

Messtechnisch begleiteter Lagereinbau an der Vorlandbrücke am Wasserstraßenkreuz Magdeburg

Univ.-Prof. Dr.-Ing. **I. Mangerig**, München
Dipl.-Ing. **R. Ehmann**, Karlsruhe
Dr.-Ing. **C. Zapfe**, München

Kurzfassung

Der Einbau von Brückenlagern stellt bei stählernen Kanalbrücken insbesondere unter dem Gesichtspunkt klimatischer Einwirkungen eine komplexe Aufgabenstellung dar. In den Sommermonaten des Jahres 2002 wurden die Lager an den Kanalbrücken am Wasserstraßenkreuz Magdeburg eingebaut. Der kraftgesteuerte Lagereinbau erfolgte mit messtechnischer Begleitung durch ein Temperaturmessprogramm und einer Erfassung der Lagerkräfte und Lagerwege. Die umfangreiche Messtechnik wird im Dauerbetrieb zu einem permanenten Monitoringsystem ausgebaut.

1. Allgemeines

Im Zuge des Ausbaus des Mittellandkanals wurden zur Querung der Elbe unter der Bezeichnung Projekt Deutsche Einheit Nr. 17 die Strombrücke über dem Flusslauf und die Vorlandbrücke zur Überspannung des Überflutungsgebietes errichtet. Die Montagearbeiten an der Strom- und Vorlandbrücke sind nahezu vollständig abgeschlossen, eine Probeflutung wurde bereits im Oktober 2002 durchgeführt. Das statische System der Vorlandbrücke am Wasserstraßenkreuz in Magdeburg liegt in Form eines Durchlaufträgers mit 16 äquidistanten Feldern vor. Die projektierten Stützweiten von 42,85 m ergeben einschließlich Überständen an den Widerlagern eine Gesamtlänge von ca. 690 m.

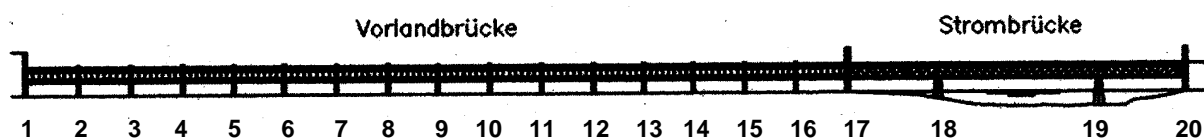


Bild 1 Ansicht der Vorland- und Strombrücke Magdeburg

Das Quersystem besteht aus Aufgerrahmen in den Pfeilerachsen und Hauptquerrahmen in den Drittelpunkten sämtlicher Felder (Bild 2). In den Zwischenräumen sind gemäß Bild 3 jeweils zwei Nebenquerrahmen angeordnet.



Bild 2 Tragstruktur eines Feldes



Bild 3 Rahmen in Querrichtung

Das Lagerungssystem besteht aus jeweils 5 allseitig beweglichen Kalottenlagern pro Pfeilerachse zur Abtragung vertikaler Lasten, einer Stahlkonstruktion in der Mittelachse, über die horizontale Kräfte senkrecht zu Brückenachse über elastomere Verformungsgleitlager in die Pfeilerkonstruktion eingeleitet werden, und einer Sonderkonstruktion am Pfeiler 9, über die akkumulierte Längskräfte aus Lagerreibung in den Untergrund abgetragen werden können. Für die Auslegung der Lager zur Abtragung horizontaler Lasten lieferten Erdbebeneinwirkungen die dominierenden Beanspruchungen. Mit dem Festpunkt in Brückenmitte ließen sich die Abmessungen der Übergangskonstruktionen minimieren.

Wesentliche Randbedingungen für den Lagereinbau ergaben sich aus den Zwängungszuständen infolge klimatischer Temperatureinwirkung, Imperfektionen in Form von Vorverkrümmungen durch Schweißeigenspannungen aus der Montagefolge, und aus einem gegebenenfalls ungleichmäßigen Setzungsverhalten.

Die Problemstellung thermischer Zwängungen und Verformungen wurde bereits im Rahmen des Neubaus weiterer Kanalbrücken oder im Zuge des planmäßigen Lageraustauschs analysiert und bewertet [1]-[6]. Für die Kanalbrücken am Wasserstraßenkreuz Magdeburg wurde das Trag- und Verformungsverhalten unter klimatischer Einwirkung in [7] und [8] theoretisch beurteilt und Einlagerungskonzepte ausgearbeitet [9] und [10], die neben typischen Belangen der Montage und des Regelbetriebs sowie behördlicher Anforderungen explizit die Fragestellung der klimatischen Temperatureinwirkungen berücksichtigen.

Als typisches Merkmal von Kanalbrücken, die im Regelfall als Trogbrücken mit lotrechten oder geneigten Trogwänden ausgeführt werden, ist zu nennen, dass die Wasserlast gegenüber dem Konstruktionseigengewicht mit einem Multiplikator von 8-10 eindeutig der dominierende Lastfall ist. Die Abmessungen und Steifigkeiten der Konstruktion sind vordergründig an den Beanspruchungen aus der Wasserfüllung orientiert.

Der kritische Zustand für den Nachweis der Lagesicherheit, in dem eine Zugbeanspruchung der Lager infolge klimatischer Zwängungen ausgeschlossen werden muss, ist der Leerzu-

stand. Dieser tritt im Rahmen von Wartungsarbeiten oder der Erneuerung des Korrosionsschutzes, aber gegebenenfalls im Falle einer Havarie auch in der klimatisch ungünstigen Hochsommerphase ein.

