

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Stein, Ronald; Borschnek, Ferdinand; Kiesel Annika
Untersuchungen zur Kanalbrücke Minden

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/110534>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Stein, Ronald; Borschnek, Ferdinand; Kiesel Annika (2022): Untersuchungen zur Kanalbrücke Minden. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Erhaltung von Wasserbauwerken – to go 14. und 15. November 2022. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 57-66.

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.



Untersuchungen zur Kanalbrücke Minden

Ronald Stein, GMG Ingenieurgesellschaft
Ferdinand Borschnek, Bundesanstalt für Wasserbau
Annika Kiesel, Bundesanstalt für Wasserbau

Einleitung

Die historische Kanalbrücke in Minden überführt den Mittellandkanal über die Weser (s. Abbildung 1). Seit der Fertigstellung der breiteren und tieferen stählernen Kanalbrücke im Jahr 1998 dient sie in erster Linie der Ausflugsschifffahrt sowie als Ausweichstrecke bei Trockenlegung der neuen Kanalbrücke.



Abbildung 1: Alte (vorne) und neue (hinten) Kanalbrücke in Minden. Die alte Kanalbrücke ist trockengelegt. Blick in Richtung westliches Widerlager

Im Rahmen der Bauwerksinspektion der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) wird die Kanalbrücke regelmäßig überprüft. 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 Zustandes und dessen Auswirkungen auf die Tragfähigkeit des Bauwerks durchgeführt (Kiesel et al. 2022).

Bauwerksbeschreibung

Allgemein

Erbaut von 1911 bis 1914 als massive Bogenbrücke mit einer Gesamtlänge von 370 m besitzt die historische Kanalbrücke 144B in Minden 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 (s. Abbildung 1). Alle Bögen sind als Dreigelenkbögen konstruiert (Hart 1913). Die Gewölb Bögen sind in bauzeitgemäßem, schwach bewehrtem Stahlbeton („Eisenbeton“) ausgeführt (s. Abbildung 2, links). Sie wurden auf Lehrgerüsten in Ortbeton

hergestellt (s. Abbildung 2, rechts). Die Lehrgerüste wurden dabei in Querrichtung versetzt, so dass ein streifenweiser Baufortschritt innerhalb eines Bogens zustande kam. Der eigentliche Bogen geht dabei im Scheitelbereich unmittelbar in die Sohle des Brückentroges über.

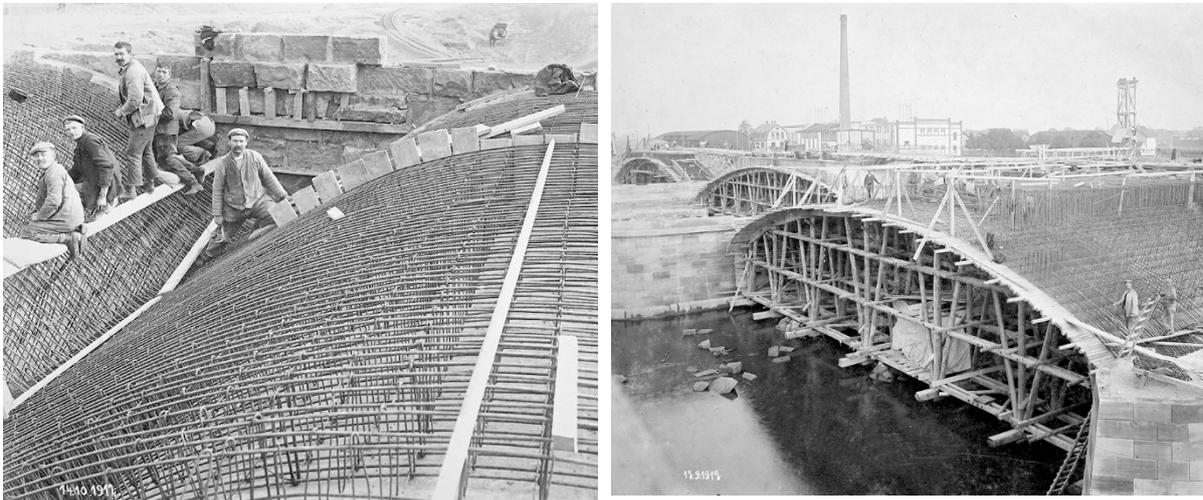


Abbildung 2: Bau der alten Kanalbrücke: Bewehrungseinbau der Bögen (links); Bau der alten Kanalbrücke: Lehrgerüste (rechts)

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 bilden 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 (Hart 1913).

