

Talbrücke Tautendorf

Verantwortungsvoller Umgang mit dem Bestand



SSF Ingenieure



Vorbemerkung

Bisher wurde beim Ausbau der BAB A9 der alte vierstreifige Brückenbestand zumeist abgebrochen und durch Neubauten zur Aufnahme des sechsstreifigen Ausbauquerschnittes der BAB ersetzt. Die Einzigartigkeit der Talbrücke Tautendorf, die in ihrer Klarheit und materialgerechten Gestaltung gediegene Industriekultur ausstrahlt, bewog Bauherr und Planer dazu, dieses historische Bauwerk zu erhalten und in den zukünftigen sechsstreifigen Ausbau zu integrieren.

Das Vorhaben stellte die Beteiligten vor die Aufgabe, unter der Abwägung von Gesichtspunkten des Unterhalts und der uneingeschränkten Nutzbarkeit des Altbaus, einen angemessenen Ansatz zu finden, der das historische Bauwerk leistungsfähig einbezieht und beim Neubau eine wirtschaftliche Lösung ermöglicht, die gegenüber der Gesamtstrecke frei von Extravaganzen ist.

Die alte Talbrücke

Die Talbrücke Tautendorf wurde während des Baus der Reichsautobahn 1937 fertiggestellt. Sie überquert ein Bachtal in einem Winkel von rund 45°. Die gesamte Länge des Bauwerks beträgt 249,8 m.

Symmetrisch zur Talachse sind die Stützweiten mit 46,6 m + 50,8 m + 55,0 m + 50,8 m + 46,6 m angeordnet. Für jede Richtungsfahrbahn ist ein Überbau vorhanden.

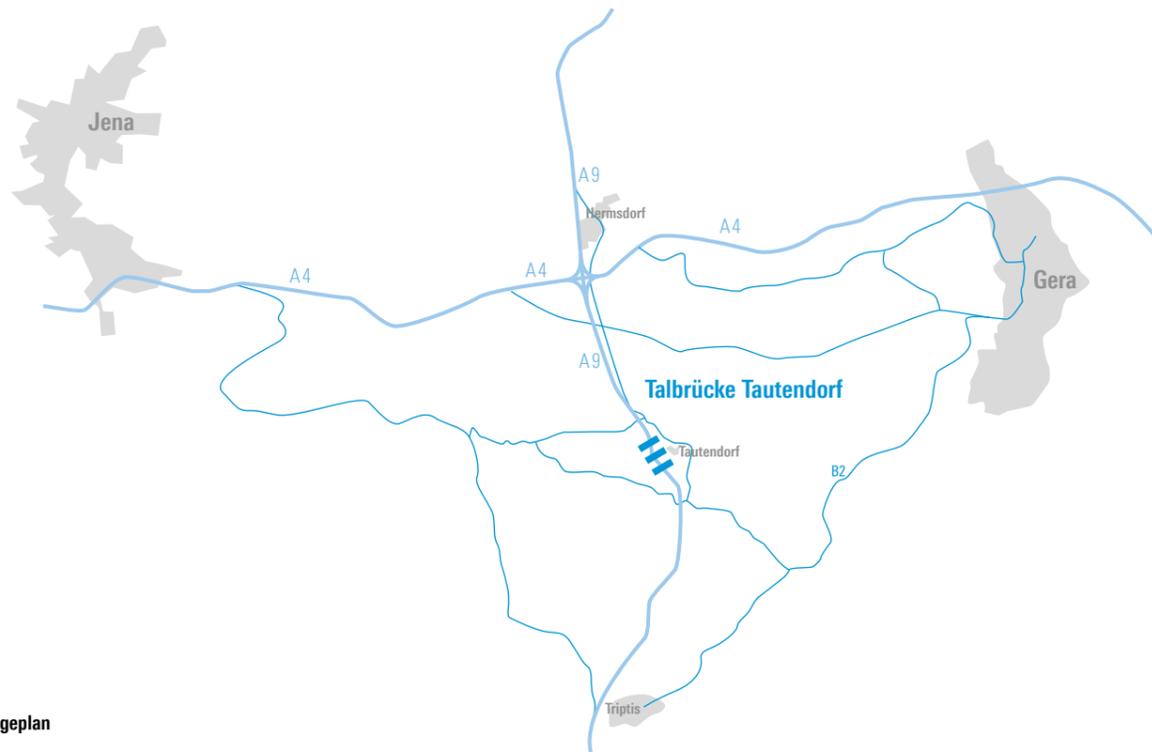
Besondere Kennzeichen des Bauwerks sind neben ihrer exzellenten Detailausbildung die Stützungen des Überbaus in den Achsen 20 bis 50, die als genietete Stahlportale ausgebildet sind und in ihrer Schlankheit die Feingliedrigkeit des Bauwerks unterstreichen. In der Längsrichtung wirken sie mit unteren und oberen Punktkipplagern als Pendelstützen, die über hohe Riegel in Querrichtung zu Zweigelenrahmen verbunden sind.

