

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Fleischer, Helmut

Standicherheit der alten Schachtschleuse während der Bauphase der neuen Weserschleuse

BAWMitteilungen

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104943>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Fleischer, Helmut (2018): Standicherheit der alten Schachtschleuse während der Bauphase der neuen Weserschleuse. In: BAWMitteilungen 104. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 109-116.

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.



Standicherheit der alten Schachtschleuse während der Bauphase der neuen Weserschleuse

Dr.-Ing. Helmut Fleischer, Bundesanstalt für Wasserbau

Die alte Schachtschleuse Minden stellt aufgrund ihrer Lage und der Einbindung in das Wasserstraßenkreuz einen wichtigen Knotenpunkt der deutschen Binnenschifffahrt dar. Nicht zuletzt infolge der gelungenen architektonischen Gestaltung ist sie darüber hinaus eine Attraktion für Touristen. Zusammen mit der Kanalbrücke und dem Hauptpumpwerk steht die Schleuse seit 1987 unter Denkmalschutz. Das 100-jährige Bestehen der Mindener Schachtschleuse wurde 2014 mit der Vorstellung einer Sonderbriefmarke gewürdigt. Dementsprechend wurde im Rahmen der Neubauplanung der Erhaltung und dem Schutz des alten Bauwerks eine besondere Aufmerksamkeit entgegengebracht.



Bild 1: Ansicht der alten Schachtschleuse (im Vordergrund rechts) und der im Bau befindlichen neuen Schleuse aus Nord-West

1 Vorgeschichte

Die neue Weserschleuse wurde unmittelbar neben der seit über 100 Jahren bestehenden Schachtschleuse errichtet (Bild 1). Das als Sparschleuse konzipierte alte Bauwerk wurde 1914 in Betrieb genommen und besitzt bei einer Kammerbreite von 10 m und einer Kammerlänge von 85,6 m in Abhängigkeit vom Wasserstand der Weser eine Fallhöhe zwischen 9,7 m und 14,7 m. Die Kammerwände der vorwiegend in Stahlbeton ausgeführten Anlage bilden gleichzeitig die Begrenzung der beidseitig symmetrisch angeordneten, geschlossenen Sparbecken (Bild 2). Am Übergang zu den Häuptern und in Kammermitte sind die Wände durch 2 cm starke und mit Bleiblech gedichtete Dehnungsfugen unterbrochen. Im Gründungsbereich steht „fester“ bzw. „harter, klüftiger Schieferthon“ (Loebell, 1921) an.

Die statische Berechnung bzw. Bemessung der alten Schleuse erfolgte in Anlehnung an die Bestimmungen des Deutschen Ausschusses für Eisenbeton (D.A.f.E.) von 1904 bzw. 1907 nach dem Verfahren nach MÖRSCH („deutsches Verfahren“). Die konkreten bauaufsichtlichen Festlegungen waren in den damaligen „Ministeriellen Bestimmungen für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton“ des ehemaligen preußischen „Ministeriums der Öffentlichen Arbeiten“ enthalten, auf die in der Bestandsstatik auch wiederholt hingewiesen wird. Die zulässige Betonspannung betrug lediglich 4 N/mm^2 ; die Stahlzugspannung war entsprechend der damaligen Bewehrungsstähle mit Fließgrenzen um 220 N/mm^2 auf nur 100 N/mm^2 begrenzt. Aus diesen statischen Ansät-