Die wesentliche Aufgabenstellung für die Entwicklung eines Lagereinbaukonzepts für die Vorlandbrücke lag in der Erarbeitung einer Montagefolge für die insgesamt 85 Kalottenlager in insgesamt 17 Lagerachsen. Die horizontale Lagerung war in dieser Betrachtung von untergeordneter Bedeutung, zumal diese während der Gesamtmontage noch durch Montagehilfslager ausgebildet war, und erst abschließend für den geplanten Endzustand ausführt wurde.

Um den Umlagerungen der Auflagerkräfte im Leerzustand Rechnung zu tragen, wurde in der Planung für die Vorlandbrücke ein Rückhaltesystem konzipiert, bei dem die Auflagerrahmen in jeder Pfeilerachse in 4 Positionen zwischen den Lagerachsen mit einer planmäßigen Vorspannung rückverankert wurden. Die Lagersystematik einschließlich Rückverankerung und Pressenansatzpunkten ist schematisch in Bild 4 dargestellt. Bild 5 zeigt eine Konstruktionskizze der Rückverankerung. Dabei wird ein einhüftiger Rahmen, der im Fußpunkt mit Kopfbolzendübeln in der Pfeilerkonstruktion eingelassen ist, durch den Steg des Auflagerrahmens geführt und mit einem Spannglied mit definierter Vorspannkraft gegen den Pfeiler rückverankert.

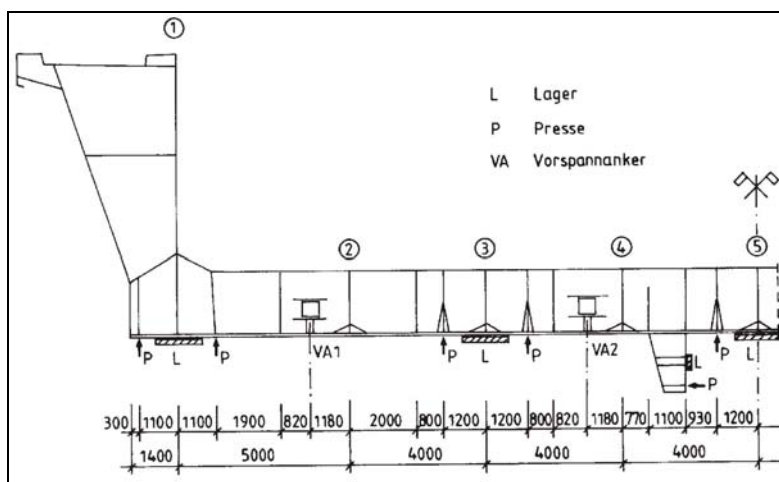


Bild 4 Lagersystematik

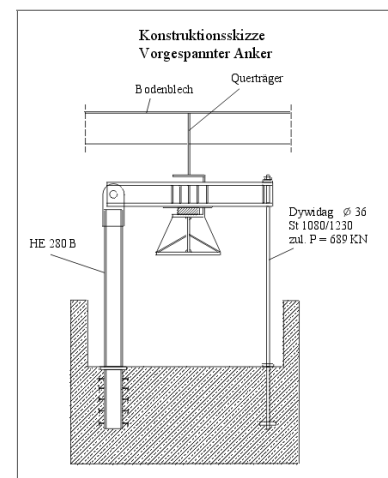


Bild 5 Rückverankerung

2. Numerische Analysen

Zur numerischen Untersuchung des Tragwerkverhaltens unter den auftretenden Lastfällen aus ständigen Lasten, veränderlichen Lasten, instationären Temperaturfeldern sowie Imperfektionen wurde anhand der Materialverteilungspläne des Aufstellers (DSD-Stahlbau GmbH) ein Berechnungsmodell nach der Methode der finiten Elemente entwickelt. Aufgrund der annähernd gleichen Ausführung der inneren Felder und unter Beachtung der Kapazitätsgren-

zen einer Finite-Elemente-Analyse wurde vereinfachend ein Ausschnitt bestehend aus 5 Feldern abgebildet.

Neben der Berechnung der Standardlastfälle diente das Modell vordergründig der zuverlässigen Analyse der Kräfteumlagerungen aus nichtlinearen Temperaturfeldern infolge klimatischer Einwirkung. Die nichtlineare Temperaturverteilung konnte anhand eines numerischen Verfahrens mittels Simulationsrechnungen bestimmt und durch ein Temperaturmessprogramm, das in Kapitel 3 beschrieben wird, abgesichert werden. Numerische Langzeitsimulationen mit realen Klimadaten über einen Zeitraum von insgesamt 9 Jahren gestatteten die Angabe von statistisch klassifizierten Temperaturbedingungen. Da die standardisierten Temperaturunterschiede für Straßenbrücken nach DIN 1072 [11] für die Querschnittkontur von Kanalbrücken auf der unsicheren Seite liegen, wurden querschnittsspezifische Temperaturereignisse mit verschiedenen Auftretenswahrscheinlichkeiten bzw. Wiederkehrperioden erarbeitet.

