

Ein Meilenstein in der Ära der digitalen Infrastruktur Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn

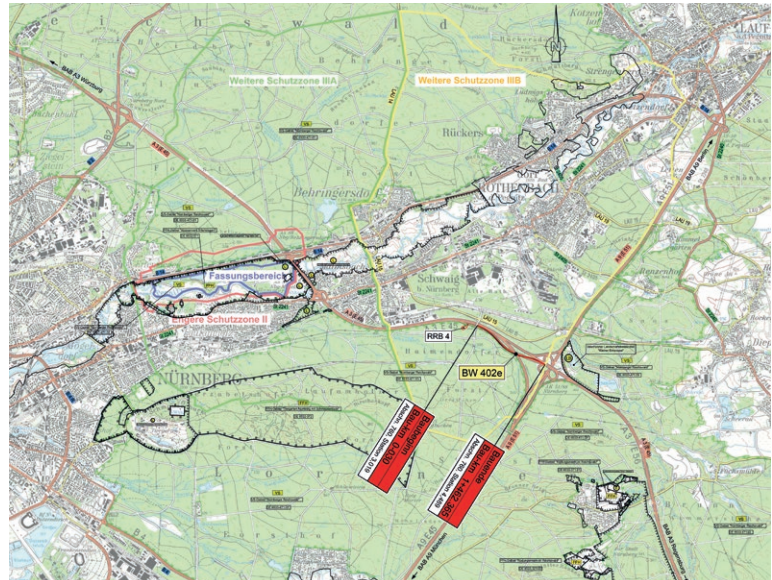
■ ■ ■ von Bernd Endres, Christiane Butz

Das Erhaltungsmanagement bei Ingenieurbauwerken beruht derzeit in erster Linie auf den turnusmäßig durchzuführenden Bauwerksprüfungen. Dabei handelt es sich um ein schadensbasiertes und reaktives Vorgehen, da Schäden erst entdeckt werden, wenn sie offensichtlich sind. Ziel einer Vielzahl von Forschungsprojekten ist es, dass Brücken der Zukunft bereits zu einem früheren Zeitpunkt und ergänzend zu den Bauwerksprüfungen eine Auskunft über ihren Zustand und dessen Entwicklung geben können. Beim Ersatzneubau des Bauwerks BW 402e am Autobahnkreuz Nürnberg kommen wesentliche Bausteine einer »Intelligenten Brücke« bereits zum Praxiseinsatz.

1 Digitales Testfeld Autobahn A 9

1.1 Allgemeines

Die »Intelligente Brücke« ist ein Pilotprojekt des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) und Teil des »Digitalen Testfeldes Autobahn A 9«. Unter dem Motto Mobilität 4.0 sollen auf der Teststrecke zukunftsweisende Technologien erprobt werden. Die A 9 zwischen Nürnberg und München bietet eine sehr gute Infrastruktur und beste Voraussetzungen zur Erprobung von Innovationen. Sie schließt an zwei Ballungsräume an, die mit modernsten Verkehrsbeeinflussungsanlagen und Detektoren ausgestattet sind. Außerdem sind die verkehrlichen und streckenspezifischen Gegebenheiten auf der A 9 ganz unterschiedlich. Dadurch lassen sich unter verschiedensten Bedingungen neue Maßnahmen testen. Hierzu gehören zum Beispiel die Erprobung von Falschfahrerwarnsystemen, die Verknüpfung von unterschiedlichen Messstellen und Datenquellen zur Verbesserung der Gefahrenwarnung, der Verkehrssteuerung und der Verkehrsinformation, eine dynamische, verkehrsanpassende Spurführung vor und in Baustellen,



1 Lage der Baumaßnahme
© Autobahndirektion Nordbayern

ein intelligentes Winterdienstmanagement, der Bau von Internet-Parkplätzen, das automatisierte Ausleiten von Standkontrollen des Bundesamtes für Güterverkehr, eine geänderte Nutzung der Notrufsäuleninfrastruktur sowie eine intelligente Bauwerkserhaltung durch sensorgestützte Zustandserfassung in Echtzeit. Auf dem Testfeld wird auch die erste bewirtschaftete Tank- und Rastanlage der Zukunft am Standort Fürholzen-West entstehen, die nach Energie-Plus-Standard gebaut und mit Strom-, Erdgas- und Wasserstofftankstellen, mit Photovoltaikanlagen, frei zugänglichem WLAN sowie einem Anschluss an das Lkw-Parkleitsystem A 9 ausgestattet sein wird.

Die wichtigsten Maßnahmen im Bereich der Autobahndirektion Nordbayern sind dabei das vernetzte und automatisierte Fahren, kostenloses Internetsurfen an sechs Parkplätzen und die Intelligente Brücke am Autobahnkreuz Nürnberg.

1.2 Vernetztes Fahren

Ein Schwerpunkt auf dem Testfeld wird das vernetzte und automatisierte Fahren sein. Dazu tauschen Fahrzeuge Informationen aus und kommunizieren mit der digitalisierten Infrastruktur.

Diese Car-to-X-Kommunikation ist eine wesentliche Voraussetzung für die Weiterentwicklung der heute vorhandenen Fahrerassistenzsysteme hin zum automatisierten Fahren. Hierbei soll das Fahrzeug die Führung für eine bestimmte Zeit selbstständig übernehmen. Zur Grundausstattung für das automatisierte Fahren sind an der A 9 sogenannte Roadside Units mit superschnellem WLAN und ein lückenloser High-Speed-Mobilfunk vorgesehen, die für eine Echtzeitdatenkommunikation auch bei hohen Fahrgeschwindigkeiten sorgen sollen. Ein industrieübergreifendes Konsortium unter der Leitung des Mobilfunkausrüsters Ericsson hat an der A 9 auf einem ca. 30 km langen Bereich zwischen Nürnberg und der Anschlussstelle Allersberg ein sogenanntes 5-G-Testnetzwerk für vernetztes und automatisiertes Fahren eingerichtet. Auf Basis von LTE-Mobilfunk sollen entsprechende Fahrzeuge hier miteinander kommunizieren und sich vor Gefahren wie Stau oder Glätte warnen. Mobilfunktechnik der neuesten Generation ermöglicht die entsprechende Datenkommunikation in Echtzeit praktisch ohne Zeitverlust.

