

## Die 2. Strelasundquerung mit der Rügenbrücke – interaktive Entwicklungen in der Bauphase

Dr.-Ing. **Karl Kleinhanß**, DEGES,  
Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und –bau GmbH, Berlin;  
Dr.-Ing. **Björn Schmidt-Hurtienne**, EHS, NL Schwerin;  
Dipl.-Ing. **Martin Steinkühler**, Max Bögl Bauunternehmung, Neumarkt



### Zusammenfassung

Die Rügenbrücke im Zuge der 2. Strelasundquerung ist die derzeit längste Brückenbaustelle Deutschlands und soll 2007 fertiggestellt sein. Von ingenieurtechnischer Bedeutung sind die Vielfalt der verwendeten Bauweisen für die Überbauten, die bautechnischen Innovationen und nicht zuletzt die objektspezifischen Gestaltungselemente.

Ihre baubegleitende Entwicklung und Umsetzung innerhalb des beengten Terminrahmens war nur möglich im interaktiven Dialog zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer.

### 1. Ingenieurtechnische Besonderheiten

Die 2. Strelasundquerung verbindet über die B 96 neu die Insel Rügen mit der seit Dezember 2005 durchgängig von Lübeck bis Stettin befahrbaren Ostseeautobahn A 20.

Die insgesamt 4100 m lange, bautechnisch besonders anspruchsvolle Teilstrecke zwischen der Ortsumgehung Stralsund und der Anschlussstelle Altefähr auf Rügen überquert mit der 2830 m langen Rügenbrücke den Ostteil Stralsunds, den als Bundeswasserstraße eingestuftem Ziegelgraben, die Insel Dänholm und den Strelasund. Je zur Hälfte führt die Brücke über dicht bebautes Stadtgebiet sowie über die unter Offshore-Bedingungen zu überbauende Ostsee (Bild 1). Im Vordergrund der Entwurfsarbeit stand die Aufgabe, eine mit dem Altstadtbild Stralsunds verträgliche Gestaltung der Hochbrücke zu entwickeln. Die zunächst geäußerten Bedenken, eine Hochbrücke könnte den Status Weltkulturerbe der Hansestadt Stralsund gefährden, wurden durch eine sorgfältig optimierte Lösung ausgeräumt.



Bild 1: Visualisierung 2. Strelasundquerung

Besonderes Augenmerk wurde dabei dem „Führungstragwerk“, der 42 m hohen und 198 m weiten Überspannung des Ziegelgrabens gewidmet. Die inzwischen realisierte Pylon- bzw. Schrägseilbrücke besticht durch ihre Eleganz und Schlankheit, ihre harmonische Einbindung in das maritim geprägte Umfeld sowie durch die gestalterisch, technisch und wirtschaftlich vorteilhafte Tropfenform für alle druckbeanspruchten Tragglieder.

Der gesamte Brückenzug besteht aus sechs Teilbauwerken, welche durch gleichartige Entwurfselemente zu einer gestalterischen Einheit verknüpft sind. Zur Ausführung gelangen für die Vorlandbrücken ein zweistegiger Spannbetonplattenbalken, ein Stahl-Verbundüberbau, ein Spannbetonhohlkasten sowie für die Schrägseilbrücke ein dreizelliger Stahlhohlkasten.

Bemerkenswert sind vor allem die Vielzahl der für den Großbrückenbau in Deutschland richtungsweisenden bautechnischen Neuerungen, insbesondere die Erstanwendung von Litzenbündeln sowie von selbstverdichtendem Beton, jeweils mit Zustimmung im Einzelfall durch das BMVBS mit Beteiligung des DIBt bzw. der BAST.

Sämtliche Innovationen wurden erst im Zuge der Bauausführung im interaktiven Dialog zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer in das Projekt eingebracht, ausgelöst durch neue Erkenntnisse bzw. Aufgabenstellungen in der Phase der Bauausführung.

## 2. Interaktive Umsetzung des Bauvertrages

Im Projektablauf der 2. Strelasundquerung werden, wie bei allen großen Infrastrukturvorhaben, die Kriterien Baurecht, Finanzen, Technik und Funktion über die Phasen Projektentwicklung, Bauvorbereitung, Baudurchführung und Gewährleistung schrittweise in ihren Wechselbeziehungen entwickelt und verdichtet, bevor das nutzungserprobte Produkt in die Hände des Baulastträgers, des Landes Mecklenburg-Vorpommern, übergeben werden kann. Die DEGES als projektverantwortliche Planungs- und Baugesellschaft ist ebenso wie die bauausführende ARGE Max Bögl Bauunternehmung erst dann entlastet (Bild 2).