Daten und Fakten

Bauherr	DEGES im Auftrag des Freistaates Thüringen
Stützweiten	46,36 + 50,80 + 50,07 + 50,82 + 56,57 = 254,62 m
Breite zw. Geländern	39,39 m
Brückenfläche	9840 m ²
Baukosten	ca. 10 Mio. Euro
Leistungsumfang	Objekt- und Tragwerksplanung, Vorplanung und Entwurf, einschl. Vorbereiten und Mitwirken bei der Vergabe

Talbrücke Tautendorf Teilansicht fertiges Bauwerk mit Widerlager Süd





Lageplan

Auf den Portalrahmen aufgelagert ist ein Stahlträgerrost in genieteter Bauweise. Dieser besteht aus jeweils zwei 2,82 m hohen Vollwand-Hauptträgern in genieteter Bauweise mit einem gegenseitigen Abstand von 8,31 m. Im Raster von 4,23 m sind darüber Querträger mit einer Konstruktionshöhe von 1,08 m angeordnet. Zur Kippaussteifung binden diese rahmenartig in die Hauptträgerstege ein. In Verlängerung der Querträger befinden sich an der Außenseite Kragträger, die mit den Vertikalsteifen des Längsträgers die Ansicht des Überbaus prägen.

An den Querträgern sind Sekundärlängsträger INP 34 angeschlossen und in der Ebene der Untergurte der Querträger befinden sich Stabilisierungsverbände. Die Fahrbahnplatte liegt ohne Verbundmittel auf den Sekundärlängsträgern auf, ihre Tragrichtung verläuft orthogonal zur Längsrichtung.

Voruntersuchungen

Die Erhaltung eines Bauwerks erweist sich nur dann als zweckmäßig, wenn sich die neue Trassierung ohne erheblichen Aufwand verwirklichen lässt, der Zustand der Bausubstanz zufriedenstellend ist und das Tragwerk die heutigen Verkehrslasten ohne umfangreiche Verstärkungsmaßnahmen aufnehmen kann. Darüber hinaus sind Betrachtungen zur Ermüdung zu führen. Aussagen über die Restnutzungsdauer haben erheblichen Einfluss für die weitere Nutzung. Planunterlagen des Bauwerks waren nur

unvollständig vorhanden. So mussten für wesentliche Bauteile örtliche Aufmaße erstellt werden. Auch hinsichtlich Material und Baustoffkennwerten waren Probenahmen und werkstofftechnische Untersuchungen durchzuführen. Das Ergebnis der Brückenhauptprüfung aus dem Jahre 1993 zeigte keine relevanten Schäden am Stahltragwerk aus Korrosion. Die Primärtragelmente befanden sich in einem guten Zustand. Die Fahrbahnplatte wies hingegen starke Substanzschädigungen auf.

Entwurfsgrundlagen und Lösungsansatz

Die Untersuchungen des bestehenden Bauwerks in Bezug auf Trassierung, Bauwerkszustand und Tragfähigkeit hatten insgesamt ein sehr günstiges Ergebnis bezüglich der weiteren Nutzbarkeit der alten Brücke gezeigt.

Erste Bestrebungen, den zukünftigen Ausbauquerschnitt RQ 35,5 auf dem vorhandenen Überbau zu integrieren, konnten nicht weiter verfolgt werden, da sowohl die Stahlkonstruktion des Überbaues als auch die der Portalrahmen keine Tragreserven für die Aufnahme von sechs Fahrspuren aufweisen. Daher beschränkten sich die weiteren Überlegungen darauf, dass die beiden bestehenden Überbauten, gekoppelt über eine durchgehende und auf allen vier Hauptträgern aufliegende Fahrbahnplatte, lediglich die neue Richtungsfahrbahn Berlin aufnehmen. Für die Richtungsfahrbahn



- 1 Ansicht der bestehenden Brücke
- 2 Detail bestehendes Stahlportal
- 3 Einbau der Zusatzlamelle auf dem Hauptträger-Obergurt
- 4 Abbruch der Fahrbahnplatte



Ansicht Ost des fertigen Bauwerkes

Nürnberg wird dagegen eine neue Brücke vorgesehen. Da die vorhandene Talbrücke mit zwei getrennten Überbauten für die jeweilige Fahrtrichtung nach dem sechsstreifigen Ausbau nur noch die Richtungsfahrbahn Berlin aufnimmt, ergibt sich nach Fertigstellung eine Überbreite ohne Funktion, die infolge der konstruktiven Verhältnisse des Stahltragwerkes in Verbindung mit den gegebenen gestalterischen Verhältnissen nicht gänzlich eliminiert werden kann. Zur Reduzierung dieser funktionslosen Überbauflächen und um nicht zuletzt hinsichtlich Herstell- und Folgekosten ein wirtschaftliches Maß bei dem Verlangen nach Erhalt des Altbauwerkes zu erreichen, wird der neue Überbauquerschnitt rund 3,40 m überlappend in den alten Überbauquerschnitt gerückt.

