



## Monobogen als Tor zum Spessart

Ersatzneubau der Überführung der Staatsstraße 2312  
im Zuge der Bundesautobahn A3

Tobias Bäuml  
Andreas Baumhauer

# Monobogen als Tor zum Spessart

## Ersatzneubau der Überführung der Staatsstraße 2312 im Zuge der Bundesautobahn A3

Die Bundesautobahn A3 zählt zu den bedeutendsten Bundesautobahnen in Deutschland. Aufgrund der hohen Verkehrsbelastung wird die Bundesautobahn A3 zwischen Aschaffenburg und dem Autobahnkreuz Biebelried sechsstreifig ausgebaut. Ausgewählte Bauwerke im Streckenabschnitt erhalten eine besondere Gestaltung mit Wiedererkennungswert. Dazu zählt auch die Überführung der Staatsstraße 2312, der sogenannte Monobogen. Im Zuge des sechsstreifigen Ausbaus der Bundesautobahn A3 wird durch die Verlegung der Bundesautobahn A3 und der Staatsstraße 2312 ein neues Kreuzungsbauwerk erforderlich. Die Konzeption der neuen Brücke soll insbesondere der schiefwinkligen Kreuzungssituation Rechnung tragen. Entworfen wurde ein Tragwerk, welches in seiner Statik und Ansicht der Schiefe entgegenwirkt. Der diagonal über den Überbau spannde Monobogen mit beidseitigen Seilabspannungen kreuzt nahezu rechtwinklig die unterführte Bundesautobahn. Die regelmäßig angeordneten Seilaufhängungen ermöglichen ein sehr schlank gestaltetes Brückendeck, welches seine Wirkung unabhängig vom Betrachtungswinkel entfaltet. Der Bogen zeigt sich aufgrund seiner nahezu rechtwinklig zur Bundesautobahn gerichteten Anordnung unverfälscht in seiner wahren Bogenform. Die Form der Seilüberspannung ist neben statischen Aspekten von der architektonisch gestalteten, gekreuzten Hängersicht geprägt. Für das architektonisch gestaltete Tragwerk wurden vollverschlossene Seile gewählt, da deren Außendurchmesser und die Geometrie der Verankerungen gegenüber Litzenseilen eher den Proportionen der filigranen Brückenkonstruktion mit den vergleichsweise kurzen Seillängen gerecht werden.

**Stichworte:** Seil, vollverschlossen; Bogenbrücke; Tragwerkskonstruktion; Hohlkasten

**Gateway to the Spessart – Replacement of the transfer of the state road 2312 in the course of the construction of the federal highway A3.** *The Federal Highway A3 is one of the most important federal motorways in Germany. Due to the high traffic load, the Federal Highway A3 between Aschaffenburg and the Biebelried motorway junction will be expanded to six lanes. Selected bridges in the section receive a special design with recognition value. This includes the transfer of the state road 2312, the so-called Monobogen. This single arch creates a gateway to the Spessart. As part of the six-lane expansion of the Federal Highway A3, the relocation of the Federal Highway A3 and the state road 2312 will require a new intersection. The conception of the new bridge should take into account in particular the oblique crossing situation. A structure was designed that counteracts the skewness in its statics and view. The diagonally over the superstructure exciting Monobogen with bilateral cable suspensions*

*crosses at almost right angles the underpassed federal highway. The regularly arranged cable suspensions allow a very slim designed bridge deck, which unfolds its effect regardless of the viewing angle. Due to its almost right-angled orientation to the federal highway, the arch is unadulterated in its true arched form. The shape of the rope overstretch is characterized by static aspects of the architecturally designed, crossed trailer view. For the architecturally designed structure, fully closed ropes were chosen, as their outer diameter and the geometry of the anchorages compared to stranded cables are better suited to the proportions of the filigree bridge.*