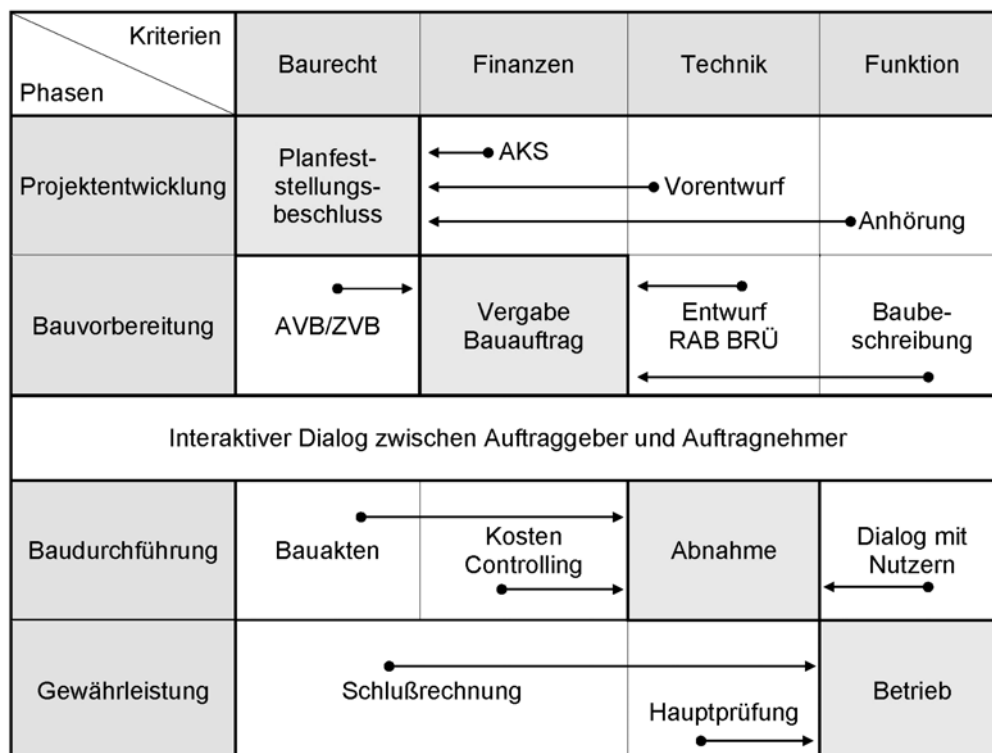


Bild 2: Kriterien im Projektablauf (Quelle: DEGES)

Bis zum Abschluss des Bauvertrages behält der Bauherr bzw. der Auftraggeber mit seinen Dienstleistern alleine die Projektverantwortung und muss dabei insbesondere das Baurecht mit dem Planfeststellungsbeschluss erwirken, ein erster Meilenstein im Projektgeschehen. Mit der Beauftragung des wirtschaftlichsten Bieters bekommt er im Idealfall einen erfahrenen Partner, der sich vor allem um das „Wie“ der Baudurchführung kümmert. Der Auftraggeber hat vorher das „Was“, also das Ziel der Bauleistung, vorgegeben. Danach hält er sich keinesfalls aus dem Baugeschehen heraus, sondern er begleitet mit seinem gesammelten Erfahrungsschatz aus vergleichbaren Brückenbauvorhaben und seinem projektspezifischen

Know-how intensiv und interaktiv den Bauablauf. Das „Fordern und Fördern“ der Vertragsleistungen im Dialog mit dem Auftragnehmer ist seine Aufgabe.

Diese Verknüpfung der Erfahrungen auf Seiten des Auftraggebers mit den Ideen des Auftragnehmers führt auch zu Verbesserungen bei der Fertigung und Montage. Der Baufirma hat der „interaktiv“ handelnde Auftraggeber dafür Raum zu geben, solange die Qualität der Vertragsleistung gewahrt bleibt. So können technische Innovationen noch baubegleitend in das Projekt eingeführt werden, ohne die engen Terminvorgaben außer Acht zu lassen. Alle beteiligten Stellen auf Auftraggeber- wie auf Auftragnehmerseite verfolgten diese Entwicklungen mit beispielhaftem Engagement, weil sie sich dem primären Projektziel verpflichtet sahen, auf der Basis des Bauvertrages die Qualität des Bauwerkes überall dort zu verbessern, wo es notwendig und möglich ist.

### 3. Funktional veranlasste Innovationen

Im Zuge der Umsetzung des Bauvertrages ließen sich nicht nur neue Erkenntnisse aus den eventuell örtlich vorgefundenen, von den Entwurfsannahmen abweichenden oder im Detail noch nicht bis zu Ende durchdachten Randbedingungen in das Projekt einführen, sondern auch Anregungen aus dem Umfeld des Bauvorhabens, wie den Anliegern, den Medien und vielen Bürgern, welche dieses innerstädtische Bauvorhaben aufmerksam und - durchaus im positiven Sinne - kritisch verfolgten.

Dabei gaben gerade die in der Vorplanung und im Planfeststellungsverfahren erkannten Probleme und Widerstände gegen das Projekt die notwendigen Impulse, um zu innovativen Lösungen zu kommen (Bild 3).



Bild 3: Baubegleitende Innovationen

Das Paradebeispiel ist die charakteristische Tropfenform für sämtliche Stützglieder, welche zunächst als reines Gestaltungselement mit Bezug zur maritimen Umgebung eingeführt wurde. Im Verlauf der Bearbeitung stellte sie sich darüber hinaus als statisch günstiges, da windschlüpfriges Tragglied und somit auch als wirtschaftlich heraus. Noch während der Ausführungsplanung wurden die teilweise als Wandscheiben geplanten Pfeiler konsequent aufgelöst.

Die erstmalige Anwendung von Litzenbündeln im deutschen Großbrückenbau wurde begünstigt durch die Forderung der Vogelschützer, den Schrägseilen der Ziegelgrabenbrücke einen Mindestdurchmesser von 12 cm zu geben, um Vogelschlag zu vermeiden. Dieser Wert wurde im Planfeststellungsbeschluss ausdrücklich festgeschrieben. Dennoch konnten zunächst nur die in Deutschland zugelassenen voll verschlossenen Seile ausgeschrieben werden, obwohl sie nicht voll ausgenutzt waren. Bei den langen Seilen hätte die geringe Ausnutzung zu einem konstruktiv und ästhetisch ungünstigen Durchhang geführt. Heute ist bereits absehbar, dass die Litzenbündel hinsichtlich Korrosionsschutz, Auswechselbarkeit, Montage und Wirtschaftlichkeit dem ausgeschriebenen System zumindest gleichwertig sind (Bild 4).