Für die neue Brücke musste eine Variante gefunden werden, die zusammen mit dem Bestandsbauwerk eine harmonische Einheit bildet. Der Geradlinigkeit der historischen Brücke wurde dabei ein Spannbeton-Hohlkasten gegenübergestellt. Naheliegender war dabei, die wohlproportionierte Stützweitung der Bestandsbrücke für die Querung des Talraums aufzugreifen. Bei der Gestaltung der Stützen wurden deshalb bestimmte Parameter der Stützenportale der bestehenden Brücke adaptiert: Dem reich detaillierten Rahmen der Vergangenheit wurde eine Pfeilerform an die Seite gestellt, die den negativen Anzug der alten Rahmenstiele aufgreift und durch die Ausbildung von horizontalen Nuten eine starke Gliederung erfährt. Der Überbau für die zweite Rich-

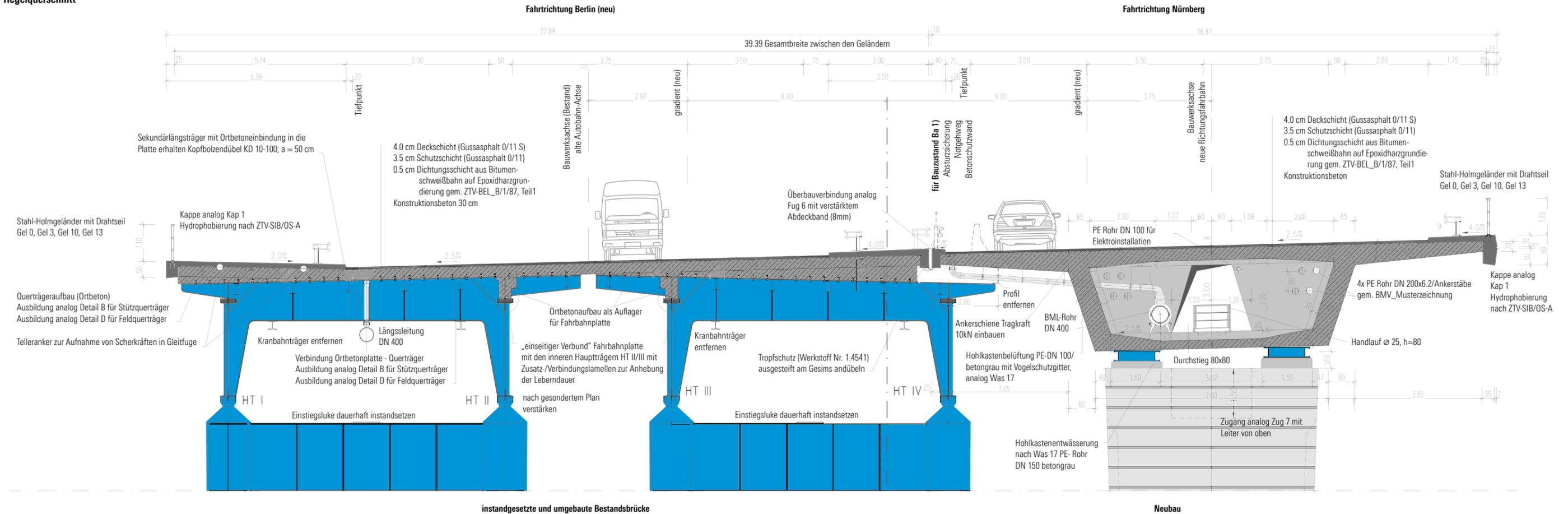
tungsfahrbahn wird als extern vorgespannter, einzelliger Hohlkastenquerschnitt mit einer Konstruktionshöhe von 3,0 m konzipiert, der abschnittsweise auf einem Lehrgerüst hergestellt wird.

Die für die Aufnahme einer Richtungsfahrbahn notwendigerweise über beide bestehenden Stahltragwerke verlaufende Fahrbahnplatte ist komplizierten geometrischen und statischen Randbedingungen unterworfen. Aus zwei bestehenden, getrennten Stahltragwerken, die für ein Dachgefälle konstruktiv ausgelegt waren, wird nun ein gekoppeltes Tragwerk mit einem einseitigen Quergefälle, wobei die Fahrbahnplatte in Längsrichtung von Querträger zu Querträger spannt.

Lösung „Einseitiger Verbund“

Die Deckenstärke der neuen Fahrbahnplatte, die über beide bestehende Stahlüberbauten spannt, musste mit Blick auf die infolge des einseitigen Quergefälle nun erforderlichen keilförmigen Unterzüge über den Querträgern zur Gewichtsreduzierung auf das statisch notwendige Maß optimiert werden. Mit dem Konzept einer durchlaufenden Fahrbahnplatte und keilförmigen Unterzügen ergab sich bei einer durchgehenden Plattenstärke von 0,30 m lediglich eine 6-prozentige Erhöhung der Eigenlast gegenüber dem Bestand. Die Beanspruchung durch Verkehr war bereits am Bestand als unkritisch nachgewiesen worden. Die Verkehrslastwirkung auf die beiden alten Tragwerke im Ausbaustand

Regelquerschnitt



mit nur noch einer Richtungsfahrbahn wurde somit nicht bemessungsrelevant. Die Tragwirkung der neuen Fahrbahnplatte mit den keilförmigen Unterzügen auf den Querträgern verläuft in Brückenlängsrichtung von Querträger zu Querträger mit einem Achsabstand von rund 4,23 m, die Fahrbahnplatte koppelt die beiden Stahltragwerke mit einer Spannweite von 5,0 m zwischen den innen liegenden Hauptträgern.