1.3 Kostenloses Internet

Im November 2016 wurde eine Anlage zum freien und kostenlosen Internetsurfen mit 300 MB/s an sechs Stellen installiert, die in Summe 18 Accesspoints und damit drei pro Park- bzw. Rastplatz umfasst: Gelbelsee Ost und West im Bereich der Autobahndirektion Nordbayern sowie Baarer Weiher Ost und West und Rohrbach Ost und West im Bereich der Autobahndirektion Südbayern.

Nach Beendigung des Testbetriebs und der Freigabe durch das BMVI soll Anfang 2017 für jedermann das kostenlose Internetsurfen vor Ort auf der gesamten Fläche der Rastanlagen ermöglicht werden.



2 Luftbild: altes und neues Bauwerk
© Hajo Dietz

2 »Intelligente Brücke«

2.1 Definition und Ziele

Unter dem Begriff »Intelligente Brücke« wird die Entwicklung eines Systems zur kontinuierlichen Bereitstellung relevanter Informationen der Brücke für deren Zustandsbewertung verstanden. Dies wird durch den Einsatz von Sensorik erreicht, deren Informationen mittels Analyse- und Bewertungsverfahren aufbereitet werden.

Im Rahmen des Nationalen Innovationsprogramms Straße des BMVI wurden Forschungsvorhaben gefördert, die sich unter anderem mit der Entwicklung neuer Konzepte und Technologien zu jener Fragestellung befassen. Aus dem von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) betriebenen Gesamtforschungsvorhaben »Intelligente Brücke« realisiert die »Intelligente Brücke im Digitalen Testfeld Autobahn A 9« drei Teilaspekte mit den Schwerpunkten »Einwirkungsüberwachung und Analyse«, »Intelligente Fahrbahnübergänge und Lager« sowie »Intelligente Sensornetze«.

Das Bauwerk am Autobahnkreuz Nürnberg ist in Deutschland die erste Brücke, die mit der Verkehrsfreigabe als intelligente Brücke arbeiten kann. Die Erfahrungen, die hier in Bayern gewonnen werden, sind ein Meilenstein und sollen helfen, die Ära der digitalen Infrastruktur einzuleiten.

2.2 Forschungsprojekte

Für die Ausstattung der Brücke wurden durch das BMVI drei der genannten Forschungsprojekte konkret festgelegt und installiert.

Intelligente Fahrbahnübergänge und Lager:

Die intelligente sensorbestückte Schwenktraversen-Dehnfuge detektiert Fahrzeuge und ermittelt die Kenngrößen, wie Fahrzeuggeschwindigkeit, Anzahl der Fahrzeugachsen, Achsabstände und statische und dynamische Achslasten: siehe Kapitel 4.

Die intelligenten Kalottenlager erfassen vertikale Auflasten und kinematische Veränderungen des Lagers infolge Temperatur, Verkehr und Zustandsänderungen der Brücke: siehe Kapitel 5.

Intelligente Sensornetze:

Intelligentes Sensornetz bezeichnet Sensoren, zum Beispiel zur Messung von Luft- und Oberflächentemperaturen, Ausdehnungen, Rissbewegungen oder Klimadaten, die ihre Informationen untereinander austauschen und auf diesem Weg ein drahtloses Überwachungssystem ermöglichen. Die Implementierung von Auswertelgorithmen führt zur Bereitstellung von gezielten Überwachungskriterien.

Road-Traffic-Management-System:

Die Sensorbestückung des Brückenquerschnittes, zum Beispiel mit Schwingungssensoren an den externen Spanngliedern sowie Dehnungsmessstreifen auf der Betonoberfläche und den Spannstählen, wird zur Ermittlung und Bereitstellung von aktuellen Verkehrsdaten und zur Ableitung des realen Auslastungsgrades der Brücke genutzt.



3 Intelligente Brücke mit sensorbestücktem Randfeld
© Hajo Dietz

2.3 Projektplan

Vor der Umlegung des Verkehrs auf die neue Brücke fand die erste Kalibrierung der Messsysteme statt. Dazu wurden ein Sattelschlepper und ein Drei-Achsen-Lkw vermessen und gewogen. Anschließend passierten diese Fahrzeuge jeweils einzeln und auch zusammen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten die Brücke und führten so quasi zu einer Eichung der Messsysteme. Die so gemessenen Reaktionen der sensorbestückten Brücke, der Lager und des Fahrbahnüberganges werden den rechnerisch ermittelten Reaktionen unter den bekannten Fahrzeugwirkungen gegenübergestellt und bilden die Grundlage für die Auswertung des realen Verkehrs.

Seit der Kalibrierung der Systeme laufen die Messungen und zeichnen den gegenwärtigen Verkehr einschließlich des Baustellenverkehrs auf. Im Dezember 2016 startete die laufende Auswertung mit der Ermittlung der Fahrzeugtypen, der Anzahl und der Gewichte.

