

# **Neubau der Brücke der Deutschen Einheit in Würzburg**

**J. Schlosser  
Philipp Holzmann AG, Neu-Isenburg**

## **1. Einleitung**

Ich berichte über ein Bauwerk, welches von der Firma, der ich angehöre, nicht nur gebaut, sondern in der Ausführung auch geplant wurde. Es handelt sich um die Brücke der „Deutschen Einheit“ in Würzburg, eine Schrägseilbrücke. In der Liste von Schrägseilbrücken liegt sie sicher weit hinten, was die Spannweiten angeht, mit 75 m bei den beiden großen Feldern. Dennoch ist sie nicht ganz alltäglich.

Sie wurde in den Jahren 1990 bis 1992 errichtet.

Um dieses Bauwerk haben Öffentlichkeit und Würzburger Stadtverwaltungen viele Jahre gerungen. Es ging vor allem um den Einfluß auf das Stadtbild von Würzburg. Das Planungsbüro, welches den ersten Entwurf verfaßt hatte, sah den Pylon technisch sinnvoll zunächst 14 m höher als hier auf dem Foto (Bild 1) zu sehen ist.

Es kam zu einem Kompromiss, bei dem unter dem Einfluß von Städtebau und Denkmalschutz der Pylon bis zur Grenze des Machbaren gekürzt und die Seile der ursprünglich vorhandenen vierten Lage der dritten Lage zugelegt wurden.

Beim ausgeschriebenen wie auch bei dem ausgeführten Entwurf überspannen daher die Seile nur 60 % der Felder mit den entsprechenden Nachteilen für die Statik, auf die ich hier aber nicht näher eingehen möchte.

