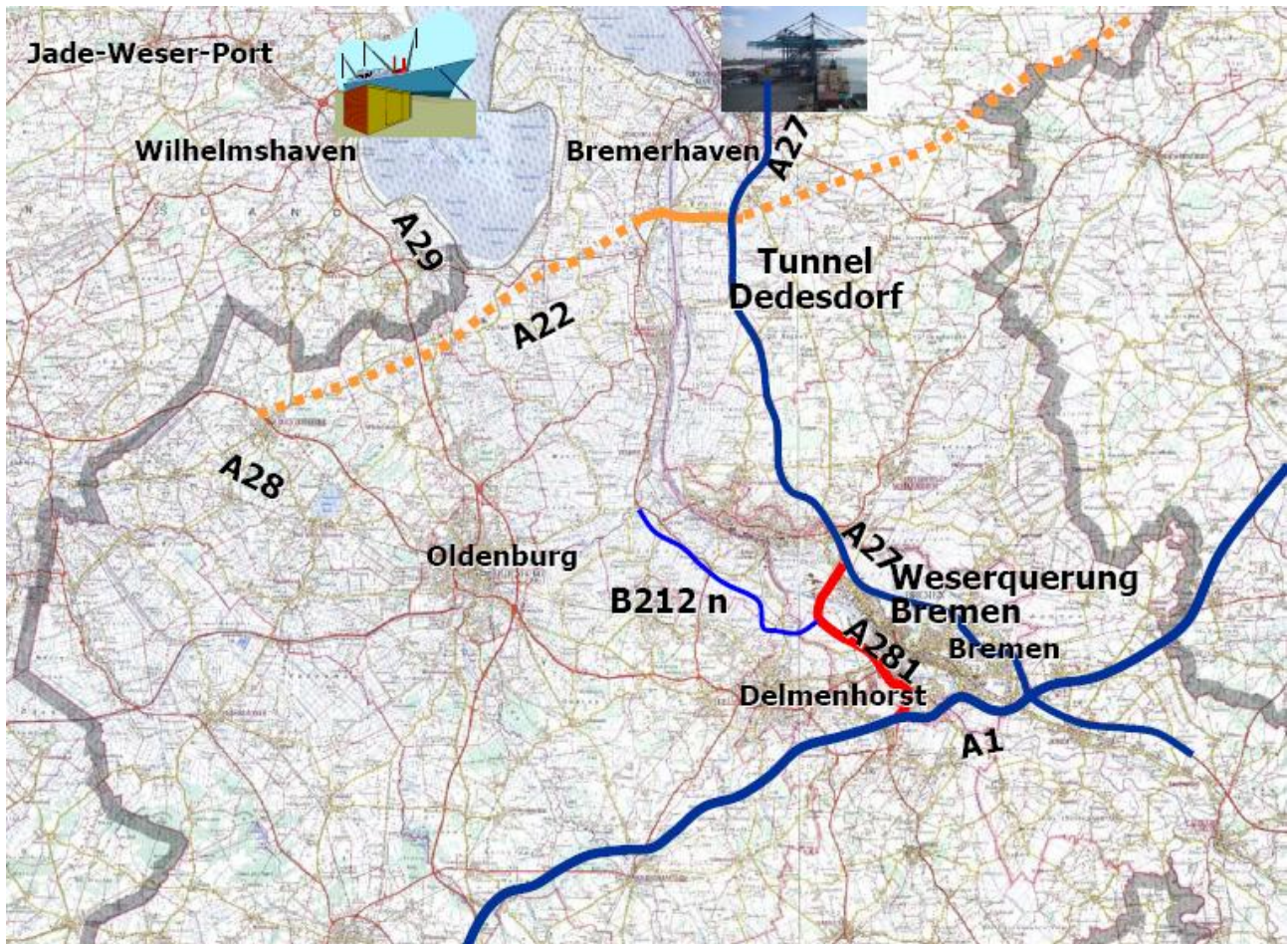


Abbildung 1: Überregionales Fernstraßennetz im nordwestdeutschen Raum

Die gegenwärtige und prognostizierte Verkehrssituation im Lande Bremen macht diesen Neubau unumgänglich. Die Belastung der Wohnquartiere an der Neuenlander Straße und der Senator-Apelt-Straße durch Lärm und Abgase ist seit Längerem unerträglich.

Der gesamte Verkehr zum und vom Güterverkehrszentrum (GVZ) und den Neustädter Häfen wälzt sich über die ebenfalls überlastete B75 oder „stopp and go“ durch die Neuenlander Straße, wo der Schwerlastverkehr inzwischen einen Anteil von über 15 % am Gesamtverkehr mit steigender Tendenz erreicht hat. Die Prognose für das Jahr 2015 lässt für die A 281 ein Verkehrsaufkommen von täglich 40.000 Fahrzeugen im mittleren und 69.000 Fahrzeugen im östlichen Streckenabschnitt erwarten. Existenziell wichtig ist die Verknüpfung mit dem internationalen Fernstraßennetz für den Bestand und die Entwicklung des GVZ, der Häfen am linken Weserufer und des Flughafens. Neben einer

spürbaren Entlastung der A1, der A27 und der Stephanibrücke im Zuge der B6, schafft die A281 eine erhebliche innerstädtische Verbesserung entlang des Straßenzuges Kattenturmer Heerstraße, Neuenlander Straße und Senator-Apelt-Straße. Die Weserquerung wird die trennende Wirkung des Flusses aufheben – insbesondere auch zum Vorteil für das niedersächsische Umland. Das Zusammenwachsen der Wirtschaftsräume wird der Region neue Impulse geben.

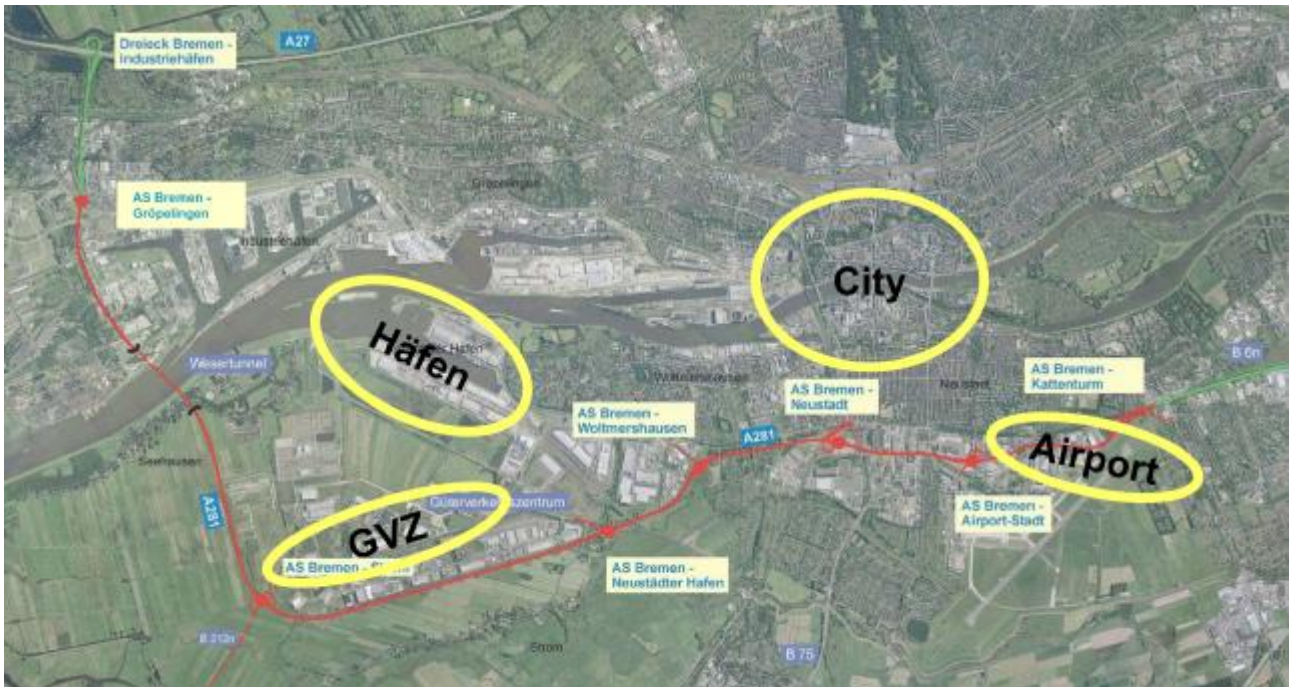


Abbildung 2: Verlauf der A281

2 PROJEKTbeschreibung

Die Länge der Neubaustrecke beträgt insgesamt 16,5 km und erfolgt in 4 Bauabschnitten (Abbildung 3). Der 1. Bauabschnitt zwischen der A27 und der Hafenrandstraße liegt bereits unter Verkehr. Die Bauabschnitte 2/1 und 3/1 befinden sich im Bau und werden Ende 2007/Anfang 2008 dem Verkehr übergeben. Für die Abschnitte 2/2 und 3/2 sind die Planfeststellungen beantragt und für den 4. Bauabschnitt ist die Beantragung für Mitte 2007 vorgesehen. Die gesamte Baumaßnahme A281 wird 2012/2013 abgeschlossen sein.

