

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Kiesel, Annika; Stein, Ronald; Borschnek, Ferdinand; Stephan, Christoph Bautechnische Untersuchungen an der historischen Kanalbrücke Minden

Bautechnik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/110506>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kiesel, Annika; Stein, Ronald; Borschnek, Ferdinand; Stephan, Christoph (2022):
Bautechnische Untersuchungen an der historischen Kanalbrücke Minden. In: Bautechnik 99
(5). S. 358-366. <https://doi.org/10.1002/bate.202200025>.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

Verwertungsrechte: Alle Rechte vorbehalten

Bautechnische Untersuchungen an der historischen Kanalbrücke Minden

An der historischen Kanalbrücke Minden wurden im Rahmen planmäßiger Zustandsuntersuchungen stellenweise Korrosionserscheinungen an den über 100 Jahre alten, schwer zugänglichen Gelenken der tragenden Bogenkonstruktionen festgestellt. Um einordnen zu können, welchen Einfluss eine eventuelle Schädigung der Gelenke auf das Trag- und Verformungsverhalten des Bauwerks hat, werden parallel zu einer Zustandserfassung sowohl numerische als auch messtechnische Untersuchungen der Kanalbrücke durchgeführt. In einem numerischen Modell wird das planmäßige Trag- und Verformungsverhalten analysiert und qualitativ erfasst. Die gewonnenen Erkenntnisse werden mit im Rahmen der Bauwerksinspektion erhobenen Messdaten sowie mit 3D-Laserscannmessungen verglichen und validiert. Die durchgeführten und geplanten Untersuchungen werden im Beitrag erläutert und der aktuelle Sachstand sowie bisherige Erkenntnisse vorgestellt.

Stichworte Kanalbrücke; Wasserstraßenkreuz Minden; Wälzgelenke; historische Bauwerke; Wasserbauwerke

Structural investigations on the historic Minden canal bridge

This article summarizes the structural investigations necessitated by a routine condition inspection of the historic canal bridge in Minden. The load-bearing arches of the bridge are over 100 years old and difficult to access, and some of their joints show signs of corrosion. The influence of possible joint damage on the load-bearing and deformation behavior of the bridge will be determined via numerical and metrological investigations and a condition survey. The numerical models will be calibrated using data from the inspection and from additional three-dimensional laser scan measurements. The investigations carried out and planned are explained in the report and the current state of affairs and previous findings are presented.

Keywords canal bridge; Minden waterway junction; rolling joint; historic buildings; hydraulic structures

1 Einleitung

Die historische Kanalbrücke in Minden überführt den Mittellandkanal über die Weser (Bild 1). Bereits im Jahre 1987 wurde sie als Baudenkmal eingestuft und in die Denkmalliste der Stadt Minden eingetragen. Sie stellt nicht nur eine der bedeutendsten Sehenswürdigkeiten ihrer Region dar, sondern ist aufgrund ihrer Einzigartig-

keit auch ein herausragendes und erhaltungswürdiges Ingenieurbauwerk ihrer Zeit. Seit der Fertigstellung der unmittelbar daneben befindlichen, breiteren und tieferen stählernen Kanalbrücke im Jahr 1998 dient sie in erster Linie der Ausflugschifffahrt sowie als Ausweichstrecke bei Trockenlegung der neuen Kanalbrücke. Im Rahmen der Bauwerksinspektion der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) wird die Kanalbrücke regelmäßig inspiziert. Die Gelenke der Brückenbögen sind durch ihre Lage im Bauwerk jedoch ohne den Einsatz zerstörender Prüfmethode kaum erreichbar. Da sich Hinweise auf eine Korrosion der Gelenkplatten ergeben haben, werden Untersuchungen zur Erfassung und Bewertung ihres Zustands und dessen Auswirkungen auf die Tragfähigkeit des Bauwerks durchgeführt.



Quelle: Bundesanstalt für Wasserbau

Bild 1 Alte (vorne) und neue (hinten) Kanalbrücke in Minden – die alte Kanalbrücke ist trockengelegt; Blick in Richtung westliches Widerlager
Old (front) and new (back) canal bridges in Minden – the old canal bridge has been drained, and the view is in the direction of the west abutment

2 Bauwerksbeschreibung

2.1 Allgemein

Die historische Kanalbrücke 144B in Minden wurde von 1911 bis 1914 erbaut und ist als massive Bogenbrücke mit einer Gesamtlänge von 370 m ausgeführt. Das Bauwerk besitzt sechs Flutbögen, die mit einer lichten Weite von jeweils 32,50 m den Vorlandbereich überspannen, und zwei Strombögen mit einer Spannweite von je 50,50 m als eigentliche Weserquerung (Bild 1). Alle Bögen sind als Dreigelenkbögen konstruiert [1]. Die Gewölb Bögen sind



Bild 2 Bau der alten Kanalbrücke: Einbau der Bewehrung der Bögen
Construction of the old canal bridge: installing the arch reinforcement



Bild 3 Bau der alten Kanalbrücke: Lehrgerüste
Construction of the old canal bridge: falsework

in bauzeitgemäßem, schwach bewehrtem Stahlbeton (Eisenbeton) ausgeführt (Bild 2). Sie wurden auf Lehrgerüsten in Ortbeton hergestellt (Bild 3). Die Lehrgerüste wurden in Querrichtung versetzt, sodass ein streifenweiser Baufortschritt innerhalb eines Bogens zustande kam. Der eigentliche Bogen geht im Scheitelbereich unmittelbar in die Sohle des Brückentrogs über.