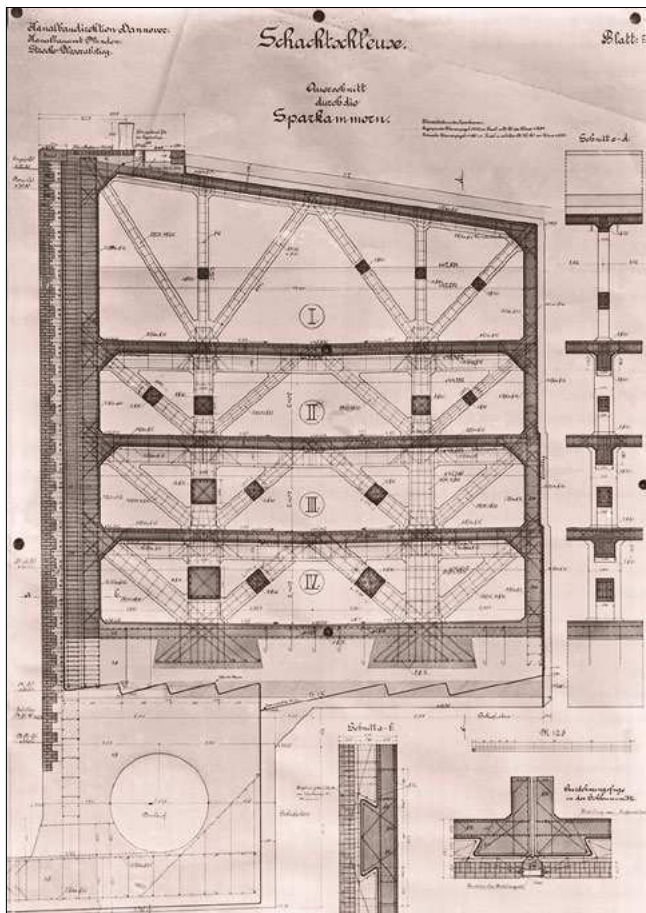


Bild 2: Querschnitt durch die östliche Kammerwand der bestehenden Schachtschleuse mit seitlichem, ausgesteiftem Sparbecken aus Stahlbeton



Bild 3: Bewehrung im Sohlenbereich der alten Schachtschleuse (oben) und der neuen Weserschleuse (Quelle: oben BAW, unten NBA Hannover)

zen ergeben sich für die heutige Situation in nicht geringem Maße rechnerische Standsicherheitsreserven.

Das statische System des Kammerquerschnitts ist im Wandbereich infolge der eingebauten Diagonalstreben der Sparbecken als sehr steif und verformungsarm einzuschätzen. Da die Berechnung solcher statisch hochgradig unbestimmter Systeme zur Bauzeit ohne Computer und entsprechende Software mit großen Schwierigkeiten verbunden war, mussten grobe, i. d. R. auf der sicheren Seite liegende Vereinfachungen vorgenommen werden. Demgemäß erfolgte die Bemessung der Diagonalstäbe im Sparbeckenbereich so, dass sie allein die gesamte Horizontalbelastung bei voller Schleusenammer sowie leeren Sparbecken und ohne Berücksichtigung des widerstehenden Erddrucks aufnehmen können. Die Dimensionierung der Kammersohle hingegen wurde in Anbetracht des felsartigen Untergrundes nur für eine Auftriebsbelastung seitens des anstehenden Grundwas-

sers auf Niveau des mittleren Unterwasserstandes vorgenommen. Daher ist im Sohlenbereich relativ wenig Bewehrung enthalten, was besonders im Vergleich mit der Bewehrungsmenge an der neuen Weserschleuse ins Auge fällt (Bild 3).

Um eine ausreichende Wasserundurchlässigkeit der massiven Schleusenbauteile zu gewährleisten, wurde kammerseitig eine Abdichtung mittels dreilagiger Asphaltpappe angebracht. Der Schutz dieser Dichtung erfolgt durch eine verklinkerte und mit schwalbenschwanzförmigen Rippen am hinteren Wandteil verankerte Vorsatzschale. Im Bereich der Sparbecken kam zum Schutz der Betonoberflächen ein geglätteter „Zementbügelputz“ in einer Stärke von 2 cm zur Anwendung (Hart, 1913). Zusammen mit der Putzschicht beträgt die Betondeckung der Bewehrung im Sparbeckenbereich ca. 4 cm, erreicht damit also nicht ganz das heute vorgegebene Maß.

Die Bauausführung der alten Schleuse erfolgte entsprechend der damaligen Betontechnologie mit den üblichen Hilfsmitteln. Bereits kurz nach Fertigstellung wurden einige Trennrisse im Beton festgestellt. Es waren ferner Oberflächenschäden im Kammerwandbereich nachzubessern (Bild 4), was später nochmals wiederholt bzw. auf größere Bereiche der Kammerwände ausgedehnt werden musste.