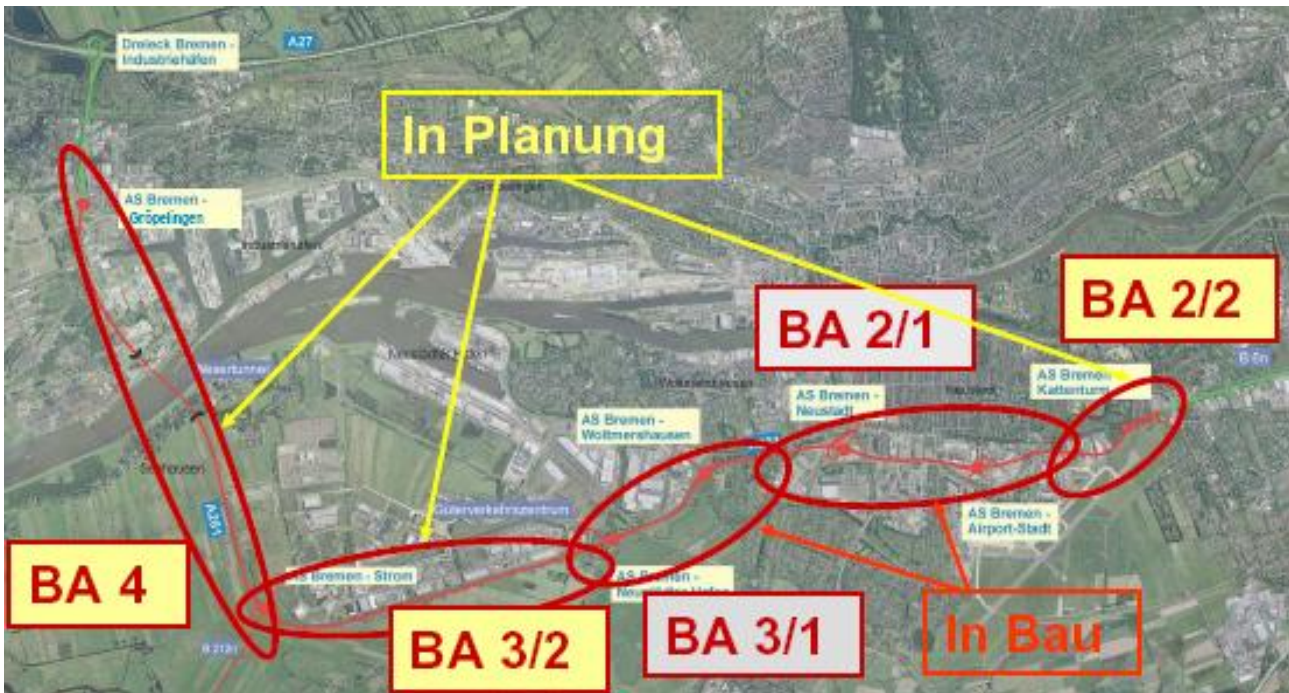


Abbildung 3: Unterteilung der Bauabschnitte

Kernstück der A281 ist der Bauabschnitt 2/1 durch die Bremer Neustadt. Es beginnt an der Warturmer Heerstraße und endet am Neuenlander Ring, dem Übergang zum Bauabschnitt 2/2. Mit diesem Abschnitt wird zugleich die Neuordnung des Gebietes Airport Stadt erreicht. Der Flughafen Bremen und die Oldenburger Straße (B75) erhalten gesonderte Anschlussstellen. Sodass der heute durch den Stadtteil vagabundierende Verkehr künftig über die Autobahn am Stadtrand geführt wird.

Im Zuge der Neuarrondierung möglichst werthaltige Lagevoraussetzungen für die Dienstleistungseinrichtungen und technologieorientierte Gewerbe zu schaffen, kommt diesem Autobahnabschnitt eine hohe stadtgestalterische Bedeutung zu. Diese findet ihren Ausdruck in der Hochlage der Autobahn auf eine Länge von 1.828 Metern zwischen Duckwitzstraße und EADS-Gelände östlich des Neuenlander Rings. Eine hohe Flexibilität für die verkehrliche Entwicklung und gegebenenfalls Umgestaltung wird so auch zukünftig gewährleistet.

Das Bauwerk BW 2210, Bereich B (Schrägseilbrücke) ist Teil der Hochstraße zwischen Duckwitzstraße und Georg-Wulf-Straße im Zuge des Bauabschnittes 2/1 (BA 2/1) der A281. Die gesamte Hochstraße erstreckt sich über eine Länge von ca. 1120,0 m (Bereich A – 468,5 m, Bereich B – 311,5 m, Bereich C – 342,0 m).

Die Schrägseilbrücke überspannt dabei die Richard-Dunkel-Straße, den Flughafendamm und einen Teil des BSAG-Geländes (Bremer Straßenbahn AG).

Die Entwurfsbearbeitung wurde Ende 2001 abgeschlossen, so dass die Planungen noch nicht nach den DIN-Fachberichten durchgeführt wurden.

3 RANDBEDINGUNGEN FÜR DEN ENTWURF

3.1 Lage und Trassierung

Bei der Entwurfsbearbeitung von Brückenbauwerken im innerstädtischen Bereich sind neben den hohen Anforderungen an die Gestaltung auch die besonderen verkehrlichen und örtlichen Randbedingungen zu berücksichtigen. Das gilt zum einen für den Endzustand des Bauwerks, aber im besonderen Maße für die Bauzustände, um die Einschränkungen für den Verkehr und die Anlieger während der Herstellung zu minimieren.

Von der Duckwitzstraße bis zum Flughafendamm sollte im Endzustand die Richard-Dunkel-Straße unter der Hochstraße geführt werden (Abbildung 4). Dieser Umstand und die weiteren kreuzenden Straßen wie die Duckwitzstraße (einschl. Straßenbahn), die Industriestraße, der Flughafendamm (einschl. Straßenbahn) und die Georg-Wulf-Straße bestimmten die Konstruktionsunterkante des Bauwerks mit ca. 5,0 bis 6,5 m über dem vorhandenen Gelände (einzuhaltende lichte Höhen: L_H Straße $\geq 4,50$ m, L_H Straßenbahn $\geq 4,90$ m, L_H Industriegleis $\geq 5,10$ m).

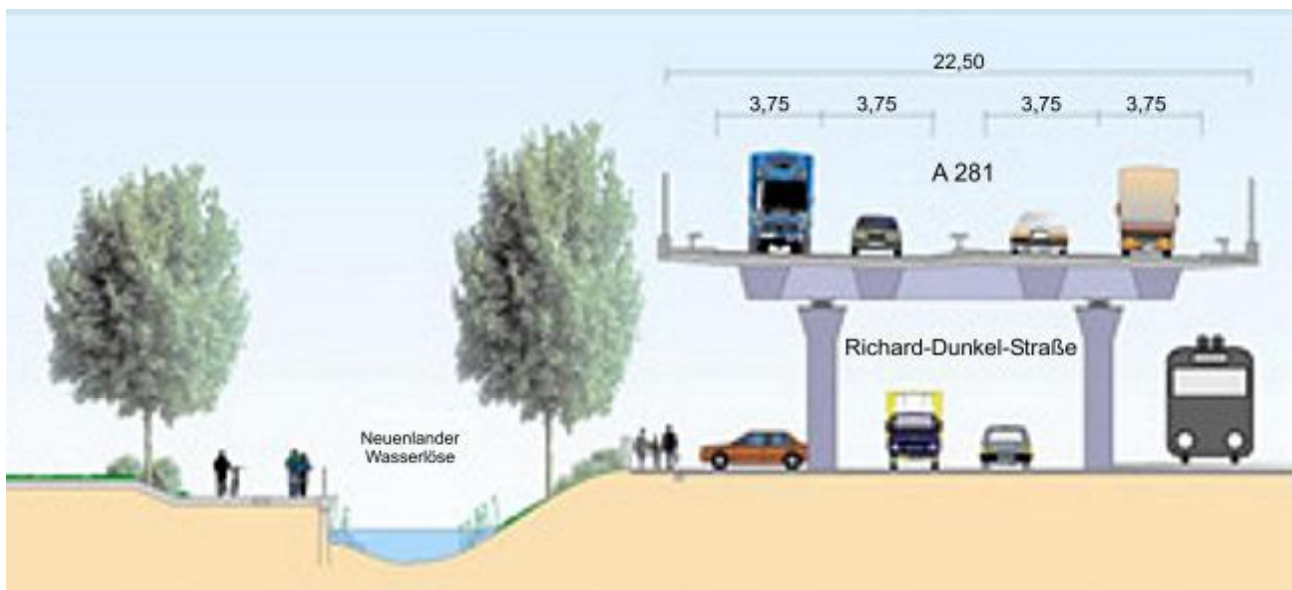


Abbildung 4: Regelquerschnitt Hochstraße

Südlich der Trasse verläuft auf großer Länge parallel ein Industriegleis. Auf der nördlichen Seite liegt die Neuenländer Wasserlöse. Das Industriegleis zur Andienung des BSAG-Geländes bzw. zu EADS (European Aeronautic Defence and Space Company) sowie die Wasserlöse kreuzen die Hochstraße im Bereich des Flughafendamms. Der Flughafendamm wird neben dem Straßenverkehr zusätzlich von der Straßenbahn zur Anbindung des Bremer Flughafens genutzt.