Das Gesamtsystem, bestehend aus den Komponenten der Sensoren und des Sensornetzes, wird durch die Datenerfassung und -verarbeitung sowie durch ein Informationssystem zur Analyse und Bewertung anhand eines Systemmodells komplettiert. Die erfassten und aufberei-

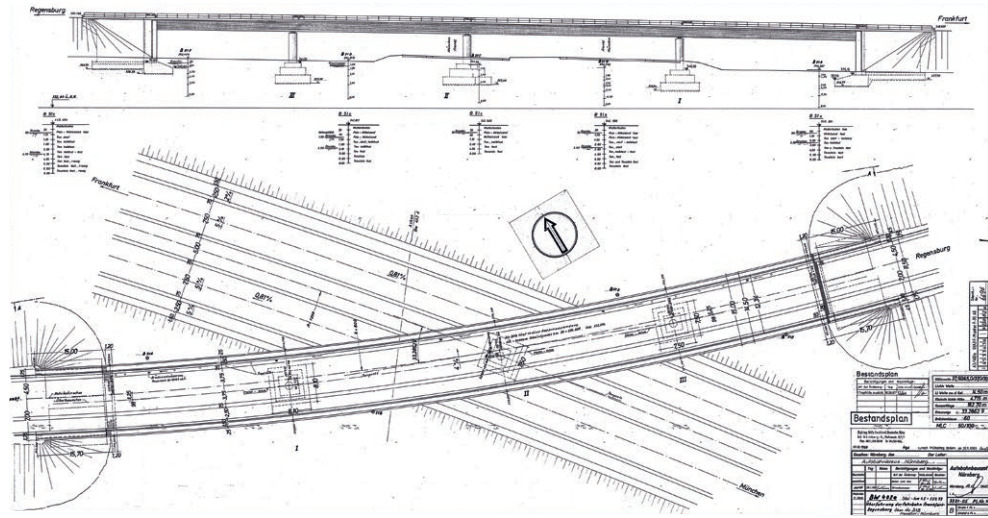
teten Informationen werden stufenweise von einer analogen Berichtsform in eine webbasierte Onlineinformation überführt und dann der Autobahndirektion Nordbayern und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) sowie dem BMVI für die weitere Verwendung zur Verfügung gestellt. Die erste analoge Berichtsform erfolgte im Januar 2017. Zur webbasierten Auswertung erhielt das Bauwerk Anfang des Jahres noch einen Internetanschluss.

3 Bauwerk BW 402e

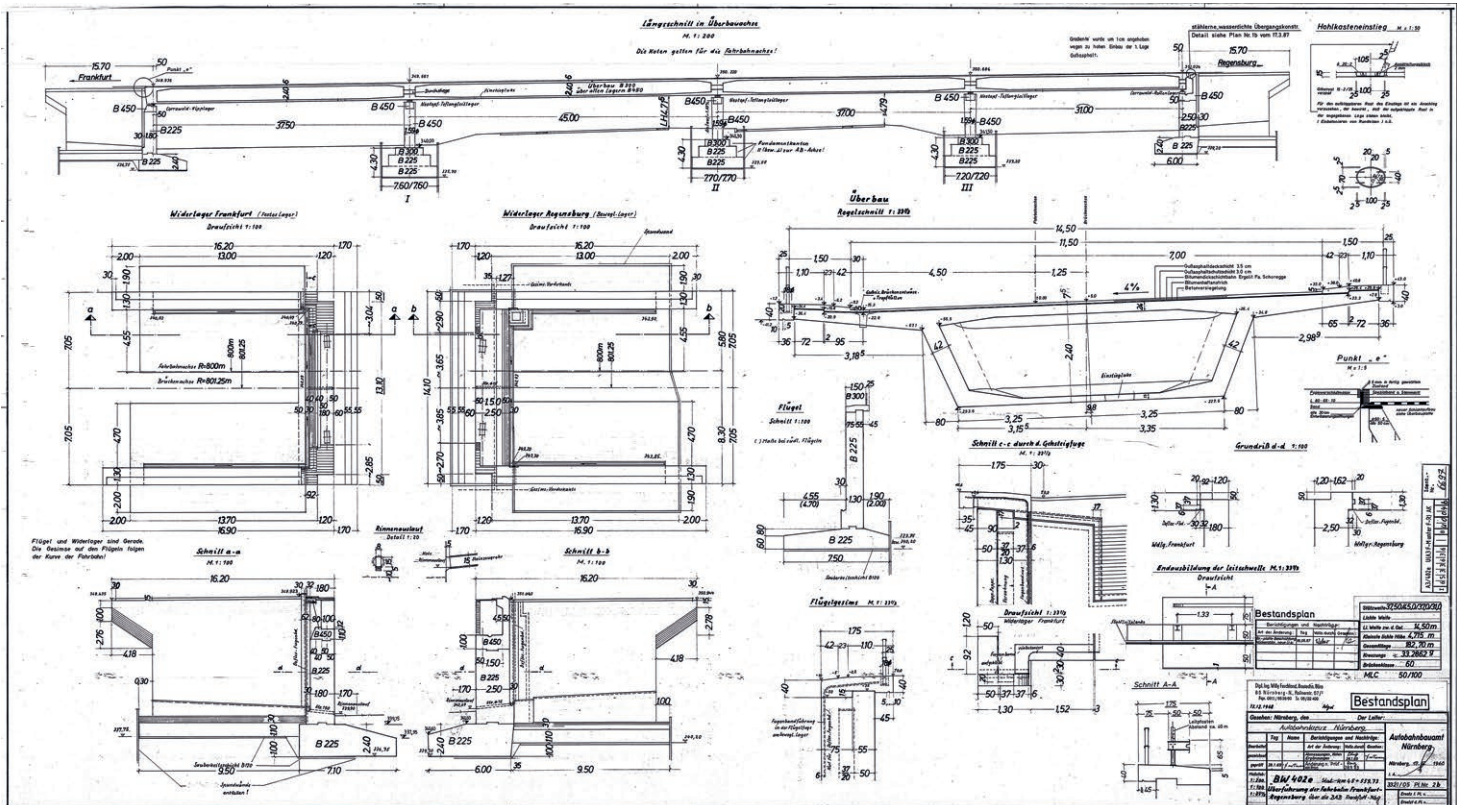
3.1 Bestehende Brücke

Die Brücke BW 402e wurde im Jahr 1970 als Spannbetonstruktur errichtet und überführt am Autobahnkreuz Nürnberg die A 3 über die zweibahnige Autobahntangente Frankfurt-München.