**Keywords:** fully closed rope; arch bridge; steel construction; box-type construction

### 1 Einleitung

Die Bundesautobahn A3 ist Europastraße und Bestandteil des transeuropäischen Verkehrsnetzes. Sie verbindet die Beneluxstaaten mit Südeuropa und innerhalb Deutschlands Bayern mit den Zentren am Rhein. Sie zählt damit zu den bedeutendsten Strecken im Netz der Bundesautobahnen. Die A3 wurde Ende der 1950er und Anfang der 1960er Jahre als vierstreifige Autobahn durch Spessart und Steigerwald gebaut und ist heute stark überlastet. Die durchschnittlichen Verkehrsbelastungen bei Aschaffenburg und Nürnberg liegen bei 100 000 Fahrzeugen pro Tag. Vermehrte Unfälle und Staus sind die Folge. Im Bedarfsplan für die Bundesfernstraßen ist der sechsstreifige Ausbau von der Anschlussstelle Aschaffenburg bis zum Autobahnkreuz Biebelried deshalb als vordringlicher Bedarf ausgewiesen. Mit dem sechsstreifigen Ausbau wird eine leistungsfähige und den heutigen Anforderungen gerechte Verkehrsverbindung geschaffen.

Große Teile des insgesamt 94 km langen sechsstreifigen Ausbaus sind bereits fertig gestellt (Bild 1). Derzeit laufen u. a. noch die Ausbaurbeiten im Spessart zwischen der Anschlussstelle Rohrbrunn und der bereits neu gebauten Haseltalbrücke mit den Ersatzneubauten von zwei Großbrücken – der Überführung der Staatsstraße 2312 und der Talbrücke Rohrbuch. Ausgewählte Bauwerke im Streckenabschnitt zwischen Aschaffenburg und dem Autobahnkreuz Biebelried bei Würzburg erhalten eine besondere Gestaltung mit Wiedererkennungswert. Dazu zählt auch die Überführung der Staatsstraße 2312, der sogenannte Monobogen.