Weitere Restriktionen für die Trassierung bestanden aufgrund der vorhandenen Industrie- und Wohnbebauung, wodurch sich eine Krümmung der Trasse im Bereich der Schrägseilbrücke nicht vermeiden ließ.

3.2 Querschnittsaufteilung

Der Regelquerschnitt vom Bauwerk BW 2210 (Bereich A bis C) besteht je Fahrtrichtung aus zwei Fahrstreifen mit 3,75 m Breite und zwei Randstreifen mit 0,50 m Breite. Hinzu kommen die Notgehwege mit je 1,75 m Breite sowie die Mittelkappe mit 2,00 m Breite. Es ergibt sich damit eine Breite zwischen den Geländern von 22,50 m; einschließlich der Brüstungen (je 0,45 m) eine Gesamtbreite von 23,40 m. In Richtung A1 wird dieser Querschnitt durch einen Verzögerungsstreifen mit 3,50 m Breite erweitert. Die Aufweitung des Querschnitts liegt im Bereich der Schrägseilbrücke.

4 VARIANTENUNTERSUCHUNG

Die Querschnittsgestaltung und die Stützenstellung wurden, wegen der hohen städtebaulichen Bedeutung der Hochstraße, unter Berücksichtigung des Gesamtbauwerkes vorgenommen. In den Voruntersuchungen wurde für die Bereiche A und C zunächst von 2 getrennten Überbauten in Spannbeton ausgegangen. Wegen des hohen Eigengewichtes und der damit erheblich höheren Aufwendungen für die Unterbauten und Gründungen wurden weitere Querschnittsvarianten entwickelt.

Untersucht wurden zum einen von unten offene Verbundquerschnitte mit zwei geschweißten, vollwandigen, senkrecht sowie schräg gestellten Hauptträgern, die durch waagerechte und senkrechte Verbände ausgesteift werden, zum anderen Verbundquerschnitte mit zwei dichtgeschweißten Hohlkästen als Hauptträger.

In Abstimmung mit dem BMVBS wurde die Querschnittsvariante mit dichtgeschweißten Hohlkästen festgelegt. In der weiteren Bearbeitung wurden die 2 getrennten Überbauten zu einem gemeinsamen Überbau zusammengefasst, wodurch die erforderliche Stützenanzahl und damit der erforderliche Platzbedarf unterhalb des Bauwerks, insbesondere im Verlauf der Richard-Dunkel-Straße, erheblich reduziert werden konnte. Durch diese Stützenreduzierung wird ein offener, großzügiger Raumeindruck unter der Hochstraße erzielt (Abbildung 5).

Dieses Bild soll sich für den Betrachter auch im Bereich des Flughafendamms fortsetzen, wo aufgrund der Breite des Flughafendamms und der schiefwinkligen Kreuzung ein Sonderbauwerk erforderlich ist.



Abbildung 5: Querschnitt im Bereich Richard-Dunkel-Straße

Ein weiterer planerischer Vorteil bestand darin, dass bei der Anordnung der Stützen zwischen den Hauptträgern in weiten Teilen der Hochstraße auf die aufwendige Umlegung des Industriegleises verzichtet und dadurch der notwendige Grunderwerb reduziert wurde.

Auch bei der Herstellung bietet die Verbundlösung Vorteile. Zum einen ist der Zeitbedarf für die Herstellung des Bauwerkes vor Ort gegenüber einer Spannbetonlösung geringer, da die Stahlkonstruktion im Werk vorgefertigt wird. Zum anderen kann die Herstellung der Fahrbahnplatte mit einem Schalwagen erfolgen, so dass die Beeinträchtigungen der Verkehrsflächen unterhalb der Brücke geringer sind als bei der Verwendung von Leegerüsten.

Die in der Vorplanung untersuchten Systeme, wie Trogquerschnitte mit Hauptträgern in Hohlkasten- oder Fachwerkbauweise sowie Stabbogentragwerke wurden aus ästhetischen Gründen verworfen, da die statisch notwendige massive Ausbildung der Hauptträger die Kontinuität in der Seiten- und Unteransicht zerstört hätte.



Abbildung 6: Fachwerkbrücke (alternativ)



Abbildung 7: Trogbücke (alternativ)

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Randbedingungen entschied man sich, um die Querschnittsgestaltung des Längstragsystems der Bereiche A und C auch in diesem Sonderbauwerk aufzunehmen, für die nachfolgend beschriebene Schrägseilbrückenkonstruktion.

5 DIE ENTWURFSVARIANTE

5.1 Das Tragwerk

Das Durchlaufsystem im Bereich B der Hochstraße reicht von Achse 140 bis 200. Die Schrägseilbrücke erstreckt sich von Achse 160 bis 180 und wurde mit zwei außen liegenden ca. 50 m hohen Stahl-Pylonen konzipiert (Abbildung 8).

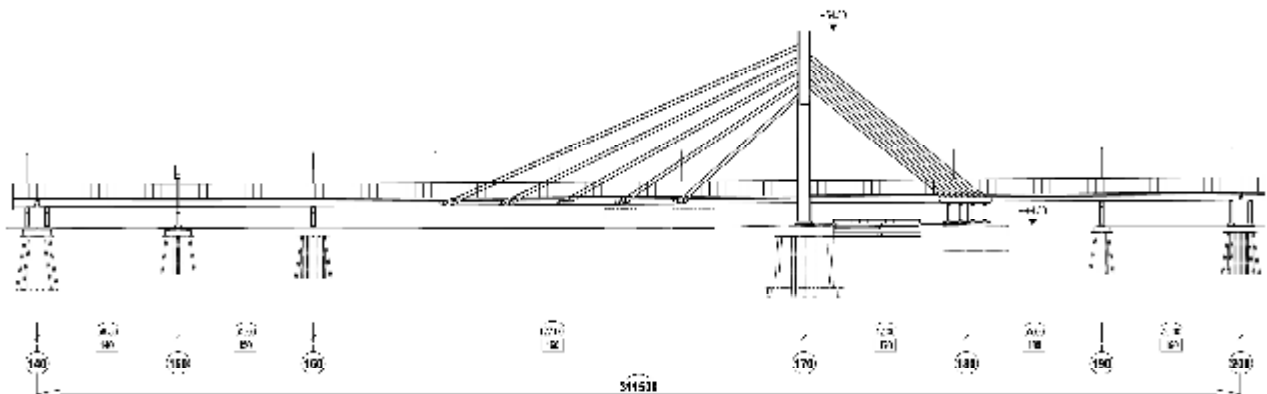


Abbildung 8: Ansicht Schrägseilbrücke

Zur Unterstützung der Hauptöffnung der Schrägseilbrücke werden fünf Seilquerträger radial in einem Abstand von 15,0 m angeordnet. Für die Hauptöffnung ergeben sich damit Teillängen von 35,0 m – 15,0 m - 15,0 m – 15,0 m - 15,0 m und 32,0 m. Die Stützweite von Achse 170 (Pylonachse) bis Achse 180 (Zugverankerung) beträgt 42 m. Die Stützweiten der Randfelder betragen ca. 35 m (Abbildung 8/9).

Die Aufhängung der Hauptöffnung erfolgt entsprechend der Pylonanordnung in zwei Seilebenen mit jeweils fünf Seilpaaren mit einem Durchmesser von ca. 135 mm in einer fächerförmigen Anordnung. Der Abstand der Seilpaare untereinander beträgt 1,0 m. Die Neigung der Seilpaare reicht von 24 Grad bis 41 Grad. Die Rückhalteseile (8 Stück je Ebene) werden parallel zueinander, ebenfalls mit einem Abstand von 1,0 m, zügelartig am Querträger in Achse 180 vereint. Die Verankerung des Querträgers in Achse 180 erfolgt je Seite über acht geschmiedete Zugpendel, die mittels einer Bolzenverbindung an die Fundamentplatte und den Versteifungsträger angeschlossen werden.