Der Überbau besteht aus dem eigentlichen Trogbauwerk sowie den auf beiden Seiten liegenden Arkadengängen, die ursprünglich als Fußgängerweg dienten, aber heute für die Öffentlichkeit gesperrt sind. Die Decken der Arkadengänge bildeten zugleich die Leinpfade bzw. Betriebswege entlang des Kanals. Der Brückentrog hat eine Breite von 24,50 m und eine Tiefe von 3,70 m bei einer planmäßigen Wassertiefe von 3,0 m [1].

Die beiden Strombögen wurden am Ende des Zweiten Weltkriegs beim Rückzug der deutschen Truppen gesprengt. Der Wiederaufbau erfolgte von 1946 bis 1949 unter Verwendung von im bestehenden Brückentrog her-



Bild 4 Wiederaufbau der alten Kanalbrücke: Herstellung der Fertigteile im bestehenden Brückentrog
Reconstruction of the old canal bridge: prefabricated part production in the existing bridge trough

gestellten Betonfertigteilen (Bild 4). Auf diese Weise konnte auf ein Lehrgerüst verzichtet werden, das aufgrund des Mangels an Holz in der Nachkriegszeit schwer zu beschaffen gewesen wäre [2].

2.2 Gelenke

Beim Bau der Kanalbrücke kamen Wälzgelenke aus Stahlformguss (Siemens-Martin-Stahl) zum Einsatz, die linienhaft über die gesamte Brückenbreite in den Bogen-scheiteln und -kämpfern angeordnet sind (Bild 5).

Die einzelnen Wälzgelenke wurden in je fünf verschiedenen Höhen bei sonst gleicher Form gegossen und haben jeweils eine Breite von 1,0 m (Bild 6), wobei die Gelenkplatten im Bereich der Arkadengänge höher sind als die im Trogbereich. Bei einer gesamten Bauwerksbreite von 30 m und drei Gelenkachsen pro Brückenbogen wurden 720 Gelenkpaare verbaut [3]. Beim Wiederaufbau der Strombögen konnten die ursprünglich verwendeten Gelenkplatten zum Großteil aus den Trümmern geborgen und wiederverwendet werden.

Wälzgelenke bestehen aus zwei Gelenkteilen, wobei ein Teil konvex und ein Teil konkav geformt ist. In der Kontaktlinie besteht die Möglichkeit einer Rotationsbewegung. Ab den 1890er-Jahren wurden Wälzgelenke aus Stahlguss stetig weiterentwickelt. In der Anfangszeit ihrer Nutzung kam es teilweise in der Bauphase zu Verschiebungen der Gelenkteile zueinander, woraufhin Zusatzelemente wie Sicherungsbolzen entwickelt wurden, um die beiden Gelenkteile bis zum Einbau in Position zu halten. Nach Fertigstellung der Brückenbauwerke wurden diese in der Regel durchtrennt, um eine ungehinderte Verformung zu ermöglichen [4]. Beim Bau der Kanalbrücke Minden wurden solche Sicherungsbolzen verwendet und fotografisch sowie zeichnerisch dokumentiert (Bilder 6, 7).

Vorteil der aus Stahlguss gefertigten Wälzgelenke, deren beiden Gelenkteile mit verschiedenen Radien gekrümmt sind, ist die höhere Festigkeit des Materials gegenüber