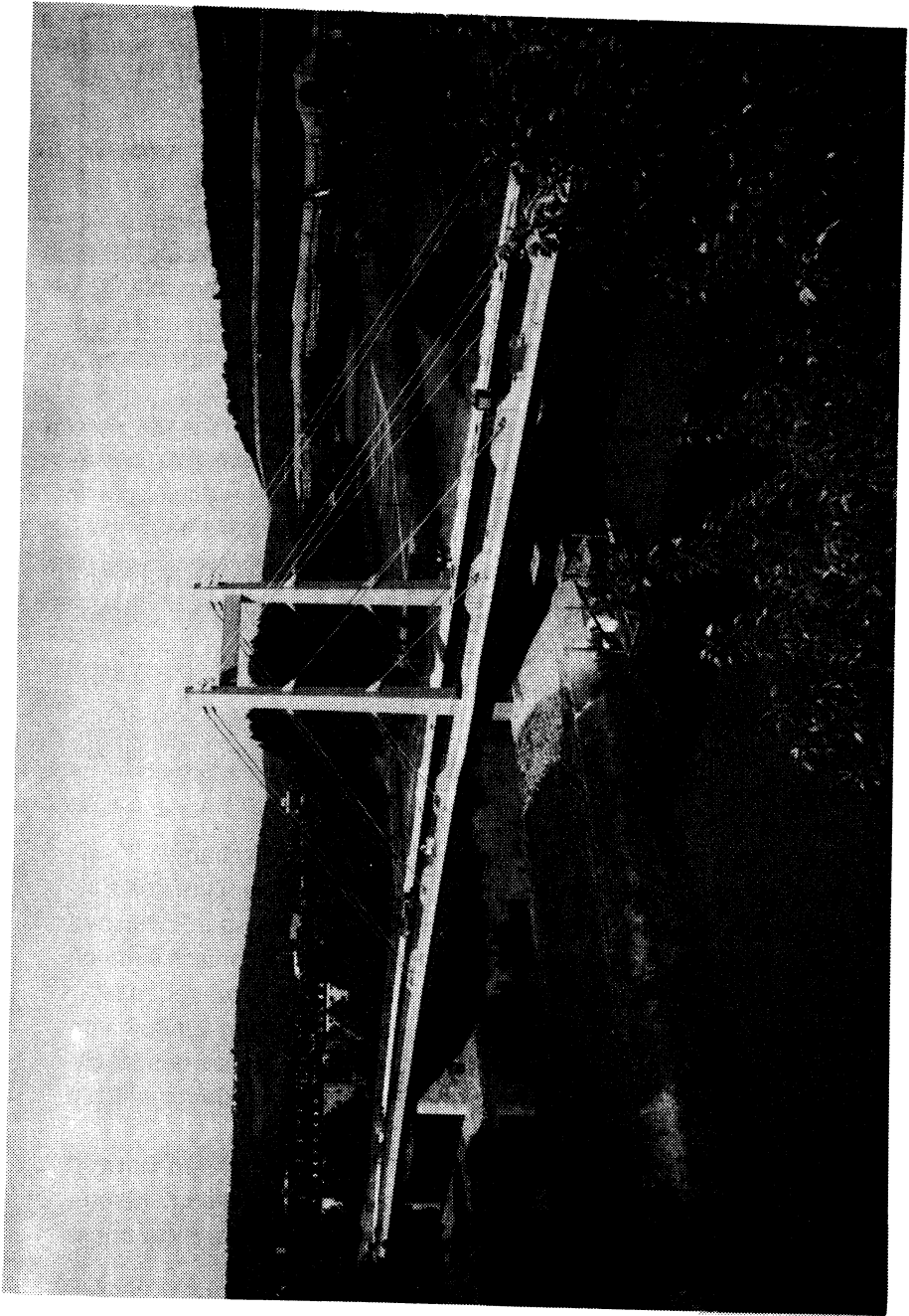


Bild 1

## **2. Der Ausschreibungsentwurf**

Ausgeschrieben wurde ursprünglich eine Verbundbrücke, ein Plattenbalken mit Betonfahrbahn und Längs- und Querträgern aus Stahl. Im Gegensatz zur Ausführung saßen die Seilebenen außerhalb der Geländer und faßten den Überbau statisch ungünstig an weit auskragenden Querträgern.

Der Überbau war in der Pylonachse frei drehbar aufgelagert. Der Pylon war aus Stahl.

## **3. Der Ausführungsentwurf**

### **3.1 Allgemeines**

Da wir in erster Linie eine Betonbaufirma sind, boten wir als Sonderanschlag dieses Bauwerk in Betonbauweise an und bekamen den Auftrag.

Die den Gesamteindruck bestimmenden Elemente wie Pylonhöhe und die Geometrie der Seilharfe waren, wie bereits erwähnt, von den Behörden festgelegt und wurden übernommen.

### **3.2 Überbau**

Der Überbau besteht durchgehend aus einem zweistegigen Plattenbalken aus Beton B 45.

Wegen des großen Abstandes der Längsträger sind alle 4,5 bis 5 m Querträger angeordnet.

Die beiden Seilebenen liegen nun statisch günstig in den Längsträgerachsen. Dadurch haben die Seile einen Abstand vom Fahrbahnrand von nur 1 m. Dafür schützen abgeschrägte Sockel aus Stahlbeton die Seile gegen den Anprall von Fahrzeugen.

Die kombinierten Fuß- und Radwege auf den Kappen sind durch einen Hochbord von der Fahrbahn getrennt. Sie umfahren die Pylonstiele auf kanzelartigen Verbreiterungen, die dem Bauwerk noch einen zusätzlichen Akzent geben.

Die beiden Längsträger sind (nach DIN 4227) beschränkt vorge-

spannt. Soweit dieses nicht durch die Wirkung der Überspannung erreicht wurde, geschah dieses mit Spanngliedern.  
Die Querträger erhielten ebenso eine beschränkte Vorspannung.

### 3.3 Der Pylon

Die beiden Pylonstiele bestehen aus Stahlbeton. Oberhalb der Fahrbahn sind sie von einem mittragenden 10 mm dicken Stahlblechmantel umhüllt. Die Stiele durchdringen monolithisch die Längsträger und spannen sich in zwei Pfahlkopfplatten ein.