Im Bereich der Pylone werden die Rückhalteseile mittig zu den Seilen der Hauptöffnung positioniert, so dass sich eine Seilneigung von 39 Grad ergibt. Die Durchmesser der Rückhalteseile variieren entsprechend der aufzunehmenden Kräfte zwischen ca. 125 und 160 mm.

Das Längstragwerk im Bereich der Schrägseilbrücke besteht aus vier bzw. fünf Hauptträgern in Hohlkastenbauweise mit geneigten Stegen und der Verbundplatte. Die Querschnittsbreite beträgt maximal 26,0 m zwischen den Geländern.

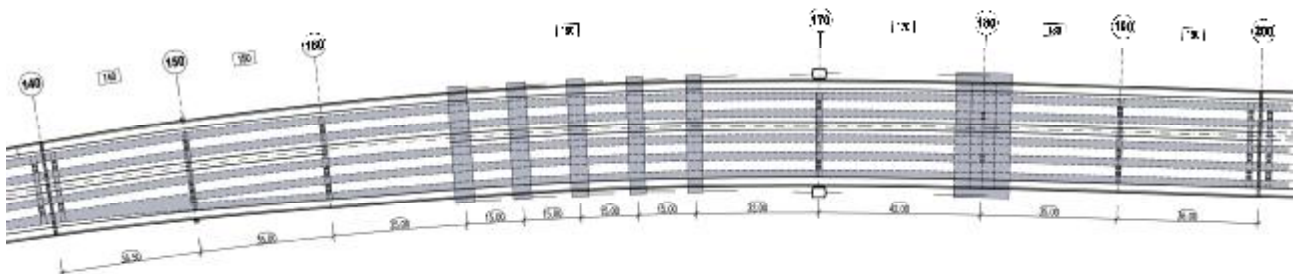


Abbildung 9: Draufsicht Schrägseilbrücke

Die Hauptöffnung der Schrägseilbrücke über dem Flughafendamm mit einer Länge von 127 m gewährleistet durch die Stützenfreiheit eine gute Übersichtlichkeit und damit Verkehrssicherheit des Kreuzungsbereiches Flughafendamm (Abbildung 10).



Abbildung 10: Visualisierung der Schrägseilbrücke / Flughafendamm

Die Hauptträger sind, außer in den Aufweitungsbereichen, parallel zur Brückenachse angeordnet. Die Achsen der äußeren Hauptträger haben einen Abstand von 4,41 m, die der mittleren Hauptträger von 6,48 m (Abbildung 11).

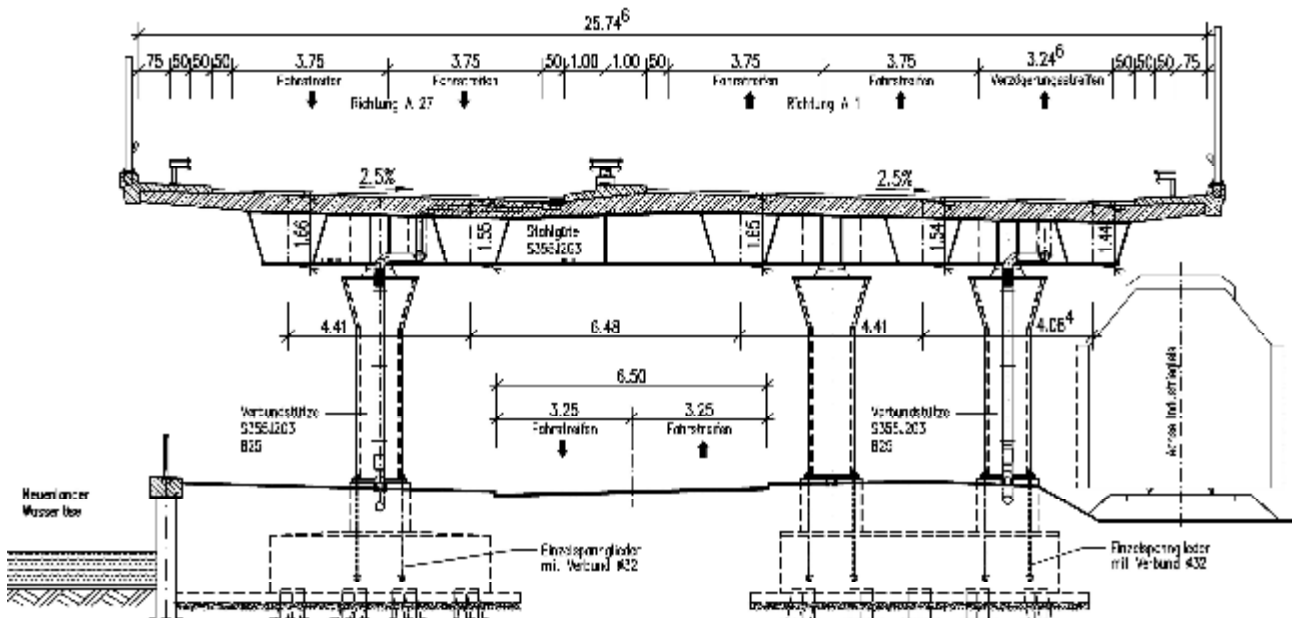


Abbildung 11: Querschnitt (Achse 160)

Die Konstruktionshöhe der Hauptträger variiert entsprechend der Querneigung des Überbaus, da die Konstruktionsunterkante der Hauptträger auf einer Höhe liegt. Die Höhen der Hauptträger einschließlich der Verbundplatte liegen (in den Hauptträgerachsen) zwischen 1,43 und 1,66 m

(Abbildung 12). Mit dieser Querschnittswahl wurde eine durchgehende, aber auch schlank dimensionierte Seitenansicht des Bauwerks geschaffen.

Das Verhältnis von Stützweite zur Konstruktionshöhe ergibt sich damit für die Randfelder in etwa zu $h/l = 1/21$. Bezogen auf die freie Stützweite (127 m) der Hauptöffnung der Schrägseilbrücke ergibt sich das Verhältnis zu $h/l = 1/77$.

Im Bereich der Hauptöffnung der Schrägseilbrücke sind die Hauptträger durch die Seilquerträger verbunden. Die Seilquerträger werden als Hohlkasten ausgebildet (Abbildung 12). Dieses gilt für die Seilquerträger der Hauptöffnung sowie für den Querträger der Zugverankerung in Achse 180.

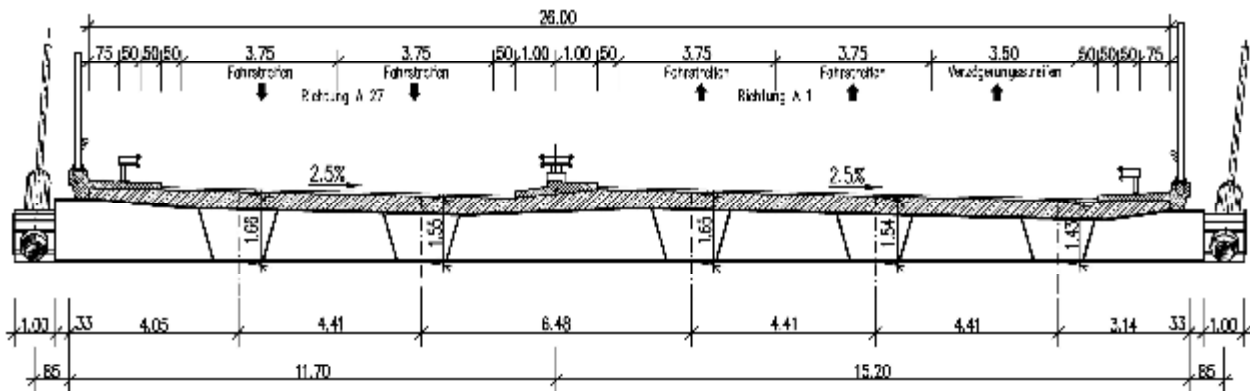


Abbildung 12: Querschnitt Seilquerträger

Die Untergurtbreiten der Seilquerträger in der Hauptöffnung variieren wegen der Seilneigung zwischen ca. 3,0 m (steilste Seilneigung) und ca. 3,5 m (flachste Seilneigung). In Querrichtung ragen die Seilquerträger der Hauptöffnung einschließlich der Seilverankerung ca. 1,30 m über die Gesimse hinaus, wodurch eine gute Zugänglichkeit der Seilköpfe gegeben ist.

Für den Querträger der Zugverankerung ergibt sich aus geometrischen Gründen eine Untergurtbreite von ca. 13,2 m und entsprechend der Stegneigung eine Obergurtbreite von 14,5 m. Die Untergurte der Seilquerträger werden ebenfalls bündig zu den Hauptträgeruntergurten angeordnet.

