

# **Rohrfachwerkbrücke als Rahmen in Verbundbauweise im Zuge der BAB A 73 Suhl - Lichtenfels**

**Dipl. Ing. Markus Karpa \***  
**Dipl. Ing. Hans-Joachim Casper \*\***

\* Projektleiter, Schmitt Stumpf Frühauf und Partner, Ingenieurgesellschaft im Bauwesen mbH, München,  
[mkarpa@ssf-ing.de](mailto:mkarpa@ssf-ing.de)

\*\* Gruppenleiter, Schmitt Stumpf Frühauf und Partner, Ingenieurgesellschaft im Bauwesen mbH, München,  
[jcasper@ssf-ing.de](mailto:jcasper@ssf-ing.de)

## **Zusammenfassung**

Im Folgenden wird das erste Überführungsbauwerk des Streckenabschnittes der BAB A 73, Suhl – Ebersdorf (B 303), vorgestellt, welches in exponierter Lage am Nordrand des Maintals entsteht.

Nach Vorstellung der Konstruktionsprinzipien, wird kurz auf die Untersuchung verschiedener Bauwerksvarianten eingegangen, die schließlich zu dem vorliegenden und mittlerweile an eine Baufirma zur Ausführung vergebenen Bauwerksentwurf führten.

Dabei wird auf die Besonderheiten der bei dieser Brücke zu Ausführung kommenden direkten Verschweißung der Rohrknoten eingegangen. Dieser Detailpunkt stellt im Hinblick auf den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit bei diesem Projekt die größte Herausforderung dar. Bislang war es im Brückenbau üblich, Gussknoten auszubilden.

Zur Erfassung der Tragwirkung wird das Bauwerk als Gesamttragsystem statisch abgebildet.

**Schlüsselwörter**      Rohrfachwerk, Rahmen, integrales Bauwerk, Gussknoten, Rohrknoten, Hot-Spot- Methode, Struktur- Spannungsmethode, Bric- Elemente

## **1. Einleitung**

Die BAB A 73 ist Teil des Verkehrsprojektes Deutsche Einheit VDE Nr. 16. Dieses sieht eine großräumige Fernstraßenverbindung zwischen den West- Ost- Autobahnen A 4 und A 70 und damit zwischen Südthüringen und Nordbayern vor. Die rund 70 km lange A 73 bildet hierbei die östliche Achse (Bild 1). Die durchgehende Fertigstellung der A 73 wird bis einschließlich 2008 angestrebt.



Bild 1: Verkehrsprojekt Deutsche Einheit Nr. 16  
BAB A 71 / A 73, Y- Lösung

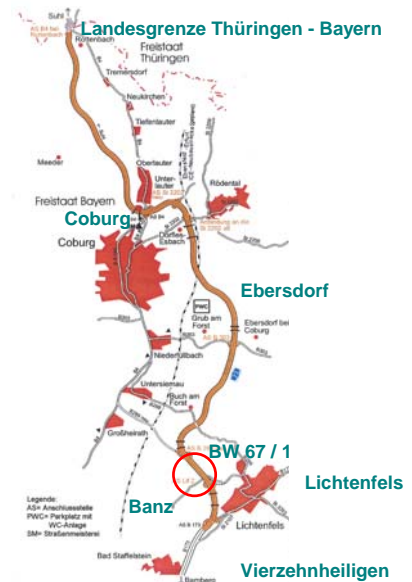


Bild 2: BAB A 73 Suhl-  
Lichtenfels,  
Bauwerksstandort

Im Zuge der querenden Kreisstraße LIF 2 entsteht das erste Überführungsbauwerk des Streckenabschnittes Ebersdorf (B 303) – Lichtenfels in exponierter Lage am Nordrand des Maintals bei Lichtenfels in unmittelbarer Nähe zu Kloster Banz und der Wallfahrtskirche Vierzeheiligen. Es wurde daher ein in gestalterischer Hinsicht hochwertiges und technisch neuartiges Tragwerk entwickelt. Es handelt sich um ein Rahmenbauwerk aus zwei Stahlrohrfachwerken und einer Verbundplatte in Stahlbeton, welches mit ca. 91 m lichter Weite über einen ca. 20 m tiefen Einschnitt spannt. Die Bauleistung hierfür ist bereits an eine Firma vergeben. Mit den Bauarbeiten wurde begonnen, Ende 2006 wird mit der Fertigstellung gerechnet.

## 2. Konstruktionsprinzipien für Überführungsbauwerke an der BAB A 73

Im gesamten bayerischen Streckenabschnitt der BAB A 73 kommen fugenlose Rahmenbauwerke zur Ausführung, die ohne Mittelunterstützung frei über die Autobahn spannen. Auf die Verwendung mechanisch beanspruchter Bauteile wie Lager und Fahrbahnübergangskonstruktionen konnte aufgrund der integralen Bauweise verzichtet werden.

Die Dehnungen der bis zu 60 m langen Bauwerke werden mit Fahrbahnübergängen aus Asphalt in Kombination mit Schlepplattenkonstruktionen kompensiert. Diese Bauweise hat sich bei den bereits seit ca. 4 Jahren ausgeführten Brücken nördlich von Coburg bestens bewährt.

Neben sehr schlanken Spannbetonrahmen (ca. 1/50 in Feldmitte und ca. 1/18 am Anschnitt) kamen auch Rahmen in Stahlverbundbauweise gleicher Schlankheit zur Ausführung. Die Überbauten

konnten auf wirtschaftliche Art und Weise oft bodengestützt oder bei Stahlverbundrahmen in VFT-Bauweise hergestellt werden.

Eine gestalterische Besonderheit stellt die bogenförmige Ausrundung der Konstruktionsunterkante und bei vielen Entwürfen das Eintauchen des Überbaus in die Böschung bzw. die Rampenschüttung dar, was den Bauwerken aufgrund des Wegfalls sichtbarer Widerlagerwände Leichtigkeit und Transparenz verleiht. Die Wahl leicht wirkender Sondergeländer unterstützt diese Wirkung (Bild 3).

Bild 3:

BAB A 73,  
Überführung eines  
Wirtschaftsweges  
nördlich von  
Coburg



### **3. Situation, Grundlagen des Entwurfes**

#### **Vorgaben der Strecke**

Die Gradienten der überführten Kreisstraße steigt im Bauwerksbereich kuppenförmig ausgerundet ( $R = 6.000 \text{ m}$ ) merklich an. Der vom Maintal aus sichtbare Einschnitt am oberen Ende der nördlichen Talflanke ist bis zu 20 m tief.