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

Gelenke

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

Die einzelnen Wälzgelenke wurden in je fünf verschiedenen Höhen bei sonst gleicher Form gegossen und haben jeweils eine Breite von 1,0 m, 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 (Gericke; Loebell 1921). 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 Wälzelenke 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 (Veihelmann et. al. 2016). Beim Bau der Kanalbrücke Minden wurden solche Sicherungsbolzen verwendet und fotografisch sowie zeichnerisch dokumentiert (s. Abbildung 3).

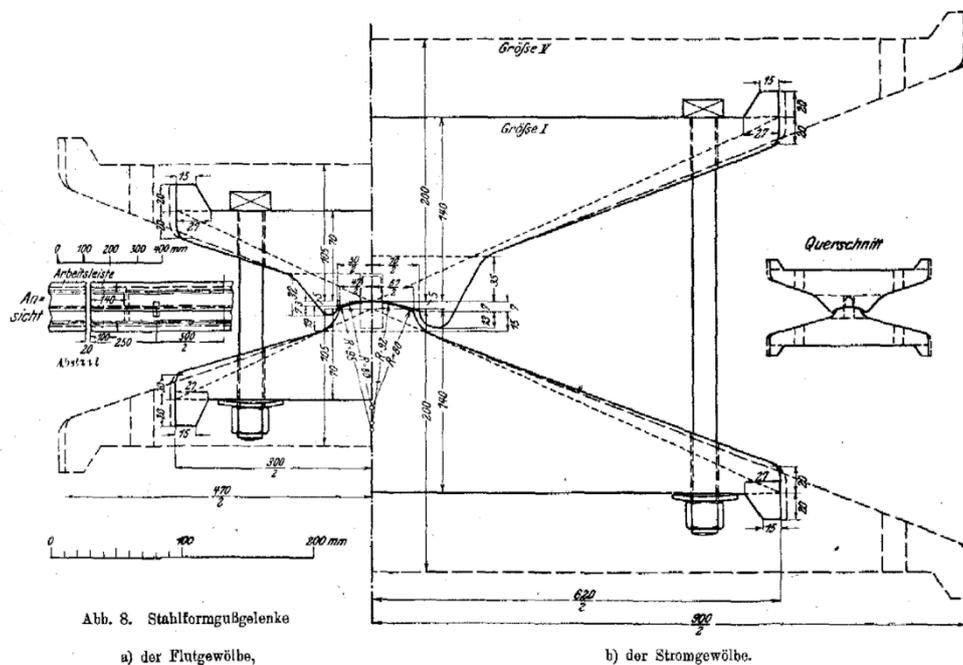


Abbildung 3: Zeichnung der Wälzelenke im Flutbogen (links) und Strombogen (rechts) mit Darstellung der Sicherungsbolzen

Vorteil der aus Stahlguss gefertigten Wälzelenke, deren beide Gelenkteile (Unter- und Oberteil) mit verschiedenen Radien gekrümmt sind, ist die höhere Festigkeit des Materials gegenüber vergleichbaren Gelenken aus Beton oder Stein. Weiterhin können durch die höhere Belastung der Gelenke und der damit einhergehenden Reduktion der Abmessungen, die Krümmungsradien kleiner gewählt werden. Dadurch schrumpfen die Berührungsflächen und folglich der Widerstand bei der Drehung. Zudem wird dadurch der Durchgangspunkt der Stützlínie genauer definiert.

Bautechnische Untersuchungen und erste Erkenntnisse

Im Rahmen einer routinemäßigen Begehung wurden die Scheitelgelenke des westlichen Flut- sowie des östlichen Strombogens gesichtet. Die in Augenschein genommenen Gelenkplatten waren stellenweise feucht, stark korrodiert und es ließen sich Bruchstücke des Korrosionsproduktes ablösen (s. Abbildung 6, rechts). Es wird vermutet, dass die betroffenen Gelenkachsen in der Vergangenheit starken Durchfeuchtungen infolge Undichtigkeiten der Trogfugen ausgesetzt waren. Ob dieses Schadensbild auch bei Gelenkplatten in anderen Bögen vorliegt, soll in einer erweiterten Zustandserfassung überprüft werden. Dabei werden neben den Scheitelgelenken auch die Kämpfergelenke untersucht, die aufgrund der größeren Entfernung zum Brückentrog einer

schwächeren Durchfeuchtung ausgesetzt sind und bei denen ein geringerer Schädigungsgrad erwartet wird.