Die numerischen Analysen haben gezeigt, dass schon unter einem sehr häufigen Temperaturereignis, das in der Sommerperiode an einer Vielzahl von Tagen erwartet werden muss, die inneren Lager einer Pfeilerachse unter den Längsträgern 3-5 (LT3/LT5/LT7) einer Zugbeanspruchung ausgesetzt wären. Bild 6 zeigt das globale Verformungsverhalten, die Auflagerkräfte und die rechnerischen Abhebemaße für die Randbedingung, dass alle zugbeanspruchten Lager rechnerisch freigesetzt sind. Die rechnerischen Abhebemaße von bis zu 9,1 mm in der Pfeilerachse 16 konnten in der Herstellungsphase bestätigt werden, wo der Brückentrog nur unter den Längsträgern LT1 und LT9 auf Montagelagern auflag,

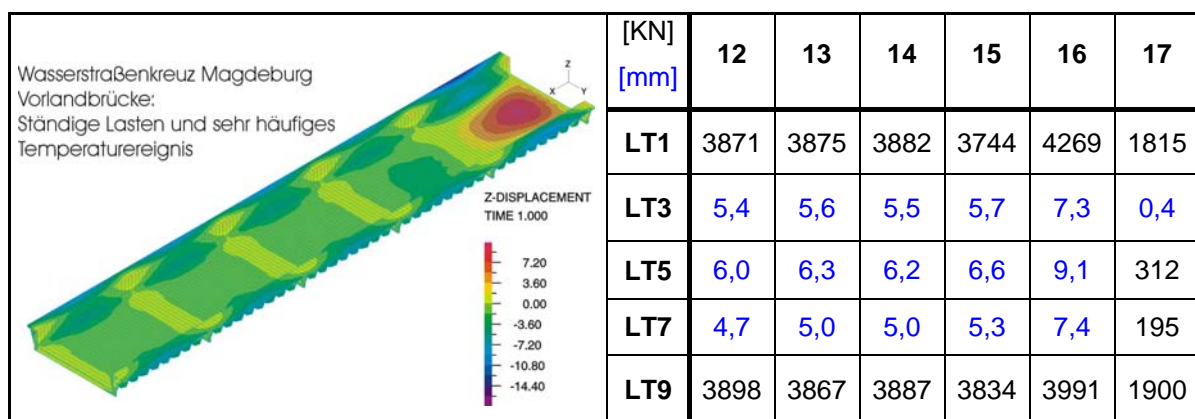


Bild 6 Globales Verformungsverhalten unter einem sehr häufigen Temperaturereignis

Ein weiterer Aspekt, der beim Lagereinbau zwingend berücksichtigt werden musste, ergab sich aus der numerischen Analyse des Einflusses von Imperfektionen auf die Verteilung der Lagerkräfte. Die Auflagerrahmen verfügen konstruktionsbedingt über eine derart hohe Steifigkeit, dass schon geringfügige Imperfektionen in der Höhelage zu erheblichen Kräfteumlagerungen führen können. In Bild 7 sind die Umlagerungskräfte exemplarisch für den Fall angegeben, dass das mittlere Lager in Pfeilerachse 14 mit einem Differenzmaß von 1,0 mm

überhöht gegenüber einer ansonsten idealen Lagerposition eingebaut wurde. Es wird deutlich, dass der Einfluss in Brückenlängsrichtung zu den benachbarten Pfeilerachsen von untergeordneter Bedeutung ist, während die Umlagerungskräfte in der betrachteten Pfeilerachse mit ca. 500 kN eine Größenordnung von ca. 50 % der planmäßigen Lagerkräfte aus dem Eigengewicht erreichen können.

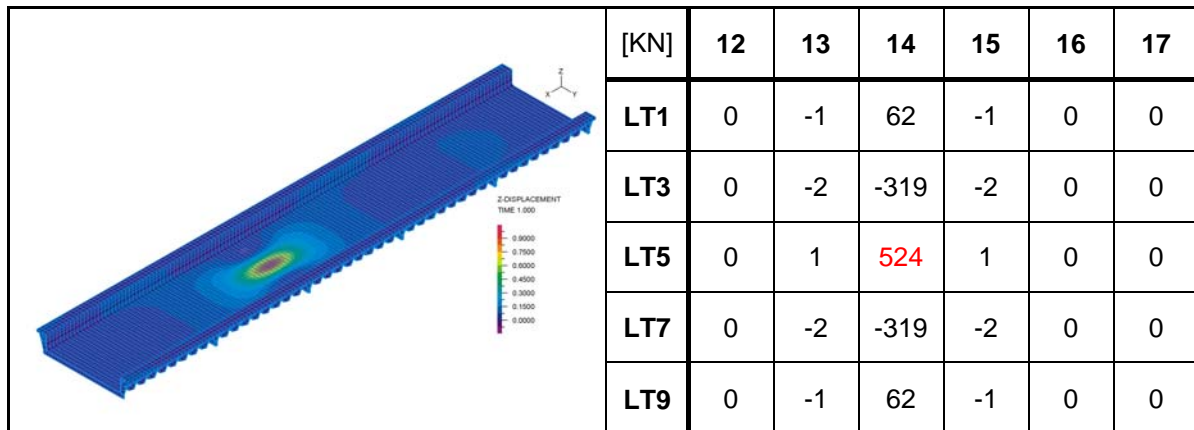


Bild 7 Kräfteumlagerungen infolge einer Anhebung des mittleren Lagers in Pfeilerachse 14 um 1 mm

Aus den numerischen Betrachtungen konnte die Schlussfolgerung gezogen werden, dass der Nachweis der Lagesicherheit einen Lagereinbau mit Voreinstellung der Lager auf die projektierte Höhenkote unter Berücksichtigung der Kräfteumlagerungen aus Temperatur und unvermeidbaren Fertigungstoleranzen nicht gestattet. Vielmehr konnte unter den vorliegenden Randbedingungen nur ein kraft geregelter Lagereinbau mit präziser Lagerkrafteinstellung und gezielter Überwachung der Temperaturverteilung den gewünschten Erfolg bringen.