Die 34 Einzellitzen der Schrägseile werden zwischen Spannankern DYNA Grip DG-P 37 geführt. Die Litzen werden durch den Ankerblock geführt und nach dem Spannen mit Keilen verankert. Eine Ringmutter überträgt die Seilkraft auf die Verankerungsplatten am Pylon und am Überbau. Ca. 2 m vor dem Ankerblock werden die aufgefächerten Litzen zu einem parallelen Seilstrang gebündelt und ab hier in einem Kunststoffrohr aus HDPE (high density polyethylen) geführt. Die Lagerrohre am Überbau bzw. am Pylon schützen die Spannanker gegen Feuchtigkeit. Der Überstand der Litzen wird durch eine mit Fett ausgepreßte Kappe verschlossen und erlaubt das Nachspannen der Seile.

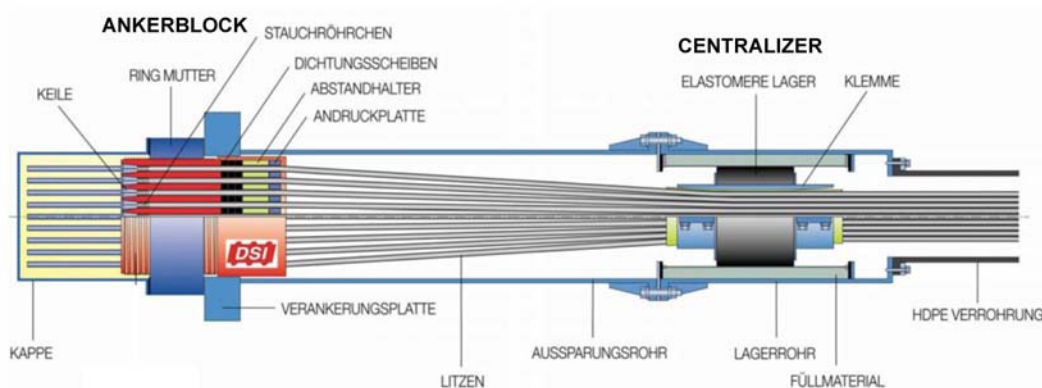


Bild 4: Litzenbündel System DYNA-Grip von SUSPA / DSI

Ebenfalls als Erstanwendung im Großbrückenbau kam selbstverdichtender Beton für die Verbundbereiche der beiden Y-Stützen im Zuge der Verbundbrücke Stralsund zur Anwendung (siehe Abschnitt 7).

Besonderes Augenmerk im Hinblick auf einen leistungsfähigen, störungsfreien und sicheren Betrieb des Brückenbauwerkes wurden der Fahrsicherheit auf der Brücke sowie der Gefahrenabwehr für die sich unterhalb der Brücke aufhaltenden Personen gewidmet. Dabei führen die auf der Hochbrücke deutlich höheren Windgeschwindigkeiten zu Seitenwindeinfluss auf die Fahrzeuge und zu einem erhöhten Risiko der Spurabweichung bis zum Absturzrisiko.

Deshalb wurde untersucht, wie sich eine windabweisende Verkleidung auswirkt, zunächst über numerische Simulation, danach durch Windkanalversuche für den Überbau sowie den Pylon. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass eine 2 m hohe Verkleidung die Kippgefahr eines LKW auf etwa die Hälfte reduziert, wobei die Abschirmung der Verkleidung gerade bei Starkwind besonders effizient ist.

Darüber hinaus wird in den absturzgefährdeten Bereichen eine auf die Aufhaltestufe H4b ausgelegte Absturzsicherung eingebaut, welche LKW-Abstürze mit großer Wahrscheinlichkeit ausschließen wird. Die Lasteinleitungen im Stahlüberbau wurden dafür bereits bemessen und konstruktiv berücksichtigt.

#### **4. Organisation des Baubetriebes**

Dieses Bauvorhaben mit einem Baufeld von 4 km Länge, je hälftig über bebautem Land bzw. Wasser, mit Arbeiten in sensiblen Umweltbereichen sowie mit Verknüpfung unterschiedlicher Bauweisen stellt besondere Anforderungen an die Organisation des Baubetriebes.

Die Arbeitsgemeinschaft 2. Strelasundquerung hat das gewerbliche Personal vor Ort eingestellt. Damit konnten sowohl für die Offshore-Arbeiten Fachleute gewonnen werden, die das Arbeiten auf dem Wasser gewohnt sind, als auch erfahrene Brückenbauer, die bereits beim Neubau der A 20 tätig waren. Auf diese Weise konnte zu dem der Arbeitsmarkt vor Ort entlastet werden.



Bild 5: Betonmischer auf Ponton

Für die Andienung der Offshore-Unterbauten wurde in Altefähr auf Rügen eine Anlegestelle mit hydraulischer Auffahrtsrampe eingerichtet. Zum Betonieren der Unterbauten werden Pontons eingesetzt, die mit Betonpumpen und bis zu vier Fahrmischern bestückt werden. Sie werden über Schubboote zu den Einsatzorten verholt (Bild 5).

Ein Nadelöhr ist die alte Ziegelgrabenbrücke, die als Klappbrücke dreimal am Tag und zweimal in der Nacht für den Schiffsverkehr geöffnet wird. Die Materiallandienung ist dann unterbrochen, in der Ferienzeit entstehen lange Staus. Die Betoniertermine müssen daher auf die Öffnungszeiten abgestimmt werden, bis der Baustellenverkehr über die stralsundseitige Vorlandbrücke und die Schrägseilbrücke geführt werden kann.

Um Trübungsfahnen im Strelasund zu vermeiden, wurden alle wasserseitigen Gründungsarbeiten in geschlossenen Baugruben durchgeführt. Das Einbringen des Kolkschutzes sowie alle Erdarbeiten erfolgen dort außerhalb des Heringszuges. Zur Vermeidung von Setzungen an der parallel laufenden B 96 wird auf Bohrpfählen bis 30 m tief gegründet. Um Schäden an der störanfälligen Klappbrücke im Ziegelgraben vorzubeugen, waren die Spundwände der Baugruben in diesem Bereich einzupressen.