Bild 4: Betoninstandsetzung im Bereich der Kammerwände unmittelbar nach Fertigstellung

Vor Baubeginn der neuen Weserschleuse war der Erhaltungszustand der alten Anlage aus statischer Sicht weitgehend unauffällig (BAW, 1999). Während der Bauwerksinspektion beobachtete Querrisse – besonders in Verlängerung der Trennungsfugen und im Sohlenbereich – sind typisch für Bauwerke dieser Art und für die Standsicherheit nicht relevant. Auffällige, belastungsbedingte Rissbilder im Beton der seitlichen Sparbecken wurden nicht festgestellt. Bemerkenswert jedoch war ein ca. 40 m langer, horizontaler Trennriss unmittelbar über den seitlichen Füllöffnungen im Fußbereich der östlichen Kammerwand, der bereits unmittelbar nach Fertigstellung des Bauwerks beschrieben wurde.

Aus den regelmäßigen vom zuständigen Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) durchgeführten Inspektionsmessungen ergab sich beim Wechsel des Betriebswasserstandes von Unter- zu Oberwasser eine Aufweitung der Kammer von ca. 6 mm; elastische Setzung im Plattformbereich an den Kammerwänden hingegen konnten

nicht gemessen werden. Im Bereich der Außenwände der Sparbecken entstanden bei Schleusenbetrieb reversible Höhenänderungen um 1 mm. Insgesamt war damit auch das Verformungsverhalten plausibel und ließ keine Unregelmäßigkeiten am Tragwerk erkennen. Zusammenfassend konnte somit zu Beginn der Neubaumaßnahme der Erhaltungszustand der alten Schachtschleuse unter Berücksichtigung des Bauwerksalters und der bauwerkstypischen Beanspruchung weitgehend als gut bezeichnet werden.

2 Einwirkungen der Neubaumaßnahmen auf die bestehende Schachtschleuse

Als eine der ersten Fragen zu Beginn der Planungsarbeiten für die neue Schleuse war deren Positionierung bzw. räumliche Anordnung zu klären. Für die bauliche Gestaltung, Trassierung, Baudurchführung, Umlegung von Straßen etc. war entscheidend, wie weit der Abstand zwischen altem und neuem Bauwerk verringert werden konnte. Im Rahmen von Voruntersuchungen wurde die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) vom zuständigen Neubauamt Hannover beauftragt, eine erste statische Analyse der vorhandenen alten Schachtschleuse vorzunehmen, die den extremen Lastfall „Freigelegte Kammerwand bis auf Felshorizont“ berücksichtigen sollte. Es war also zu überprüfen, ob auch bei einer einseitig freistehenden Schleusenkammer ohne entlastenden seitlichen Erddruck eine noch ausreichende Standsicherheit gegeben ist.

Die Berechnung erfolgte grundsätzlich für den ebenen Fall für einen repräsentativen Kammerquerschnitt. Eine Untersuchung im Längsschnitt durch das Bauwerk bzw. im Bereich der Schleusenhäupter, der Brücke oder der Vorhäfen war im Rahmen dieser Betrachtungen aufgrund des frühen Planungsstandes noch nicht vorgesehen. Die statischen Untersuchungen wurden mit Hilfe der Finiten-Elemente-Methode (FEM) durchgeführt, sodass dem stark gegliederten Querschnitt der Schleuse mit Wechsel zwischen stabförmigen und scheibenförmigen Elementen ausreichend Rechnung getragen werden konnte. Eine Kalibrierung der verschiedenen FEM-Modelle erfolgte anhand der vorliegenden Messwerte der zurückliegen-

ferenzen und entsprechenden Beanspruchungen der Fugendichtungen auszugehen. In Anbetracht dieser Gesamtsituation wurde empfohlen, ein umfangreiches Bauwerksmonitoring im Bereich der bestehenden Schachtschleuse durchzuführen.