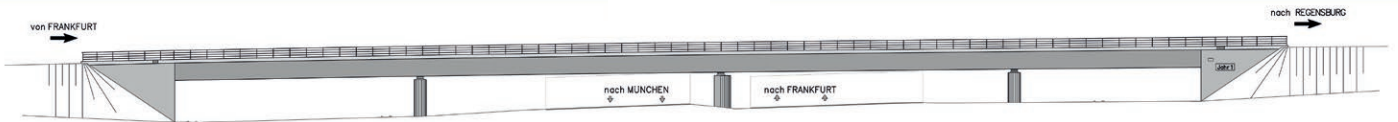
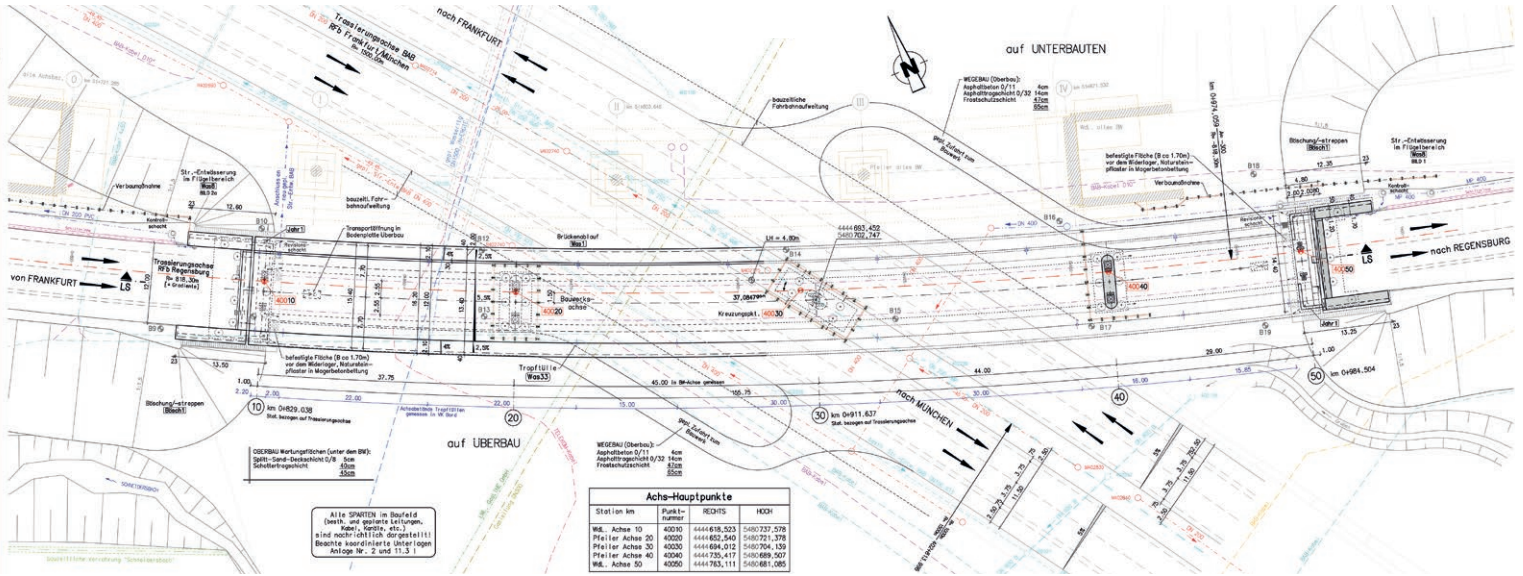
Die Vorspannung erfolgte hier mit einem für Materialermüdung anfälligen Sigma-Oval-Spannstahl. Da bei Spannstahlschäden kein Ankündigungsverhalten nachgewiesen werden konnte, muss die Brücke durch einen Neubau ersetzt werden.



4 5 Grundriss und Ansicht des Bestandsbauwerks von 1968 © Autobahndirektion Nordbayern



6 Plan mit Schnitten und Details des Bestandsbauwerks © Autobahndirektion Nordbayern



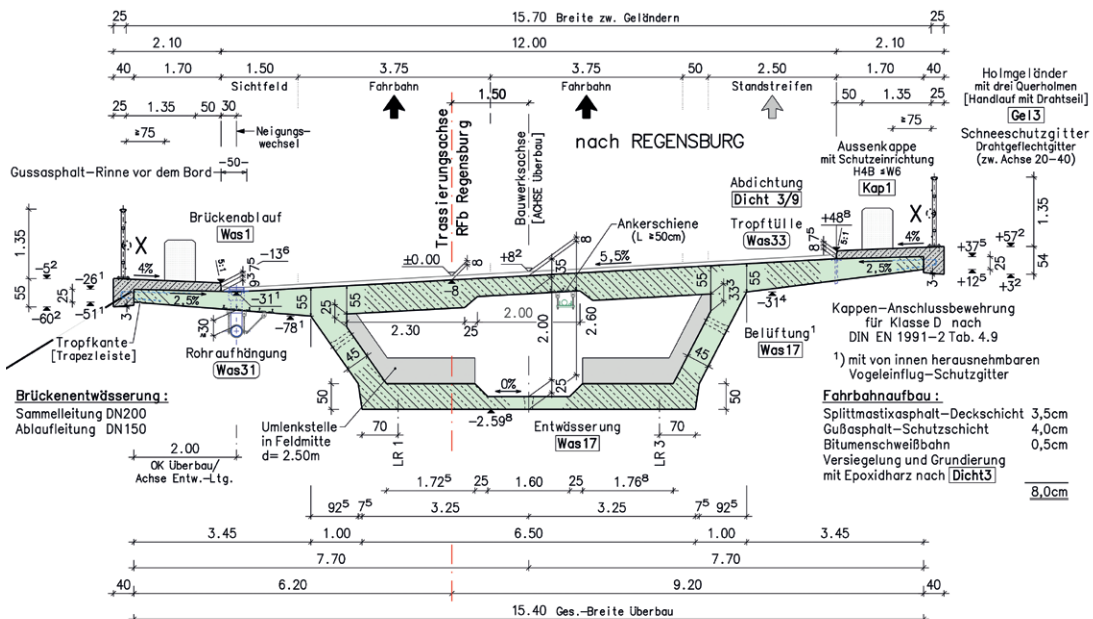
7 8 Grundriss und Ansicht der »Intelligenten Brücke«
© Autobahndirektion Nordbayern