Die überführte Straße ist im Bauwerksbereich in einer Geraden trassiert. Sie kreuzt die BAB im schiefen Winkel von  $75,7 \text{ gon}$ .

Der im Brückenbereich zwischen den Geländern 10,50 m breite Querschnitt der Kreisstraße setzt sich aus einer 7,00 m breiten Fahrbahn und zwei 1,75 m breiten Kappen mit Distanzschutzplanken und Notgebahnen zusammen.

#### **Bodenverhältnisse**

Unter dem Oberboden stehen 5 Bodenschichten mit unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften an, wobei es sich bei den 3 oberen Bodenschichten um Tone unterschiedlicher Konsistenz handelt. Zwischen 6,00 und 10,70 m unter Geländeoberkante wurde Amaltheenton, ein fester, blättriger bis bankiger Tonstein erkundet. Bis 15,20 m Tiefe erstreckt sich eine Mergelkalkbank, unterlagert von harten Tonsteinen.

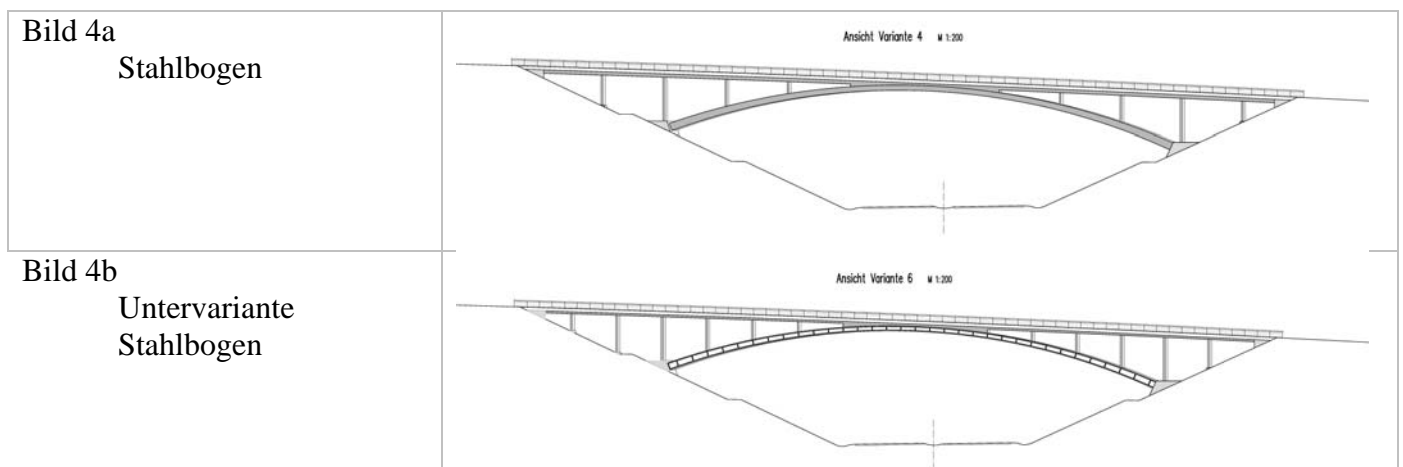
Bei dem Amaltheenton handelt es sich um einen durch jüngere Überdeckung stark überkonsolidierten Tonstein mit eingepprägter latenter Verformungsenergie, welcher sich bei der Herstellung des Einschnittes in horizontaler Richtung entspannt. An vergleichbaren Einschnitten dieser Gegend wurden horizontale Entspannungen an der Böschungsebene von 10 – 20 cm gemessen. Der Böschungseinschnitt wurde daher vorausseilend im letzten August ausgeführt. Die durchgeführten Inklinometer- Messungen zeigen Verschiebungen kleiner 2 cm. Auf Grund des starken Abklingens der Entspannung sind daher keine nennenswerten Auswirkungen auf das Tragwerk zu erwarten.

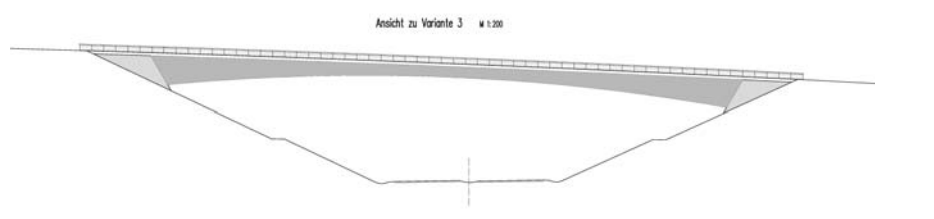
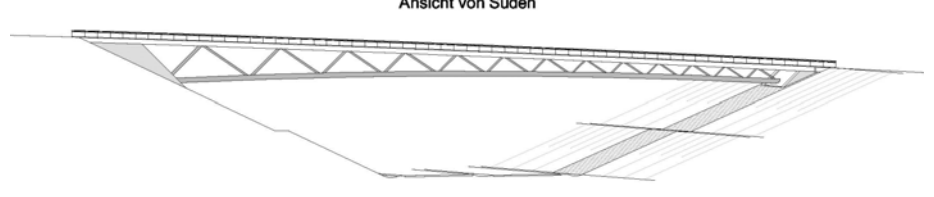
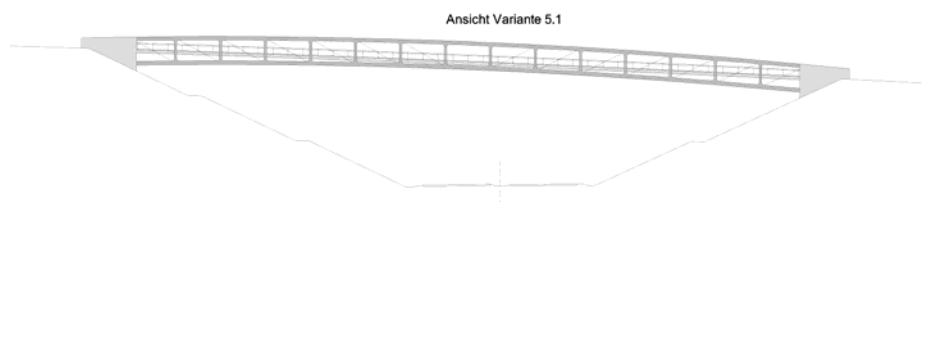
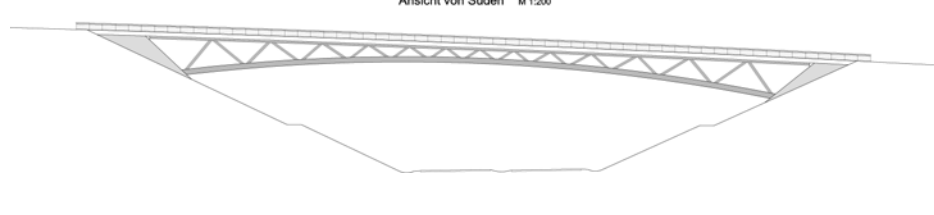
#### 4. Untersuchte Bauwerksvarianten