Der Pylonriegel besteht aus einem geschweißten rechteckigen Hohlprofil. Er ist mittels angeschweißter Kopfplatten und einbetonierter Ankerschrauben biegesteif mit dem Pylonstielen verbunden.

### 3.4 Die Seile

Die Seile sind „vollverschlossene Spiralseile“  $d=123$  mm aus 61 Runddrähten und 334 Profildrähten mit einer Nennzugfestigkeit von  $1570$  N/mm<sup>2</sup>.

Die Drähte bestehen bekanntlich aus beruhigt vergossenem unlegierten Stahl, dessen hohe Festigkeit durch den Kohlenstoffgehalt, durch Wärmebehandlung (Patentieren) und Kaltumformung (Ziehen bzw. Walzen) beeinflusst wird.

Die im Versuch gemessene Bruchlast der Seile beträgt  $15,25$  MN. Das entspricht einer Bruchspannung von  $\sigma_B = 1429$  N/mm<sup>2</sup>. Gegenüber der Nennzugfestigkeit der Drähte ergibt das einen Verseilverlust von 9 %.

Die Last bei der 0,2 %-Dehngrenze liegt bei  $11,3$  MN.

Bei der maximal vorhandenen Seilkraft von  $6,7$  MN ergibt sich eine Sicherheit gegen Erreichen der 0,2 %-Dehngrenze von 1,7.

Durch Recken im Werk erhielten die Seile einen bis zur Dehngrenze konstanten Verformungsmodul ( $155000$  N/mm<sup>2</sup>).

Die Seile haben am unteren Ende einen angegossenen 400 mm dicken Kopf mit einem aufgedrehten Gewinde für die Stützmutter. Am oberen Ende besitzen sie ebenfalls einen angegossenen Kopf, nun aber mit einer Gabel versehen zum Einhängen in das entsprechende Augenblech am Pylon.

Die Seilköpfe bestehen aus kaltzähem Stahlguß. (Kerbschlagarbeit mindestens 27 Joule bei - 20 °C.)

Als Vergußmittel wird eine Zinklegierung verwendet mit Anteilen von Aluminium und Kupfer (ZnAl6Cu1, ZAMAK Z 610 nach DIN 1743).

Die Seile sind dreifach korrosionsgeschützt.

- Alle Drähte sind feuerverzinkt.
- Beim Verseilen wurde Leinöl-Bleimennige als Seilverfüllmittel eingebracht.
- Die Oberfläche der Seile ist mit PU-Material beschichtet.
- Die Seilköpfe sind thermisch spritzverzinkt.

### 3.5 Seilverankerungen

Am Überbau sind die Seile, wie schon gesagt, in den Längsträgern verankert.

Der 600 kp schwere Seilkopf wurde durch ein einbetoniertes Stahlrohr geführt. Dieses Stahlrohr ist mit der Ankerplatte fest verbunden. Es hat die Aufgabe, einen Teil der Seilkraft, die von der Stützmutter auf die Ankerplatte übertragen wird, über aufgeschweißte Schubringe in den Beton zu leiten. Außerdem gibt das Rohr dem Beton unmittelbar hinter der Ankerplatte eine zusätzliche Membranstützung.

Am Austritt des Stahlrohres aus dem Beton befinden sich zwei eingepreßte Neoprenehalbschalen zwischen Stahlrohr und Seil. Diese sollen bei Winkeländerungen zwischen Überbau und Seil Biegespannungen im Seil am Eintritt in den Seilkopf verhindern und außerdem Seilschwingungen dämpfen.

Die Stützmutter sitzt zugänglich an der Stegunterseite in einer Nische.

Das obere Ende des Stahlrohres ist nach außen hin mit einer Neoprenemanschette, der Seilhaube, abgeschlossen. Sie ist mit rostfreien Spannbändern an Rohr und Seil angepreßt.

Kurz vor der Ankerplatte ist der Innenraum des Rohres durch eine  $\varnothing$  50 mm-Öffnung mit der Stegunterseite verbunden. In ihr kann Wasser, das durch Beschädigung der Seilhaube in das Rohr einge-

drungen ist, ablaufen. Für den Fall, daß diese Öffnung unwirksam wird, kann Wasser notfalls auch in einer Nut zwischen Mutter und Ankerplatte auslaufen.