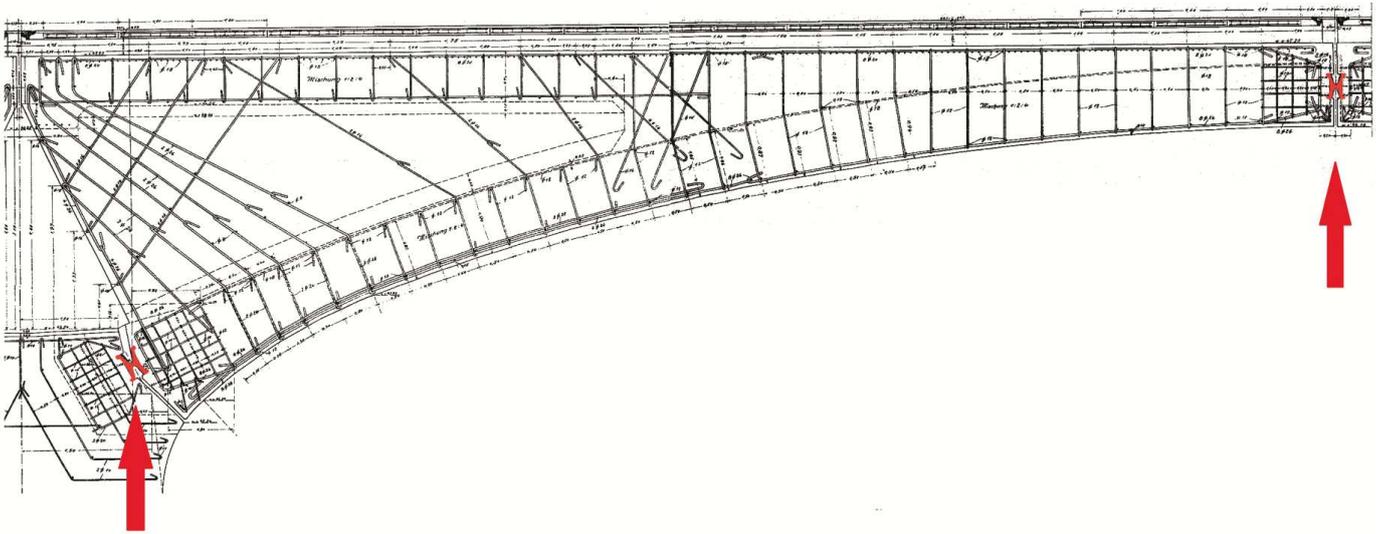


Bild 5 Planausschnitt eines halben Flutbogens mit Hervorhebung der Gelenke im Kämpfer- und Scheitelbereich
A design drawing of half a flood arch with highlighted impost and apex joints



Bild 6 Gelenke der Strombögen vor dem Einbau
River arch joints before installation

vergleichbaren Gelenken aus Beton oder Stein. Weiterhin können durch die höhere Belastung der Gelenke und die damit einhergehende Reduktion der Abmessungen die Krümmungsradien kleiner gewählt werden. Dadurch schrumpft die Berührungsfläche und folglich der Widerstand bei der Drehung. Zudem wird dadurch der Durchgangspunkt der Stützlinie genauer definiert [4].

2.3 Statisches System und Einwirkungen

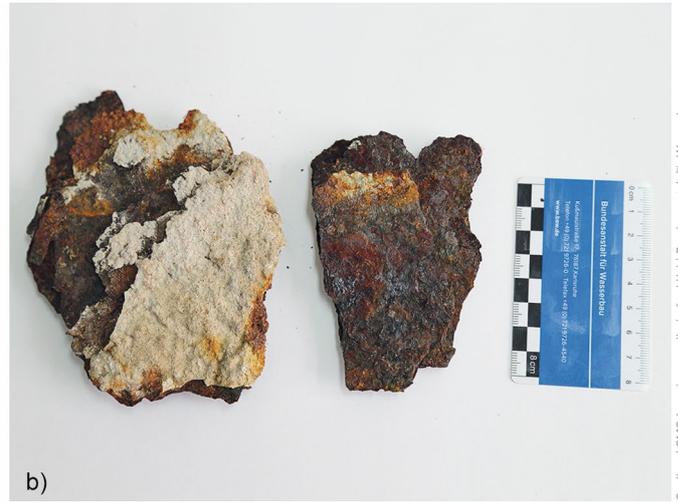
Die Konstruktion der Kanalbrücke als Reihe von Dreigelenkbögen hat einen wesentlichen Vorteil: Im Gegensatz zu einem eingespannten Bogen oder einem Zweigelenkbogen ergibt sich ein statisch bestimmtes System, das von Zwangsspannungen infolge von Setzungen der Widerlager oder Temperaturbeanspruchung planmäßig unbeeinflusst bleibt. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass das

Tragverhalten eines Dreigelenkbogens maßgeblich durch die Rotationsfähigkeit der Gelenke bestimmt wird. Deren Zustand und Funktionstüchtigkeit ist demnach von hoher Bedeutung für die bestimmungsgemäße Funktion des Gesamtbauwerks. Sollten die Gelenke derart geschädigt sein, dass ihre Verdrehung eingeschränkt oder behindert ist, kann es zu Zwangsbeanspruchungen und damit zu Schäden am Massivbau kommen. Da das Haupttragwerk des Bogens durch Aufbauten und Anbauten ergänzt wird, ist für die Kanalbrücke Minden zu klären, inwieweit ihr Tragverhalten dem eines idealen Dreigelenkbogens entspricht.

Massive Kanalbrücken werden vornehmlich durch die Einwirkungen Eigengewicht sowie Wasser im Trog beansprucht. Daneben ist insbesondere die Beanspruchung der Kanalbrücke infolge der Temperatureinwirkungen von Interesse. Diese setzt sich aus den klimatischen Umgebungsbedingungen Lufttemperatur, Sonneneinstrahlung und Windgeschwindigkeit zusammen. Weiterhin haben auch die Orientierung im Gelände, die Topologie und die Möglichkeit des Wärmeaustauschs mit der Umgebung einen Einfluss [5]. Auf den Querschnitt bezogen kann die Temperatureinwirkung gemäß [6] in folgende wesentliche Anteile aufgeteilt werden:

- Eine gleichmäßige Erwärmung oder Abkühlung eines Bauteils (konstanter Anteil) führt zu seiner Verlängerung bzw. Verkürzung.
- Horizontale und vertikale Temperaturdifferenzen (linear veränderliche Anteile) führen zu Bauteilverkrümmungen.
- Nichtlineare Temperaturanteile rufen Eigenspannungen hervor.