3. Messtechnische Überwachung

Die komplexen Zusammenhänge bei der Errichtung und dem Betrieb eines derartigen Bauwerks führten schon in der frühen Planungsphase zur Konzeption eines umfassenden messtechnischen Begleitprogramms. So wurde seitens des Wasserstraßen-Neubauamts Magdeburg (WNA) schon in der Ausschreibung eine permanente Lagerkraftmessung an den 85 Kalottenlagern, für die aufgrund der Abmessungen eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich war, gefordert. Die Lagerkraftmessung als Mittelwert aus jeweils drei Einzelmesswerten stand beim Lagereinbau bereits zur Verfügung. Nach Abschluss der Baumaßnahmen wird das Messprogramm um eine dauerhafte Aufzeichnung der Lagerwege erweitert.

Als Voraussetzung für einen Lagereinbau im annähernd neutralen Temperaturzustand wurde von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) ein Temperaturmessprogramm in jeweils zwei Messquerschnitten an einem Auflagerrahmen und einem benachbarten Hauptrahmen installiert, das bereits montagebegleitend zur Verfügung stand. Diese Konfiguration wurde sowohl am Brückenanfang in Pfeilerachse 2 als auch am Brückende in Pfeilerachse 16 vorgese-

hen, so dass insgesamt 4 Messquerschnitte mit insgesamt 32 Temperaturfühler eine umfassende Beurteilung der vorliegenden Temperaturverteilung gestatteten.

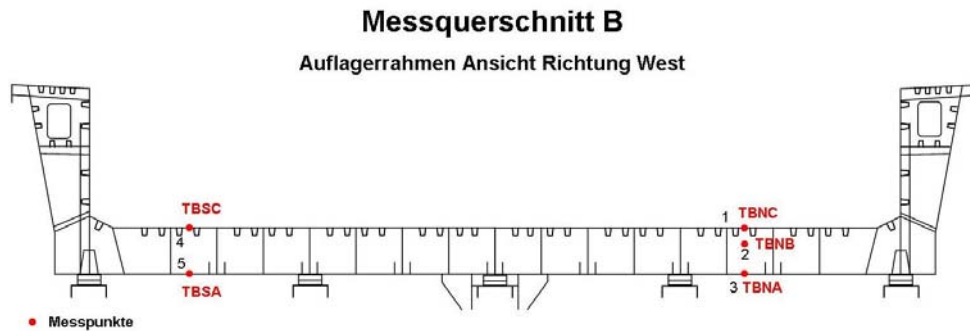


Bild 8 Anordnung der Temperaturmessfühler am Auflagerrahmen des Pfeilers 16

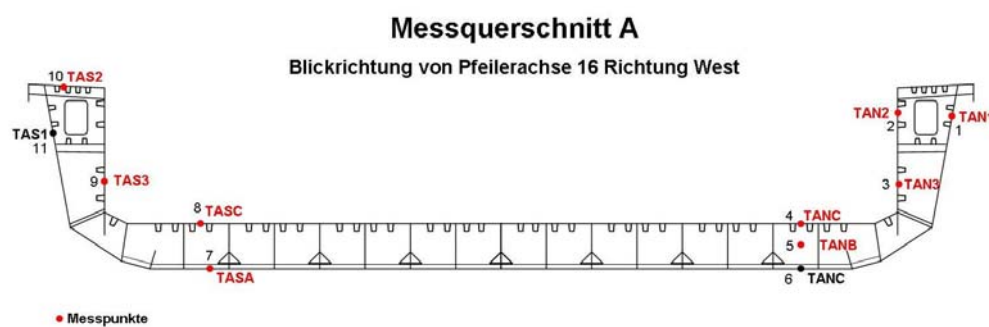


Bild 9 Anordnung der Temperaturmessfühler am Hauptrahmen bei der Pfeilerachse 16

Der Messquerschnitt A am ersten Hauptrahmen neben der Pfeilerachse 16 war mit Temperaturfühler zur Bewertung der Temperaturverteilung in der nördlichen und der südlichen Trogwand sowie des Trogbodens im nördlichen und südlichen Bereich ausgestattet (Bild 9). Ergänzende Temperaturfühler im nördlichen und südlichen Trogbodenbereich des benachbarten Auflagerrahmens dienten einer Vergleichsbetrachtung über das Längssystem.

Bild 10 enthält zur Verdeutlichung der Zusammenhänge exemplarisch die Messschriebe der Temperaturfühler am nördlichen Trogboden in den Messquerschnitten A und B für den Zeitraum zwischen dem 03. und dem 16. Juli 2002. Anhand der Kurven ist deutlich eine typische Tagesganglinie mit niedrigen Nachttemperaturen und höheren Temperaturen während der hellen Tagesstunden zu erkennen. Die Temperaturmessfühler mit dem Index c, die unter dem Deckblech angeordnet sind, weisen mit den signifikant höheren Temperaturen im Tagesverlauf den Einfluss direkter Sonneneinstrahlung aus. Im dargestellten Messintervall wurde am 10. Juli ein Spitzenwert von 65°C erreicht. In den Nachtstunden kühlen die oben liegenden Querschnittfasern stärker aus als die unteren Bereiche, so dass ein Temperaturfeld mit dem Merkmal „unten wärmer als oben“ vorliegt.