Die Schlüsselgewerke Bohrpfahlgründung, alle Beton- und Schalungsarbeiten, Stahlbaufertigung und Montage sowie die Abdichtungsarbeiten konnten innerhalb der Unternehmensgruppe Max Bögl in einem Haus technisch und logistisch abgewickelt werden.

Über ein Planverwaltungsprogramm haben alle Unternehmensteile und die Aufsteller der Ausführungsplanung Zugriff auf die Pläne. Dadurch bleiben die Kommunikationswege kurz, die Nachunternehmer sind eingebunden. Über den Koordinator / Projektleiter erfolgt die Vernetzung zum Auftraggeber, den Prüffingenieuren und der Bauüberwachung.

Zur Verkürzung der Bauzeit und zur Qualitätsverbesserung werden im Bereich der Verbundbrücke Filigranplatten als verlorene Schalung in der Ortbetonplatte eingesetzt. Bei den Kapfen kommen Halbfertigteile zum Einsatz.

## **5. Logistik und Montage**

Der gesamte Stahlbau wurde im Fertigungsbetrieb der ausführenden Firma Max Bögl in Neumarkt/Oberpfalz hergestellt.

Für die Verbundbrücke wurden bis zu 25 m lange L-förmige Segmente auf dem Straßenweg zur Baustelle transportiert und auf einem Montageplatz zu U-förmigen Trögen zusammengeschweißt. Der Verbundtrog wurde in 8 Schüssen bis 81 m Länge mit Raupenkran montiert und über Verschlosserungen gesichert.

Die Stahlüberbauten des dreizelligen Hohlkastens für die Schrägseilbrücke wurden in je 6 Querschnittsteilen mit Längen bis zu ca. 30 m über Schwerlasttransporter angeliefert. Im Hafen von Stralsund bzw. Lubmin waren Flächen angemietet, um die Querschnitte zu den Montageeinheiten bis zu 55 m Länge und 470 to Gewicht zusammenschweißen. Nur das „Herzstück der Brücke“, der Pylonfuß mit der Überbaudurchdringung, wurde mit einem Stückgewicht von 130 to auf dem Schiffsweg nach Stralsund transportiert. Für die 582 m



## Wir setzen Maßstäbe

Zu den Besten zu gehören heißt, ständig neue Maßstäbe zu setzen. Wir von Züblin stellen uns dieser Herausforderung – Tag für Tag, weltweit.

Gemeinsam mit unseren Kunden realisieren erfahrene Projektteams technisch und wirtschaftlich optimierte Bauvorhaben jeder Art und Größe. Erstklassig ausgebildete Fachleute auf den Baustellen gewährleisten die einwandfreie und termingerechte Ausführung der Projekte.

Dieses Selbstverständnis, zusammen mit unserem soliden wirtschaftlichen Handeln, macht uns zu einem leistungsfähigen und verlässlichen Partner – und das seit über 100 Jahren.

**ZÜBLIN**

### Ed. Züblin AG

Albstadtweg 3  
70567 Stuttgart  
Telefon +49 711 7883-0  
Telefax +49 711 7883-390  
E-Mail [info@zueblin.de](mailto:info@zueblin.de)  
[www.zueblin.de](http://www.zueblin.de)



lange Ziegelgrabenbrücke mit ca. 6000 to Stahl wurden über 80 Schwerlasttransporte durchgeführt, teilweise über Baustraßen der noch nicht fertig gestellten Ostseeautobahn A 20.

Die Montage erfolgte bei den zwei Landfeldern mit Hilfe eines Raupenkranes unter Einsatz von Schwebeballast. Für die Montage der Wasserfelder kam der Schwimmkran Taklift 7 zum Einsatz. Er besitzt eine max. Hebekraft von 1200 to und hat eine maximale Hubhöhe von 160 m. Wegen des Tiefganges mussten sowohl die Fahrrinne für die sogenannte Nordansteuerung als auch das Hafenbecken in Teilbereichen ausgebaggert werden.

Das größte, ca. 90 m lange und 850 to schwere Segment wurde gleichzeitig mit Schwimmkran und Litzenheber in Schräglage montiert, um es zwischen Pylonfeiler und Kragarm einpassen zu können.

Die Hauptöffnung mit 198 m Spannweite und einer lichten Höhe über Wasser von 42 m wurde im Freivorbau mit 16,1 m langen und 140 to schweren Segmenten mit Hilfe des Schwimmkranes vorgebaut. Dabei diente ein Derrickgerüst zum Ausrichten und Anhängen, bis der Montagestoß abgeschweißt und über die Seile zurückgehängt war. Parallel zum Freivorbau wurden die Pylonsegmente und jeweils vier Seile montiert. Die Pylonspitze liegt bei 127, 75 m ü. NN. Zum Austarieren der Spannweite von 198 m zu 126 m musste Schwergewichtsbeton eingebracht werden, um ein Abheben des Überbaus zu vermeiden. Dieser Beton wurde mit eisenerzhaltigen Zuschlägen hergestellt, um ein möglichst großes Gewicht zu erreichen. Der Einbau erfolgte im Hohlkasten in drei Betonierabschnitten als Verbund- bzw. Ballastbeton.