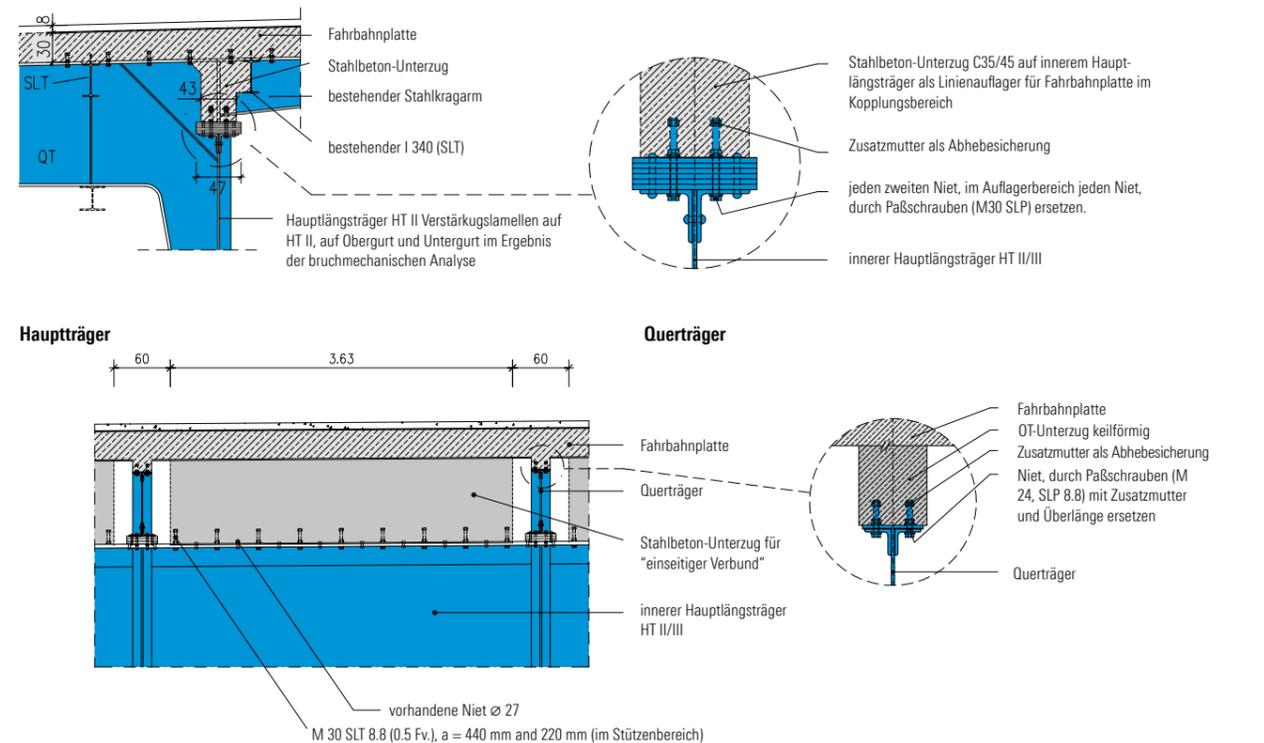
Im Verbindungsbereich der beiden Überbauten erfolgt die Ausbildung von Stahlbeton-Unterzügen oberhalb der beiden inneren Hauptträger für eine Plattenquertragwirkung. Damit wird eine statisch klare Linienauflagerung bei Änderung der Tragwirkung gegenüber den Bereichen zwischen den Hauptträgern erreicht. Gewählt wurde hier eine Lösung mit direktem einseitigem Verbund der Fahrbahnplatte auf den beiden inneren Hauptträgern II und III über Betonunterzügen, die auf den Obergurten der Hauptträger aufliegen. Eine Lösung, die die Ansicht des bestehenden Tragwerks nicht beeinträchtigt, für das statische System aber deutliche Vorteile bietet, da im Bereich der beiden inneren

Hauptträger mit der rechten und mittleren Fahrspur die höchsten Spannungsamplituden aus Schwerverkehr vorhanden sind.

Die Konzeption dieser Tragwirkung am Gesamtbrückenquerschnitt über einseitigen Verbund im Bereich der inneren Hauptträger bzw. am reinen Stahltragwerk und den damit ausgeprägten Steifigkeitsdifferenzen zwischen den äußeren Hauptträgern I und IV, die lediglich als stählerne Tragglieder in die Berechnung einfließen, und den in Verbund gesetzten inneren Hauptträgern II und III, erforderte zusätzliche Untersuchungen mit entsprechenden Grenzfallbetrachtungen.