Anhand dieser Aufzeichnungen kann verdeutlicht werden, dass im Tagesverlauf jeweils zwei Zeitfenster vorhanden sind, in denen ein annähernd ausgeglichenes Temperaturfeld vor-

herrscht. Da diese Zeitfenster abhängig von der Wetterlage und der Jahreszeit sind, können diese nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit prognostiziert werden.

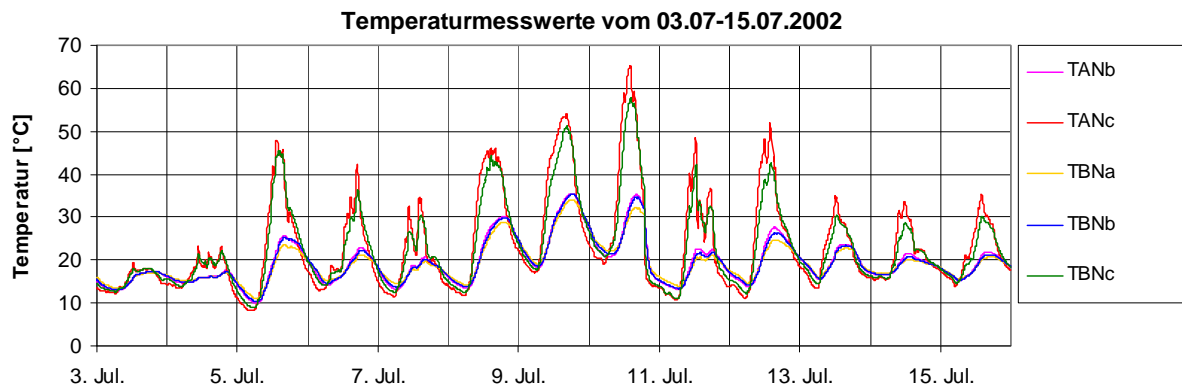


Bild 10 Temperaturmesswerte ausgewählter Temperaturfühler für ein 13-tägiges Messintervall

Als Zielvorgabe für eine Einstellung der rechnerischen Lagerkräfte wurde bei jedem Arbeitsschritt ein Zustand mit nahezu ausgeglichenem Temperaturfeld angestrebt. Dazu wurden die Messwerte am geplanten Einlagerungsfortschritt orientiert beobachtet. Anhand von Erfahrungswerten aus der Vorlaufzeit der Temperaturmessungen vor Einlagerungsbeginn konnte das Zeitfenster mit annähernd ausgeglichenem Temperaturfeld frühzeitig identifiziert werden, so dass ein hinreichendes Zeitfenster für die Einstellung der Pressenkräfte und das Aufmass der Futterbleche zur Verfügung stand. Anfangs wurde die Beobachtung der Temperaturverteilung vor Ort auf der Baustelle vorgenommen und parallel die Arbeitsschritte koordiniert. Nachdem die Arbeitsfolge „eingespielt“ war, wurde die Temperaturentwicklung mittels Datenfernübertragung annähernd in Echtzeit kontrolliert und der Bauleitung günstige Bedingungen für die Durchführung der erforderlichen Arbeiten avisiert.

Das zuvor beschriebene Temperaturmessprogramm soll auch nach Abschluss der gesamten Bautätigkeit beibehalten und in ein permanentes Monitoringkonzept integriert werden.

4. Lagereinbaukonzept

Gemessen an den bauwerksspezifischen Randbedingungen musste für die Vorlandbrücke Magdeburg ein Lagereinbaukonzept entwickelt werden, das am System und der Lagerungsart orientiert einen zügigen Einlagerungsfortschritt unter besonderer Berücksichtigung der Zwängungen und Verformungen infolge klimatischer Temperatureinwirkung erlaubte. Dabei musste den Belangen der Montage Rechnung getragen werden.

Die Montage des Brückentroges erfolgte ausgehend von der zentralen Pfeilerachse 9 gleichzeitig in beide Richtungen. Während der Montage war der Brückentrog auf elastomeren

Montagelagern unter den Trogwänden in den Längsträgerachsen LT 1 und LT 9 gelagert. In Längs- und Querrichtung wurde die Konstruktion durch Behelfsfestpunkte gehalten.

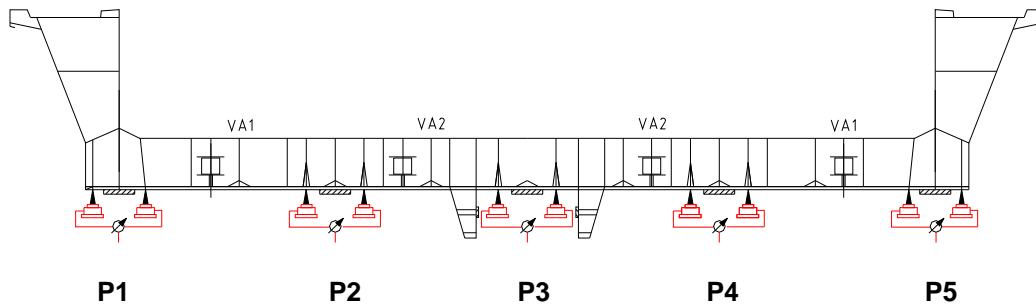


Bild 11 Pressenanordnung und Kopplung der Pressen

Nach Abschluss der Montagearbeiten erfolgte der Lagereinbau beginnend ab der Pfeilerachse 17 von Osten nach Westen. Für die Einstellung der vorberechneten Pressenkräfte für die einzelnen Lagereinbauschritte wurden lagerweise jeweils 2 Pressen in einem Hydraulikkreis gekoppelt. Die Verwendung von geeichten Präzisionsmanometern gestattete eine präzise Ansteuerung der Projektierten Lagerkraft.