Um beurteilen zu können, ob die planmäßige Rotationsfähigkeit der Gelenke gegeben ist, wird das tatsächlich gemessene Verformungsverhalten unter realen Einwirkungen mit dem planmäßigen Verhalten verglichen.



Quelle: a) GGM Ingenieurgesellschaft mbH, b) Bundesanstalt für Wasserbau

Bild 9 Blick in die Scheitelfuge: a) Gelenkplatten mit verschieden ausgeprägten Korrosionsschäden, b) Bruchstücke einer Gelenkplatte
View of the apex joint: a) different degrees of joint corrosion, b) fragments of the joint

Vergangenheit die Fugen nicht ausreichend abgedeckt worden waren, wodurch mehrere Gelenkfugen durch Spritzbetonreste verunreinigt sind. Neben der erschwerten Zugänglichkeit der Gelenkplatten könnte sich daraus auch eine zusätzliche Behinderung ihrer Rotationsmöglichkeit ergeben, weshalb in einem nächsten Schritt die Reinigung der betroffenen Fugen mittels Hochdruckwasserstrahl vorgesehen ist.

Für die bisher gesichteten Scheitelfugen zeigt sich, dass die Gelenkplatten an den Stirnseiten der Bögen stärker von Korrosion betroffen sind als die weiter innen liegenden. Dort wechseln sich trockene Bereiche mit punktuell feuchten Bereichen ab, wobei sich auch ältere Durchfeuchtungen durch Sinterfahnen und Stalaktiten abzeichnen. Die Gelenkplatten sind zum größten Teil durch Oberflächenkorrosion betroffen, die als altersgemäß zu bezeichnen ist, wobei sich in den feuchten Bereichen ein schlechteres Bild ergibt.

Von den Kämpferfugen liegt bisher keine aussagekräftige Gesamtübersicht vor. Erste Kamerabefahrungen deuten darauf hin, dass die Gelenkplatten hier aufgrund ihrer geschützten Lage weniger stark korrodiert sind. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen ist zu entscheiden, ob der Einsatz zerstörungsfreier Prüfmethode ausreichen wird, um den Zustand der Gelenkplatten beurteilen zu können. Sollten zerstörende Prüfmethode zum Einsatz kommen, ist festzulegen, welcher Stichprobenumfang erforderlich ist, um eine Aussage über die Gesamtheit der Gelenkplatten treffen zu können, aber gleichzeitig möglichst wenig zusätzliche Schädigung zu verursachen.

3.2 Messtechnische Untersuchung

3.2.1 Auswertung der Messdaten aus der Bauwerksinspektion

Parallel zur Zustandserfassung findet eine messtechnische Untersuchung der Kanalbrücke statt. Die Basis bilden die

Messdaten der Ingenieurvermessung aus der Bauwerksinspektion nach der Verwaltungsvorschrift VV-WSV 2602 [7] der WSV. Verschiedene Messkampagnen wurden bereits seit der Bauzeit durchgeführt. Eine gewisse Regelmäßigkeit hat sich allerdings erst seit etwa 1985 etabliert. Von besonderem Interesse für die Betrachtung des Verformungsverhaltens der Brücke sind die Höhenmessungen der vorhandenen Objektpunkte. Diese zeigen zunächst, dass sich die Strombögen aufgrund ihrer Konstruktion und ihrer höheren Spannweite stärker verformen als die Flutbögen. Anhand weniger punktueller Messdaten aus der Wiederherstellungszeit der Kanalbrücke bis in die späten 1970er-Jahre wurde zunächst eine fortschreitende Absenkung der Bogenscheitel vermutet. Aus dem Verlauf der einzelnen Messreihen über die letzten 20 Jahre ist jedoch keine klare Systematik erkennbar. Die Differenzen zur festgelegten Referenzmessung sind in einigen Fällen positiv (Hebung der Bögen) und in anderen Fällen negativ (Senkung der Bögen). Hierbei ist kritisch anzumerken, dass die Messpunkte nicht direkt auf der eigentlichen Tragstruktur des Bauwerks, den Dreigelenkbögen, platziert sind, sondern auf der Brüstung des Betriebswegs. Dieses Nebenbauteil, welches an die Haupttragstruktur angeschlossen ist, wird zweifellos auch Bewegungen quer zur Kanalachse erfahren. Darüber hinaus stellen die Messkampagnen Momentaufnahmen des Bauwerks unter unterschiedlichen Einwirkungssituationen dar, wobei insbesondere die Temperaturen stark differieren. Eine Möglichkeit, die Messdaten zueinander in Relation zu setzen, ist daher die Erfassung der Umgebungs- und Bauteiltemperatur zum Zeitpunkt der Inspektionsvermessung. Für das äußerst massive Bauwerk ist in Bezug auf die Temperaturbeanspruchung und die sich daraus ergebende Verformung der Tagesgang der Temperatur kaum von Bedeutung, da es sich nur sehr träge der Umgebungstemperatur anpasst. Die Analyse der Messdaten zeigt, dass die händische Erfassung der Umgebungstemperatur im Rahmen einer Messkampagne teilweise zu Unstimmigkeiten in den Messdaten führte, welche durch Abgleich der Temperaturdaten mit historischen Klimadaten des Deutschen Wetterdiensts behoben werden konnten.