Im Rahmen der Vorplanung wurden mehrere Bauwerksvarianten untersucht.

Bei dem tiefen Einschnitt boten sich Bogenbrücken mit aufgeständerter Fahrbahn an, die in unterschiedlicher Bauart aufgezeigt wurden (Bild 4a und 4b). In Anbetracht der sich in Sichtweite befindenden Kulturdenkmäler Vierzehnheiligen und Kloster Banz erschien diese Bauweise jedoch zu alltäglich. Als erstes vom Maintal aus weit sichtbares Überführungsbauwerk mit einer Torwirkung zum neuen Streckenabschnitt hin stellt der Bogen mit aufgeständerter zudem Fahrbahn ein Konstruktionsprinzip dar, welches in dem gesamten Streckenabschnitt bislang nicht vorkommt. Es passt mit der charakteristischen Gestaltung der folgenden Brücken nicht zusammen.

Für die einzelnen Varianten wurden Überlegungen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Gestaltung angestellt. Schließlich mündete dies in ein aufgelöstes Rohrfachwerken mit oben liegender Verbundplatte, welches die bereits vorhandenen Bauwerke der BAB A 73 zitiert und in gestalterischer und technischer Hinsicht als innovativ gelten darf (Bild 4f).



<p>Bild 4c Stahlverbundhohlkasten als Rahmen</p>	
<p>Bild 4d Stahlrohrfachwerk als einhäufiger Rahmen in Verbundbauweise</p>	
<p>Bild 4e Stahlfachwerk mit dazwischen liegender Stahlbetonplatte</p>	
<p>Bild 4f Gewählte Rohrfachwerkbrücke als Rahmenbauwerk</p>	

## 5. Ausführungsentwurf

Der Überbau besteht aus zwei Diagonalfachwerken aus Stahlrohren und einer Verbundplatte in Stahlbeton. Der Untergurt des Fachwerks spannt über 90,82 m Länge. Die Trägerhöhen der Fachwerke variieren aufgrund der bogenförmigen Ausrundung der Untergurte zwischen 5,25 m am Widerlager und 2,34 m in Feldmitte (Bild 5).

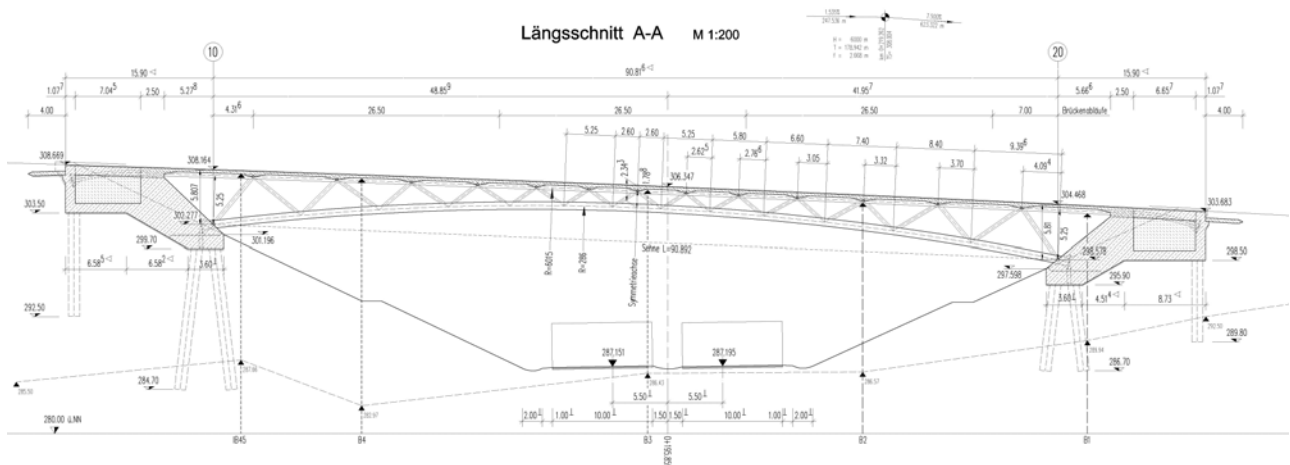


Bild 5: Längsschnitt

An den Knotenpunkten der Obergurte sind in Querrichtung ebenfalls Rohre für die Stabilisierung im Bau- und Endzustand der im Querschnitt zueinander geneigten Fachwerke vorhanden. Diese Querriegel und die Widerlager folgen der BAB- Achse im Kreuzungswinkel von 75,7 gon (Bild 6).