3 Monitoring als ergänzende Maßnahme zur Gewährleistung der Standsicherheit der bestehenden Schleuse

Ein Bauwerksmonitoring ist eine fortlaufende und weitgehend automatisierte messtechnische Erfassung aussagekräftiger mechanischer Größen an Tragwerken. Bestandteil – neben der eigentlichen Messung – ist immer eine ingenieurmäßige Bewertung und letztendlich die Option, auf einen risikobasierten Havarieplan zurückgreifen zu können. Ziel der messtechnischen Überwachung ist vorrangig das rechtzeitige Erkennen standsicherheitsgefährdender Tragwerkszustände. Ferner ergibt sich im Ergebnis der Auswertung die Möglichkeit, Einflüsse auf die Gebrauchstauglichkeit festzustellen und zu bewerten.

Zur Überwachung der Verformungen an der bestehenden Schachtschleuse wurde empfohlen, ergänzend zu den regelmäßig nach VV-WSV 2602 stattfindenden Maßnahmen (geodätische Messungen inkl. Kammerbreite und Erfassung der Wasserstände) zusätzlich Verschiebungen an den Bewegungsfugen, Wandverkipnungen (Neigungsänderungen) und Betontemperaturen im Tragwerk messtechnisch zu erfassen. Hierfür wurden seitens der BAW in einem entsprechenden Konzept Art, Anzahl und Anordnung der Messgeber gemäß der zu erwartenden Verformungen bzw. unter Sicherheitsüberlegungen vorgegeben und die jeweiligen Werte für Messbereich, Linearitätsfehler, Auflösung und Schutzart nach DIN EN 60529 genannt. Eine Übersicht zu den im Bereich der alten Schachtschleuse durchzuführenden Messungen ist im Bild 9 (ein Foto mit markierten Messstellen) im Beitrag Neumann et al. in diesem Heft bzw. in der nachfolgenden Tabelle enthalten.

Die Erfassung der Neigungs- und Distanzänderungen im Fugenbereich sowie der Temperatur- und Wasserstandmesswerte erfolgte automatisch im 3-Minuten-Takt. Besonders bei den Distanzaufnehmern („Fissurometer“) und den

Objekt der baugeometrischen Überwachung	Art der Messung	Messungsbezug/ Sensorik	Beobachtungsverfahren
	geodätisch	Alle geotechnische automatische Messungen mit Temperaturgebern ausrüsten und betreiben	
	geotechnisch		
	sonstige		
<u>Kammerweitenänderung</u> 8 Messpunkte 4 Messlinien	Längenmessung	Invarband, relativ	händisch
<u>Fugenabstandsänderung</u> 2 x 3 Stück X, Y-Sensoren	Längenmessung	Distanzsensoren	automatisch
<u>Absolutmessung</u> best. Punkte Häupter und 23 Messpunkte Kammer	geodätisch	Absolut Messnetz	geodätisch
<u>Wandverkipfung</u> Neigungssensoren einachsige Häupter 4 Messstellen X-Achse	Neigungsmessung	Neigungssensoren/ Winkel	automatisch
<u>Wandverkipfung</u> Neigungssensoren einachsige Kammer 4 Messstellen Y-Achse	Neigungsmessung	Neigungssensoren/ Winkel	automatisch
<u>Betontemperatur</u> , Temperaturgefälle durch 2 Messketten mit je 3 Sensoren in den Betonwänden	thermisch	Temperatursensorketten	automatisch
<u>Wasserstand</u> in Kammer (Pegel mit N.N. Bezug)	hydrologisch	Datenlogger mit N.N. Bezug	automatisch

Bild 7: Zusammenstellung der Messungen bzw. Messtechnik im Bereich der Schachtschleuse

Neigungsgebern war auf eine vor Sonnenstrahlen und mechanischer Beschädigung geschützte Anordnung zu achten.

Die händischen Messungen der Kammerbreite bzw. die geodätische Aufnahme von Lage und Höhe fanden ergänzend zu den bisherigen Maßnahmen nach VV-WSV 2602 durchschnittlich im 2-Wochen-Takt statt. Die Messanlage wurde in der ersten Jahreshälfte 2010 installiert und als Teil der Gesamtanlage für den Neubaubereich betrieben. Die anfallenden Messwerte wurden grafisch in Form von Ganglinien in den Messberichten zusammengestellt bzw. auf einem per Internet erreichbaren Datenserver allen berechtigten Nutzern permanent zugänglich gemacht. Die Messwerteerfassung und Weiterleitung sowie die entsprechende Messberichterstattung erfolgte durch ein beauftragtes, ausreichend erfahrenes Vermessungsbüro im Auftrag des Bauherrn.