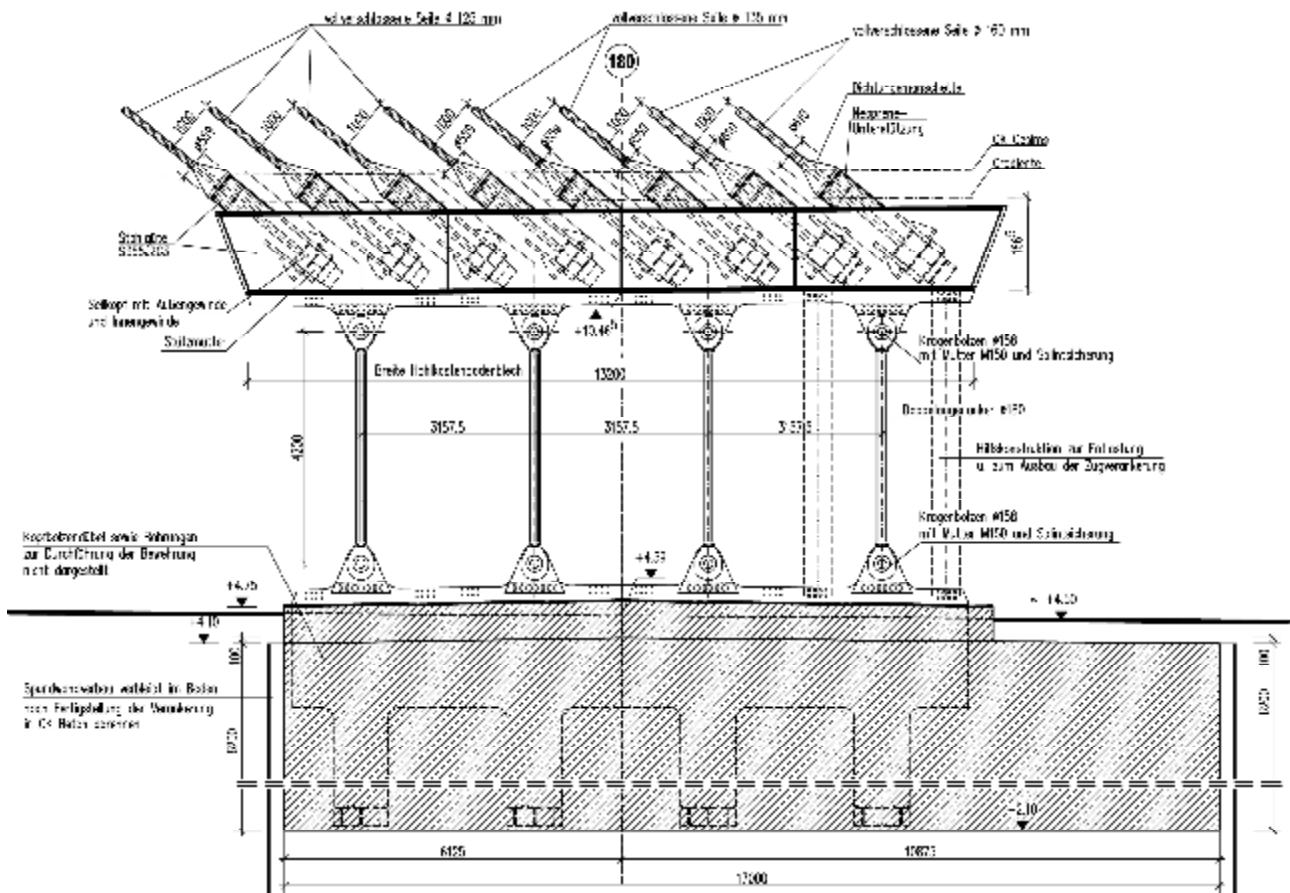


Abbildung 13: Schnitt Zugverankerung

Als Tragseile werden vollverschlossene Spiralseile mit Rundstahlkern und mehreren Formdrahtlagen verwendet, die in den Seilquerträgern des Überbaues und im Pylon einzeln verankert werden. Dadurch wird der Austausch einzelner Seile erleichtert. Die Verankerung der Seile erfolgt mit Seilköpfen, in denen die Seile vergossen werden. Der Seilkopf im Pylon wird als Hammerseilkopf ausgebildet. Am anderen Seilende sind Seilköpfe mit Außengewinde und Stützmutter sowie Innengewinde im Seilkopfbereich hinter dem Vergusskegel erforderlich. Damit wird der Ansatz von Spannpressen zum Vorspannen und Austausch der Seile ermöglicht. Die Seilköpfe zum Vorspannen der Seile sind an den unteren Seilverankerungen vorgesehen (Abbildung 14).

In den Rohrstützen an den Seileinleitungspunkten in Höhe der Fahrbahn sind zur Dämpfung der Seilschwingungen Dämpfungselemente aus Neoprenringen vorgesehen (Abbildung 13). Dadurch wird ebenfalls ein Knickwinkel an den Ankerköpfen weitgehend vermieden. An den Enden der Rohrstützen sind Seilabdeckhauben angeordnet.



Abbildung 14: Visualisierung der unteren Seilverankerung

Um den Einfluss des Seilkriechens auf die Herstellung der Verbundplatte und auf die Gradienten gering zu halten, wurde im Rahmen der Ausschreibung ein Vorrecken während der Montage auf der Baustelle vorgesehen. Erst nach dem Aufbringen der Ausbaulasten ist ein Nachspannen bzw. Nachlassen der Seilvorspannung zum Ausgleich der Gradienten vorgesehen.

Die Lagerung des Tragwerks erfolgt auf Kalottenlagern, wobei der Festpunkt für den Bereich B in der Pylonachse liegt. In den übrigen Lagerachsen sind die nördlichen Lager einseitig, tangential zur Vermeidung von Querbewegungen an den Übergangskonstruktionen und die südlichen allseits beweglich ausgebildet.

5.2 *Unterbauten und Gründung*

Die Verbundstützen

Besondere Sorgfalt wurde auf die Gestaltung der Stützen gelegt. Berücksichtigt wurden hierbei wieder die Gesamterscheinung und die Einbindung in das Straßenbild. Dies galt insbesondere in der Richard-Dunkel-Straße, da die Stützen hier einen großen Einfluss auf die Raumwirkung unterhalb der Brücke haben.

Mit den gewählten rechteckigen Verbundstützen konnten die äußeren Abmessungen minimiert werden, so dass dem Betrachter unterhalb der Hochstraße ein weitgehend freier Blick gewährt wird. Trotz dieser schlanken Ausführung ist durch die voutenartige Aufweitung der Stützen in Brückenquerrichtung im Kopfbereich ausreichend Platz für die Pressenstandorte vorgesehen. Der Anschluss der Verbundstützen an die Pfahlkopflattens erfolgt mittels Einzelspanngliedern mit nachträglichem Verbund. Zur Übertragung von Horizontalkräften werden unter den Fußplatten Schubknaggen angeordnet.

Unter grundbautechnischen Gesichtspunkten, zur Minimierung der Setzungen und unter Berücksichtigung der teilweise unmittelbar angrenzenden Bebauung sowie wirtschaftlicher Aspekte wurde für die Einzelstützen eine Tiefgründung in den Terrassesanden auf Vollverdrängungs-Bohrpfählen (VVB-Pfähle) als ein möglichst geräusch- und erschütterungsarmes Verfahren gewählt. Die Pfähle werden lotrecht und mit einer Neigung von 6:1 hergestellt.

Die Pylone

Die Pylone wurden als Stahlhohlkastenprofile (Feinkornbaustahl der Güte S460M/ML) geplant. Der sich nach oben leicht verjüngende Querschnitt gibt dem Pylon Eleganz und Leichtigkeit. Seine Schlankheit wird optisch weiter durch einen leichten Außenknick der Stirnbleche erhöht, so dass sich ein schwach betonter Sechseckquerschnitt (Hauptachsen ca. 3,5 m x 2,5 m) ergibt. Die Stirnbleche werden knapp um die Ecke der Seitenansicht geführt. Dadurch entsteht eine sparsame, aber das Material Stahl wirksam unterstreichende Profilierung.

Die Verankerung der Pylone am Fußpunkt erfolgt ebenfalls mit Hilfe von Einzelspanngliedern mit nachträglichem Verbund. Die Horizontalkräfte werden auch bei den Pylonen über Schubknaggen an die Gründung weitergeleitet.

Der Zugang zu den Pylonen erfolgt über abschließbare Stahltüren, die jeweils auf der Nordseite am Fußpunkt der Pylone angeordnet werden. Von da aus wird die Begehbarkeit der Pylone durch Steigleitern und Wendeltreppen gewährleistet. Die Zwischenpodeste sind so angeordnet, dass eine unkomplizierte Prüfung des Pyloninneren und damit der Seilköpfe möglich ist (Abbildung 15).