Beim Einbau der Seile wurde zuerst das Hüllrohr in Position gehoben, um dann Litze für Litze einzeln einzuziehen und vorzuspannen. Durch den Spannvorgang mit zwei hydraulisch gekoppelten Monopressen wird sichergestellt, dass nach dem Spannvorgang alle Litzen eines Seiles die gleiche Kraft aufweisen. Gemäß Spannprogramm wird eine Überlastung des Pylons sowie des Überbaus vermieden. Begleitet wurde die Montage durch ein umfassendes Messprogramm (siehe Abschnitt 9)

Dabei zeigte sich, dass der Montagezeitraum von November bis April trotz des harten Winters 2006 gut gewählt war. Die Temperaturdifferenzen waren wie der Einfluss der Sonneneinstrahlung klein, was die Vermessungsgenauigkeit steigerte. Der geringe Verkehr in der Schifffahrtsrinne ermöglichte es, den Schwimmkran für Montagen festzumachen und so die Rinne in Absprache mit dem Wasserschifffahrtsamt zu sperren. Bei starkem Eisgang halfen Eisbrecher und Schlepper aus. Die Montage von 18 Überbauschüssen mit 13 Pylonsegmenten und 32 Seilen wurde so in 22 Wochen erfolgreich durchgeführt.

## 6. Selbstverdichtender Beton (SVB) für die Verbundknoten

Bei der Vorlandbrücke Stralsund sind neben der 72 m weiten Hauptöffnung Y-Stützen angeordnet. Hier werden die Lasten aus dem Verbundüberbau über tropfenförmige Stahlstreben in den Betonpfeiler geleitet. Hier wurde aufgrund des Bewehrungsgehaltes, der Geometrie des kompakten Knotens und der unzugänglichen Verbundbereiche selbstverdichtender Beton (SVB) eingesetzt.

Dieser ist aufgrund seiner Zusammensetzung in der Lage, ohne Rüttelhilfe in alle Hohlräume



**Bild 6: Y-Stützen**

zu fließen und dabei selbst zu entlüften und zu verdichten. Er sedimentiert oder entmischt sich nicht, sondern verteilt die Zuschläge gleichmäßig. Dadurch wird eine homogene und dichte Struktur gewährleistet. Diese Eigenschaften werden durch Zugabe von Flugasche, Fließmittel und hohem Mehlkorngelbalt mit einer speziellen Rezeptur erreicht.

Der Einsatz von selbstverdichtendem Beton im Brückenbau bedarf einer Zustimmung im Einzelfall. Diese wurde unter Mitwirkung der Bundesanstalt für Straßenwesen auf Antrag des Landes Mecklenburg-Vorpommern durch das

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung unter Begleitung der TU Rostock im Auftrag der DEGES erteilt.

Für das Betonieren der Knoten waren folgende Zwangspunkte zu berücksichtigen:

- exponierte Lage, Betoneinbringung nur über Betonierstützen
- geringe Liefermenge 25m<sup>3</sup> / Std. wegen längerer Mischdauer
- Gewährleistung einer Festigkeitsklasse C 35/45 und einer dichten Oberfläche
- Einbindung der tropfenförmigen, nicht begehbaren Schrägstreben
- hoher Bewehrungsgehalt

Von Betontechnologen der Max Bögl Bauunternehmung wurde ein Befüll- und Kontrollsystem entwickelt. Dieses ist Bestandteil des vierteiligen Qualitätssicherungsplanes, der als Arbeitsanweisung eingereicht und mit der Zustimmung im Einzelfall freigegeben wurde. Voraussetzung war die Herstellung eines Musterbauteiles im Rahmen eines Verarbeitungsversuches, welches identisch mit den geometrischen Randbedingungen und der vorgesehenen

Betonrezeptur war. Weil nach dem Ausschalen kleinere Poren bzw. Lufteinschlüsse sichtbar wurden, mussten Verbesserungen für das Original abgeleitet werden. Bohrkerne an der Seite und an der oberen Rundung belegten eine geschlossene Struktur ohne Entmischung.

Im Herbst 2005 wurden beide Pfeilerköpfe mit jeweils 65 m<sup>3</sup> Beton hergestellt. Die Schalung erinnert mit ihren Spanten und gekrümmten Oberflächen an den Schiffsbau. Neben den zur Befüllung und Entlüftung vorgesehenen Stützen waren weitere Öffnungen zur Steuerung der Fließrichtung und Kontrolle installiert. Das Baustellenpersonal war nur mit dem Umsetzen des Pumpenschlauches und der Schalungskontrolle sowie dem Beobachten des Fließverhaltens befasst. Das Betonieren verlief kontinuierlich und ohne Unterbrechungen.

Der gelieferte Beton wurde bereits im Werk und dann am Einbauort in einem Baustellenlabor intensiv eigen- und fremdüberwacht. Alle Frischbetonuntersuchungen wie Setzfließversuch mit Blockierring, Fließzeit t500, Trichterauslaufzeit, Gefügestabilität, Blockier- und Sedimentierneigung wurden durchgeführt. Darüber hinaus wurden LP- Gehalt, Frischbetonrohddichte, Wasserzementwert und nicht zuletzt die Temperaturen ermittelt.

Das im Vorfeld festgelegte Betonierkonzept bestätigte sich durch die ordnungsgemäße Ausführung. Alle Betonierabschnitte waren vollständig und ohne Fehlstellen gefüllt, der Verbund zwischen Stahlstrebe und Bewehrung gewährleistet. Die Betoneigenschaften bei den Frisch- und Festbetonprüfungen wurden zielsicher erreicht.

Es bleibt festzustellen, daß die Anwendung von SVB in der Praxis des Brückenbaus eine aufwendige Qualitätssicherung erfordert. Bei sorgfältiger Arbeitsvorbereitung ist selbstverdichtender Beton für die Herstellung von hochbelasteten, geometrisch anspruchsvollen Bauteilen eine geeignete Lösung.