Die Messungen begannen ausreichend rechtzeitig, so dass Daten für einen Zeitraum zur Verfügung standen,

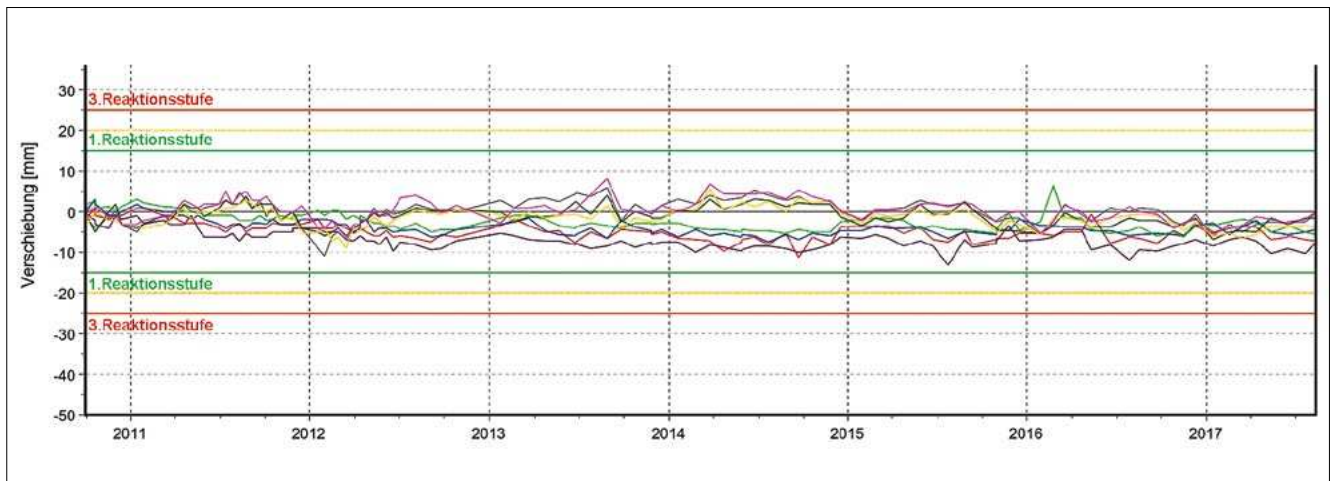


Bild 8: Beispiel für die gemessenen Ganglinien der Horizontalverschiebungen der östlichen und westlichen Kammerwand quer zur Schleusenachse mit Angabe der drei Reaktionsstufen (Quelle: Angermeier Ingenieure GmbH, 2016)

in dem noch keine größeren Einflüsse aus der Baumaßnahme auftreten konnten. In Auswertung dieser Datenreihen war somit eine erste Bewertung des Verformungsverhaltens der Schachtschleuse unter Regelbetrieb und – davon ausgehend – die Festlegung von Grenzwerten für die einzelnen Messgeber unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen Temperatureinflüsse möglich. Für die Grenzwertdefinition wurden drei Reaktionsstufen vorgegeben, bei deren Überschreitung unterschiedliche Maßnahmen vorgesehen waren (Bild 8).

ratur und Kammerwasserstand unterschiedlich intensiv ausgeprägt waren. Die Korrelation der Veränderungsbeträge einzelner Geber untereinander war teilweise stark, teilweise jedoch auch nur gering ausgebildet, was insgesamt auf ein relativ komplexes Verformungsverhalten des Tragwerks hindeutet. Insgesamt mussten jedoch bei den automatisierten Messungen über den gesamten Messzeitraum ab 2010 bis 2017 – von wenigen, überwiegend messtechnisch begründeten Ausnahmen abgese-

4 Ausgewählte Messergebnisse im Rahmen des Monitorings

4.1 Automatische Messungen

Im Bild 9 sind beispielhaft die 2-Tages-Verläufe der horizontalen Differenzverschiebungen in der östlichen Bewegungsfuge zwischen Oberhaupt und Schleusenammer in Längs- und Querrichtung sowie die Neigungsänderung der westlichen Kammerwand dargestellt. Zum Vergleich sind die Änderungen des Betriebswasserstandes und der Verlauf der Lufttemperatur mit erfasst, was deren Einfluss auf den Messwerteverlauf gut erkennen lässt.