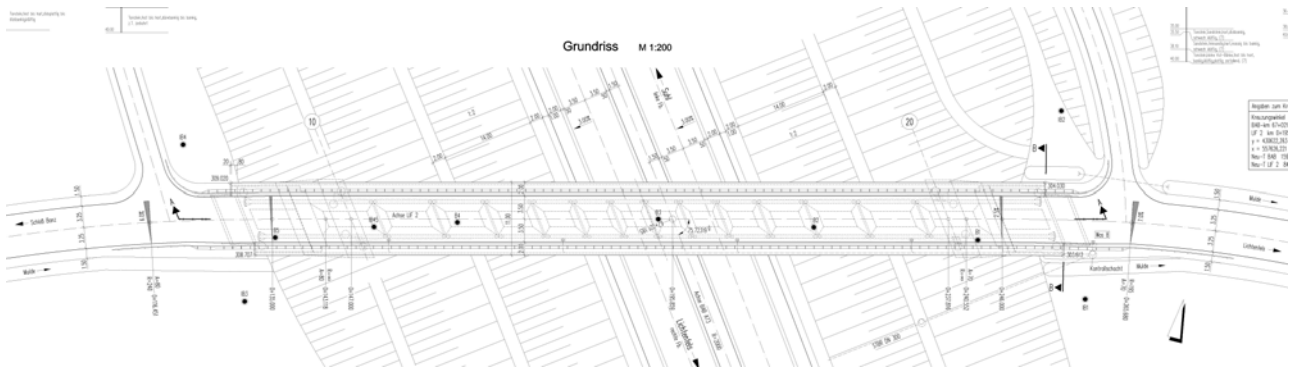


Bild 6: Grundriss

Die Stärke der Ortbetonplatte variiert zwischen 0,50 m im Bereich des Stahlrostes und 0,30 m in den Bereichen dazwischen. Der Verbund wird über Kopfbolzendübel hergestellt (Bild 7).

Belagbau:  
 4.0 cm Deckschicht  
 3.5 cm Schutzschicht Gußasphalt 0/11  
 0.5 cm Abdichtung gem.  
 ZIV-ING Teil 7 Abschnitt 1  
 auf Epoxidharzversiegelung

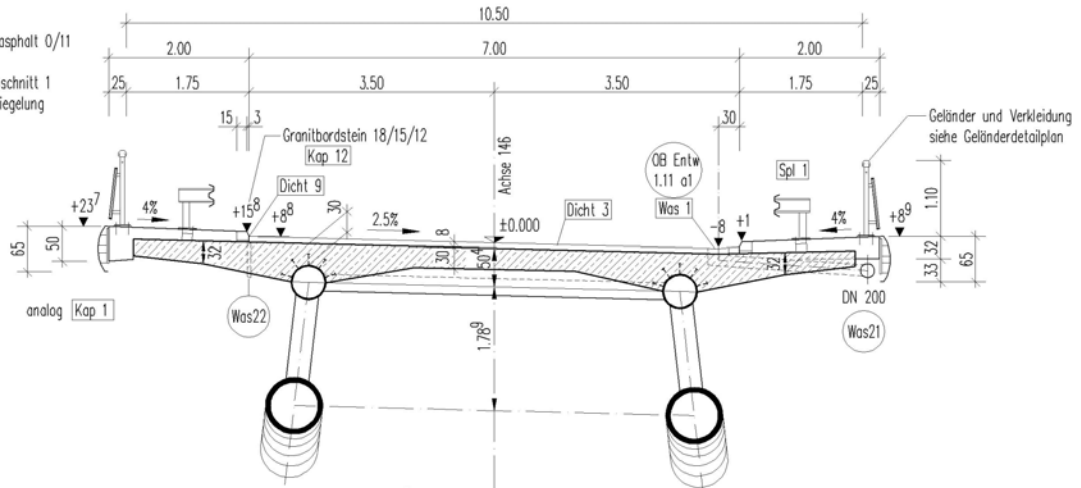


Bild 7: Regelquerschnitt

Die beiden Untergurte, Rohre mit 813 mm Durchmesser, beschreiben einen durchgängigen Radius von 286 m, die Obergurte, Rohre,  $d = 508$  mm, einen Radius von 6.015 m. Die Obergurte werden in die Widerlager fortgeführt und entsprechend Ihrer Verbundkraft mit Kopfbolzen verankert.

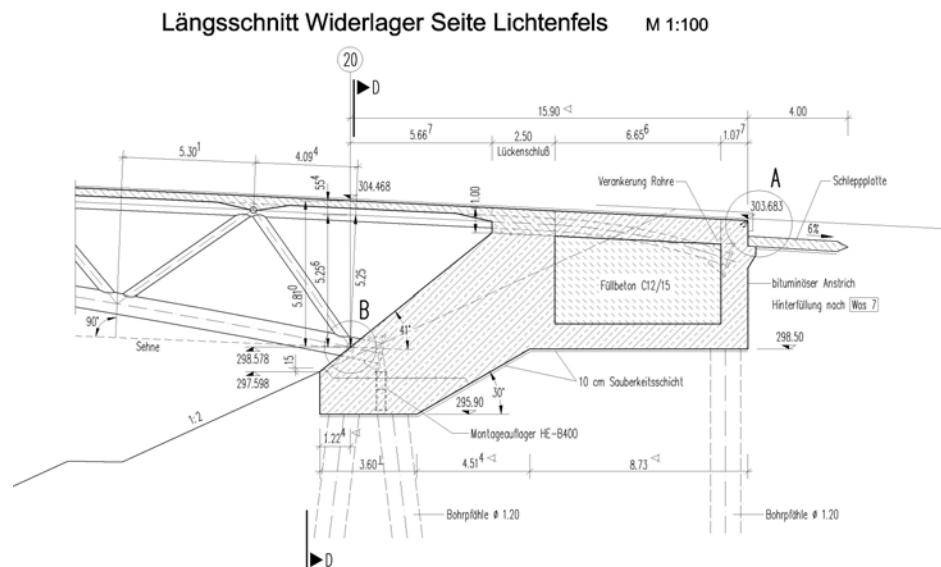
Die Rohre der Zug- und Druckdiagonalen sind entsprechend ihrer Beanspruchung unterschiedlich dimensioniert. Die von den oberen Fachwerkknoten ausgehenden Querstreben liefern zusammen

mit der Fahrbahnplatte die erforderliche Steifigkeit der Konstruktion im Endzustand. Die Diagonalen des Rohrfachwerks sind mit dem Ober- und Untergurt verschweißt, die Querstreben mit dem Obergurt. Es sind keine Gussknoten vorgesehen, die Anschlüsse werden direkt aufgeschweißt.

Der Überbau spannt in massive, sich leicht schräg aus der Böschungsebene erhebende Widerlagerblöcke ein, die sich über die gesamte Querschnittsbreite erstrecken. Im Bereich der Verankerung des Untergurtes und an den Widerlagern sind zur Lastabtragung geneigte Großbohrpfähle mit  $d = 1,20$  m vorgesehen (Bild 8). Ab der Auflagerachse des Untergurtes weisen die Widerlager eine Länge von 15,90 m auf, so dass durch die Eigengewichtslasten Zugkräfte in der hinteren Pfahlreihe infolge der Einspannung des Überbaus im Gebrauchszustand vermieden werden.