## **7. Instrumente im Qualitätsmanagement**

Für die Abwicklung eines Projektes dieser Größenordnung, bei dem vielfältige Bauverfahren, Baustoffe, Systeme und logistische Abläufe zum Einsatz kommen, muss das vertraglich vereinbarte objektspezifische Qualitätssicherungssystem konsequent organisiert sowie in der Ausführungsphase kontinuierlich und kreativ umgesetzt werden.

Bereits im Bauvertrag sind unter anderem folgende Elemente festgelegt:

- Eigenüberwachung der Lieferfirmen
- Zertifizierung nach ISO 9000
- Bauleitungs- und Koordinatorenfunktionen
- Fremdüberwachung durch externe MPAs und Prüflabors.
- Bauüberwachung des AG auf der Baustelle und im Werk.

- Bautechnische Prüfung der Ausführungsunterlagen durch Prüfengeieure
- Prüfung der Ausführungsunterlagen durch die BÜ.
- Abnahme von Teilbauleistungen durch die BÜ.
- Bauwerksprüfung nach DIN 1076

Für eine so komplexe Bauaufgabe müssen insbesondere der Informationsfluss und der Austausch von Erfahrungen und Kompetenzen zwischen den Vertragspartnern reibungslos funktionieren. Ein Datenverlust in der Informationskette zwischen Auftraggeber, Planungsbüros, ausführenden Firmen, Prüfengeieur oder Bauüberwachung wird zu Fehlern und damit zu Qualitätsminderungen führen.

Deshalb wurde für die Bauphase der 2. Strelasundquerung ein mehrstufiger Abstimmungsprozess aus großen und kleinen Baubesprechungen, Klärungs- und Abstimmungsgesprächen, Montagelagebesprechungen und Qualitätsaudits mit Fehleranalysen und Korrekturmaßnahmen installiert (durchschnittlich dreimal je Woche).

Die Zustimmung im Einzelfall für den erstmaligen Einsatz von Litzenseilen im Großbrückenbau in Deutschland sowie für die Anwendung des Selbstverdichtenden Betons wurde zusammen mit den Entwicklungspartnern erwirkt.

Die Expertengruppe „Litzenseile“ hat auf der Basis des fib bulletin 30 *Recommendations for the Acceptance of Stay Cable Systems using Prestressing Steels* die Zulassungsversuche festgelegt und die System- und Materialparameter bestimmt, die das Litzenseilssystem erfüllen musste. So wurden u. a. an der TU München Ermüdungsversuche am Litzenseil mit Biegewinkelabweichungen von 0,6° an den Verankerungen erfolgreich durchgeführt. In weiteren Versuchen wurde u. a. die Dichtigkeit des Verankerungskörpers unter Betriebsbedingungen getestet.

Zur Überwachung der Fertigung und Montage der Litzenseile wurde eine Qualitätsmatrix erstellt, die alle Schritte von der Herstellung der Litzen bis hin zur Konformitätsprüfung im Endzustand bei den überwachenden Stellen mit Zuständigkeiten belegt und deren Aufgaben definiert.

Ein ganz entscheidendes Instrument zur Qualitätssicherung ist die lückenlose Definition und Beschreibung der Arbeitsprozesse in Arbeitsanweisungen, Meß- und Spannprogrammen. Die Erstellung der Arbeitsanweisungen durch den AN und die Prüfung durch die BOL/BÜ und den Prüfengeieur führt zu einem Optimierungsvorgang, bei dem sämtliche am Bau Beteiligten die Abläufe vorausschauend analysieren und in Bezug auf Sicherheit, Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit zur Einsatzreife entwickeln. So ist sichergestellt, dass die Erfahrungen und Vorstellungen des Auftraggebers mit denen des Auftragnehmers kompatibel sind und erfolgreich umgesetzt werden.

## **8. Gestaltende Bauüberwachung**

Zwingende Voraussetzung für die baubegleitende Umsetzung des Bauvertrags, einschließlich der Innovationen und funktionalen Verbesserungen ist der Grundkonsens aller Beteiligten, den Bauprozess als eine Partnerschaft auf Zeit zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer im Dienste eines optimalen Projektergebnisses zu verstehen.

Der Bauüberwachung auf Seiten des Auftraggebers wächst darin die Aufgabe zu, neben den reinen Überwachungstätigkeiten vorausschauend und kreativ Vorschläge zur Verbesserung der Qualität, der Funktionalität und des Bauablaufs zu machen. Aus der reinen geometrisch vertraglichen Planprüfung lassen sich so konstruktive Verbesserungen im Dialog mit dem AN entwickeln.

Offenheit für die Verwendung neuer Bauverfahren, gepaart mit Verantwortung und Sorgfalt bei der Umsetzung der technischen Entwicklungen, erfordert das Wissen um den Stand der Technik und der Normen. Nur so kann das technische Regelwerk auf Seiten des Auftraggebers und der Bauoberleitung entsprechend interpretiert und fortgeschrieben sowie durch den Auftragnehmer in neuen Bauverfahren umgesetzt werden.

Als Beispiel sei die fachtechnische Begleitung der Erstanwendung der Litzenseile durch die BOL/BÜ mit Unterstützung von Prof. Jungwirth genannt. In gleicher Form wurden baubegleitend weitere technisch/funktionale Verbesserungen initiiert und umgesetzt, wie die vorsorgliche Anordnung von Schonblechen für Schutzeinrichtungen der Aufhaltestufe H4B an der Ziegelgrabenbrücke.

Eine gestaltende Bauüberwachung reagiert nicht nur bei Problemen und Bedenken, sondern sie löst rechtzeitig Vorgänge und Klärungsprozesse aus, um den reibungslosen Fortgang der Arbeiten zu sichern und, wo angezeigt, dem Bauwerk einen höheren Nutzungswert zu geben. Die Wirksamkeit von Windabweisern auf der Hochbrücke wurde beispielsweise noch parallel zur Ausführungsplanung über Windkanalversuche nachgewiesen.