Die Zugänglichkeit zu den Gelenkplatten ist kompliziert und grundsätzlich nur von unten möglich. Visuelle Erkundungen müssen durch die schmalen (ca. 15-20 mm) und insbesondere in den Kämpferbereichen sehr tiefen (ca. 800 mm) Fugen erfolgen (s. Abbildung 4).

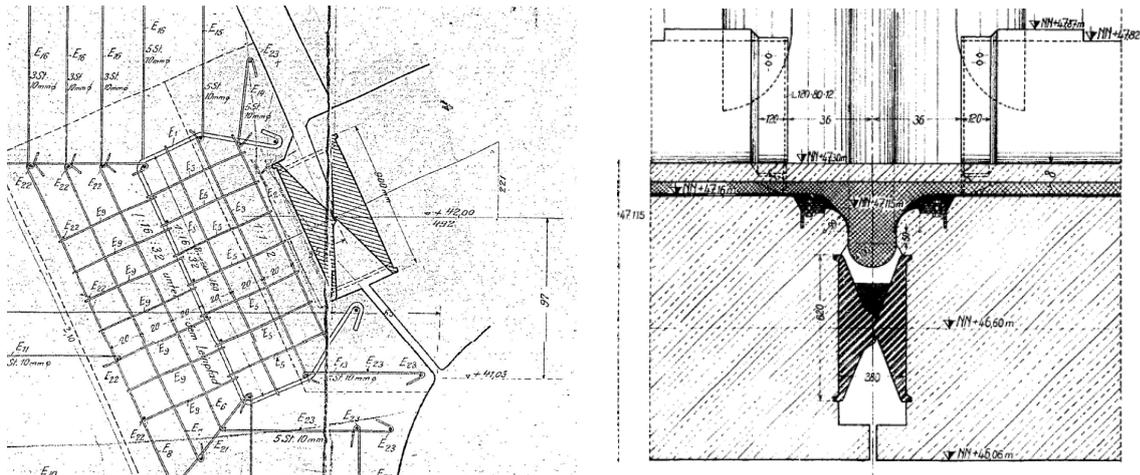


Abbildung 4: Lage der Gelenkplatten im Kämpferbereich (links) und Scheitelbereich (rechts)

Bei einem ersten Versuch zur gezielten Erkundung der Gelenkplatten wurde darüber hinaus festgestellt, dass die Fugen ab einer bestimmten Tiefe verschlossen sind und der Zugang zu den Lagern selbst mit einem Endoskop nur an sehr wenigen Stellen möglich ist. Der dreieckförmige Hohlraum unmittelbar an den Lagerplatten war dagegen weitgehend frei. Bei dem Material in den Fugen handelt es sich im Wesentlichen um Reste von Spritzbeton und Schalungsplatten aus einem mineralischen Gemisch. Wahrscheinlich wurden bei der Instandsetzung der Bögen in den 1980er Jahren die Fugen überspritzt und anschließend wieder freigeschnitten, jedoch nur in einer relativ geringen Tiefe.

Zum Entfernen des Materials aus den Fugen wurden verschiedene Technologien erprobt. Es zeigte sich, dass mit Hochdruckwasserstrahl (HDW) die besten Erfolge erzielt werden können, ohne Schäden am Beton zu verursachen. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass Rostablagerungen an den Lagern durch HDW entfernt werden, so dass der Schädigungsgrad besser bestimmt werden kann. Bei der Erprobung der Technologie zum Freilegen der Fugen wurden einige Meter Kämpfer- und Scheitelfugen freigelegt, die bereits inspiziert werden konnten (s. Abbildung 5, links). Die vollständige Freilegung der insgesamt ca. 720 m Fugen steht noch aus.



Abbildung 5: Freilegen einer Kämpferfuge mit HDW (links) und Endoskopaufnahme eines Lagers (rechts)

Für die Dokumentation des Zustands der Lager wurden Endoskope mit Kopfdurchmessern von ca. 6 mm mit Front- und Seitenkamera sowie zusätzliche Beleuchtungsmittel eingesetzt. Der Vorteil der Endoskopie besteht darin, dass auch in tiefen, schmalen Fugen erkundet werden kann. Der Nachteil besteht in der relativ schlechten Qualität der Bilder (Abbildung 5, rechts) und der schwierigen Orientierung. Bei den Scheitelfugen konnte in Bereichen mit einer etwas breiteren Fuge eine schmale Digitalkamera auf Stabstativ in den dreieckförmigen Hohlraum unter den Lagerplatten eingefädelt werden. Damit gelangen wesentlich bessere, detailreichere Aufnahmen (Abbildung 6, links).