Die schrittweise Arbeitsfolge ist schematisch in Bild 12 dargestellt. Bild 13 enthält eine Beschreibung der Vorgehensweise in Form eines Flussdiagramms.

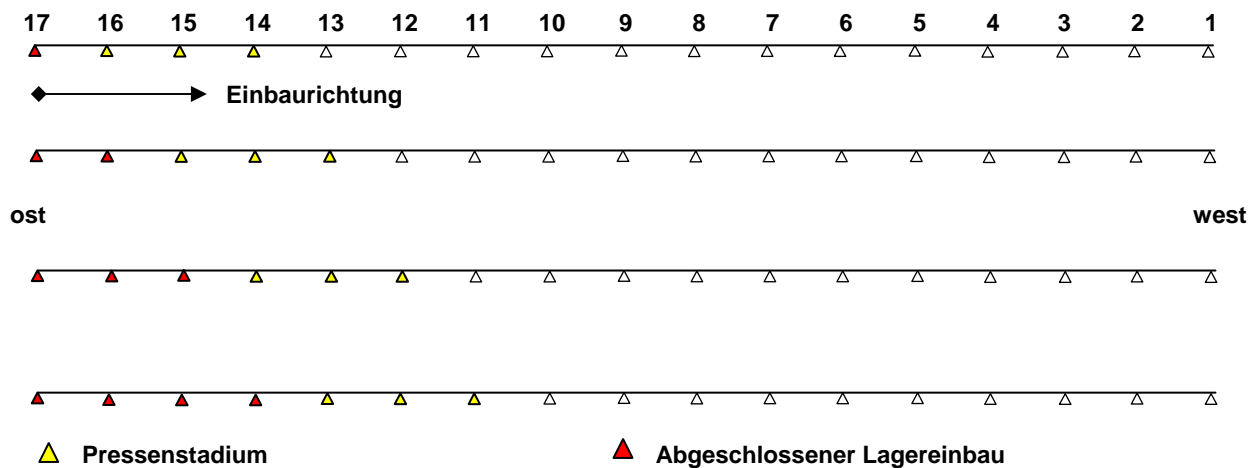


Bild 12 Schematische Darstellung des Einlagerungsfortschritts

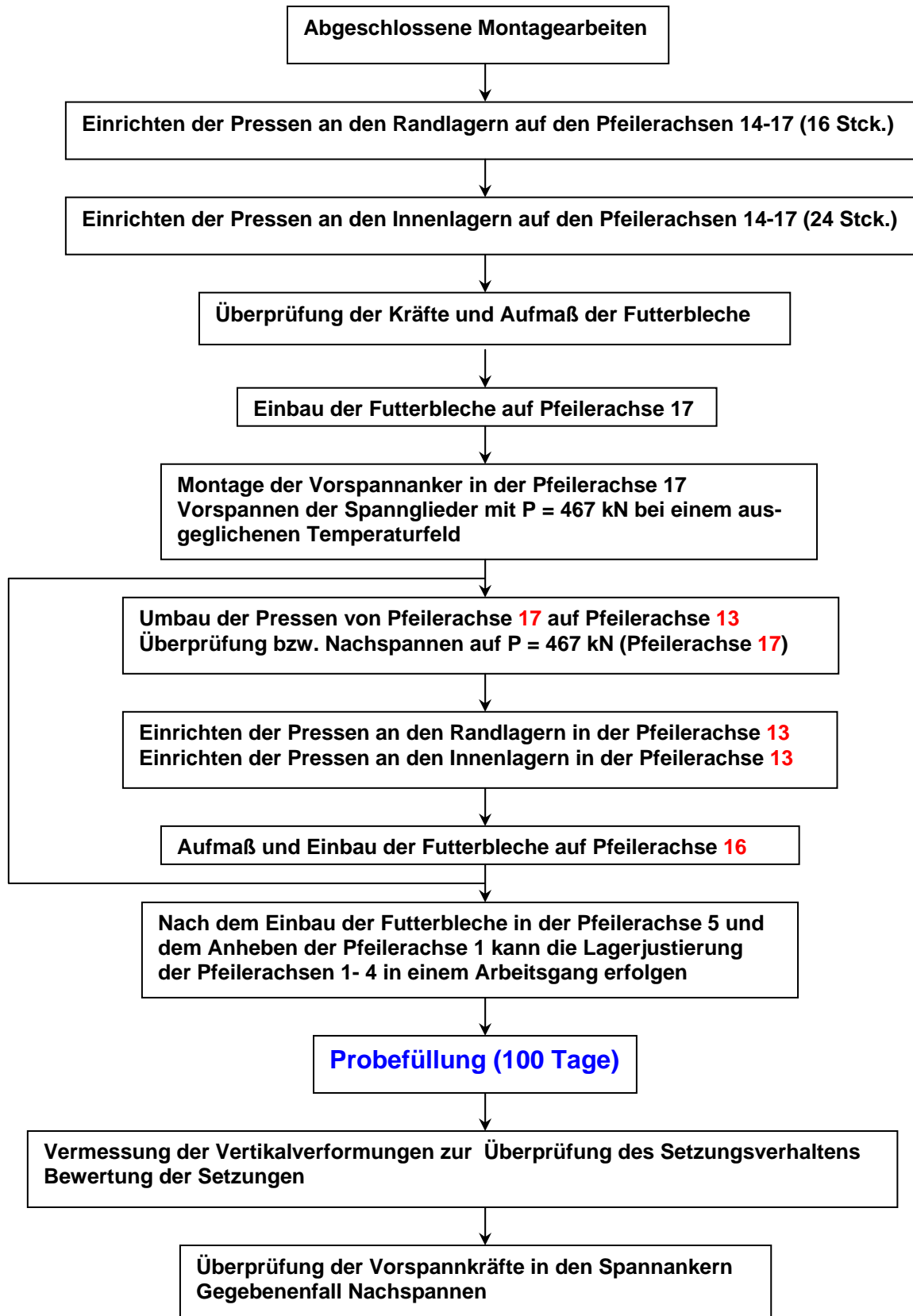


Bild 13 Schematische Darstellung der Vorgehensweise bei der Einlagerung

Ausgehend von der Ausgangslage eines vollständig unter den Trogwänden hilfsgelagerten Brückentrogs wurden in einer ersten Phase schrittweise von Pfeilerachse 17 aus beginnend weitere Pressenpaare mit den berechneten Pressenkräften zugeschaltet, bis an den Pfeilerachsen 14 bis 17 die rechnerischen Lagerkräfte eingestellt waren.

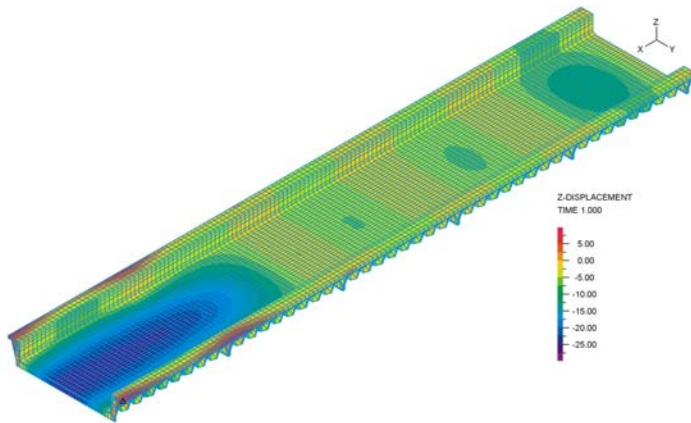


Bild 13 Vertikalverformungen nach Vorjustierung der Pressenkräfte in den Pfeilerachsen 14-17

In diesem Zustand wurden zu einem Zeitpunkt mit annähernd ausgeglichenem Temperaturfeld die Pressenkräfte feinjustiert, die Futterbleche der Pfeilerachse 17 aufgemessen, gefertigt und eingebaut. Der Abschluss des Lagereinbaus in Pfeilerachse 17 erfolgte durch Einprägung der projektierten Vorspannkräfte in den Rückverankerungen, ebenfalls unter den Bedingungen eines annähernd ausgeglichenen Temperaturfeldes. Die Vorhaltung