Die Gesamtlänge des Bauwerks ergibt sich zu 122,62 m. Im Anschluss an das Bauwerk sind unter der Fahrbahn unterhalb der Frostschuttschicht Schleppplatten geplant, die auf Widerlagerkonsolen aufliegen.

Bild 8: Rahmenecke,  
Widerlager mit  
Schleppplatte



Die Entwässerungsleitung verläuft hinter einer der beidseitig vorhandenen abgerundeten Blechverblendungen der Kappen. Den oberen Abschluss des Bauwerks bilden Sondergeländer mit einer Edelstahl- Lochblech- Füllung.

## 6. Abbildung des statischen Systems

Das Bauwerk wird als Gesamtsystem abgebildet (Bild 9). So ist sichergestellt, dass die Tragwirkung des Bauwerkes und die Interaktion mit der vorgesehenen Gründung richtig erfasst wird.



Sämtliche Nachweise können, mit Ausnahme der Knoten selbst, an einem einheitlichen System geführt werden.

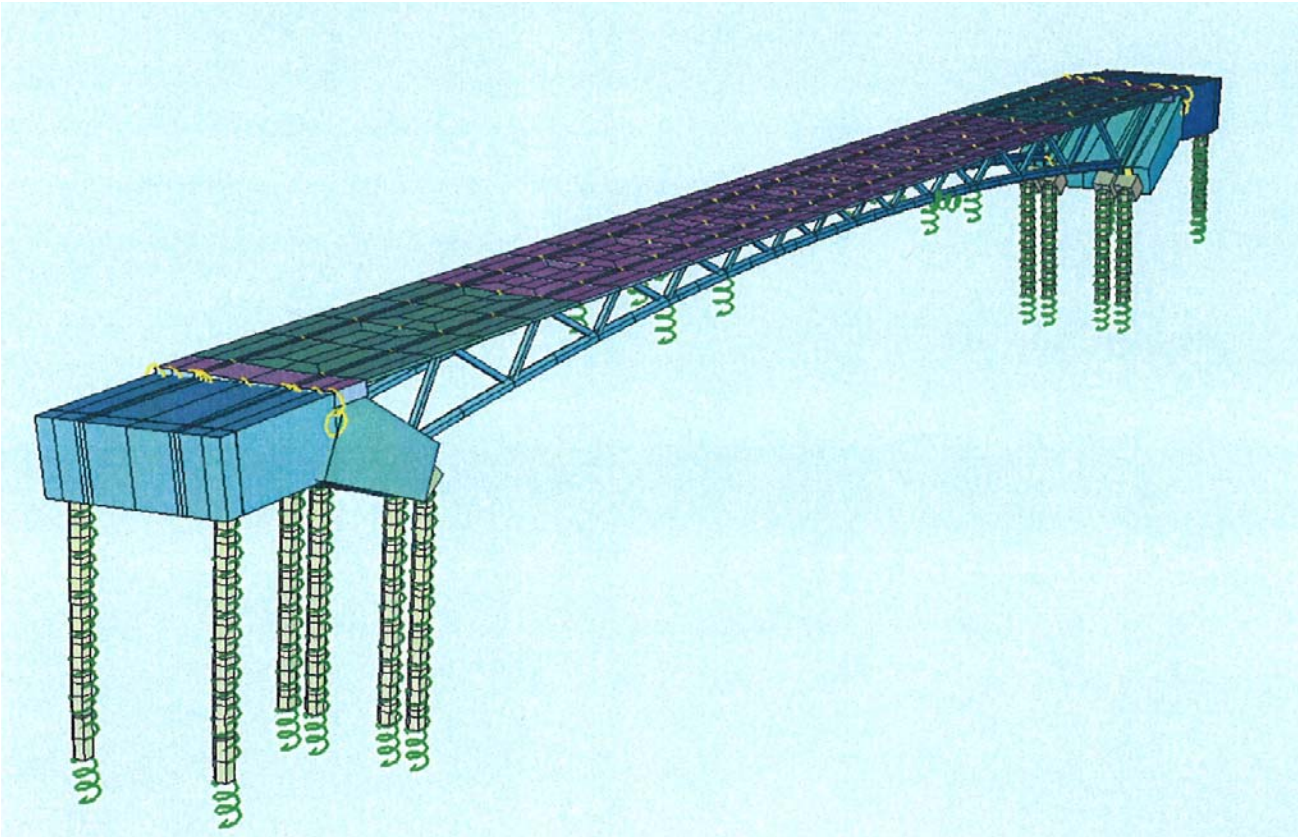


Bild 9: Statisches System

Dabei erfolgt die Abbildung des Stahlfachwerkes mittels Stabelementen. Die durch Flächenelemente gebildete Fahrbahnplatte wird an die Fachwerkobergurte gekoppelt. Dieses statische System für den Überbau wird dann mit dem aus Quadelementen gebildeten Widerlager verbunden. Die zur Ausführung kommende Mischgründung wird durch eine Bettung der Widerlagerschräge sowie durch den Einsatz gebetteter Stäbe für die Bohrpfehlgründung simuliert.

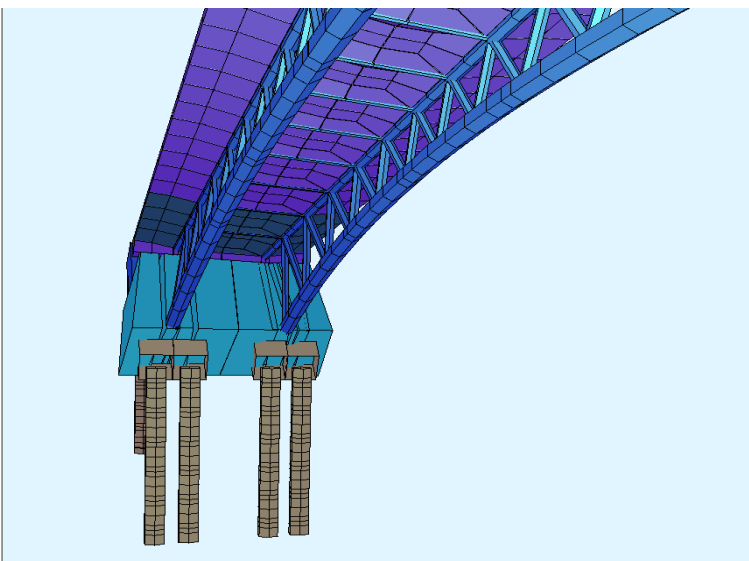


Bild 10: Statisches System Untersicht



Somit können die Einzelsteifigkeiten der Bauteile wirklichkeitsnah erfasst werden. Die Abbildung der Fahrbahnplatte als FE- System bietet sich auf Grund der kassettenförmigen Untersicht der Fahrbahnplatte an (Bild 10).