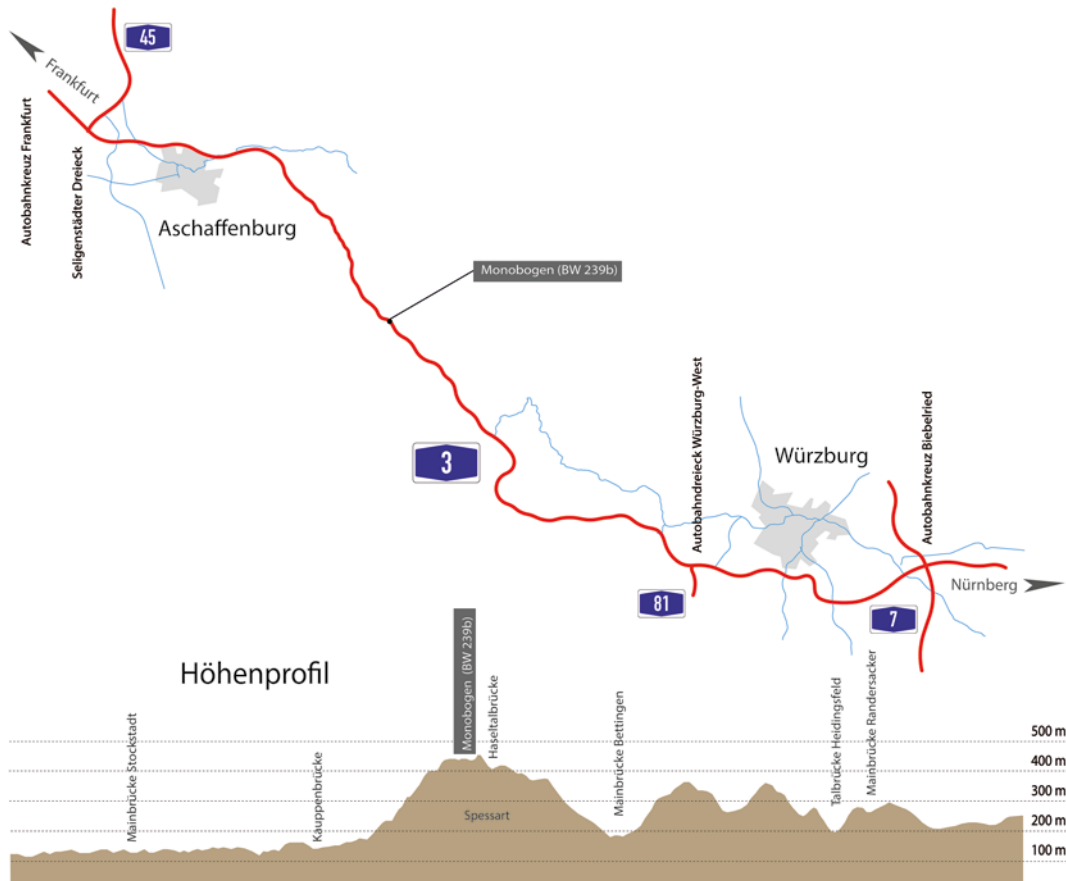


Bild 1. Sechsstreifiger Ausbau der Bundesautobahn A3 zwischen Aschaffenburg und Autobahnkreuz Biebelried  
 Fig. 1. Six-lane extension of the A3 motorway between Aschaffenburg and the Biebelried motorway junction

## 2 Bestandsbauwerk

Im Bereich der bestehenden, sehr schiefwinkligen Überführung der Staatsstraße 2312 verläuft die Bundesautobahn A3 in einer tiefen Einschnittslage. Das Bestandsbauwerk wurde als Bogenbrücke mit aufgeständerter Fahrbahn errichtet (Bild 2). Die Bogenbrücke ist dabei im Grundriss orthogonal entworfen, sodass sich in der BAB-Ansicht aufgrund des schiefen Betrachtungswinkels eine große, wuchtig wirkende Ansichtsflächen ergeben.

## 3 Entwurf

Im Zuge des 6-streifigen Ausbau der Bundesautobahn A3 im Abschnitt „westlich AS Rohrbrunn – Haseltalbrücke“ wird durch die Verlegung der Bundesautobahn A3 und der Staatsstraße 2312 ein neues Kreuzungsbauwerk erforderlich. Die verlegte Staatsstraße 2312 kreuzt weiterhin sehr schiefwinklig die neu ausgebaute Bundesautobahn A3, die im Kreuzungsbereich – wie auch im Bestand – in einer tiefen Einschnittslage verläuft. Aufgrund der exponierten Lage der Überführung am Hochpunkt des Spessarts soll das neue Bauwerk eine besondere Gestaltung erhalten. Die Konzeption der neuen Brücke soll dabei insbesondere der schiefwinkligen Kreuzungssituation Rechnung tragen.

Entworfen wurde daher ein Tragwerk, welches in seiner Statik und Ansicht der Schiefe entgegenwirkt. Der diagonal über den Überbau spannde Monobogen mit beidseitigen Seilabspannungen kreuzt nahezu rechtwinklig die unterführte Bundesautobahn. Die regelmäßig angeordnete

ten Seilaufhängungen ermöglichen ein sehr schlank gestaltetes Brückendeck, welches seine Wirkung unabhängig vom Betrachtungswinkel entfaltet. Der Bogen zeigt sich aufgrund seiner nahezu rechtwinklig zur Bundesautobahn gerichteten Anordnung unverfälscht in seiner wahren Bogenform und harmonisiert auch mit der Wannenausrundung des Brückendecks (Bilder 3, 4 und 5). Die gegenläufigen Seilebenen mit Seillängen zwischen ca. 6 m und 50 m tragen das Brückendeck. Die Form der Seilüberspannung ist neben statischen Aspekten von der architektonisch gestalteten, gekreuzten Hängeransicht geprägt. Jede Seilebene ist vergleichbar mit einer einhäufigen Schrägkabelbrücke mit einem Rückhänge-seil.