von jeweils 3 Pfeilerachsen auf Pressen diente vordergründig der Tatsache, dass eine Beeinflussung durch die nur randgelagerten Pfeilerachsen über die zugehörige Länge vollständig abgeklungen war.

In der weiteren Vorgehensweise wurden die Pressen von Pfeilerachse 17 auf die Pfeilerachse 13 umgesetzt, die Pressenkräfte eingestellt und die Einlagerung der Pfeilerachse 16 durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt stand die Lagerkraftmessung bereits zur Verfügung, so dass eine Kontrolle der eingestellten Lagerkräfte möglich war. Diese Arbeitsfolge wurde entsprechend Bild 12 solange wiederholt, bis die Pfeilerachse 1 erreicht war. Da eine Störung der eingestellten Pressenkräfte aus einem veränderlichen statischen System nicht mehr gegeben war, konnten die Pfeilerachsen 1-4 in einem Schritt fertig gestellt werden.

Die Dauer eines Arbeitstaktes erstreckte sich in Abhängigkeit der Lieferdauer der aufgemessenen Futterbleche über einen Zeitraum von 3-4 Tagen, so dass mit eingespieltem Arbeitsablauf ein zügiger Einlagerungsfortschritt erzielt werden konnte. Nach Fertigstellung der vertikalen Lagerungskonfiguration wurden die horizontalen Montagelager in Längs- und Querrichtung durch die Verformungsgleitlager für den Endzustand ersetzt.