Abbildung 6: Blick in die Scheitelfuge: Gelenkplatten mit verschiedenen ausgeprägten Korrosionsschäden (links); Bruchstück einer Gelenkplatte (rechts)

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 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 zerstörende Prüfmethode zum Einsatz kommen und festzulegen, welcher Stichprobenumfang erforderlich ist, um eine Aussage über die Gesamtheit der Gelenkplatten treffen zu können, aber gleichzeitig möglichst wenig zusätzliche Schädigung zu verursachen.

Messtechnische Untersuchung

Neben der Zustandserfassung finden messtechnische Untersuchungen der Kanalbrücke statt. Die Basis dazu bilden die Messdaten der Ingenieurvermessung aus der Bauwerksinspektion nach der Verwaltungsvorschrift VV-WSV 2602 (Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2012).

Von Interesse für das Verformungsverhalten der Brücke sind die Höhenmessungen der vorhandenen Objektpunkte. Anhand dieser 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). Diese Messpunkte befinden sich nicht direkt auf der Tragstruktur des Bauwerks, den Dreigelenkbögen, sondern auf der Brüstung des Betriebsweges. Dieses Nebenbauteil, welches an die Haupttragstruktur angeschlossen ist, wird zweifellos auch Bewegungen quer zur Kanalachse erfahren. Weiterhin stellen die Messkampagnen Momentaufnahmen des Bauwerks unter unterschiedlichen Einwirkungssituationen dar, wobei insbesondere die Temperaturen (Luft- und Bauwerkstemperatur) stark differieren und teilweise nicht erfasst wurden. Eine Möglichkeit, die einzelnen Messkampagnen 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 der sich daraus ergebenden Verformung der Tagesgang der Temperatur kaum von Bedeutung, da es sich nur sehr träge der Umgebungstemperatur anpasst.

Werden die Messreihen nach der für sie dokumentierten Lufttemperatur sortiert (blau für kalte Tage, rot für warme Tage), zeigen die gemessenen Höhendaten eine große Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur (s. Abbildung 7).