3.2 Baudurchführung

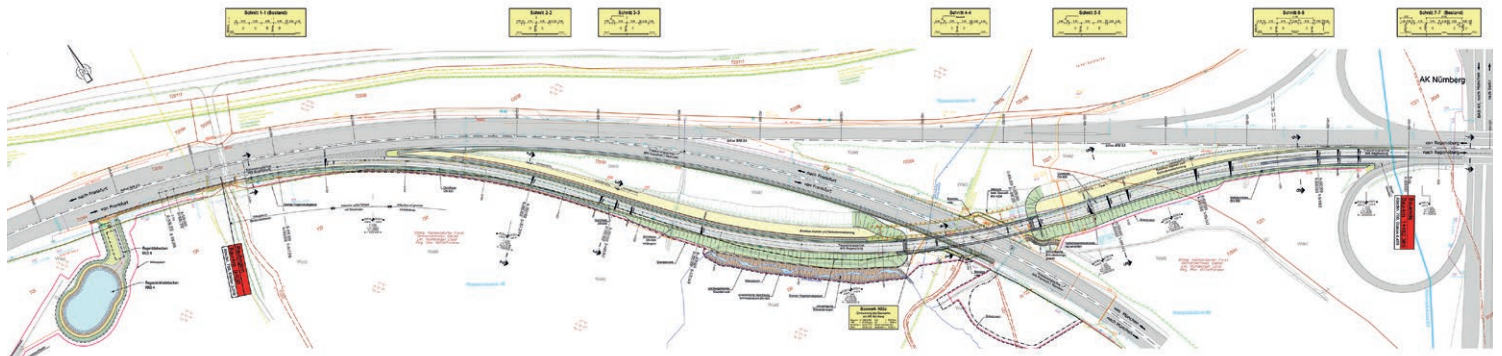
Die neue Brücke wurde seit Mai 2015 in Anlehnung an den Bestand als Spannbeton-Hohlkastenbrücke über vier Felder

erneuert, wobei die neue Brücke aufgrund der bauzeitlichen Verkehrsführung neben dem bestehenden Bauwerk errichtet wurde. Rund ein halbes Jahr

nach Baubeginn war der Überbau mittels Taktchiebverfahren vollständig eingeschoben.



9 Regelquerschnitt der »Intelligenten Brücke«
© Autobahndirektion Nordbayern



10 Lageplan der neuen Rampe
© Autobahndirektion Nordbayern

Bis September 2016 waren die Arbeiten am Brückenüberbau sowie an den Streckenanschlüssen abgeschlossen, so dass der Verkehr im Oktober 2016 auf die neue Brücke umgelegt werden konnte. Der Abbruch der alten Brücke erfolgte am 12. November 2016 innerhalb einer eintägigen Vollsperrung der zweibahnigen Autobahntangente Frankfurt–München. Die Pfeiler und die massiven Stützquerschnitte wurden dabei gesprengt und anschließend konventionell zerlegt. Die Kosten der Gesamtmaßnahme betragen ca. 15 Mio. €.

4 Intelligenter Fahrbahnübergang

4.1 Allgemeines

Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, ist die derzeitige Inspektion von Brücken auf die Schädigungsanzeichen ausgerichtet, anhand deren der Sanierungsbedarf ermittelt bzw. die Resttragfähigkeit des Bauwerks geschätzt wird. Es existieren vom Verkehr, dem maßgebenden Schadensverursacher, in der Regel keine objekt-spezifischen Informationen über dessen Einwirkungen. Könnte der Zustand der Brücke in Korrelation gesetzt werden mit den Einwirkungen aus Verkehr, so wären genaue Prognose-Modelle des Brücken-zustands möglich, die zu einem wirtschaftlichen und effizienten Erhaltungsmanagement der Brückeninfrastruktur beitragen. Über die Erfassung des reinen Verkehrsaufkommens, das heißt der Anzahl der Fahrzeuge pro Tag, hinaus, sind vor allem die Verkehrszusammensetzung sowie in besonderem Maße die Fahrzeuggewichte von Bedeutung.

Dehnfugen bieten sich als Messinstrument der Verkehrslast an, da sie unmittelbar von den Fahrzeugen überrollt werden und in jeder größeren Brücke vorhanden sind. Das wurde auch bisher für Messungen genutzt, aber nur indem Sensoren nachträglich im Bestand installiert wurden. Neben einer Eigenüberwachung wird der intelligente Fahrbahnübergang mit Hilfe integrierter Sensorik folgende Einzeldaten des Verkehrs erfassen:

- Fahrgeschwindigkeit,
- Achszahl,
- Achsabstand,
- Achslasten,
- Fahrzeuggesamtgewicht.