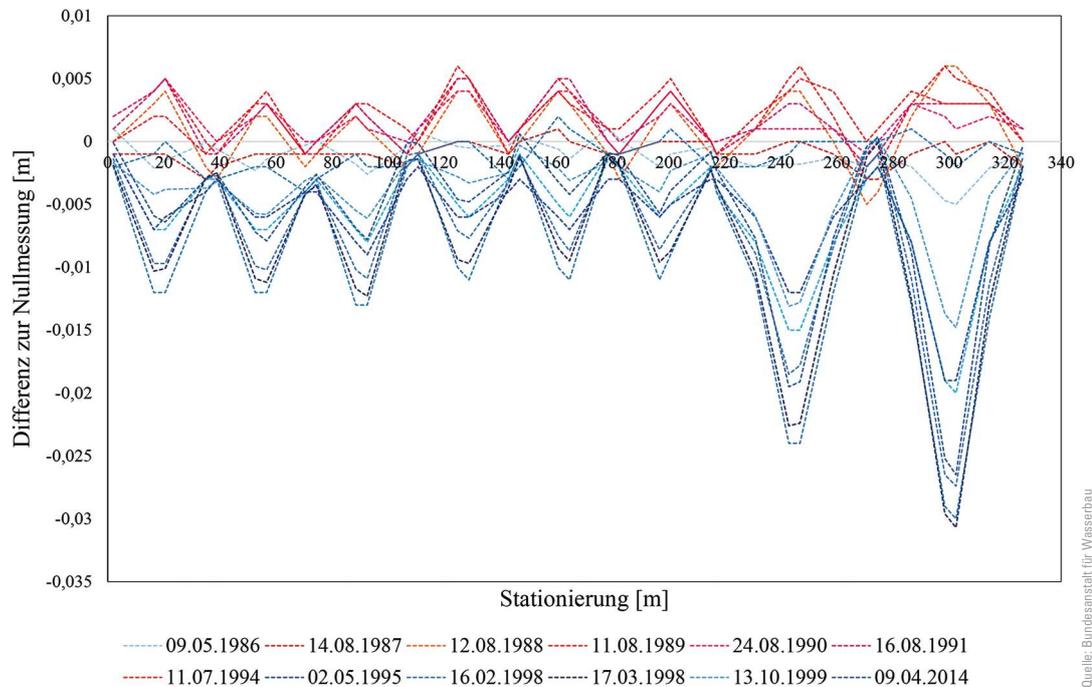


Bild 10 Höhenmessungen an der alten Kanalbrücke: rote Kurven stellen Messungen an warmen Tagen dar, blaue Kurven Messungen an kalten Tagen
Height measurements of the old canal bridge during hot days (in red) and cold days (in blue)

Werden die Messreihen nach der für sie dokumentierten Lufttemperatur sortiert (blau für Abkühlung, rot für Erwärmung im Vergleich zur Referenzmessung), zeigen die gemessenen Höhendaten eine große Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (Bild 10).

Seit 1999 wird regelmäßig die Trockenlegung des Bauwerks messtechnisch begleitet, sodass auch die Auswirkungen der Entleerung bzw. Befüllung des Trogs auf die vertikalen Verschiebungen des Tragwerks untersucht werden können. Anhand der vorhandenen Datenreihen zeigt sich, dass die Wasserlast einen deutlich geringeren Einfluss auf die Verformungen des Bauwerks hat als die Temperatureinwirkungen. Da jedoch bisher keine automatisierte Dauermessung (Monitoring) eingerichtet ist, welche die Bauwerksverformungen sowie die Umgebungs- und Bauteiltemperaturen im Laufe eines Jahreszyklus erfasst, sind Aussagen über Größenverhältnisse und Abhängigkeiten von Verformungen nur schwer zu treffen.

3.2.2 Terrestrisches Laserscanning

Als kurzfristig umsetzbare Alternative zu einer Dauermessung über einen Jahreszyklus wurden in Zusammenarbeit mit dem Referat Geodäsie und Fernerkundung der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) zwei Messkampagnen eines terrestrischen Laserscannings (TLS) veranlasst (Bild 11):

- TLS-Scan bei Trockenlegung und bei gefülltem Trog,
- drei TLS-Scans über den Jahresgang (Sommer – Winter – Sommer), wobei die zweite und dritte Erfassung zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Beitrags noch nicht abgeschlossen sind.

Der Laserscan bietet die Möglichkeit, die Oberfläche eines Bauwerks zu erfassen. Die dabei durch den Laserstrahl erzeugte Vielzahl an Messpunkten wird als sogenannte Punktwolke bezeichnet. Punktwolken einzelner Messkampagnen können im Postprocessing miteinander verglichen und daraus die Verformungsfigur der gemessenen Oberfläche abgeleitet werden. Dadurch können die Einflüsse von Wasserlast und Temperaturbeanspruchungen auf die Verformungen der gemessenen Oberfläche zueinander in Relation gesetzt werden. Darüber hinaus ist die mögliche Erfassung des räumlichen Verformungsverhaltens der Dreigelenkbögen interessant. So könnte beispielsweise eine stark unsymmetrische Verformungsfigur auf Schädigungen der Gelenkplatten hindeuten.