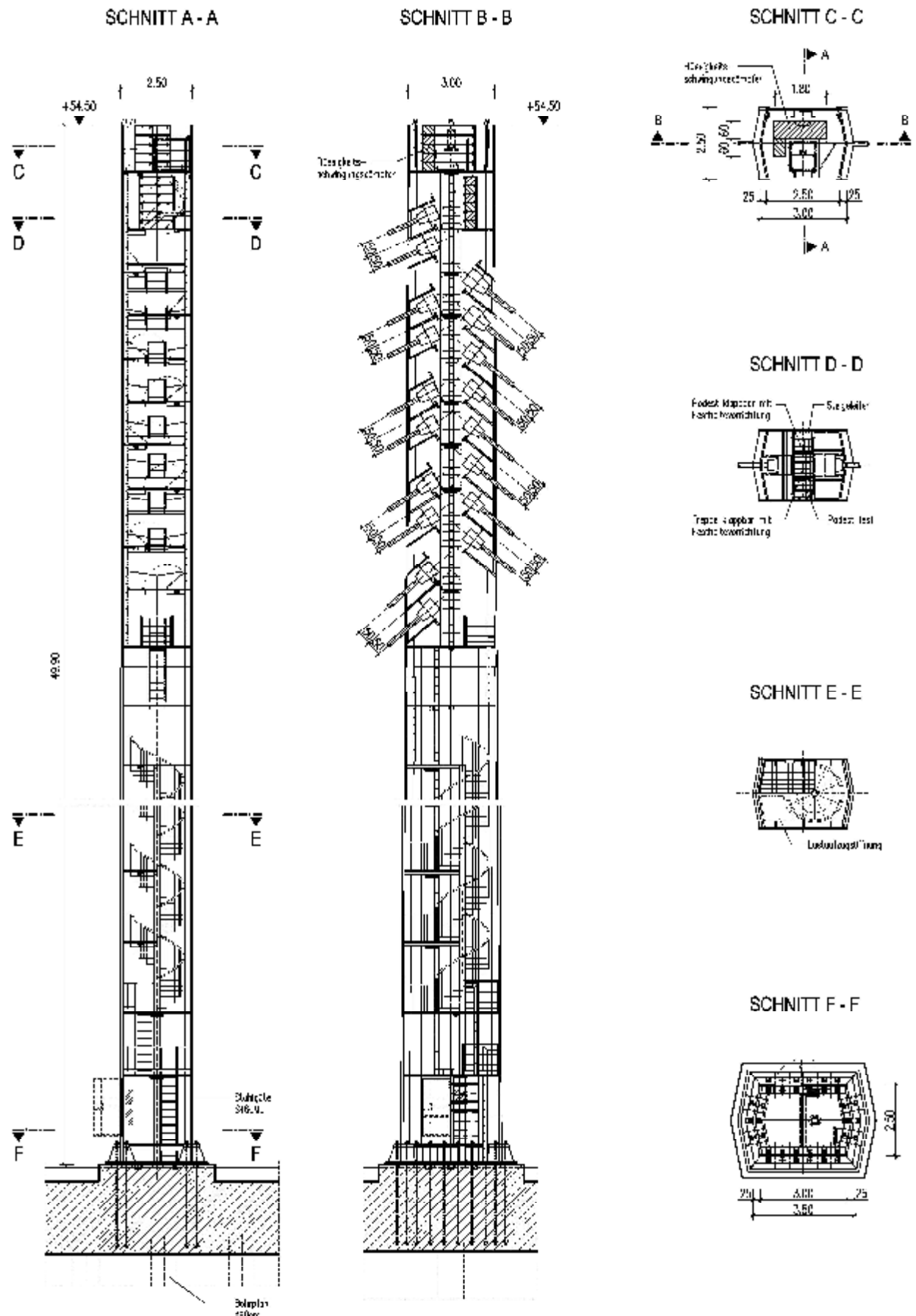


Abbildung 15: Schnitte Pylon

Für die Gründung der Pylone und Einzelstützen in Achse 170 ist aufgrund der Belastung eine gemeinsame Pfahlkopfplatte vorgesehen. Die Ausbildung der Pfahlkopfplatte wurde dabei im Norden an die geplante Führung der Neuenlander Wasserlöse und im Süden an den Straßenverlauf des Flughafendamms angepasst.

Aufgrund der hohen Belastungen und wegen der stark wechselnden Tonschollenmächtigkeit in Achse 170 (Pylongründung) und der daraus zu erwartenden Untergrundverformungen in dm-Größe ist eine Tiefgründung in den mitteldichten Terrassensanden ausgeschlossen (Abbildung 16). Dementsprechend ist die Tiefgründung bis in die schluffigen Sande (ab ca. 30 m unter GOK) geführt worden. Um die kompressibleren Schichten unmittelbar unter der Pfahlfußebene zu vermeiden, wurde die Mindestabsetztiefe mit 43 m unter GOK (rd. -38,5 m NN) festgelegt. Verfahrenstechnisch bedingt fiel daher die Wahl auf verrohrt gebohrte Bohrpfähle mit einem Durchmesser von 0,9 m. Insgesamt sind zur Weiterleitung der Lasten in den Baugrund ca. 65 Pfähle mit jeweils 40 m Länge erforderlich (Gesamt 2600 m Bohrpfahl).

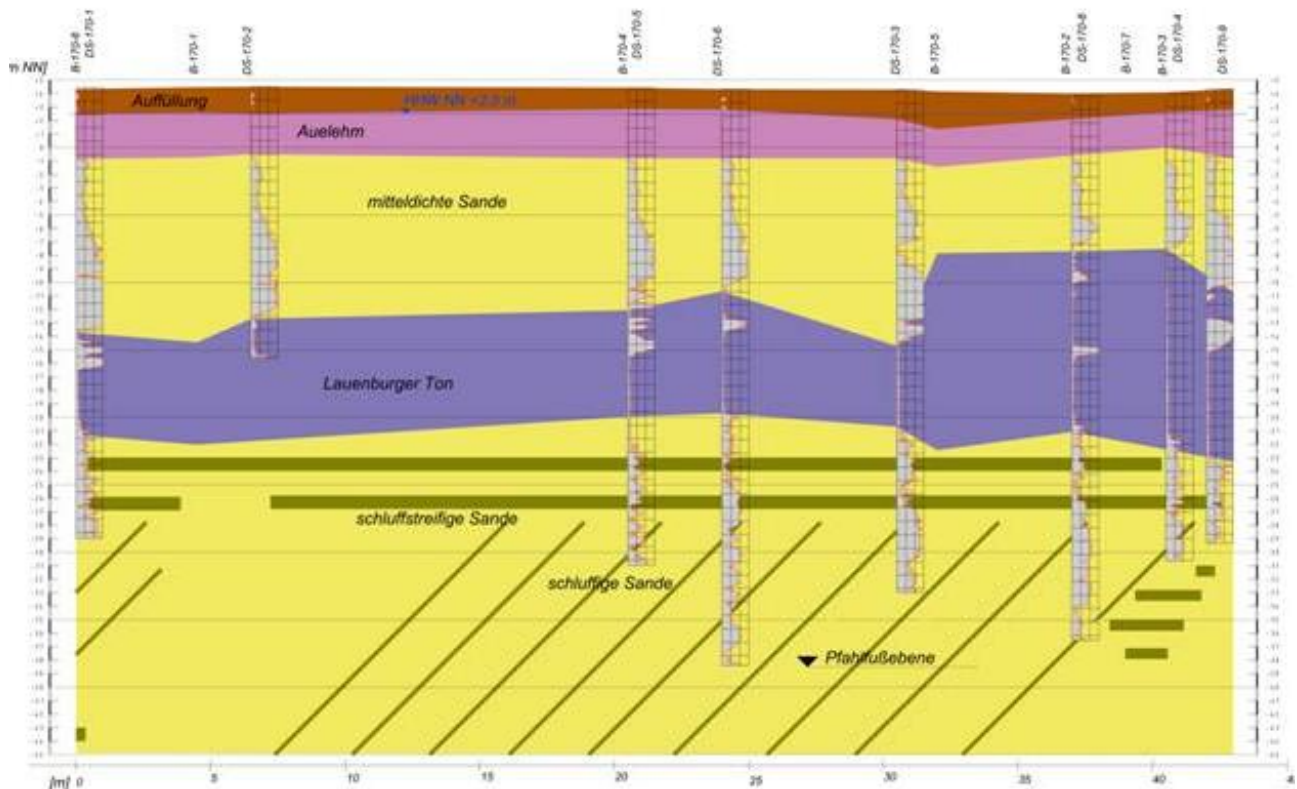


Abbildung 16: Geologischer Schnitt Pylonachse (Achse 170)

Zugverankerung

Die Verankerung der Seilkräfte in Achse 180 erfolgt über zweimal vier geschmiedete Zugpendel je Seite mit einem Durchmesser von ca. 180 mm, die mittels einer Bolzenverbindung an die Schwergewichtsplatte und den Versteifungsträger angeschlossen werden (Abbildung 17).