Daneben wurden Untersuchung möglicher örtlicher Überbeanspruchungen aus der Verschiebung der Schwerlinie und die genaue Verfolgung des Verformungsverhaltens in Längs- und vor allem in Querrichtung zwingend notwendig. Ein Nachweis der Quertragglieder (Querträger und Fahrbahnplatte) mit Zusatzbetrachtungen bezüglich unterschiedlicher Tragrichtung im Koppelungsbereich, unter Berücksichtigung der Änderung der

Details „einseitiger Verbund“ Bereich innere Hauptträger II / III



Schnittgrößen infolge des einseitigen Verbundes der Hauptträger, war ebenfalls zu erbringen. Bei der Wahl des Verbundmittels für den einseitigen Verbund im Bereich der beiden inneren Hauptträger sowie für die Querträgerrahmen schiedene Kopfbolzendübel aus, da die Altsubstanz keine Schweißignung besitzt. Der Verbund wurde deshalb durch überlange Passschrauben erzeugt, die in freie Nietlöcher in den Obergurten eingebaut wurden. Zum Einsatz kamen rund 7.000 Schrauben M22 bzw. M30 der Güte 8.8 als SLP-Verbindung mit Abhebesicherung am Gewindeende über zusätzliche Muttern. Die Bemessung für Längstragrichtung im Bereich der inneren Hauptträger (Teilverbund) und in Querrichtung im Bereich der Querträger erfolgte über den Ansatz zulässige Werte eines äquivalenten Kopfbolzendübels mit Verifizierung der rechnerischen Ergebnisse über in-situ-„push-out“-Versuche. Bei der Nachweisführung am reinen Stahltragwerk über zulässige Spannungen wurde der bei der Werkstoffanalyse aufgrund verminderter Streckgrenzen (hoher freier Stickstoffanteil) ermittelte Reduktionsfaktor von 0.878 eingeführt.

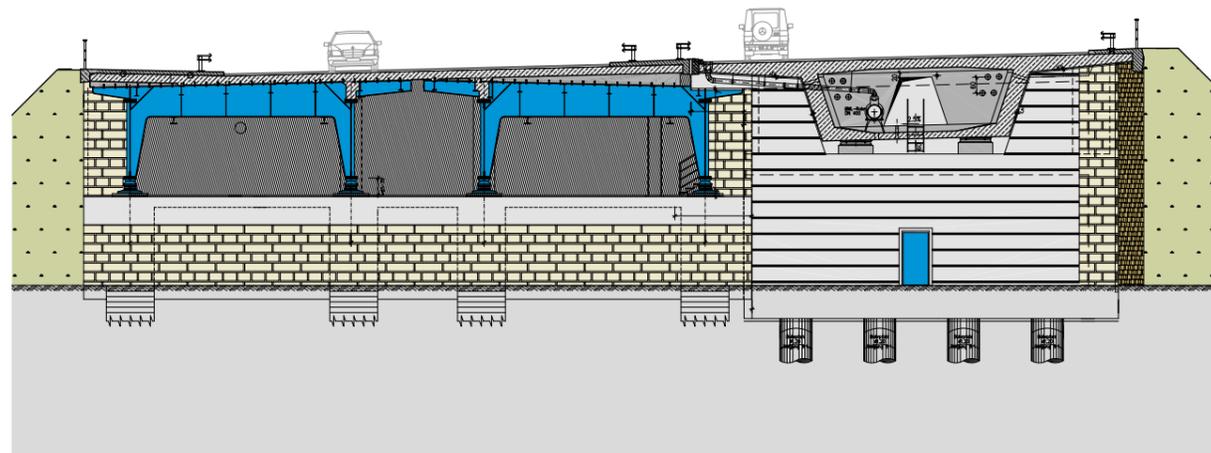
Dauerfestigkeit und Verstärkung

Während für den Neubau moderne Bemessungsverfahren für Tragfähigkeit, Gebrauchsfähigkeit und Ermüdungssicherheit zur Verfügung stehen, kann bei bestehenden Bauwerken das Verfahren der Ermüdungsnachweise aufgrund mangelnder Kenntnis der bisher vorhandenen Ermüdungsbelastung und Vorschädigungen der Brücke und der großen Streuung der Ermüdungsfestigkeit nicht ohne weiteres angewendet werden.

Deshalb wurde das Verfahren der bruchmechanischen Analyse eingesetzt. Dabei wird indirekt die Ermüdungssicherheit der Alt-konstruktion ermittelt. Man erhält dadurch eine Aussage darüber, wie schadenstolerant die Konstruktion ist, wenn ein Riss in der Konstruktion auftritt und welche Maßnahmen zur Steigerung der Robustheit der Brückenkonstruktion erforderlich sind.