Im Rahmen des TLS-Scans wurden an der Unterseite der Bögen, also direkt am Tragsystem, Zieltafeln fixiert, die als Vergleichspunkte für die durch den Laserscanner erzeugten Punktwolken der einzelnen Messungen dienen. Aufgrund des Funktionsprinzips eines terrestrischen Laserscanners kann bei der Abtastung des Bauwerks die Lage der Messpunkte auf dem Objekt nicht im Vorfeld festgelegt und auch nicht reproduziert werden. Die Zieltafeln ermöglichen die Rückführung der quasiflächenhaften Abtastung auf wiederholt bestimmbare diskrete Punkte. Zum einen kann so eine punktuelle Validierung der TLS-Scans erfolgen, zum anderen kann durch die Verortung der Zielmarken im lokalen Bauwerksreferenzsystem ein Bezug zu bereits vorhandenen Messdaten hergestellt werden. Mit dieser Vorgehensweise wurden der westliche Strombogen sowie der daneben befindliche Flutbogen aufgenommen.

Die bereinigten Punktwolken der TLS-Scans werden mittels des M3C2-Punktwolkenvergleichs (Multiscale Model

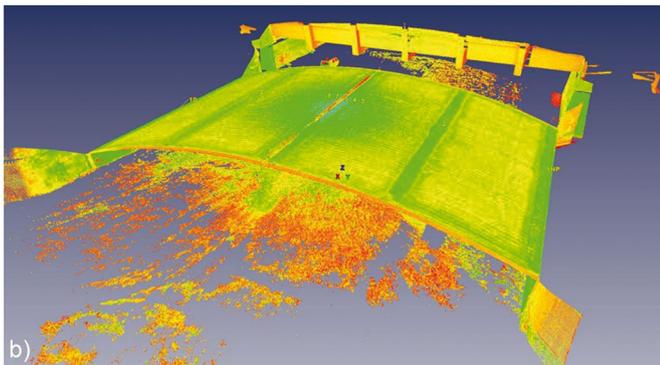


Bild 11 TLS-Scan: a) Messaufbau mit ScanStation Leica P30, b) aufgenommene Punktwolke (Rohdaten)
A 3D laser scan: a) Leica ScanStation P30 measurement setup and b) results

to Model Cloud Comparison) [8] analysiert und in einzelnen Längsschnitten miteinander verglichen. An einem funktionierenden Momentengelenk muss in der Verformungsfigur eine Änderung der Tangentenneigung in Form eines Knicks erkennbar sein. Erste Ergebnisse aus den ausgewerteten Messdaten des Strombogens zeigen für das Scheitelgelenk eindeutig den erwünschten Knick in der Verformungsfigur für den Lastfall Befüllung des Trops (Bild 12). Die Analyse der erstellten Verformungsfigur erlaubt so Rückschlüsse auf die Funktionsfähigkeit der Scheitelgelenke der zugehörigen Gelenkachse. Weitere Auswertungen sollen nach Fertigstellung der zweiten und dritten Messkampagne erfolgen.

3.3 Numerische Untersuchung

Neben der Zustandserfassung und den messtechnischen Untersuchungen finden rechnerische Untersuchungen an einem numerischen Modell statt (Bild 13), die die qualitative Beschreibung und Analyse des planmäßigen Trag- und Verformungsverhaltens der Kanalbrücke zum Ziel haben. Zu diesem Zweck wurde ein 3D-FE-Modell eines Strombogens erstellt und Eigengewichts-, Wasser- und Temperaturlasten aufgebracht.

Die qualitative Analyse des Tragverhaltens im FE-Modell bestätigt die getroffene Annahme, dass die Temperatur-

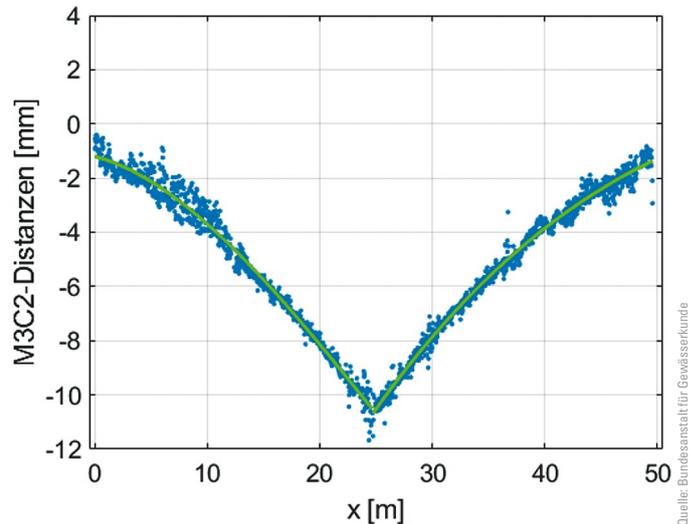


Bild 12 M3C2-Auswertung (blau) und approximierte Verformungsfigur (grün) für das Scheitelgelenk des Strombogens
M3C2 results (in blue) and an approximated deformation curve (in green) for the vertex of the river arc