Verbesserungsvorschläge der Baufirma, wie z.B. die Verwendung von Teilfertigteilplatten für die Ort betonverbundplatte, können im konstruktiven Dialog baubegleitend aufgenommen und umgesetzt werden.

Die Fortentwicklung der Instrumente zur Qualitätssicherung zählt ebenfalls zu den Aufgaben einer gestaltenden Bauüberwachung. Bei der Ziegelgrabenbrücke werden Teile der Brückenhauptprüfung vorgezogen, um Bauteile, die entweder während der Bauphase verschlossen werden, wie die Verankerungen der Seile, oder später nur mit erhöhtem Aufwand zugänglich sind, wie die korrosionsgeschützten Außenflächen am Pylon sowie der Unterseite des Überbaus, vom Montagegerüst aus zu prüfen.

## 9. Montage-Controlling der Schrägseilbrücke

Die Entwicklung der Montagezustände beim Freivorbau einer Schrägseilbrücke erfordert eine sehr genaue Planung und Überwachung aller Kraft- und Verformungszustände, da dieses vielfach statisch unbestimmte System nachträglich nur unter großem Aufwand korrigiert werden kann. Über die Vorspannung der Seile lassen sich beliebige Schnittgrößen im Überbau einprägen. Im Umkehrschluss führen Montageungenauigkeiten und Abweichungen in den Seilkräften aber zu unplanmäßigen Zwangskräften. Umso wichtiger ist neben einer genauen rechnerischen Erfassung aller Bauzustände auch das Controlling der Systementwicklung vom Werk bis zur Endmontage.

Für die spannungslose Werkstattform wurden schon im Werk die Geometrie, die Verschweißung und der Korrosionsschutz sämtlicher Stahlbauteile durch die Eigenüberwachung und die Fertigungsüberwachung der BÜ kontrolliert. Der Winkeltreue an den Seilverankerungspunkten kam eine besondere Bedeutung zu, da gemäß Zustimmung im Einzelfall nur eine Winkelabweichung zwischen Bündelachse und Verankerung von maximal  $\pm 0,6^\circ$  unter Ermüdungslasten zulässig ist.

Für die Freivorbauontage wurde ein Messprogramm mit Soll-Werten der Lage des Überbaus und des Pylons für jeden Montage- und Seilvorspannungszustand aufgestellt, mit dem auch die maßgebenden Toleranzen fixiert wurden.

Auf dem Vormontageplatz wurde die Maßgenauigkeit des dreizelligen Hohlkastens in den



Bild 7: Montage im Freivorbau

Stoßfugen von der BÜ überprüft, um vor dem Einhub die Passung abzusichern. Bild 7 zeigt den Einhub eines Segmentes unter laufender vermessungstechnischer Überwachung. Nach dem Abgleich der Ist-Lage mit den Soll-Werten aus der statischen Berechnung wurde der Stoß verschlossert, das Segment am Schwimmkran ausgehängt und anschließend die Fuge ver-

schweißt. Parallel zu den Schweißarbeiten wurde das nächste landseitige Seilpaar eingezogen und auf ca. 50% vorgespannt. Anschließend wurde das Seilpaar auf der Seeseite montiert und ebenfalls auf ca. 50% vorgespannt.

Die 2. Spannstufe wurde erst nach Abgleich der rechnerischen Soll- mit der gemessenen Ist-Lage des Überbaus einschließlich Korrekturmaßnahmen in den Seilvorspannkräften wiederum zuerst auf der Landseite und dann auf der Seeseite aufgebracht. Nach der endgültigen Vorspannung der Seile wurden die Seilkräfte über Lift-Off-Tests an mindestens 3 Litzen pro Seil kontrolliert und der Überbau und Pylon vermessen. Diese Auswertung bildete die Grundlage für Anpassungen in den Vorspannkräften der nächsten Seilpaare.

In Ergänzung zu den Vermessungen der ausführenden Firma wurden Kontrollvermessungen von der BÜ veranlasst. Sämtliche Soll-Ist-Vergleiche wurden im laufenden Dialog zwischen AG, AN, Prüflingenieur und BÜ durchgeführt und diskutiert. In den Montagelagebesprechungen wurden Anpassungsmaßnahmen bei Abweichungen oder unerwarteten Einflüssen beschlossen.

Dabei zeigte sich, dass zum Erzielen der Sollgradienten die Seile um ca. 10% bis 20% höher vorgespannt werden mussten. Ein Grund dafür waren die um 7% höheren Schussgewichte. Dieses Montagekonzept führt schrittweise zu einem zielgerichteten Einpendeln des Überbaus und des Pylons in die Endlage. Exemplarisch zeigt Bild 8 die Abweichung der Ist-Lage vom Endzustand in den Referenzpunkten an den Querträgern 200.12 und 200.28 (Mitte des großen Hauptfeldes). Mit fortschreitender Montage wird der planmäßige Endzustand asymptotisch eingestellt.