## 7. Ausbildung der Rohrknotten

Rohrknotten von Brücken wurden in Deutschland bisher üblicherweise als Gussknotten ausgeführt. Die Stäbe schließen dabei jeweils mit einem Vollstoß an jeden Knoten an. Bei dem vorliegenden Entwurf wurde aus statisch- konstruktiven Gründen und aus Gründen der Wirtschaftlichkeit auf Gussknotten verzichtet. Die Rohre werden direkt miteinander verschweißt.

In DIN- Fachbericht 103 sind Betriebsfestigkeitsnachweise verschweißter Rohrknotten nicht explizit aufgeführt, was auch der Grund dafür sein dürfte, dass im Regelfall Gussknotten ausgeführt werden. Es sind allerdings Nachweise nach der sog. „Hot- Spot- Methode“ (Untersuchung der maximalen Spannung an der kritischen Stelle) zugelassen. Dementsprechend werden im vorliegenden Fall alle Rohrknotten mit räumlichen Finite- Element- Modellen mit Volumenelementen nachgewiesen. Der Knoten wird dabei exakt mit der Schweißnahtform abgebildet. Die Zulässigkeit der Spannungsamplituden im Material wird nachgewiesen (Bild 11 und 12).

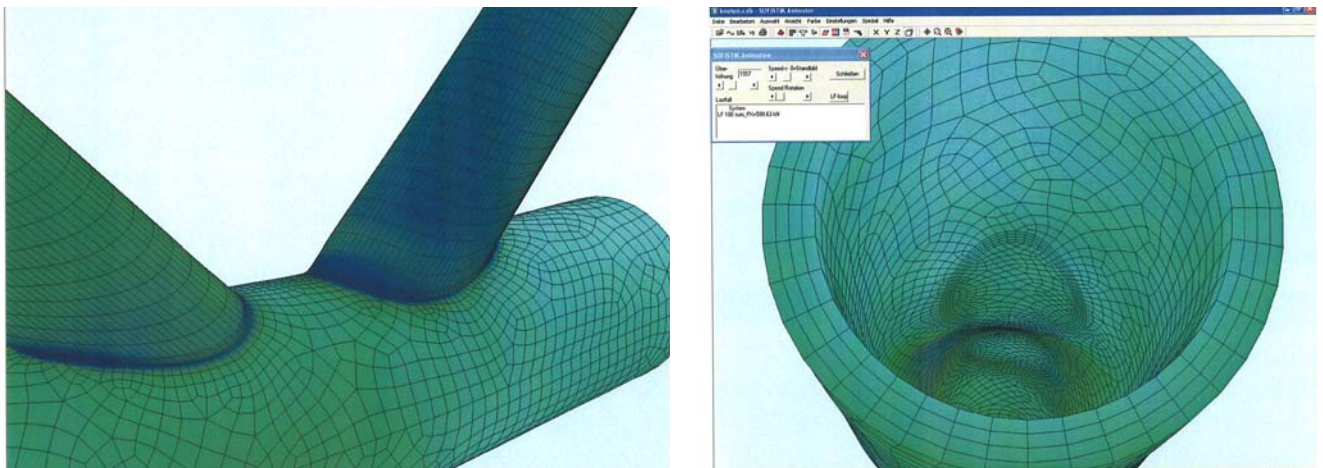
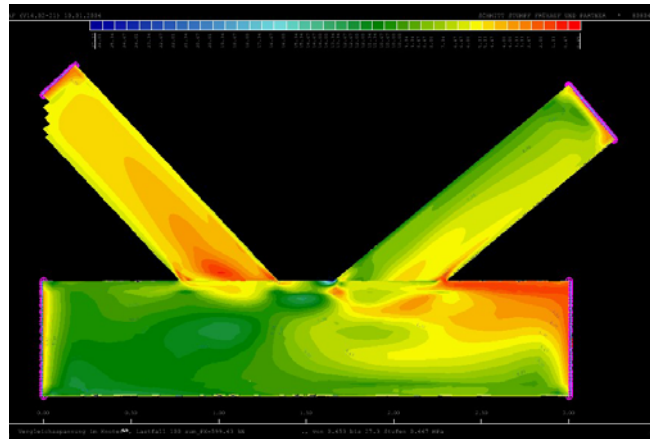


Bild 11: Abbildung der Rohrknotten mit Volumenelementen eines Finite- Elemente Systems

Bild 12: Spannungsnachweise an Rohrknotten  
und Schweißnähten



Um die vielfältigen geometrischen Einflussparameter an der Vielzahl von Knoten erfassen zu können wurde eine parametrisierte Eingabe der Knotengeometrie vorgesehen. Dabei wurden neben den Rohrdurchmessern, Wandstärken und Spaltmaß auch Parameter für die Neigung sowie Detailausbildung der Schweißnaht vorgesehen.

Somit konnten problemlos alle Knoten abgebildet und untersucht werden. Mit den gewonnenen Ergebnissen konnten zudem durch geringe Anpassungen der Geometrie die ermüdungswirksamen Spannungen deutlich reduziert werden. Ein derartiges Vorgehen mit Variation der Parameter und baupraktisch kurzfristiger Ergebnisauswertung ist nur mit Hilfe dieses rechnerischen Systems möglich.

Die Netzgenerierung erfolgte automatisch mit dem Programm sofimsha und sofimshb. Für die Berechnung wurden die Schnittgrößen der Knoten aus dem Stabsystem des Überbaus herausgenommen und als Einzellastfall auf das Teilsystem aufgebracht. Die Elementgrößen wurden dabei so gewählt, dass eine Netzverfeinerung zu keinen weiteren Spannungszuwächsen führt (Bild13).

Der festgestellte Ort der höchsten Spannungskonzentration liegt knapp neben der Schweißnaht im Bereich des stumpfen Winkels. Damit wurden die Erfahrungen zahlreicher Versuche bestätigt.