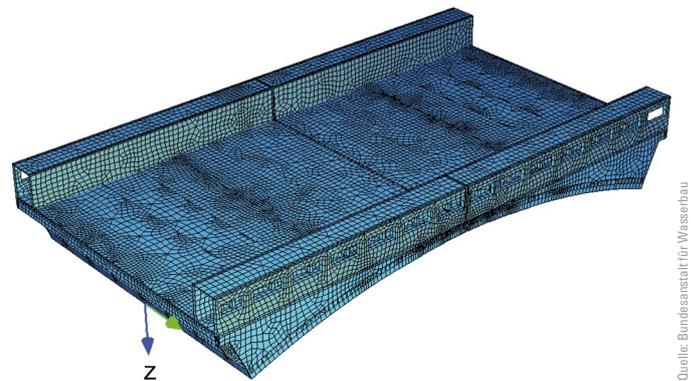
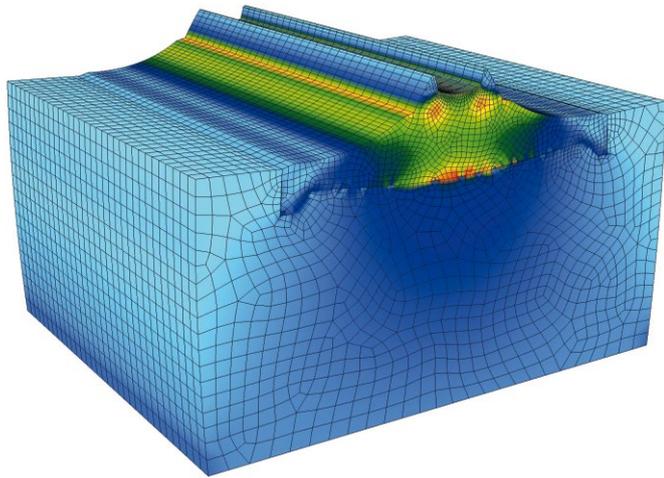


Bild 13 Visualisierung des Finite-Elemente-Modells eines Strombogens mit der Software SOFISTIK
A finite element model of a river arch with the software SOFISTIK

einwirkungen größere Verformungen des Bauwerks auslösen als die planmäßige Wasserlast im Trog. Darüber hinaus wird deutlich, dass durch die Gelenke und Bauwerksfugen zwar eine große Verformungsfähigkeit des Bauwerks gegeben, durch die fest verbundenen An- und Aufbauten aber keine gänzlich zwangsfreie Verformung möglich ist. Darüber hinaus bietet die linienhafte gelenkige Lagerung keine Verformungsfähigkeit quer zur Bauwerksachse.

Außerdem zeigt sich, dass eine Trockenlegung des Trops, die als vermeintliche Entlastung des Bauwerks interpretiert werden könnte, in der vorübergehenden Bemessungssituation in einigen Bauteilen zu höheren Beanspruchungen führt als die ständige Bemessungssituation mit gefülltem Trog: Unter Eigengewicht und Wasserlast trägt der Bogen idealerweise allein über die Normalkraft. Eine Erwärmung beispielsweise führt zu einer Verlängerung und Verkrümmung des Tragwerks, wodurch es zu Zugspannungen auf der Oberseite des Bogens kommt. Die Wasserlast wirkt den Verformungen aus Temperaturbeanspruchung in der ständigen Bemessungssituation ent-



Quelle: GfG Ingenieurgesellschaft mbH

Bild 14 Detailmodell im Programm SOFISTIK: Verformung und Mises-Spannung der Gelenkplatte mit elliptischer Abrostung der Flanken
Detailed SOFISTIK model: deformation and Mises stress of a joint with elliptical corrosion of the flanks

gegen. Zudem sorgt das Wasser in bestimmten Situationen für eine Verringerung der Temperaturbeanspruchung des Bauwerks, da es z. B. im Sommer bei steigender Temperatur länger kühl bleibt als die umgebende Luft. Dies führt zu der Erkenntnis, dass eine Trockenlegung der Kanalbrücke möglichst nicht bei sehr warmen Temperaturen durchgeführt werden sollte.

Im FE-Modell wurde zudem eine Blockade im Scheitelgelenk simuliert, um Auswirkungen einer eingeschränkten Funktionsfähigkeit der Gelenke auf die Bauwerksverformungen zu untersuchen. Die Ergebnisse der numerischen Analyse können nach Fertigstellung der Messkampagnen mit den Messergebnissen verglichen und somit Rückschlüsse über die Verformungsfähigkeit des Bauwerks gezogen werden.