Bild 2. Blick auf die bestehende Bogenbrücke  
 Fig. 2. View of the existing arch bridge





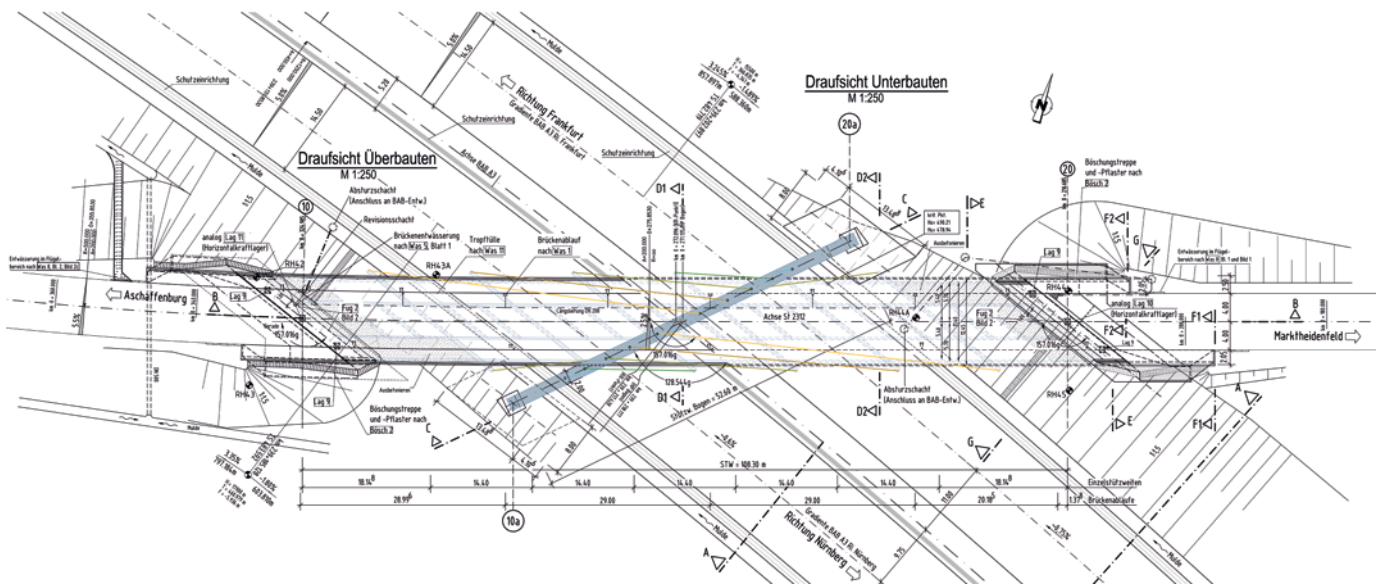


Bild 5. Brückendraufsicht  
Fig. 5. Bridge top view

seitigen Festpunkt konzipiert, zumal diese Lagerung auch keine relevanten Zusatzbeanspruchungen im Gesamttragwerk bewirkte.

Die Hohlkastenquerschnitte der Hauptträger und der Endquerträger sind vor den Widerlagern mit Ballastbeton verfüllt. Damit konnten negative Lagerkräfte vermieden werden, die sich ansonsten durch die Schiefwinkligkeit des Brückendecks in Verbindung mit dem durch die asymmetrischen Seilsteifigkeiten hervorgerufenen räumlichen Verformungsverhalten des Brückenüberbaus ergeben hätten.