Bei diesem Verfahren wird unterstellt, dass die Konstruktion soweit ermüdet ist, dass versteckte Ermüdungsschäden vorhanden sind, die gerade an der Grenze der Erkennbarkeit sind. Ausgehend

Widerlageransicht Süd



Teilansicht Widerlager Nord mit einem der schlanken Stahlportale als Stützen



von solchen Anfangsschäden wurde für die in Zukunft zu erwartende Ermüdungsbelastung eine sichere Restnutzungszeit ermittelt. Berechnet wird die Zeitspanne zwischen einer festgelegten, bei Inspektionen sichtbaren Anrisslänge und dem Durchreißen der betroffenen Lamelle. Als Rissbeginn wird der Lochrand eines Nietloches definiert. Die festgelegte, bei Inspektionen sichtbare Anrisslänge entspricht dem Abstand zwischen Nietloch- und Nietkopfrand (verdeckter Rissbereich) und einer über den Nietkopf hinausgehenden Risslänge von 5 mm. Die kritische Rissgröße, bei der schnelles Risswachstum und Versagen des betrachteten Bauteils entsteht, ist abhängig von der mit Hilfe der Bruchmechanikversuche ermittelten Zähigkeit des Bauteils, der Bauteilgeometrie und der Spannungsgröße.

Grundlage ist aber in einem ersten Schritt die Durchführung des allgemeingültigen Ermüdungsnachweises nach Eurocode 3. Die für die bruchmechanische Analyse benötigten Spannungsamplituden werden auf Basis des Ermüdungslastmodells und der Häufigkeit der LKW-Verteilung im Querschnitt bestimmt.

Der innere Hauptträger (HT II) unter der ersten Fahrspur (LKW-Spur), der theoretisch 83 % des LKW-Aufkommens aufnimmt, hat die höchsten Lastwechselbeanspruchungen und Spannungsamplituden im Vergleich zu den anderen Hauptträgern. Die bruchmechanische Analyse ergab hier für einzelne Querschnitte die Notwendigkeit von Verstärkungsmaßnahmen im Ober- und Untergurtbereich mit zusätzlichen Blechlamellen. Die zu verstärkenden Querschnitte des inneren Hauptträgers II lagen alle im Übergangsbereich von positiven Feld- zu negativen Stützmomenten, also dort, wo die Beanspruchungen und damit die Zahl der Gurtlamellen gering sind. Die Querschnitte der Verstärkungslamellen wurden derart gewählt, dass die Risswachstumszeit bis zum kritischen Riss größer als 6 Jahre ist und der Zusatzquerschnitt in der Lage ist, bei Versagen einer Altlamelle die freiwerdende Lamellenkraft aufzunehmen. Insgesamt wurden rund 20 Tonnen Zusatzlamellen eingebaut. Für die Altlamellen des inneren Hauptträgers III unter der mittleren Fahrspur als auch für die der äußeren Hauptträger I und IV ergaben sich auf Grund des geringeren LKW-Aufkommens bzw. der Lage unter den Kappen wesentlich geringere Lastwechselbeanspruchung und damit auch deutlich niedrigere Spannungsamplituden, sodass für diese 3 weiteren Hauptträger keinerlei Verstärkungsmaßnahmen zur Anhebung der Lebensdauer durchgeführt werden mussten.

Neue Brücke

Für die neue Brücke der Richtungsfahrbahn Nürnberg musste eine Lösung gefunden werden, die gemeinsam mit dem Be-

standsbauwerk eine harmonische Einheit bildet. Sehr nahe liegend war dabei, die wohlproportionierte Stützweitung der Bestandsbrücke für die Querung des Talraums aufzugreifen.

Bei der Gestaltung der Stützen des neuen Bauwerks wurden Parameter der Stützenportale der bestehenden Brücke adaptiert: Dem reich detaillierten Rahmen der Vergangenheit wird eine Pfeilerform an die Seite gestellt, die den negativen Anzug der alten Rahmenstiele aufgreift und durch die Ausbildung von horizontalen Nuten eine starke Gliederung und Präzisierung erfährt. Dieses Motiv wird an den Auflagerbänken des Widerlagers zur Darstellung der Lastabtragung aufgegriffen.

Die Flügelwände antworten dem Bestand mit Travertinverblendung. Der Geradlinigkeit der historischen Brücke wurde ein 3,0 m hoher Spannbeton-Hohlkasten gegenübergestellt, der extern vorgespannt und abschnittsweise auf Lehrgerüst hergestellt wurde.