Am Pylon sind die fast 1 t schweren Gabelseilköpfe mit ca. 250 mm dicken Bolzen in die Augenbleche eingehängt. Die 50 mm dicken Augenbleche sind durch die Pylonstiele durchgesteckt. Aufgeschweißte Kopfbolzen übertragen die Seilkräfte in den Stahlbeton des Pylones.

### 3.6 Vorspannung

In den Stegen des Überbaues befinden sich girlandenförmig angeordnete Spannglieder (mit je 1,64 MN bzw. 2,59 MN Spannkraft). Bei der Vorlandbrücke sind sie in den Abschnittsfugen gekoppelt, davon etwa ein Drittel beweglich 2 bis 3 m hinter der Fuge.

Bei den beiden überspannten Flußfeldern wurde der Spannstaahl erst nach Beendigung des Freivorbauens in einbetonierte Leerrohre eingeschoben. Dabei hatte das längste Spannglied die Länge von 173 m. Diese Spannglieder enden in temporären Fahrbahnischen und an der Stirnseite des hafenseitigen Überbauendes. Mit den Spanngliedern der Vorlandbrücke sind sie durch Übergreifen gestoßen.

Die Querträger sind mit kleinen 4litzigen Spanngliedern vom Rand der Kragplatte aus vorgespannt.

### 3.7 Die Unterbauten

Sämtliche Unterbauten (die beiden Pylonstiele, die beiden Widerlager mit den Rundtürmen, die Pfeilerscheibe am Mainufer und die beiden Rundstützenpaare der Vorlandbrücke) sitzen auf Pfahlkopplplatten.

Das gesamte Bauwerk ist mit Großbohrpfählen  $\varnothing$  1,20 m mit einem Spitzendruck von bis zu 4 MN/m<sup>2</sup> auf dem wenige Meter unter dem Gelände anstehenden Kalkstein gegründet.

#### **4. Abspannung im Freivorbau**

Für die hilfsweise Abspannung im Freivorbau wurden handelsübliche 0,6"-Litzen aus Spannstahl St 1570/1770 verwendet. Sie besaßen als Korrosionsschutz einen PU-Mantel. Mit nur 1,1 kg/m Gewicht ließen sie sich wesentlich leichter handhaben als der 4mal so schwere übliche Gewindestahl ( $\varnothing$  26 aus St 835/1030). Dafür mußte ein größerer technischer Aufwand bei der Verankerung mit Keilen in Kauf genommen werden.

Am Pylon endeten die Litzen verkeilt in gelenkig gelagerten Spindeln. Diese ermöglichten ein Nachlassen der Abspannkraft und das Umhängen der Litzen von einem Abschnitt zum anderen.

Wegen der Gelenkigkeit erübrigte sich eine Feineinmessung der Neigungswinkel bei den Ankerplatten und ihrer Unterkonstruktion. Sie hatten alle eine einheitliche Neigung.

Am Überbau waren die Litzen an einbetonierte Haftanker angeklemt. Diese Haftanker wurden in Gruppen zu je 4 Litzen zu steifen Einheiten von 16 oder 20 Litzen zusammenmontiert und innerhalb der Überbaustege auf justierbare Gestelle aufgelegt und einbetoniert. Die Gestelle ermöglichten ein genaues Ausrichten auf die gegenüberliegenden Ankerpunkte am Pylon.

Jedem Freivorbauabschnitt war eine bestimmte Anzahl Litzen zugeordnet. Deren Spannkraft stand im Gleichgewicht mit dem Gewicht des jeweiligen Abschnittes. In der Zeit vom Einrichten der Schalung bis zum Erhärten des Betons waren die zum Abschnitt gehörenden Litzen einstweilig am vorhergehenden Abschnitt aufgehängt und gespannt.