In einem weiteren Schritt wurde in einem FE-Detailmodell (Bild 14) die Spannungsverteilung in einer in Beton eingebetteten Gelenkplatte bei Schädigung durch Korrosion untersucht. Zu diesem Zweck wurden die Spannungen der intakten Gelenkplatte mit den Spannungen eines durch Abrostung verringerten Querschnitts verglichen. Dabei wurde anhand der bisherigen Erkenntnisse der

Bauwerksuntersuchung von einem Materialverlust von bis zu 2,5 cm Tiefe ausgegangen. Die Untersuchung zeigt, dass ein solcher Materialverlust im Randbereich der Gelenkkörper einen geringen Einfluss auf den Verlauf und den Betrag der resultierenden Druckspannungen in der Kontaktfläche von der Gelenkplatte zum Betonbauwerk hat.

4 Fazit und Ausblick

Die bisher durchgeführten bautechnischen Untersuchungen an der historischen Kanalbrücke Minden führten zu einem vertieften Verständnis des Trag- und Verformungsverhaltens des historischen Bauwerks. Der Zustand der tragfähigkeitsrelevanten stählernen Gelenkplatten kann nur unter erschwerten Bedingungen und im weiteren Verlauf der Untersuchungen ggf. unter Anwendung zerstörender Prüfmethode beurteilt werden. Aus diesem Grund ist es von großer Bedeutung, die voraussichtlichen Auswirkungen einer Funktionseinschränkung der Gelenke auf das Bauwerksverhalten genauer zu kennen.

Durch die Auswertung vorhandener Messdaten konnte eine fortschreitende Absenkung im Verlauf der Jahre ausgeschlossen und eine deutliche Temperaturabhängigkeit der Bauwerksverformungen festgestellt werden. Die noch nicht abgeschlossenen Messkampagnen mittels TLS-Laserscanning weisen auf eine vorhandene Rotationsfähigkeit der Scheitelgelenke in den untersuchten Bögen hin. Numerische Untersuchungen konnten kritische Lastsituationen aufdecken und helfen, mögliche Tragfähigkeitsdefizite der korrodierten Gelenkplatten zu bewerten.

Für die weitere Analyse des Bauwerksverhaltens ist es vorgesehen, eine automatisierte Dauermessung per Tachymeter über die Zeit von mindestens einem Jahr durchzuführen. Der Zusammenhang zwischen Umgebungs- und Bauwerkstemperatur sowie Verformungsverhalten der Kanalbrücke im Jahresgang soll hierdurch erfasst werden. Dies hilft zukünftig, Messergebnisse an der Kanalbrücke zu interpretieren und einzuordnen, um eine mögliche Gefährdung des Bauwerks rechtzeitig erkennen zu können.

Literatur

- [1] Hart (1913) *Der Ems-Weser-Kanal und seine Eisenbetonbauten*. Beton und Eisen, H. 8, S. 157–162.
- [2] Jensen, W. (1951) *Die Wiederherstellung der Überführung des Mittellandkanals über die Weser in Minden in den Jahren 1945 bis 1949*. Die Bautechnik, H. 6, S. 121–125; H. 8, S. 184–189; H. 10, S. 232–236.
- [3] Gericke, H.; Loebell, F. (1921) *Die Bauten des Ems-Weser-Kanals in der Weserniederung bei Minden in Westfalen*. Zeitschrift für Bauwesen 71, S. 238–259, S. 364–371.
- [4] Veihelmann, K.; Holzer, S. M. (2016) *Die Verwendung von Gelenken im Massivbrückenbau – Zur Geschichte des Dreigelenkbogens*. Beton- und Stahlbetonbau 111, H. 2, S. 99–112. <https://doi.org/10.1002/best.201500039>
- [5] BAW-Empfehlung (2016) *Temperatureinwirkungen auf stählerne Kanalbrücken*. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.
- [6] DIN EN 1991-1-5:2010-12 (2010) *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen*. Berlin: Beuth. Ausgabe Dez. 2010.
- [7] Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes [Hrsg.] (2012) *Verwaltungsvorschrift „Ingenieurvermessung im Bauwesen VV-WSV 2602“*. Bonn.

[8] Lague, D.; Brodu, N.; Leroux, J. (2013) *Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner:*

Application to the Rangitikei canyon (NZ). ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 82, pp. 10–26.

Autorin und Autoren

Annika Kiesel M.Sc. (Korrespondenzautorin)
annika.kiesel@baw.de
Bundesanstalt für Wasserbau
Referat Massivbau
Abteilung Bautechnik
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Dr.-Ing. Christoph Stephan
christoph.stephan@baw.de
Bundesanstalt für Wasserbau
Referat Massivbau
Abteilung Bautechnik
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Dipl.-Ing. Ronald Stein
ronald.stein@gmg-dresden.de
GMG Ingenieurgesellschaft mbH
Abteilung Bewertung/Bauwerksmessung
George-Bähr-Straße 10
01069 Dresden

Dipl.-Ing. Ferdinand Borschnek
ferdinand.borschnek@baw.de
Bundesanstalt für Wasserbau
Referat Massivbau
Abteilung Bautechnik
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Zitieren Sie diesen Beitrag

Kiesel, A.; Stein, R.; Borschnek, F.; Stephan, C. (2022) *Bautechnische Untersuchungen an der historischen Kanalbrücke Minden*. Bautechnik. <https://doi.org/10.1002/bate.202200025>