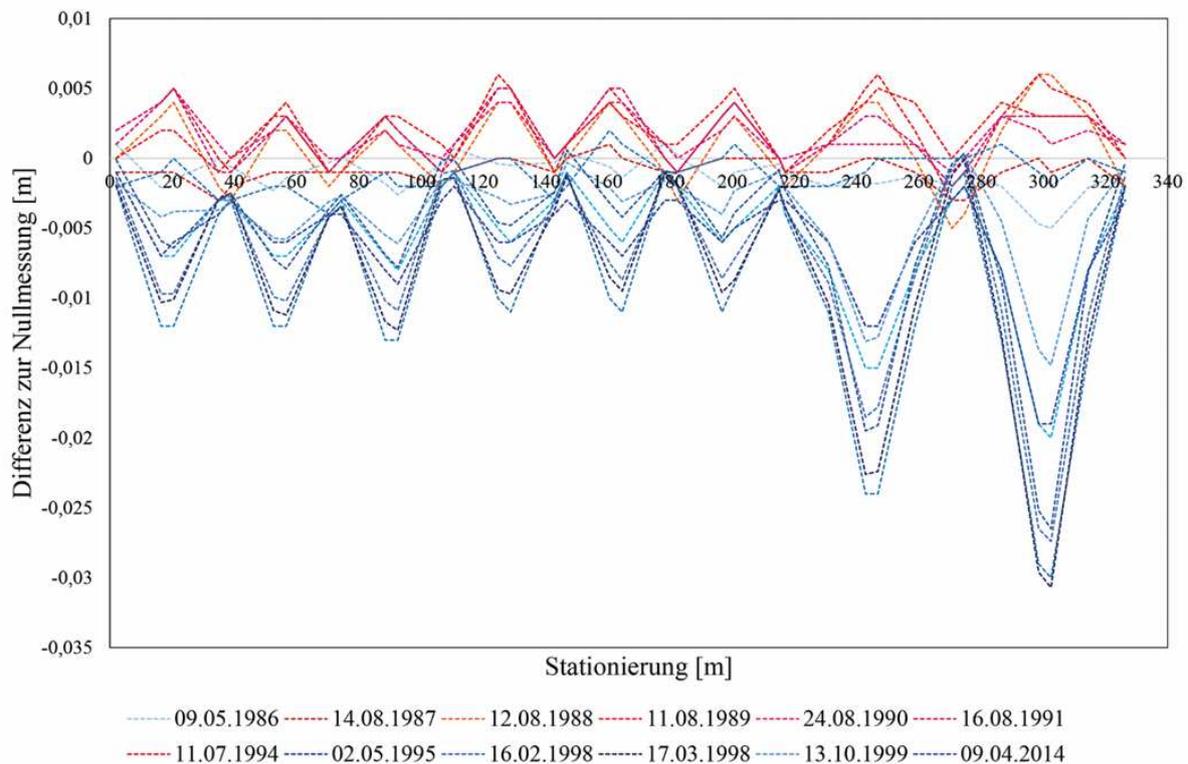


Abbildung 7: Höhendifferenzen zur Referenzmessung (Nullmessung) an der alten Kanalbrücke: rote Kurven stellen Messungen an warmen Tagen dar, blaue Kurven Messungen an kalten Tagen

Seit 1999 wird regelmäßig die Trockenlegung des Bauwerks messtechnisch begleitet. Anhand der vorhandenen Messreihen zeigt sich, dass die Wasserlast einen deutlich geringeren Einfluss auf die Verformungen des Bauwerks hat, als die Temperatureinwirkungen. Da jedoch bisher keine Messreihe über einen entsprechend langen Zeitraum vorliegt, welche die Bauwerksverformungen sowie die Umgebungs- und Bauteiltemperaturen im Laufe eines Jahreszyklus erfasst, sind Aussagen über Größenverhältnisse und Abhängigkeiten von Verformungen zur Bauwerkstemperatur nur schwer zu treffen.

Terrestrisches Laserscanning

Als kurzfristig umsetzbare Alternative zu einer Dauermessung für einen Teil des Bauwerks über einen Jahreszyklus wurden in Zusammenarbeit mit dem Referat „Geodäsie und Fernerkundung“ der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) zwei Messkampagnen eines terrestrischen Laserscannings (TLS) durchgeführt (s. Abbildung 8):

- TLS-Scan bei Trockenlegung und bei gefülltem Trog
- drei TLS-Scans über den Jahresgang (Sommer-Winter-Sommer)

Der Laserscan bietet die Möglichkeit, die Oberfläche eines Bauwerks zu erfassen. Die dabei erzeugte Vielzahl an Messpunkten wird als sogenannte Punktwolke bezeichnet. Punktwolken einzelner Messkampagnen können im Postprocessing miteinander verglichen und daraus eine

Verformungsfigur der gemessenen Oberfläche abgeleitet 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.

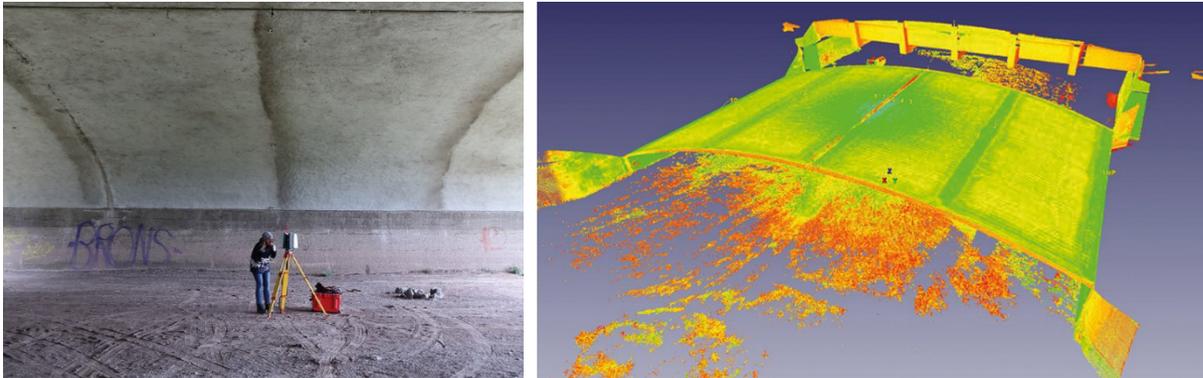


Abbildung 8: TLS-Scan: Messaufbau mit ScanStation Leica P30, (links); aufgenommene Punktwolke (Rohdaten) des Strombogens, (rechts)