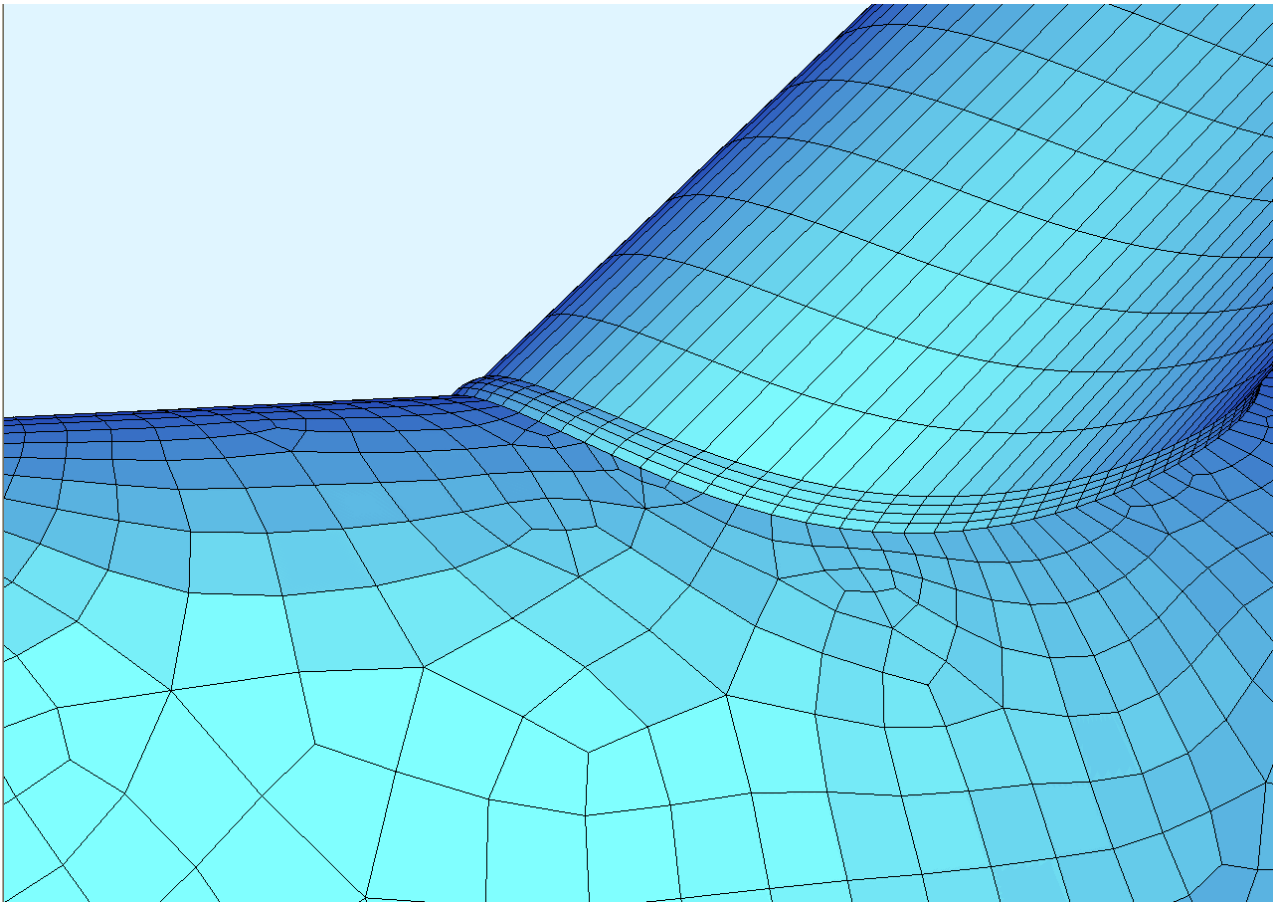


Bild 13: Detailabbildung

Zur Sicherstellung einer einwandfreien Ausführung und Dauerhaftigkeit wurde neben der Optimierung in der Planung besonderer Wert auf die Qualitätssicherung gelegt. Neben der Sicherstellung der gewünschten Werkstoffeigenschaften kommt der Ausbildung der Schweißnahtvorbereitung eine entscheidende Bedeutung zu. Anhand von Schweißproben im Maßstab 1:1 (Bild 14) wird die einwandfreie Schweißung vorab im Rahmen einer

Verfahrensprüfung nachgewiesen.