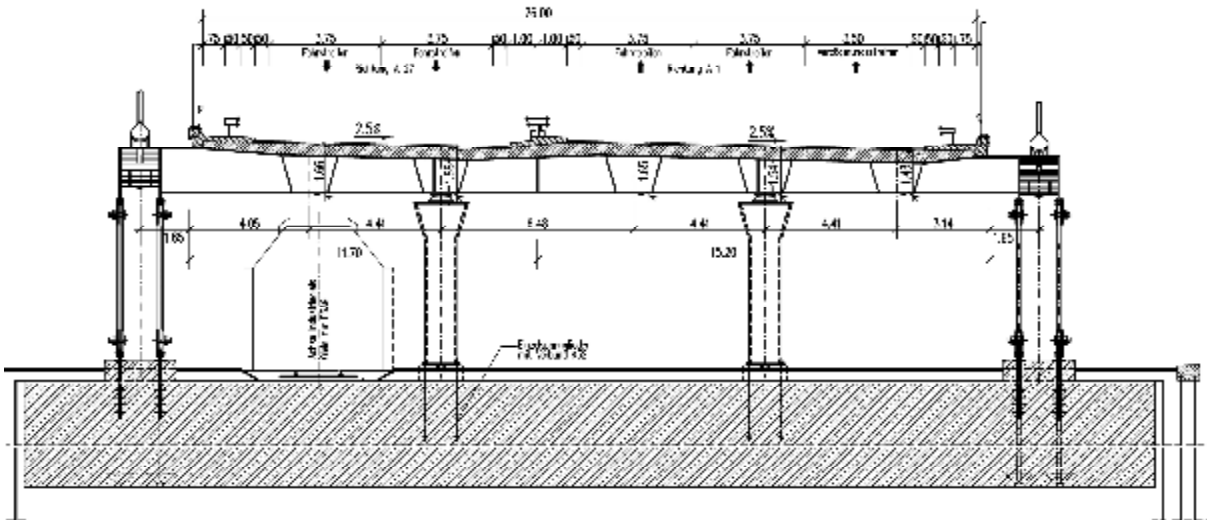


Abbildung 17: Querschnitt Zugverankerung (Achse 180)

Zum Austausch der Pendel können Hilfskonstruktionen mit Pressen an den Verankerungsblechen angeschlossen werden, um die Zugpendel zu entlasten.

Die Gründung in Achse 180 (Zugverankerung) ist als Flachgründung (Schwergewichtsplatte) konzipiert, da die unterhalb der Terrassensande ab ca. 12 – 15 m Tiefe anstehenden Tonböden der Lauenburger Schichten zur Aufnahme von Zugkräften nicht geeignet sind.

Entsprechend der exzentrischen Beanspruchung aus den Zugkräften der Pendel wird die Schwergewichtsplatte, wie schon in Bild 8.26 dargestellt, in Brückenlängsrichtung unsymmetrisch angeordnet, so dass eine nahezu gleichmäßige Beanspruchung des Baugrundes erzielt wird.

5.3 Besonderheiten bei der Bemessung

Grundsätzlich ist die Hochstraße für Brückenklasse 60/30 der DIN 1072, Ausgabe Dez. 1985 sowie für Militärlasten MLC 50/50 – 100 gem. STANAG 2021 zu bemessen. Aufgrund einiger Besonderheiten der Konstruktion bzw. fehlender Vorgaben in den DIN-Vorschriften wurden im Rahmen der Ausschreibung nachfolgende Festlegungen getroffen:

Berücksichtigung der Seilvorspannung

Die in den Verbundträgerrichtlinien vorgegebenen Sicherheitsbeiwerte bei Nachweisen im rechnerischen Bruchzustand

$\gamma = 1,7$ für ständige Last

$\gamma = 1,0$ für Vorspannung

sind für das vorliegende Schrägseilbrückensystem im Bereich B, in dem die Vorspannung durch Anspannen der Seile erzeugt wird, nicht anwendbar.

Bei Schrägseilbrücken ergeben die Lastfälle Eigengewicht und Kabelverkürzung zusammen die Schnittgrößen im Zustand „Ständige Last“. Durch die Seilverkürzung können die Schnittgrößen aus „Ständiger Last“ mit dem Ziel einer wirtschaftlichen Bemessung gesteuert werden.

Ungenauigkeiten in den Eigengewichtsannahmen führen zu relativ großen Verformungen und können durch relativ geringe zusätzliche Kabelverkürzungen ausgeglichen werden.

Stand der Technik bei Schrägseilbrücken mit Stahlüberbauten ist die Gleichbehandlung der Lastfälle Eigengewicht und Seilverkürzung.

Für das vorliegende Verbundtragwerk wird in Anlehnung an DIN 18800 Teil 1 – Ausg. 11/1990 ein angemessener Faktor zur Berücksichtigung von Abweichungen des Eigengewichtes eingeführt. Der Faktor wurde mit $\pm 5\%$ im Gebrauchszustand festgelegt. Damit ergibt sich im Bruchzustand $1,7 \times \pm 5\% = \pm 8,5\%$.

Bemessung der Seile

Die Sicherheiten für die Bemessung der Seile einschließlich der Endausbildung sind in DIN 18800, Teil 1 (Ausgabe 03.81) und DIN 18809 geregelt. Hiernach ist neben dem Nachweis im Gebrauchszustand auch der Austausch eines Seiles zu berücksichtigen.

Zusätzlich ist der Nachweis des plötzlichen Ausfalls durch einen Verkehrsunfall eines einzelnen Seiles zu führen. Hierbei ist ebenfalls die volle Verkehrsbelastung anzusetzen. Der dynamische Faktor kann näherungsweise nach ENV 1993-2: 1997, A2.5. ermittelt werden. Die Sicherheit in benachbarten Seilen gegen die wirkliche Bruchlast soll dabei 1,1 betragen, in betroffenen Konstruktionselementen 1,1 gegen Fließen.

Bemessung der Pylongründung

Aufgrund der geologischen und geometrischen Verhältnisse der Pylongründung ist bei der Berechnung der Pfahlkräfte und der Beanspruchung der Pfahlkopfplatte das elastische Tragverhalten der Konstruktion zu berücksichtigen.

D.h., dass die Steifigkeit der Pfahlkopfplatte, der Pfähle und des Bodens in die Berechnung einzubeziehen ist. Für die axiale Lagerung der Pfahlfüße ist eine elastische Bettung nach dem Bettungsmodulverfahren anzusetzen. Entsprechende Angaben zu den Bettungsmodulen wurden in Abhängigkeit der vorgesehenen Gründung durch den Baugrundgutachter vorgegeben.

Bemessung der Zugverankerung

Die Verankerung der Seilkräfte in Achse 180 erfolgt über die Zugpendel, die an das Fundament (Schwergewichtplatte) und den Versteifungsträger angeschlossen werden.

Neben dem Nachweis im Gebrauchszustand ist auch der Austausch eines Pendels zu berücksichtigen. Der Ausfall eines Pendels durch einen Schadenfall oder mutwillige Zerstörung ist nicht zu untersuchen.

Für die Dimensionierung des Fundamentes in Achse 180 ist ein Nachweis gegen Abheben zu führen. Hierbei muss das Verhältnis von Fundamenteigengewicht zu den angreifenden Lasten eine Sicherheit von $\eta \geq 1,5$ aufweisen.

5.4 Berechnung

Da es sich um eine der ersten seilverspannten Brücken mit einem Versteifungsträger in Verbundbauweise handelt, wurden schon in der Entwurfphase umfangreiche Berechnungen des Endzustandes, der Bauzustände, Betonierzustände und Seilreckvorgänge durchgeführt.

Hier soll auf das Vorrecken der Seile näher eingegangen werden.

Unter dem Begriff Seilreck versteht man die plastische Verformung des Seiles unter Erstbelastung. Hierbei schließen sich zunächst die Fugen und Spalten im Seil. Bei weiterer Belastung treten stärkere Querpressungen der einzelnen Drähte auf, infolge der vorhandenen Querdehnung verlängert (reckt) sich das Seil.

Im Entwurf war es vorgesehen, nach Montage des gesamten Stahlbaus, die Seile paarweise, jeweils ein Seil links und rechts des Überbaus vorzurecken. In diesem Zustand liegt der Überbau in den Achsen 160.1 und 160.3 noch auf Hilfsstützen auf.

Um nun eine Abheben des Überbaus in diesen Achsen abbilden zu können, wurden die Lagerungspunkte der Hilfsstütze mit Rissfedern abgebildet.

Die Seile wurden mit Seilelementen abgebildet, um einen Ausfall der benachbarten Seile infolge von Druckkräften im System zu integrieren.