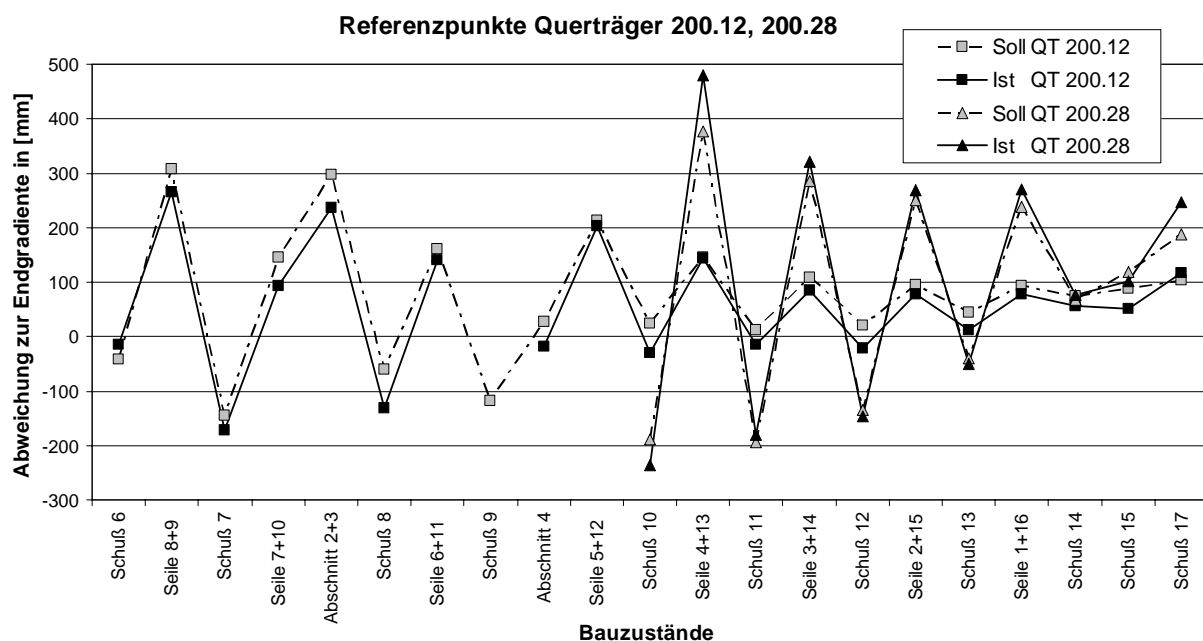


Bild 8: Entwicklung Gradiente im Hauptfeld

Der Kragarm des Freivorbaus gewinnt durch den Einbau der Seile zunehmend an Steifigkeit, so dass über die Wahl der Seilkräfte bei bekannter Steifigkeit der Einzelbauteile eine genaue Prognose der Verformungen möglich ist. Durch eine Feinjustierung der Seilkräfte und der Ballastbetonmenge während der Bauphase konnte eine sehr gute Approximation der Endgradienten erreicht werden, ohne die Seile nachspannen zu müssen.

Nach dem Abschluss der Stahlbau- und Seilmontage wurden der Überbau und der Pylon unter gleichmäßigen Temperaturbedingungen und im verkehrslastfreien Zustand in den frühen Morgenstunden vermessen. Außerdem wurden die Seilkräfte in allen Seilen mit Lift-off-Tests an 4 Litzen bestimmt. Verglichen mit dem Plansoll liegen die Vermessungsergebnisse durchwegs im Rahmen der zulässigen Toleranzen. Die Messung der Seilkräfte über Lift-off-Tests an Einzellitzen hat sich als zuverlässiges Mittel zur Hochrechnung auf die Gesamtseilkraft bewährt. Zur Dokumentation werden aus den Messergebnissen Schnittgrößenverläufe für den Eigengewichts- und Seilvorspannungslastfall erstellt und den Bauwerksakten zur späteren Überwachung gemäß Wartungsbuch beigelegt.

Die Biegewinkel an der Seilverankerung sind nach Feinjustierung der „Centralizer“ im zulässigen Rahmen, so dass noch vor Aufbringen der endgültigen Ausbaulasten das Verschließen der Seilverankerungspunkte nach Bestätigung durch die vorgezogene Bauwerksprüfung erfolgen konnte.

Über ein vorbeugendes Controlling wird bis zur Verkehrsübergabe das Schwingungsverhalten der Seile mit einem Messprogramm überwacht und ausgewertet. Zusätzlich zur Schwingungsamplitude der Seile werden Windstärke, -richtung und Niederschlag gemessen, um die Gefährdung bezüglich Regen- Wind- induzierter Schwingungen zu erfassen. Die Messungen dienen als Entscheidungsbasis für einen eventuellen Einbau von Dämpfern, auf den nach den bisher beobachteten, wegen der Systemdämpfung der Litzenbündel erfreulicherweise geringen Amplituden voraussichtlich verzichtet werden kann.

## **10. Perspektiven für den Großbrückenbau**

Mit dem Einhub der letzten beiden Überbauteile wurde am 06. April 2006, gerade 18 Monate nach Baubeginn, die Montage der technisch anspruchsvollen und innovativen Schrägseilbrücke über den Ziegelgraben erfolgreich abgeschlossen (Bild 9).

Damit sollten auch die restlichen Rohbauleistungen bis zum Lückenschluss der Strelasundbrücke auf Rügen im 1. Halbjahr 2007 planmäßig ablaufen, damit die 2. Strelasundquerung im 2. Halbjahr 2007 unter Verkehr gehen kann.





Bild 9: Bautenstand der Schrägseilbrücke im Juli 2006

Dass bei diesem, angesichts der Komplexität der Bauleistungen erstaunlich zügigem Bau- fortschritt eine Vielzahl funktionaler und technischer Innovationen baubegleitend umgesetzt werden konnte, ist nicht zuletzt dem außerordentlich konstruktiven „interaktiven Dialog“ zwischen allen auf Auftraggeber- und Auftragnehmerseite Beteiligten zu verdanken. Sie alle fühlten sich dem obersten Grundsatz des von der DEGES installierten QM-Systems verpflichtet: „Diese Brücke muss wachsen und gedeihen“ - und sie handelten danach.

Die bei der Rügenbrücke gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse sind nach ihrer erfolgreichen Erstanwendung auch für andere Projekte nutzbar und dürften somit dem deutschen Großbrückenbau neue Anstöße geben, was bereits bei den in der Planung bzw. im Bau befindlichen Schrägseilbrücken in Wesel und Meißen erfolgt zu sein scheint.