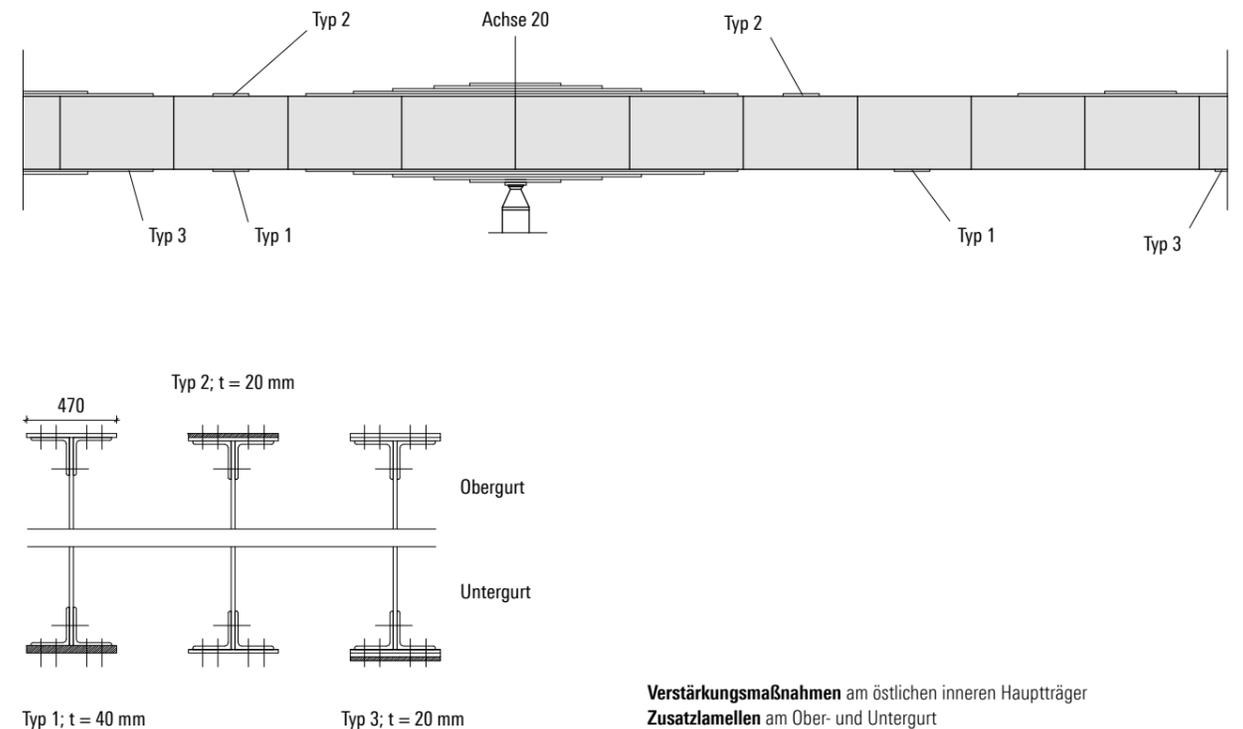
Bauausführung

Grundlage für den Umbau und die Grundinstandsetzung des Bestandsbauwerkes war die Herstellung der neuen Brücke in dichter Parallellage zum alten Überbau. Um wie geplant den neuen Überbau über den bestehenden überlappen zu können, musste vorab der Verkehr der Richtungsfahrbahn Berlin entsprechend eingengt werden. Nach einer Bauzeit von rund 14 Monaten wurde der komplette BAB-Verkehr innerhalb der Verkehrsführungsphase 4+0 auf den fertiggestellten neuen Überbau umgelegt und die Grundinstandsetzung und der Umbau der bestehenden Brücke begonnen. Der Abbruch der alten Fahrbahnplatte erfolgte durch segmentweises Schneiden und Abheben.

Die erforderlichen Zusatzlamellen, deren Längen zwischen 2,1 m bis 14,8 m variieren, (Güte St 52) wurden in Dicke (zwischen 20 und 40 mm) und Breite (470 mm) so ausgewählt, dass im Träger keine erheblichen Steifigkeitssprünge entstehen. Das Lösen der Gurtnieten und der Einbau der Zusatzlamellen wurde im „entspannten“ Zustand unter Stahleigengewicht durchgeführt. Anschließend erfolgte das Anlegen der jeweiligen Zusatzlamelle auf dem bestehenden Lamellenpaket und das Verbinden der Neu- und Altlamellen mittels Passschrauben an den Stellen der vorhandenen Nietlöcher. Die kraftschlüssige Verbindung der jeweiligen Zusatzlamelle mit der anliegenden Altlamelle des benachbarten stärkeren Querschnittes erfolgt mittels einer Stoßlamelle. Die Herstellung der neuen Fahrbahnplatte mit Unterzügen auf den beiden inneren Hauptträgern, keilförmigen Unterzügen