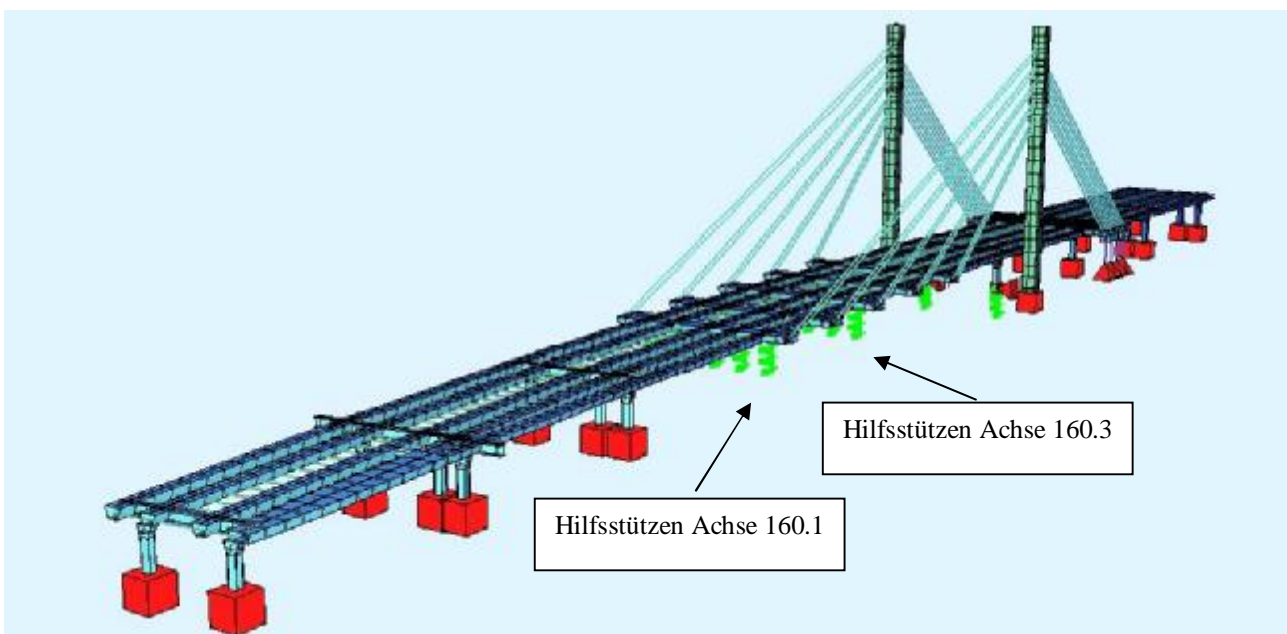


Abbildung 18: Sofistik-System

Nachfolgend sind Animator-Bilder der Reckvorgänge 1 (Seilpaar Querträger Achse 160.1) und 5 (Seilpaar Querträger Achse 160.5) dargestellt. Wie man erkennen kann, erhält nur das etwas dunklere Seilpaar der vorderen Seile, welches angespannt wird Zugkräfte und alle anderen Seile im vorderen Bereich fallen aus d.h. sie erhalten keine Kräfte. Im Bereich der Rückverankerung erhalten nur die oberen Seile Zugkräfte.



Abbildung 19: Reckvorgang 1



Abbildung 20: Reckvorgang 5

Verwendete Module Seilreck: AQUA; GENF, SOFILOAD, ASE, ASE2

5.5 Untersuchungen zum Schwingungsverhalten

Die Untersuchungen zum Schwingungsverhalten der Schrägseilbrücke und der Pylone wurden von Prof. Ruscheweyh (Ruscheweyh Consult GmbH - Aachen) durchgeführt.

Die Windkanalversuche an einem sog. „Teilmodellversuch“ für die Brückenplatte haben ergeben, dass die Standsicherheit durch wirbelerregte Schwingungen nicht gefährdet sei. Auch Flattern und Torsionsgalloping traten im Modellversuch bis zu Windgeschwindigkeiten von 300 km/h nicht auf, was die numerischen Ergebnisse bestätigte.

Zur Dämpfung der Regen-Wind-Induzierten Schwingungen der Seile sind Neopren-Unterstützungen vorgesehen.

Die rechnerischen Untersuchungen zum Schwingungsverhalten der Pylone haben ergeben, dass im Bau- und Endzustand Maßnahmen zur Schwingungsdämpfung notwendig sind. Für den Endzustand sind Flüssigkeitsschwingungsdämpfer vorgesehen. Die Flüssigkeitsbehälter sind in den oberen Geschossen der Pylone angeordnet. Im Bauzustand erfolgt eine provisorische Abspannung der Pylone.

5.6 Bauwerksgestaltung

Die entwickelte Brückenkonstruktion erfüllt nicht nur die konstruktiven Anforderungen eines Ingenieurbauwerks, sondern wird auch den hohen gestalterischen Ansprüchen gerecht (Abbildung 21).



Abbildung 21: Visualisierung der Schrägseilbrücke / Flughafendamm

Wesentliche Gestaltungsprinzipien waren:

- Die Nähe der Hochstraße zur Bebauung des neuen Flughafenstadtteils und die Kreuzung und Berührung mit Straßen und Wegen ermöglicht die Wahrnehmung des Bauwerks aus der Nähe und erfordert daher eine sorgfältige Detailausbildung sowie eine maßstäbliche Gestaltung und Gliederung.
- Das Straßenband der A281 soll als zentrales gestalttragendes Element horizontal durchgängig ablesbar werden, um die lineare Wegfunktion zu verdeutlichen und dabei den städtebaulichen Zusammenhang zu wahren. Dies setzt voraus, dass Stützen und Rampen soweit möglich als untergeordnete Elemente behandelt werden.
- Unterstützung des klaren funktional-konstruktiven Gestaltungskonzeptes durch die Beschränkung auf die Baustoffe Stahl und Beton.
- Die Überbrückung des Knotenpunktes Flughafendamm/Richard-Dunkel-Straße stellt die technisch und gestalterisch anspruchvollste Baumaßnahme des zweiten Bauabschnitts der A 281 dar. Die Forderung, den komplexen, verkehrlich hochbelasteten Stadtstraßenknoten mit kreuzenden Schienen, Wegen und Gewässern übersichtlich und damit sicher auszubilden, bedingt funktional ein Brückenbauwerk mit einer stützenfreien Öffnung von 127 m. Städtebaulich bildet die Brücke das Tor zwischen Flughafen und dem Weg zur Bremer Innenstadt.

5.7 Ausschreibung und Vergabe

Die Schrägseilbrücke wurde als Teil einer Gesamtmaßnahme (Hochstraße zwischen Duckwitz- und Georg-Wulf-Straße, Erd- und Dammarbeiten hinter den Widerlagern einschl. Bodenverbesserung, Uferwände an der Neulander Wasserlöse, Eisenbahnüberführung zur BSAG, Markierung und Beschilderung der Umleitungsstrecken) Ende 2001 / Anfang 2002 ausgeschrieben. Insgesamt wurden 8 Angebote zum Verwaltungsentwurf, 6 Sondervorschläge und 63 Nebenangebote abgegeben. Die Angebotssummen lagen zwischen 44,7 Mio € und 55,2 Mio €

Nach Prüfung und Wertung der Angebote, Sondervorschläge und Nebenangebote konnte der Zuschlag ohne Nachprüfungsverfahren auf das Hauptangebot der Arbeitsgemeinschaft Hochstraße A281 (Bilfinger Berger, HOCHTIEF Construction AG, Heinrich Hecker, Victor Buyck Steel Construction) vergeben werden.

6 BETEILIGTE

Projektleitung:	Bremer Gesellschaft für Projektmanagement im Verkehrswegebau mbH (GPV)
Bauherr:	Bundesrepublik Deutschland
Auftragsverwaltung:	Senator für Bau und Umwelt (SBU) der Freien Hansestadt Bremen vertreten durch das Amt für Straßen und Verkehr (ASV)
Vorentwurf, Entwurfs- und Genehmigungsplanung, Ausschreibung, Mitwirkung bei der Vergabe, Beratung des Bauherrn während der Ausführung:	Ingenieurbüro Grassl GmbH Hamburg
Straßenplanung:	M+O Bremen
Gestaltung:	Baumanagement Bremen GmbH Architektenbüro Dipl.-Ing. Schulze
Freiraumplanung:	Planungsgruppe grün (köhler • storz und partner)
Baugrundgutachter:	Hochschule Bremen Institut für Geotechnik (Prof. Dr.-Ing. Harry Harder)
Prüfingenieur:	Prof. Dr.-Ing. U.Weyer
Bauausführung:	Arbeitsgemeinschaft Hochstraße A281 (Bilfinger Berger, HOCHTIEF Construction AG, Heinrich Hecker, Victor Buyck Steel Construction)