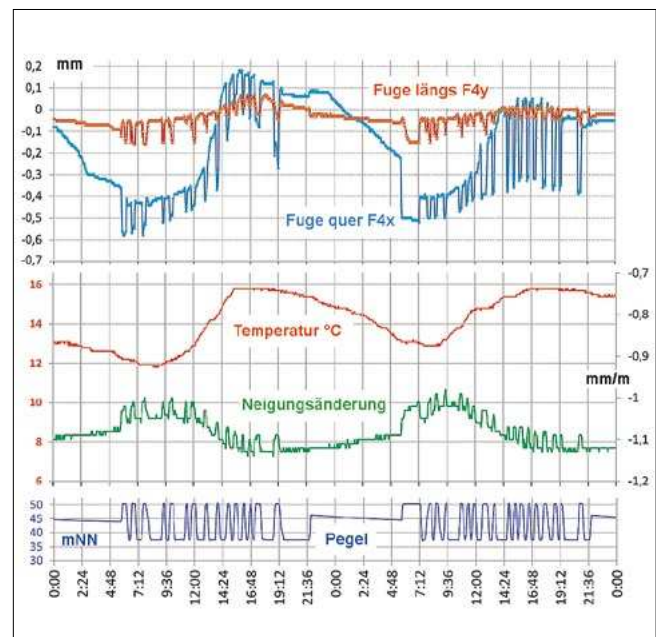


Bild 9: Beispiel für einen typischen Messwerteverlauf von Fugenbreitenänderungen in Längs- und Querrichtung (oben), Neigungsänderung (Mitte) und Betriebswasserstand (unten) im Kammerbereich der Schachtschleuse an zwei Tagen im September 2012

Bei Betrachtung aller Ganglinien der automatisierten Messungen der Neigungs- und Fugenabstandsänderungen war auffällig, dass die Abhängigkeiten von Tempe-

hen – keine Überschreitungen der kritischen Grenzwerte festgestellt werden.

4.2 Händische Messungen

Eine wesentliche Messgröße zur Bewertung des Tragwerkszustandes der Schleuse ist die Kammerbreite bzw. deren Änderung. Die Messung erfolgte mittels Konvergenzmessband im 2-Wochen-Takt. Eine Übersicht der Kammerbreitenänderungen in Kammermitte bei Oberwasserstand zeigt Bild 10. Besonders in der ersten Phase ist die Abhängigkeit von den jährlichen Temperaturschwankungen gut erkennbar: Diese führen in einem periodischen, sinusförmigen Verlauf zu einer bauwerkstypischen Aufweitung der Schleusenkammer im Sommer und einer Einengung im Winter. Aufgrund der sehr kompakten Kammerwandkonstruktion ist die Kammerbreitenänderung mit ca. 3 mm relativ klein. Insgesamt sind die Werte zunächst plausibel und gut nachvollziehbar. Auffälligkeiten treten – wie auch an einigen anderen Messwerten im Bereich der Baugrube für die neue Schleuse – etwa ab Mitte 2014 auf und stehen im Zusammenhang mit dem Baugeschehen. Über den Gesamtverlauf der Baumaßnahme entsteht eine irreversible Kammeraufweitung von nicht mehr als 2 mm, die bezüglich der Standsicherheit als unkritisch zu bewerten ist.

Die durchgeführten geodätischen Lage- und Höhenmessungen mit üblichem Messgerät besitzen im Vergleich zu den automatisierten Relativmessungen und zur Kammerbreitenmessung zwar eine geringere Genauigkeit, erlauben aber wichtige Schlussfolgerungen zu den Absolutver-