Der Stahlbogen des Brückentragwerkes hat eine Spannweite von ca. 58 m und einen Bogenstich von ca. 30 m (Bild 7). Die Abmessungen des Hohlkastenquerschnittes betragen  $B \times H = 2,00 \text{ m} \times 1,35 \text{ m}$ . Die statischen Berechnungen ergaben Blechdicken bis zu 95 mm. An den Fußpunkten ist der Stahlbogen in die flach gegründeten Fundamente eingespannt. Um die Lasten in den Baugrund abzutragen und die für die Tragsicherheit bedeutsame Fußspannung des Bogentragwerkes sicherzustellen, waren Kämpferfundamente mit den Abmessungen von ca.  $L \times B = 18,5 \text{ m} \times 10,0 \text{ m}$  auf mürben bis festen Sandsteinen erforderlich. Die räumlichen Verformungen aus Verkehr des nicht nur maßgeblich auf Druck, sondern wegen der asym-

metrischen Seilaufhängungen durch schiefe Biegung und Torsion beanspruchten Bogentragwerkes betragen mit den statisch berechneten Querschnittsabmessungen vertikal und horizontal weniger als 20 mm.

Für das architektonisch gestaltete Tragwerk wurden vollverschlossene Seile gewählt, da deren Außendurchmesser und die Geometrie der Verankerungen gegenüber Litzenseilen eher den Proportionen der filigranen Brückenkonstruktion mit den vergleichsweise kurzen Seillängen gerecht werden (Bild 8). Weitere Vorteile der vollverschlossenen Seile sind die hohe Redundanz, da auch mehrere Drahtbrüche die Tragsicherheit durch die innere Reibung nicht aufheben, sofern die Brüche über die Länge verteilt sind, sowie die einfache Nachprüfbarkeit der nicht verwahrten Seile. Zur Ausführung kamen Galfan-verzinkte vollverschlossene Spiralseile der Fa. Bridon mit den Seilennendurchmessern von 120 mm, 133 mm und 145 mm. Am Stahlbogen sind die Seile mit Gabelseilköpfen befestigt, zylindrische Seilköpfe mit Stützmuttern ermöglichten das Anspannen der Seile am Brückendeck.

Die Anschlagpunkte am Bogen wurden mit Ausnahme für die Rückhängeseile so gewählt, dass die Systemlinien der Seile in der Mitte des Bogenuntergurtes anschlie-



Bild 6. Brückenuntersicht  
Fig. 6. Bridge bottom view



Bild 7. Monobogen in Bau  
Fig. 7. Mono arch under construction



Bild 8. Monobogen im Bau  
Fig. 8. Mono arch under construction



Bild 9. Seileinbau  
Fig. 9. Cable installation

ßen und nicht etwa im Schwerpunkt des Hohlkastenquerschnittes. Ausschließlich optische Gründe waren hierfür entscheidend. Die Exzentrizität im Hohlkastenquerschnitt konnte in Kauf genommen werden.

#### 4.2 Statisches System, Belastungen und Seilvorspannung

Die Berechnung des Tragwerkes erfolgte an einem räumlichen baustatischen Modell aus Stab- und Schalenelementen. Das Brückendeck wurde hierbei als Faltenwerk abgebildet, da ein Stabsystem örtliche Spannungen und Verformungen durch die breiten Hohlkästen der Hauptträger und durch die schiefwinklige Deckgeometrie nicht ausreichend genau wiedergab. Sonst übliche gesonderte Detailmodelle, etwa für die Lasteinleitung der Seilkräfte über die Konsolen in das Brückendeck, konnten damit entfallen. Nur für die Nachweise der Stabilität des Gesamttragwerkes wurde ein separates Stabsystem betrachtet, um zutreffende Verzweigungsfaktoren für die Hauptbauteile wie Bogen und Brückendeck zu erhalten. Neben der Berechnung des statischen Systems mit einer Volleinspannung des Bogens in die Flachfundamente wurden Grenzbetrachtungen für die Bettung auf dem anstehenden Baugrund durchgeführt. Geometrische Grundlage der statischen Systembeschreibung sowie der Konstruktionspläne war ein 3D-Modell, das mit der CAD Software Siemens NX erstellt wurde.