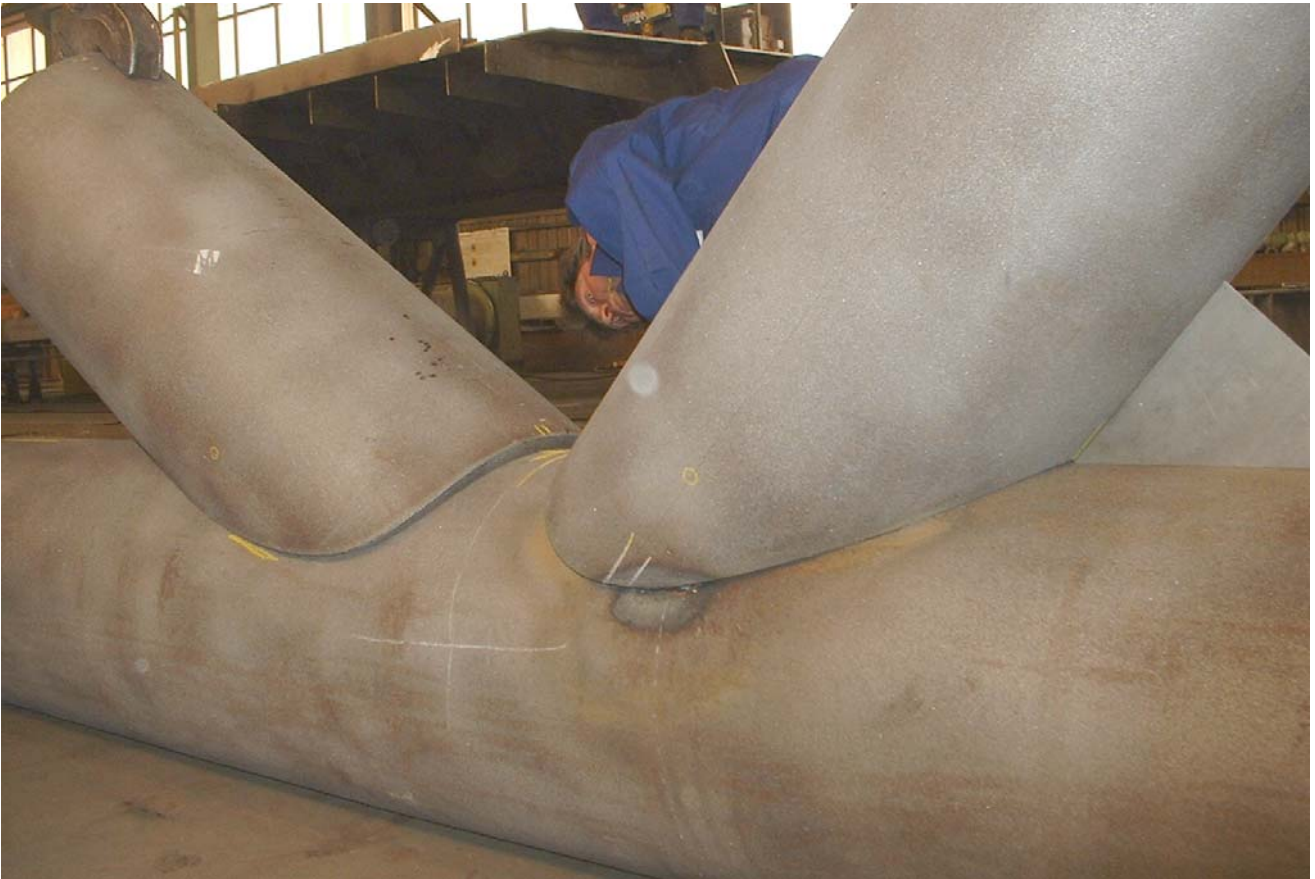


Bild 14: Verfahrensprüfung

## 8. Bauablauf

Nach dem Betonieren der Pfahlköpfe der Widerlager wird der Überbau in drei Schüssen eingehoben, auf 2 Montagetürme (etwa in den Drittelpunkten) und auf die beiden Widerlager aufgelagert und lage- und höhengenaue ausgerichtet. Diese Unterstützungen fungieren gleichzeitig als Betonierstützen.

Nach dem Verschweißen der Stahlkonstruktion werden die Widerlager bis unter die Fahrbahnplatte betoniert und die biegesteife Verbindung des Stahlfachwerkes mit den Unterbauten hergestellt.

Anschließend erfolgt die Einschalung der Fahrbahnplatte im Feldbereich auf einem bodengestützten Lehrgerüst auf ca. 60 m Länge.

Nach dem Betonieren dieses Feldbereiches wird das Traggerüst (mit den Montage- / Betonierstützen) abgesenkt, so dass die Stahlkonstruktion und der Feldbereich der Fahrbahnplatte auf dieses Verbundsystem wirken. Das Stahlsystem trägt damit aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nicht alleine die Belastungen aus Stahleigengewicht und Fahrbahnplatte.

Schließlich werden die beiden Endbereiche der Fahrbahnplatte mit den Anschlussbereichen an die Widerlager gleichzeitig betoniert. Die Einschalung erfolgt ebenfalls auf bodengestütztem Lehrgerüst. Zugspannungen in der Fahrbahnplatte aus Stahl- und Betoneigengewicht werden bei diesem Bauablauf im Einspannbereich aus Gründen der Dauerhaftigkeit minimiert.

Der beschriebene Ablauf wurde in dieser Form mittels des Sofistik CSM- Managers in einfacher Form eingegeben und berechnet.

## **9. Nachweise**

Auf Grund der Abbildung des Gesamtsystems konnten die Nachweise des Fachwerkes, der Gründung und die Bemessung der Fahrbahnplatte und Gründung an einem einheitlichen System erfolgen.

Der Nachweis der Bogenstabilität erfolgte durch eine Traglastiteration unter Berücksichtigung der wahren Systemsteifigkeiten.

## **10. Folgerungen**

Mit den rechnerischen Möglichkeiten konnten hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Gestaltung neue Wege im Brückenbau besritten werden.

Der Einsatz der verschweißten Rohrknoten im Brückenbau stellt dabei für den planenden Ingenieur und die ausführenden Firmen eine besondere Aufgabe dar. Es ist dabei festzustellen, dass mit geringen Anpassungen in der Geometrie der Verbindung sich erhebliche Verbesserungen in der Ermüdungsfestigkeit erzielen lassen. Es ist daher anzuraten die Knotenverbindung in der dargestellten Art abzubilden und im Zuge der Planung weiter zu verbessern. Die Vorgaben des Eurocodes für die Einstufung in Kerbfälle erscheinen recht grob, und sind daher für Anwendungen im Brückenbau mit einer genaueren Betrachtung zu verfeinern.

## **11. Umsetzung, Beteiligte**

Bauherr ist die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch die Autobahndirektion Nordbayern, Nürnberg. Die Bauleistung ist an die Fa. Raab, Ebensfeld, vergeben, den Stahlbau liefert STS, Regensburg. Die Vor- und Entwurfsplanung sowie Statik und Ausführungsplanung wurde Schmitt Stumpf Frühauf und Partner, Ingenieurgesellschaft im Bauwesen mbH, München, übertragen. Prüfungingenieur ist Prof. Mangerig, München.

Die Bauarbeiten für die Brücke laufen momentan, die Fertigstellung wird Ende 2006 erwartet.

## **12. Literatur**

- [1] Stefan Schiefer, Georg Falk, Peter Radl: Situationsbezogenes Bauwerk, Eine Fuß- und Radwegbrücke über die A 9 bei Bayreuth, [Umriss] Zeitschrift für Baukultur, Ausgabe 1, 2004, S. 28f.
- [2] DIN- FB 101, 103 und 104
- [3] Stefan Klee, Timm Seeger: Entwicklungen zum Betriebsfestigkeitsnachweis im Stahlbau, Stahlbau 2001, Heft 9, Seite 375 ff
- [4] Alain Nussbaumer, Ann Schumacher: Ermüdung von Hohlprofilkonstruktionen im Brückenbau, Stahlbau 2002, Heft 8, Seite 564 ff
- [5] F. Mang, Ö. Bucak: Hohlprofilkonstruktionen, Stahlbauhandbuch 1 Teil A