Beginnend am 15. Oktober 2002 wurde mit der Probefüllung des Brückentroges begonnen, für die eine Dauer von 100 Tagen vorgesehen war. Nach Beendigung der Probefüllung und

Entleerung des Brückentroges kann über die permanente Lagerkraftmessung überprüft werden, ob unverträgliche Umlagerungen infolge ungleichmäßiger Setzungen aufgetreten sind. Anhand von numerischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Setzungsunterschiede benachbarter Pfeiler oder eine ungleichmäßige Setzung eines Pfeilers nur einen geringen Einfluss auf die Lagerkraftverteilung ausüben, so dass nur unter extrem ungünstigen Bedingungen nachjustiert werden muss.

5. Zusammenfassung

Der Einbau der Brückenlager an stählernen Kanalbrücken stellt aufgrund der an der Wasserlast orientierten Lageranzahl, der Lagerabstände und der spezifischen Systemkontur unter Berücksichtigung der Zwängungen und Verformungen aus klimatischer Temperatureinwirkung eine komplexe Aufgabenstellung dar. Aufbauend auf wissenschaftlichen Erkenntnissen und spezifischen Messprogrammen wurde der Lagereinbau an der Vorlandbrücke am Wasserstraßenkreuz nach einem speziell entwickelten Einlagerungskonzept in den Sommermonaten des Jahres 2002 durchgeführt. Voraussetzung für eine gezielte Einstellung der projektierten Lagerkräfte war eine kraftgeregelte Vorgehensweise.

Ein Temperaturmessprogramm mit insgesamt 32 Messfühlern in 4 Messquerschnitten gestattete die Identifikation von Zuständen mit annähernd ausgeglichenem Temperaturfeld, so dass eine Fehleinstellung der Lagerkräfte infolge thermischer Einflüsse minimiert werden konnte. Eine permanente Lagerkraftmessung, die begleitend mit dem Lagereinbau eingerichtet wurde, lieferte eine Kontrollmöglichkeit für die eingestellten Lagerkräfte.

Gegenwärtig befindet sich die Vorlandbrücke in der Erprobungsphase mit unterschiedlichen Befüllungsstadien. Die permanenten Lagerkraft- und Temperaturmessungen ermöglichen eine dauerhafte Überwachung der Lagesicherheit und schaffen die Voraussetzung für frühzeitige Erkennung und Behebung von Störungen, bevor das Bauwerk in den endgültigen Betriebszustand mit Wasserfüllung übergeht.

Die messtechnischen Systeme an der Vorlandbrücke Magdeburg haben maßgeblich zum Gelingen des Lagereinbaus am Bauwerk beigetragen. In Art und Umfang der installierten Systeme verfügt das Gesamtmesskonzept über einen Pilotcharakter an Bauwerken dieser Größenordnung. Sowohl im Sinne einer dauerhaften Überwachung, aber auch aus wissenschaftlichem Interesse als Grundlage für zukünftige Bauprojekte dieser Kategorie, soll das Gesamtmesskonzept erweitert um eine digitale Aufzeichnung der Lagerwege in ein Monitoringsystem überführt werden. Die anfallenden Messdaten sollen in der Form aufbereitet werden, dass sie über moderne Kommunikationssysteme von einem beliebigen Ort aus eingesehen werden können. Es ist gleichzeitig geplant, den Informationsgehalt aus der Gesamtheit zusammenzufassen und graphisch zu visualisieren, so dass eine übersichtliche Überwachung und Bewertung von einer zentralen Stelle aus möglich ist.

Quellen

- [1] Mangerig, I. : Klimatische Temperaturbeanspruchung von Stahl- und Stahlverbundbrücken . Technisch – wissenschaftliche Mitteilung Nr. 86-4 des Institutes für konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr – Universität Bochum , 1986
- [2] Mangerig, I., Zapfe, C. : Gutachterliche Stellungnahme zur Klärung der Ursache für abhebende Lager an der Kanalbrücke Minden, München 1998
- [3] Mangerig, I., Lichte, U. : Klimatische Temperaturbeanspruchungen von Kanalbrücken mit geneigten Trogwänden, Zwischenbericht zum Forschungsvorhaben, München 1998
- [4] Mangerig, I., Zapfe, C. : Gutachterliche Stellungnahme zum Einbau der Elastomerlager und Rückverankerungen an der Leineflutbrücke (253), München, März 1999
- [5] Mangerig, I., Zapfe, C. : Gutachterliche Stellungnahme zum Einbau der Elastomerlager an der Leinestrombrücke (252), München, März 1999
- [6] Mangerig, I., Zapfe, C., Zapfe O.: Machbarkeitsstudie zum Lageraustausch an der Kanaltrogbrücke Schwarzach am Rhein-Main-Donau-Kanal, München, November 2001
- [7] Mangerig, I., Zapfe, C. : Gutachterliche Stellungnahme zum Trag- und Verformungsverhalten der Strombrücke am Wasserstraßenkreuz in Magdeburg unter klimatischer Temperaturbeanspruchung, München, März 1999
- [8] Mangerig, I., Zapfe, C. : Gutachterliche Stellungnahme zum Trag- und Verformungsverhalten der Vorlandbrücke am Wasserstraßenkreuz in Magdeburg unter klimatischer Temperaturbeanspruchung, München, März 1999
- [9] Mangerig, I., Zapfe, C. : Einlagerungskonzept für die Vorlandbrücke am Wasserstraßenkreuz in Magdeburg, München, September 2001
- [10] Mangerig, I., Zapfe, C. : Einlagerungskonzept für die Strombrücke am Wasserstraßenkreuz in Magdeburg, München, November 2001
- [11] DIN 1072, Straßen- und Wegbrücken, Lastannahmen, 1985