Außer für die Eigen-, Temperatur- und Windlasten, Stützensenkungen sowie Kriechen und Schwinden ist das Bauwerk für das Lastmodell LM1 und LM2 nach DIN EN 1991-2 sowie für das Ermüdungslastmodell 3 bemessen. Als außergewöhnliche Einwirkung wurde der Ausfall jedes einzelnen Seiles unter Berücksichtigung der dynamischen Effekte betrachtet. Die Seilvorspannung wurde so gewählt, dass die vertikalen Verformungen in den Seilaufhängepunkten zum Zeitpunkt der Brückenfertigstellung gleich null waren. Damit näherte sich die Momentenbeanspruchung im Brückendeck einem Durchlaufsystem an.

Im Allgemeinen wird aus Zeit- und Kostengründen eine Seilmontage mit einem einzigen Spannvorgang angestrebt. Wegen der Asymmetrie des Bauwerkes und der räumlich unterschiedlichen „Federsteifigkeit“ der Seilaufhängung wurde das Vorspannen der Seile beim vorliegenden Bauwerk in zwei Phasen durchgeführt. Im ersten Spannvorgang wurden die Seile Nr. 1 bis 4 N + S (Nord

und Süd) unter dem Bogen und die beiden Rückhänge-seile Nr. 6 N + S vorgespannt (Bild 9). Die Vorspannung erfolgte so, dass einerseits für die weitere lineare statische Betrachtung die effektiven Seilsteifigkeiten ausreichend groß waren und andererseits das Brückendeck zur Vermeidung eines nichtlinearen Systemverhaltens noch auf dem Traggerüst auflag. Nicht vorgespannt wurden in dieser ersten Phase die beiden kürzesten Seile Nr. 5 N + S, da diese die Auflasten des Brückendecks durch ihre größte im Tragwerk vorhandene Seilsteifigkeit quasi als Punktlagerung – ungünstig für Fahrbahnbeanspruchung und Seilvorspannung – angezogen hätten. Nach dem ersten Spannvorgang wurde das Traggerüst abgesenkt, die Seile Nr. 5 N + S eingebaut und die Endvorspannung auf alle Seile aufgebracht.

#### 4.3 Nachweisführung und Dynamik

Zur Dimensionierung des Tragwerkes wurden die durch das bautechnische Regelwerk geforderten Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit, der Ermüdungssicherheit sowie gegen ein örtliches und globales Stabilitätsversagen geführt. Verzweigungslastuntersuchungen zeigten für den Bogen eine hohe Sicherheit gegen Stabilitätsversagen. Für das Brückendeck wurden ergänzend Nachweise nach Theorie II. Ordnung geführt. Für die Dimensionierung des Tragwerkes wurde die Reihenfolge der Montage berücksichtigt. Die Nachweise der Tragsicherheit und die Berechnungen der Verformungen mit der spannungslosen Werkstoffform ergeben sich aus der Summe der Einzelbelastungen in den jeweiligen Bauzuständen.

Für die Seile des Tragwerkes wurden auf Grundlage der DIN EN 1993-1-11 und dem Nationalen Anhang die Grenzzustände der Tragfähigkeit, die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und die Ermüdungssicherheit nachgewiesen. Alle Berechnungen wurden nach Theorie I. Ordnung geführt, da die Nachweise der effektiven Seilsteifigkeiten mit  $E_{\text{eff}} > 0,95 E$  die Vernachlässigung der Wirkung des Seildurchhanges erlaubten.