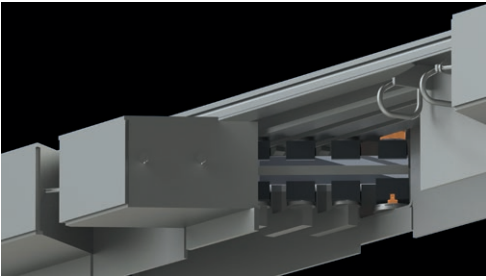
Die Daten fließen als Zusatzinformationen in das objektspezifische Erhaltungsmanagement für die Brücke ein.



11 Sprengung des alten Bauwerks und ...
© Hajo Dietz



12 Zerkleinern des Überbaus
© Hajo Dietz



13 Traversen-Lager mit integrierten Kraftsensoren
© Maurer SE



14 Lamellen der Schwenktraversen-Dehnfuge
© Hajo Dietz



15 Weg- und Beschleunigungssensoren an den Lamellenprofilen
© Maurer SE

4.2 Schwenktraversen-Dehnfuge

Aufgrund der maximalen Bemessungsgröße des Fugenspalts von 260 mm war ursprünglich an der Achse 50 des Bauwerks 402e eine vierprofilige Trägerrost-Dehnfuge vorgesehen. Mit der Vorgabe, einen durch Instrumentierung intelligenten Fahrbahnübergang zu installieren, wurde eine Sonderkonstruktion, basierend auf den Ergebnissen des vorherigen Forschungsprojekts »IFuLa«, zusammen mit der Universität der Bundeswehr München entwickelt. Die folgenden Vorgaben wurden an die Sonderkonstruktion gestellt:

- wasserdichte Fahrbahnübergangskonstruktion zur Erfassung der Verkehrslasten,
- Einzelprüfung nach TL/TP FÜ (2005),
- austauschbare Sensorik,
- einfache Austauschbarkeit der Sonderkonstruktion gegen eine regelgeprüfte Standard-Übergangskonstruktion.

Zur Ausführung kam eine modifizierte lärmgeminderte Schwenktraversen-Dehnfuge DS320GOi mit vier Dichtprofilen mit folgenden Besonderheiten:

- In den Elastomerlagern der Traversen sind zur Erfassung der überrollenden Verkehrslasten Kraftsensoren integriert, welche die impulsartigen Kräfte, die wenige Millisekunden dauern, genau messen (Bild 13).
- Um eine gegenseitige Beeinflussung der Messsignale zu minimieren, werden die quer zur Brückenlängsachse verlaufenden Stahllamellen zwischen den Fahrspuren unterbrochen (Bild 14).
- Sonderanfertigungen der Gummi-Dichtprofile werden verwendet, um an den unterbrochenen Stahllamellen die Wasserdichtigkeit der Dehnfuge herzustellen.
- Rautenelemente werden auf die Lamellen geschweißt. Sie werden üblicherweise verwendet, um die Geräuschenstehung beim Überrollen zu verringern. Hier kommen sie zum Einsatz, da durch sie der Impuls auf die Lamellenprofile beim Überrollen reduziert wird.

- Weg- und Beschleunigungssensoren erfassen in jeder Fahrspur Abstand, Verschiebung und Beschleunigung der Lamellen (Bild 15).
- Zusätzlich zu den Sensoren sind Schaltschränke mit Verstärkereinheiten, Spannungsumwandlern und Messdatenerfassungssystem sowie mit einer unterbrechungsfreien Stromversorgung und einem Anschluss an den Server der Universität zu Lübeck mit Internetanbindung montiert (Bild 16). Die Sonderkonstruktion wurde nach den geltenden Vorschriften, unter anderem TL/TP FÜ (2005) und ZTV-Ing (2014), anhand Statik und Zeichnungen geprüft. Die größte Herausforderung ist die Auswertung der Achslasten. Das dynamische Verhalten der Lkws beim Überrollen der Dehnfuge bzw. die gegenseitige Beeinflussung von Lkw und Fuge müssen richtig interpretiert werden, so dass sich am Ende Daten ergeben, die eine Auskunft über die tatsächlichen Achslasten vermitteln. Dies ist nur möglich, wenn die Fuge als numerisches Modell, mit hoher Genauigkeit zur realen Fuge, abgebildet wird. Zur Eigenüberwachung des Fahrbahnübergangs werden kontinuierlich das Schwingungsverhalten und die Veränderung der Spaltweiten analysiert.

4.3 Fertigung und Montage

Die MMS-Dehnfuge wurde im Münchner Werk von Maurer gefertigt. Vor der Endmontage wurden die in den Elastomerlagern integrierten Kraftsensoren im werkseigenen Labor kalibriert. Während der Endmontage wurde eine kontinuierliche Überwachung der Kräfte in den instrumentierten Lagern durchgeführt, damit diese nicht eine unplanmäßige Überlast erfahren. Vor Auslieferung wurden alle eingebauten Sensoren auf ihre Funktionstüchtigkeit geprüft.

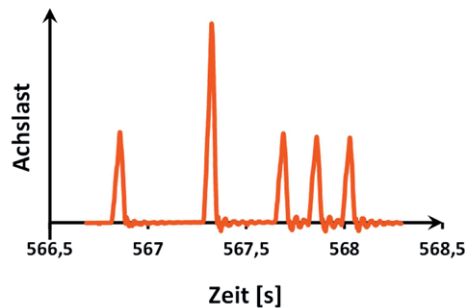
Nach ihrem Einbau in die Brücke wurde die Funktionstüchtigkeitsprüfung wiederholt. Im Wartungsgang wurden die Anschlusskabel zu zwei Schaltschränken verlegt, von denen die Kabel wiederum durch die Kammerwand in das Brückendeck zum zentralen Schaltschrank mit Messdatenerfassungssystem führen. Anschließend erfolgte die Inbetriebnahme der gesamten Elektronik. Bauseits wurden Hilfsgerüste gestellt sowie eine für alle Komponenten der Intelligenten Brücke eigens eingerichtete Stromverteilung, die unabhängig vom Hauptschalter im Bauwerk permanent Strom liefert. Im Nachlauf wurde zudem ein kabelgebundener Internetanschluss eingerichtet.