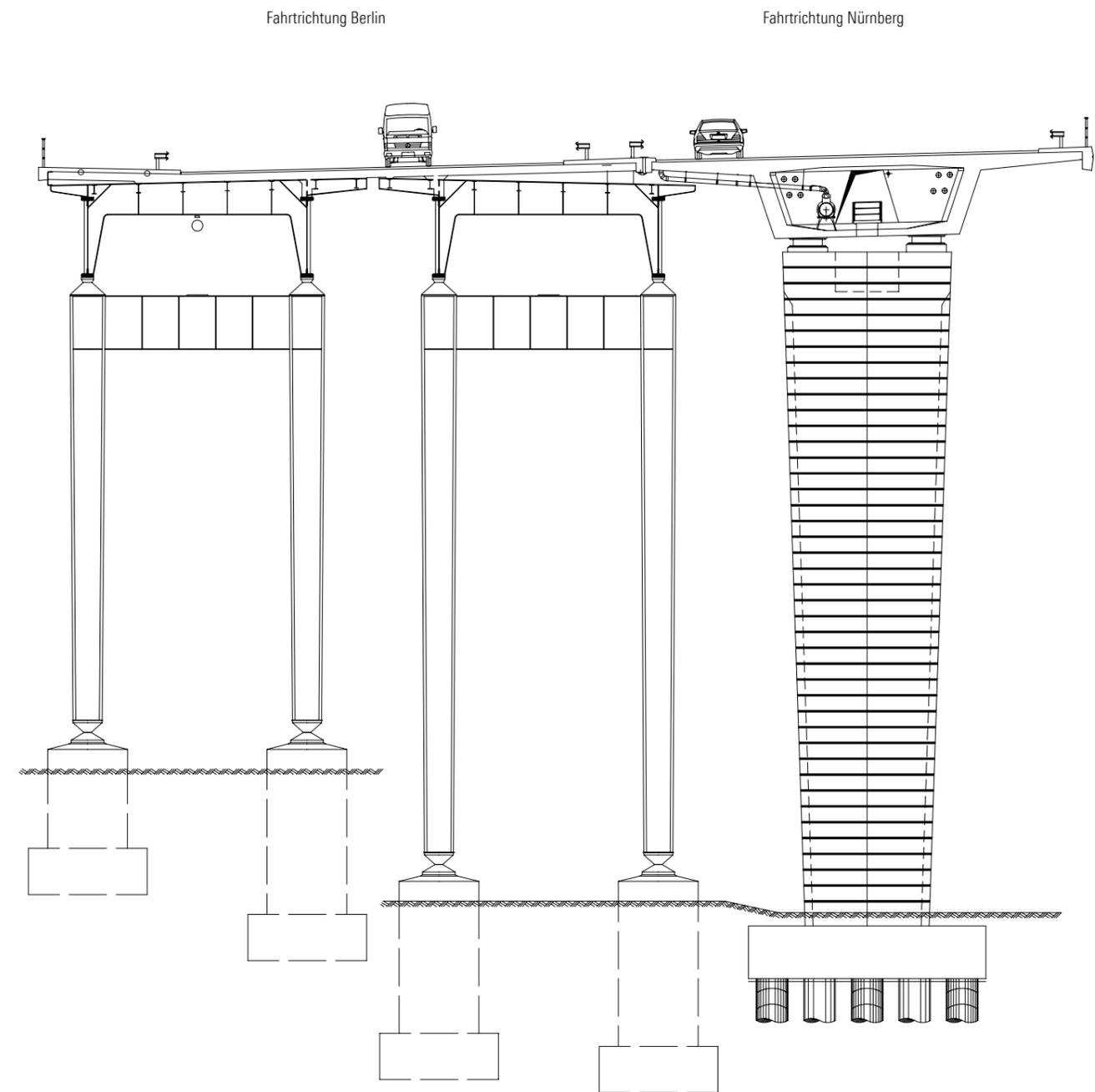


Ansicht West des Brückenneubaus



Grafiken: SSF Ingenieure GmbH, Foto: Florian Schreiber Fotografie / SSF Ingenieure GmbH

Verstärkungsmaßnahmen am östlichen inneren Hauptträger
Zusatzlamellen am Ober- und Untergurt



über den Querträgern und partiell auch auf den Sekundärlängsträgern stellte hohe Ansprüche an das Schalungshandwerk. Die Fahrbahnplatte wurde im Pilgerschrittverfahren hergestellt. Zur Einhaltung der Gradienten wurde im Rahmen eines detaillierten Messprogramms das Verformungsverhalten des Stahltragwerks nach jedem Abbruch- und Betonage-Teilschritt minutiös verfolgt, um die erforderlichen Überhöhungsbeträge zu ermitteln bzw. auf Abweichungen unmittelbar reagieren zu können. Nach 18 Monaten Bauzeit konnte die Richtungsfahrbahn Berlin auf dem nun gekoppelten Tragwerk freigegeben werden.

Resümee

Mit Respekt müssen die technischen Leistungen und die Weitsicht früherer Generationen von Ingenieuren und Architekten gewürdigt werden, die hervorragend gestaltete Bauwerke hin-

terlassen haben. Der Talbrücke Tautendorf kann nach 60 Jahren Verkehr bei schwierigsten Unterhaltsbedingungen durch eine gründliche Instandsetzung und einen Umbau eine weitere langfristige Standzeit und Gebrauchstauglichkeit zugemutet werden.

Der Erhalt und die Integration dieses meisterhaften Bauwerkes in den sechsstreifigen Ausbau der Bundesautobahn A9 ist erkennbarer Ausdruck praktizierter Baukultur und lässt keinen Zweifel daran, dass auch bei schwierigen technischen und konstruktiven Randbedingungen ein verantwortungsvoller Umgang mit dem Bestand möglich ist. Mit einem von Bauherrn und Planer gleichermaßen geprägten Willen zum Fortbestand dieser einzigartigen Konstruktion konnte eine technisch optimierte, wirtschaftlich adäquate und gestalterisch ansprechende Lösung zwischen Alt und Neu gefunden werden.

Grafik: SSF Ingenieure GmbH, Foto: Florian Schreiber Fotografier / SSF Ingenieure GmbH

links: Talbrücke Tautendorf, Ansicht von unten
oben: Regelquerschnitt neu / alt mit Überlappung

SSF Ingenieure AG
Beratende Ingenieure im Bauwesen

München
Berlin
Halle
Köln

www.ssf-ing.de