Die Berechnungen der Tragfähigkeit zeigten gemäß dem bautechnischen Regelwerk die Zulässigkeit der maximalen Seilkräfte im Bruchzustand ohne die Berücksichtigung von Verdrehwinkeln an den Seilverankerungen. Die Nachweise der Spannungsbegrenzung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wurden dagegen unter Beachtung der Biegespannungen im Bereich der Seilverankerun-



gen geführt. Grundsätzlich wäre es gemäß dem Nationalen Anhang DIN EN 1993-1-11/NA zulässig gewesen, die Nachweise ohne Biegeeffekte gegen  $f_{SLs} = 0,45 \sigma_{uk}$  zu führen. Wegen der Besonderheit des Tragwerkes mit der asymmetrischen Geometrie und dem räumlichen Verformungsverhalten wurden die Winkeländerungen in den Verankerungspunkten jedoch nicht als untergeordnet angesehen. Die Biegespannungen wurden entsprechend gemäß der DIN EN 1993-1-11 mit in die Nachweisführung einbezogen und die Grenzspannungen mit  $f_{SLs} = 0,50 \sigma_{uk}$  eingehalten. Die maßgeblichen Verdrehwinkel treten am Brückendeck auf. Unbeachtet blieb bei der Nachweisführung hier die Möglichkeit eines Winkelausgleichs über die sphärischen Muttern und Scheiben an den Spannankern, da diese Ausgleichsmöglichkeit der Aufnahme von Toleranzen beim Seileinbau vorbehalten sein sollte.

Die Ermüdungssicherheit ist für alle Seile unter Beachtung des Nationalen Anhangs DIN EN 1993-1-11/NA für die höchste Anforderungsklasse 5 unter Zug- und Biegebeanspruchungen mit Einordnung in die Kerbgruppe KG 112 erfüllt. Damit wird den Nachweisen wegen des räumlichen Tragverhaltens bei diesem besonderen Brückenbauwerk eine strenge Regelauslegung zugrunde gelegt. Nicht ganz eindeutig erlaubt die DIN EN 1993-1-11 eine Kerbfalleinstufung  $\Delta\sigma_c = 150 \text{ N/mm}^2$ , während der Nationale Anhang mit seiner strengeren Forderung nicht aussagt, ob bei Einhaltung der deutlich ungünstigeren Kerbgruppe 112 auch die Biegespannungen zu beachten sind.

Das dynamische Verhalten des Tragwerkes wurde für denkbare Anregungen aus Verkehr und Wind betrachtet. Unter Verkehrsbelastungen konnte nachgewiesen werden, dass in Abhängigkeit von möglichen Geschwindigkeiten und mit Fahrzeugabständen analog der Eigenform Erreger- und maßgebliche Eigenfrequenzen ausreichend weit auseinanderliegen und dynamische Effekte aus Verkehr als unkritisch anzusehen sind.

Die rechnerischen dynamischen Betrachtungen unter den Windbelastungen zeigten, dass für das Tragwerk ein vereinfachter Nachweis der Böenreaktion nach Eurocode ausreichend war. Der in Abhängigkeit von Eigenfrequenz, Windzone und Bauwerksgeometrie ermittelte Böenreaktionsfaktor ergab einen hiervon abhängigen rechnerisch anzusetzenden Winddruck, der gemäß dem bautechnischen Regelwerk anzusetzender Windbelastung entsprach.

Galloping und Flattern wurden bei dem seilverspannten Tragwerk ausgeschlossen.

#### 4.4 Seilprüfungen

Gemäß den „Technischen Lieferbedingungen und Technischen Prüfvorschriften für vollverschlossene Seile – TL/TP VVS“ waren an mindestens einem Probestück für alle Seildurchmesser mit den Originalverankerungen Zugversuche zur Ermittlung der Verformungsmodule und im Anschluss zur Feststellung der wirklichen Bruchkraft durchzuführen. Die ebenso erforderlichen Ermüdungsversuche, die als Zugschwellversuche mit anschließenden Zugversuchen durchzuführen sind, wurden bei den in Aufbau und Fertigung vergleichbaren Seilen auf das dickste Seil mit dem Nenndurchmesser von 145 mm begrenzt. Auch wenn entsprechende Referenzversuche unter vergleichbaren Bedin-



Bild 10. Seilköpfe  
Fig. 10. Cable heads

gungen von anderen Projekten von der Fa. Bridon als Seilhersteller vorgelegt werden konnten, wurde von der durch die „ZTV-ING, Abschnitt Brückenseile“ gebotene Möglichkeit, auf Dauerschwingversuche ganz zu verzichten, nicht Gebrauch gemacht.