Nach dem Ausschalen und Vorfahren der Schalwagen wurde Litze für Litze in die endgültige Position an den neu entstandenen Abschnitt umgehängt.

Gespannt wurden die Litzen oben am eingerüsteten Pylon mit einer handlichen Presse. Die Spannkraft war so ausgelegt, daß immer gerade beim „Einrichten der Schalung“ Betongewicht und Gewicht des Vorbauwagens mit den Abspannkräften im Gleichgewicht standen. Dadurch waren die beiden noch schlaff bewehrten Kragarme zum Zeitpunkt des „Einrichtens der Schalung“ ohne Biegung. Da sie nicht verbogen waren, wurde an einer feststehenden

Kurve entlang gebaut. Diese Kurve enthielt außer der Gradienten nur noch die Überhöhung der Durchbiegungen aus den später im Endsystem noch folgenden Lastfällen „Längsvorspannung und Ausbaulast“. Damit entfielen aufwendige Verformungs- und Überhöhungsberechnungen für die vielen Kragzustände. Außerdem ließ sich die richtige Lage der Einbauteile im Steg, wie Ankerplatten und Haftanker direkt und ohne Rückrechnen von Verformungen allein durch einfaches Anvisieren der gegenüberliegenden Verankerungsstellen am Pylon überprüfen.

Die größte Kraft in den Litzen stellte sich immer mit dem Betonieren eines Abschnittspaares ein.

Während der Zeit des Freien Vorbaues waren die Längsträger, wie bereits erwähnt, nur schlaff bewehrt. Die schlaffe Bewehrung ergab sich im wesentlichen aus dem Zuwachs der Lasten bis zur rechnerischen Bruchlast, also dem 0,75fachen der Last. Um diese Bewehrung möglichst gering zu halten und dafür möglichst viel Last den Litzen zuzuweisen, rechneten wir den Lastfall „rechnerische Bruchlast“ für die Bemessung der schlaffen Bewehrung zur linear elastisch, aber am System mit gerissenem, also weichem Beton.

Die Lasten beim Freivorbau sollten möglichst symmetrisch wirken. Unvermeidliche antimetrische Beanspruchung ergab sich aus:

- dem nacheinander erfolgenden Vorfahren der Schalwagen,
- dem Vorlauf beim Betonieren, hier in der Größe des Gewichtes eines halben Abschnittes,
- der weiterzuleitenden Verkehrslast auf den Arbeitsbühnen ( $p = 0,5 \text{ kN/m}^2$ , DIN 4421, Traggerüste) und
- der Ersatzlast aus dem Arbeitsbetrieb beim Betonieren (Betonierlast) und
- einer angenommenen Verkehrslast (von  $0,75 \text{ kN/m}^2$ ) auf den Kragarmen für gelagerte Baumaterialien.

Diese Lasten reichten aber nicht für eine ausreichende Sicherheit gegen ungewollte antimetrische Lasten, denn für den Pylon und die Hilfsstützen wurde der Nachweis mit Teilsicherheiten maßgebend, ähnlich dem Nachweis der Lagersicherheit nach DIN 1072.



Dabei wurden die günstig wirkenden ständigen Lasten 0,95fach, die ungünstig wirkenden ständigen Lasten 1,05fach, die Verkehrslast, die Betonierlast und der Wind 1,3fach und die Abspannung 1,0fach gerechnet. (Mit „Abspannung“ sind die Anteile der Kräfte in den Litzen gemeint, die sich im System aus Stabverkürzung ergeben.)

Auf der Widerstandsseite wurde gegen Erreichen der Streckgrenze  $f_s$  von Stahl und gegen Erreichen des Rechenwertes der Betondruckfestigkeit  $f_{Rd}$  mit der Sicherheit von 1,3 gerechnet.

Auf die Möglichkeit, die endgültigen Tragseile beim Freivorbau mitzuverwenden, verzichteten wir bewußt zu Gunsten eines kontinuierlichen Bauablaufes.