16 Schaltschränke im Wartungsgang von Achse 50
© Hajo Dietz



17 Lkw-Überfahrt zur Kalibrierung der Messtechnik © Hajo Dietz



18 Kraftverlauf bei Überfahrt des Fünf-Achsen-Lkw © Maurer SE

4.4 Kalibrierfahrten

Vor der Verkehrsfreigabe wurden am 30. September 2016 unter Leitung des Ingenieurbüros Prof. Freundt Kalibrierfahrten mit zwei Lkws durchgeführt, deren Achslasten, Achsabstände und Reifenauflastflächen vorab erfasst wurden. Die Lkws fuhren in verschiedenen Konfigurationen, also mit variierenden Vorgabe von Geschwindigkeiten, Fahrspuren etc., über die Brücke (Bild 17). Die Messdaten der installierten Sensoren werden verwendet, um die wirklichkeitsnahen numerischen Modelle des Road Traffic-Management-Systems sowie des Fahrbahnübergangs und der Kalottenlager zu prüfen und eventuell zu kalibrieren.

5 Intelligente Kalottenlager

5.1 Allgemeines

Lager sind elementare Bauteile der Brücke, denn viele Zustandsänderungen des Bauwerks wirken sich unmittelbar auf sie aus. Eine Verdrehung kann hier eine Steifigkeitsveränderung der Brücke, eine Neigung oder Senkung signalisieren. Eine Verschiebung deutet darauf hin, dass sich am Brückendeck etwas verändert haben muss. Eine Änderung der Auflast ist ein Indiz, dass durch eine Systemänderung eine Kräfteumlagerung verursacht wurde. Daher sind Lagerreaktionen bestens geeignet für ein Brückenmonitoring. Mit den in den intelligenten Kalottenlagern integrierten Sensoren werden Auflasten und kinematische Verdrehungen sowie Verschiebungen erfasst:

- Überwachung der Lagerfunktionen durch Erfassung der Lagerwege in Primär- und Sekundärgleitfläche sowie Gleitspaltmessung,

- Erfassung der statischen Auflast, der Lagerverdrehung und Verschiebung,
- Separation der Auflaständerung in klimatischen und verkehrsinduzierten Anteil,
- Lagerverdrehung und Verschiebung in Abhängigkeit von der Temperatur und dem Verkehr.

Beim intelligenten Lager geht es einerseits um mittel- und langfristige Bauteilveränderungen. Andererseits können an den Lagern auch die Auflastschwankungen infolge Verkehrs gemessen und somit auf die Verkehrslast geschlossen werden. Die Messdaten des intelligenten Kalottenlagers werden ausgewertet und Auflagerkräfte abgeleitet. Durch kontinuierliche Verlaufskontrollen wird das Systemverhalten von Brücke und Lager überwacht. Bei Abweichungen vom planmäßigen Verlauf erfolgen eine Information und die Ursachensuche.

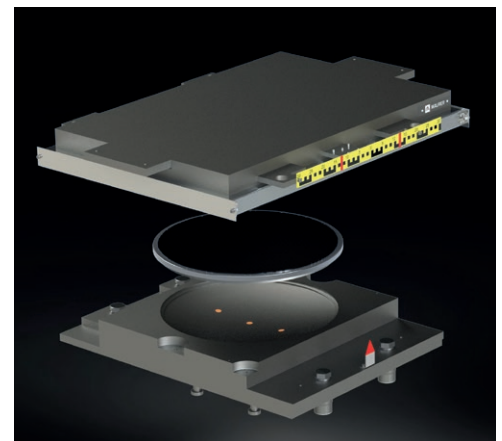
Klimastation, Lagersensorik und Temperatursensorik an der Brücke erlauben infolge der gekoppelten Auswertung die Überwachung des Regelverhaltens von Brücke und Lager.

5.2 MMS-Kalottenlager

Die beiden Kalottenlager in der Achse 40 werden durch zwei intelligente Kalottenlager ersetzt. Die folgenden Anforderungen sind zu erfüllen:

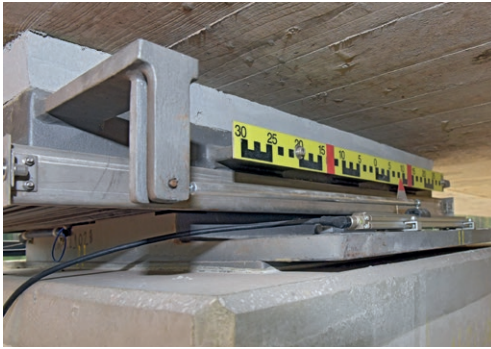
- Kalottenlager mit Messung der Auflast, Verschiebung und Verdrehung,
- maximale Auflast von 18.436 kN,
- maximaler Verschiebeweg von $v_x = \pm 120$ mm und $v_y = \pm 20$ mm,
- Bauhöhe und Bauteilquerschnitt wie Standard-Kalottenlager,
- nach DIN EN 1337, ETA 06-0131 bzw. gegebenenfalls Einbaugenehmigung aufgrund Zustimmung im Einzelfall (ZiE).