Nachgewiesen wurde durch den erfolgreichen Ermüdungsversuch die Kerbgruppe 150, wobei Winkelverdrehungen in den Seilverankerungen nicht berücksichtigt wurden und in der TL/TP VVS auch nicht gefordert werden. Dem höheren Beanspruchungsniveau durch Biegespannungen im Bereich der Seilverankerungen (Bild 10) wurde jedoch in der Nachweisführung dadurch Rechnung getragen, dass die Ermüdungsnachweise neben den Normalkräften die Biegemomente aus Seildurchhang, Bauteilverdrehungen und -translationen berücksichtigen und den Nachweisen die strengere Kerbgruppe 112 zugrunde gelegt wurde. Durchgeführt wurden die Versuche für das 145-mm-Seil durch die Materialprüfanstalt (MPA) für das Bauwesen in Braunschweig. Die Zugversuche für die beiden Seile mit Durchmesser 120 und 133 mm wurden durch die DMT-Seilprüfstelle in Bochum durchgeführt.

#### 4.5 Montage

Nach Herstellung der Widerlager wurde die Stahlkonstruktion des Brückenüberbaus auf einem auf gesamter Brückenlänge vorhandenen Traggerüst montiert und anschließend die Fahrbahnplatte betoniert. Die Herstellung der



Bild 11. Bogenmontage  
Fig. 11. Arc assembly



*Bild 12. Luftbild im Herbst 2017*  
*Fig. 12. Aerial view in autumn 2017*

Bogenfundamente erfolgte parallel. Für die Errichtung des Bogentragwerkes konnten auf dem vorgefertigten Brückendeck die Gerüststützen zum Auflegen der Bogenschüsse gestellt werden (Bild 11). Nach dem vollständigen Verschweißen des Bogentragwerkes und der geometrischen Kontrolle, insbesondere der Abstände der Seilverankerungen von Bogen und Brückendeck, wurde der Stabbogen in die Kämpferfundamente einbetoniert.

Anschließend wurden die Montage und das Anspannen der Seile in zwei Schritten durchgeführt. Das Traggerüst wurde nach dem Einbau der Seile Nr.1 bis 4 und 6 zu beiden Seiten des Brückendecks und nach dem ersten Spannvorgang abgesenkt. Zur Wahrung der Gradientenge-

nauigkeit wurde der Brückenausbau mit Aufbringung von Kappen und Belag abschließend nach dem vollständigen Vorspannen der Seile ausgeführt.

#### **Bildnachweis:**

Bilder 1, 2: Autobahndirektion Nordbayern  
Bilder 3, 4, 5: SSF Ingenieure AG  
Bilder 6–11: Tom Bauer Ad Photography Würzburg  
Bild 12: Hajo Dietz Nürnberg Luftbild, Nürnberg

#### **Entwurfsverfasser:**

Dipl.-Ing. Peter Radl,  
SSF Ingenieure AG,  
Domagkstraße 1,  
80807 München,  
pradl@ssf-ing.de

#### **Autoren dieses Beitrages:**

Dipl.-Ing. Tobias Bäuml,  
Autobahndirektion Nordbayern,  
Flaschenhofstraße 55,  
90402 Nürnberg,  
tobias.baeumler@abdnb.bayern.de

Dr.-Ing. Andreas Baumhauer,  
SSF Ingenieure AG,  
Domagkstraße 1,  
80807 München,  
abaumhauer@ssf-ing.de

SSF Ingenieure AG  
Beratende Ingenieure im Bauwesen

München  
Berlin  
Halle  
Düsseldorf

**ssf-ing.de**