## **5. Bauablauf**

Der Bauablauf stellte sich folgendermaßen dar:

Es begann mit der Gründung der Pylonpfeiler und dem Bau der vier Hilfsstützen auf der Hafentrampe. Sie bildeten zusammen mit dem 23 m langen Stück Überbau den Tisch für die Montage der beiden Schalwagen des Pylones.

Die Montage des Polynmantels, das Bewehren und Betonieren der Pylonstiele geschah in drei etwa gleich langen Schüssen.

Der Freivorbau mußte nicht bis zur Fertigstellung des Pylones warten, sondern es konnten bereits Teilstücke zum Abspannen verwendet werden.

Beim Herstellen des siebenten Abschnittes stand er dann, mit dem Querriegel versehen, komplett zur Verfügung.

Gleichzeitig mit dem Freivorbau liefen die Arbeiten für die übrigen Unterbauten, für die Vorlandbrücke und das kurze Anfangsstück über der Kaimauer.

Um die Lücken mit den beiden letzten Abschnitten zu schließen, bedarf es besonderer Maßnahmen, wenn sich die Schnittufer beim

Betonieren nicht gegeneinander verschieben sollen. Dazu stützt man die beiden mit den Vorbauwagen verlängerten Kragarme vor dem Betonieren auf den jenseitigen Schnittufern ab. Dabei drehen sich bei Belastung die Vorzeichen der Schnitt- und Auflagerkräfte im Vorbauwagen um.

Vorbauwagen mit nicht druckfestem Obergurt wären hier ungeeignet gewesen. Eine vorgespannte Verankerung an den vorderen Fahrwerken der Schalwagen verhinderte deren Abheben beim Betonieren.

Nach Beendigung der Betonarbeiten für den Überbau und nach dem Abbau der Schalwagen kam das Vorspannen der Längsträger im Bereich des Freivorbaues in der bereits beschriebenen Weise.

Inzwischen liefen die Arbeiten für den Einbau der Seile an. Sie kamen auf Haspeln aufgerollt zur Baustelle. Mit dem oberen Seilende am Kran hängend konnte man den Gabelseilkopf am zugehörigen Augenblech des Pylones einhängen. Das untere Ende des frei herunterhängenden Seiles mit dem Gewindeseilkopf und mit der eingeschraubten Spannspindel wurde an einem zweiten Kran hängend mit einer Winde horizontal bewegt und in das Ankerrohr im Überbausteg eingeführt.

Unterhalb des Überbaues stand auf einer verfahrbaren Arbeitsbühne die Lafette mit der 700-t-Hohlkolbenpresse. Auf ihr saß der Spannstuhl und in ihm, wie in einem Käfig, die auf Kugeln gelagerte, fast eine halbe t schwere Seilmutter zusammen mit einer eingebauten Drehhilfe. Hinter der Presse saß ebenfalls in einem Käfig drehbar gelagert die Mutter für die Spannspindel. Die Spannspindel rutschte beim Herunterlassen durch die Stützmutter und die Hohlkolbenpresse indurch bis zur Spindelmutter. Diese wurde aufgeschraubt und auf Kontakt mit der Presse gebracht. Die Presse fuhr zunächst vorsichtig soweit aus, bis die Stützmutter den Seilkopf faßte. Dann begann der eigentliche Spannvorgang mit dem weiteren Ausfahren des Kolbens und dem gleichzeitigen Nachdrehen der Stützmutter.

Die Seilkraft kontrollierten wir über den abgelesenen Pressendruck. Den Spannvorgang führten wir paarweise an jeweils zwei sich gegenüberliegenden Seilen in 4 Laststufen durch. Nach jeder Stufe entspannten wir eine entsprechend große Anzahl von Litzen der Hilfsabspannung, so daß eine fast kontinuierliche Lastübergabe von den Litzen in die Seile stattfand.

Es folgte der Brückenausbau mit Belag, Kappen und Geländern und danach die Einweihung am Namenstag der Brücke, dem „Tag der Deutschen Einheit“, am 3. Oktober 1992 in Form eines kleinen Volksfestes auf der Brücke zusammen mit den Bürgern der Stadt Würzburg.