Herkömmliche Kalottenlager bestehen aus zwei Gleitplatten und dazwischenliegender Kalotte. In den Kontaktflächen liegen Gleitpaarungen aus beispielsweise MSM® und austenitischem Gleitblech bzw. hartverchromter Kalotte. Im MMS-Kalottenlager wurde für die Auflastmessung eine gekammerte Elastomerfolie unter das MSM® eingebaut: Druck versetzt die Folie in einen quasihydrostatischen Fließzustand. Punktuelle Drucksensoren messen diese gleichmäßig verteilte Lagerbelastung. Zudem werden am intelligenten Gleitlager Verdrehung und Verschiebung erfasst (Bild 19). Die entsprechenden Sensoren müssen individuell für die jeweiligen Lager angepasst werden. Das MMS-Kalottenlager liefert sehr genaue Werte, da die verwendeten Materialien Stahl und MSM® als Gleitmaterial nicht temperatur- und alterungsabhängig sind und nur geringe Lagerwiderstände entstehen.



19 Drucksensoren im Lagerunterteil © Maurer SE

Das Vorgängerprojekt »IFuLa«, das in Kooperation mit der Universität der Bundeswehr München durchgeführt wurde, zeigte, dass instrumentierte Kalottenlager zur Auflastmessung, kombiniert mit einer Messung der kinematischen Verdreh- und Verschiebezustände, es erlauben, auch veränderliche vertikale Lagereinwirkungen zu erfassen. In der Intelligenten Brücke sind beide Kalottenlager der Achse 40 mit Sensoren bestückt. Während das Lager 40/3 mit Drucksensoren zur Auflastmessung sowie mit Wegsensoren zur Erfassung von Verdrehung, Gleitspalt und Verschiebung der oberen Lagerplatte ausgestattet ist, verfügt das Lager 40/1 lediglich über Drucksensoren zur Auflastmessung.



20 Intelligentes Kalottenlager in Achse 40/3
© Hajo Dietz

5.3 Fertigung und Kalibrierung

Da die MMS-Kalottenlager durch den Einbau der druckausgleichenden Elastomerfolie nicht konform sind zur DIN EN 1337 und ETA 06-0131, ist der Einbau nur mit einer Zustimmung im Einzelfall von der Obersten Baubehörde Bayerns möglich. Dafür sind neben Statik und Konstruktionszeichnungen ein statischer Belastungsversuch mit dem speziellen Aufbau bei der Materialprüfanstalt (MPA) der Universität Stuttgart sowie eine Überwachung der Endmontage im Werk durch die MPA Stuttgart erforderlich. Für eine möglichst genaue Auflastmessung werden die beiden Lager zudem an der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) Dübendorf in einer 20-MN-Pressen kalibriert. Analog zur Dehnfuge wird bei den Kalottenlagern vor Auslieferung und nach Einbau eine Funktionsprüfung der Sensoren durchgeführt. Anschließend werden die Wegsensoren montiert und ausgerichtet sowie die Kabel zum Schaltschrank mit Messdatenerfassungssystem und Spannungswandlern geführt. Die Signale werden von der zentralen Einheit zusammen mit den Signalen der Dehnfuge gespeichert.

6 Ausblick

Die Systeme der Intelligenten Brücke werden im Rahmen eines fünfjährigen Untersuchungsprogramms betrieben. Die hierbei durchzuführenden Untersuchungen beziehen sich auf folgende Bereiche:

- fortlaufende Aktualisierung des objektbezogenen Lastmodells,
- Analysen zur Restlebensdauer und Zuverlässigkeit der untersuchten Bauteile wie auch der gesamten Brücke,
- Anwendbarkeit, Funktionstüchtigkeit und Dauerhaftigkeit der Anlage (Sensornetz, Datenerfassung und -verarbeitung, Informationssystem),
- Schnittstellen zu einem präventiven Erhaltungsmanagement.

Welche Rolle die Einbindung von Messsystemen in der zukünftigen Bauwerkserhaltung tatsächlich spielen wird, ist derzeit noch nicht absehbar. Die Erkenntnisse einer »Intelligenten Brücke« können nur eine Ergänzung zur Bauwerksprüfung gemäß DIN 1076 darstellen und sie keinesfalls ersetzen. Die weitere Forschung und Entwicklung werden zeigen, ob diese Systeme geeignet sind, standardmäßig oder gezielt an einzelnen Bauwerken installiert zu werden. Ein entscheidender Parameter wird dabei sein, ob die Ergebnisse der Auswertungen die Mehrkosten für die solcherart notwendige Ausstattung rechtfertigen. Ungeachtet dessen ist die Errichtung der Intelligenten Brücke zu Kosten von in Summe 15 Mio. € ein Meilenstein auf dem Weg zur Digitalisierung der Infrastruktur, und alle Beteiligten sind gespannt auf die hier gewonnenen Erkenntnisse.

7 Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur für die Bereitstellung der Fördermittel sowie bei der Bundesanstalt für Straßenwesen, der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr und allen Beteiligten für die gute Zusammenarbeit.

Autoren:

Ltd. Baudirektor Dipl.-Ing. (Univ.) Bernd Endres
Autobahndirektion Nordbayern,
Nürnberg
Dr.-Ing. Christiane Butz
Maurer SE,
München

Bauherr

Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Auftragsverwaltung

Freistaat Bayern, vertreten durch die Autobahndirektion Nordbayern, Nürnberg

Entwurf und Objektplanung

SRP Schneider & Partner Ingenieur Consult GmbH, Kronach

Tragwerksplanung

HFR Ingenieure GmbH, München

Prüfingenieur

Dipl.-Ing. Dietrich Oehmke, Nürnberg

Bauausführung

Max Bögl Stiftung & Co. KG, Sengenthal

Forschung Fahrbahnübergänge und Lager

Universität der Bundeswehr München, Neubiberg
Maurer SE, München

Forschung Sensornetze

Universität zu Lübeck, Institut für Telematik und Institut für Technische Informatik

Forschung Road-Traffic-Management-System

Ingenieurbüro Prof. Dr. U. Freundt, Weimar