Die Lage der Messpunkte auf dem zu untersuchenden Objekt können aufgrund des Funktionsprinzips des terrestrischen Laserscanners nicht im Vorfeld festgelegt und auch nicht reproduziert werden. Nach der Bereinigung der Punktwolken werden diese mittels des M3C2-Punktwolkenvergleichs (Multiscale Model to Model Cloud Comparison) (Lague et al. 2013) analysiert und in einzelnen Längsschnitten miteinander verglichen. An einem funktionierenden Momentengelenk muss in der Verformungsfigur eine Änderung der Tangentenrichtung 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 Troges“ (s. Abbildung 9).

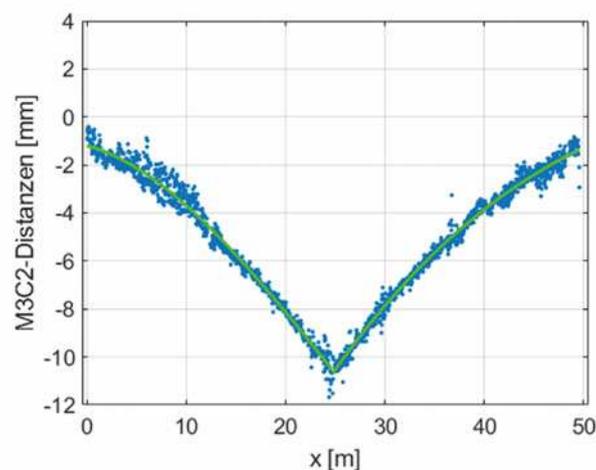


Abbildung 9: M3C2-Auswertung der Distanzen (blau) und approximierte Verformungsfigur (grün) in einem Längsschnitt des Strombogens

Die Analyse der erstellten Verformungsfigur erlaubt so Rückschlüsse auf die Funktionsfähigkeit der Scheitelgelenke der zugehörigen Gelenkachse. Weitere Auswertungen der zweiten und dritten Messkampagne sind in Bearbeitung.

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 vollständig ausgewerteten Messkampagnen mittels TLS-Laserscanning weisen auf eine vorhandene Rotationsfähigkeit der Scheitelgelenke in den untersuchten Bögen hin.

Für die weitere Analyse des Bauwerksverhaltens ist es vorgesehen, eine automatisierte Dauer-messung 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. Zudem sollen geplante numerische Untersuchungen des Tragwerks helfen, mögliche Tragfähigkeitsdefizite der korrodierten Gelenkplatten zu bewerten.

Literatur

- Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.) (2016): BAWEmpfehlung „Temperatureinwirkungen auf stählerne Kanalbrücken“.
- DIN EN 1991-1-5:2010-12 (2010): Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen. Beuth, Berlin.
- Gericke; Loebell (1921): Die Bauten des Ems-Weser-Kanals in der Weserniederung bei Minden in Westfalen. In: Zeitschrift für Bauwesen, 71. Jahrgang 1921. S. 238-259 und 364-371.
- Hart (1913): Der Ems-Weser-Kanal und seine Eisenbetonbauten. In: Beton und Eisen, Heft 8/1913, S. 157-162.
- Jensen, Waldemar (1951): Die Wiederherstellung der Überführung des Mittellandkanals über die Weser in Minden in den Jahren 1945 bis 1949. In: Die Bautechnik, Heft 6/1951, S. 121-125, Heft 8/1951, S. 184-189; Heft 10, S. 232-236.
- Kiesel, A.; Stein, R.; Borschnek, F.; Stephan, C. (2022) Bautechnische Untersuchungen an der historischen Kanalbrücke Minden. Bautechnik 99, H. 5, S. 358–366.
<https://doi.org/10.1002/bate.202200025>.
- 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, Volume 82, S. 10–26.
- Veihelmann, Karen; Holzer, Stefan M. (2016): Die Verwendung von Gelenken im Massivbrückenbau - Zur Geschichte des Dreigelenkbogens. In: Beton- und Stahlbetonbau, Heft 2/2016, S. 99-112.
- Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (Hrsg.) (2012): Verwaltungsvorschrift „Ingenieurvermessung im Bauwesen VV-WSV 2602“.