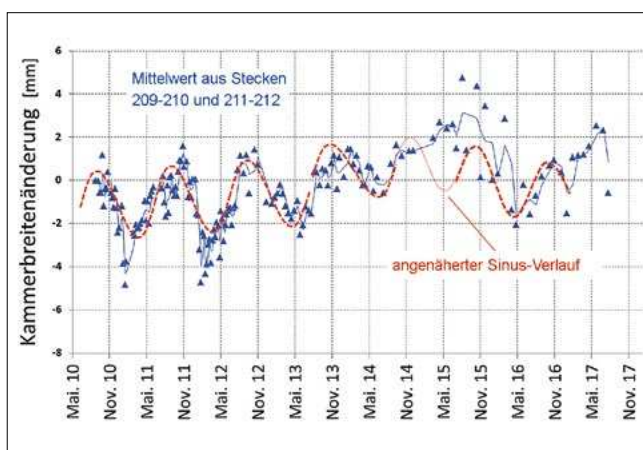


Bild 10: Kammerbreitenänderung im Mittelbereich der Schleusenkammer über den gesamten Messzeitraum

änderungen am Bauwerk. Auch diese Messwertverläufe zeigen erwartungsgemäß eine saisonale Abhängigkeit von der Temperatureinwirkung. So traten periodische Höhenänderungen im Plattformbereich von 2 bis 4 mm und Wandverschiebungen im Kammerbereich quer zur Achse in der gleichen Größenordnung auf. In Längsrichtung hingegen waren kaum Veränderungen feststellbar. Im gesamten Beobachtungszeitraum waren irreversible Setzungen im Bereich der Schleusenkammer von ca. 5 mm und horizontale Wandkopferschiebungen von etwa 3 mm zu beobachten (vgl. Bild 8). Bemerkenswert ist, dass die Messwerte auf eine geringe Querverschiebung der Schleusenkammer im Plattformbereich von der neuen Schleuse weg in Richtung Westen hindeuten.

5 Sonderfall Unterhauptbrücke

An der bestehenden, dreifeldrigen Gewölbebrücke am Unterhaupt der Schachtschleuse (Bild 11) wurden händisch die Veränderung der Bogenweite und die Setzungen im Pfeiler- bzw. Widerlagerbereich erfasst.



Bild 11: Ansicht der alten Schachtschleuse nach Fertigstellung mit Blick auf die Unterhauptbrücke

In Vorbereitung des Baugrubenaushubs wurde das östliche, an die Baugrube angrenzende Brückenwiderlager mit Pfählen unterfangen. Die verankerte Bohrpfahlwand des Baugrubenverbaus reicht unmittelbar an die Widerlagerkonstruktion heran und wurde hier im Rahmen des Monitorings mittels Inklinometer messtechnisch überwacht. Bei den Messwerten für die Stützweiten der Brücke

(Bild 12) fällt auf, dass der mittlere, auf dem Schleusenunterhaupt gegründete Bogen (blaue Linie) sich jahreszeitlich periodisch verhält. Bei den beiden separat gegründeten Randbögen hingegen ist die Abhängigkeit von der Jahrestemperatur nur gering ausgeprägt. Stattdessen war ab Mitte 2011 mit fortschreitendem Aushub der Baugrube ein markanter Verformungstrend zur Spannweitenverringering festzustellen, der sich erst nach ca. einem Jahr beruhigte. Größere Schäden, Risse etc. waren visuell nicht feststellbar, sodass auf entsprechende Maßnahmen verzichtet werden konnte. Ursache für die auffälligen Verformungen war das Anspannen von Injektionsankern des Baugrubenverbau, was mit den Inklinometermessungen an der Bohrpfahlwand bestätigt wurde.

und die Tragfähigkeit der alten Schleuse zu keinem Zeitpunkt gefährdet war. Die anhand der FEM-Berechnungen als Maximum prognostizierten Werte für die Verformungen wurden nicht gemessen. Unabhängig hiervon bleibt es empfehlenswert, im Rahmen der nächsten Bauwerksprüfung die hoch beanspruchten Bereiche des Bauwerks im Sohlenbereich und der alten Unterhauptbrücke auf neue entstandene Rissbildung oder anderweitige Auffälligkeiten zu kontrollieren. Insgesamt kann festgestellt werden, dass mit dem Monitoring im Bereich der alten, denkmalgeschützten Schachtschleuse Minden jederzeit die Möglichkeit gegeben war, Einwirkungen des Bauprozesses auf den Beanspruchungszustand des Tragwerks zu erkennen und hinsichtlich der Standsicherheit zu bewerten.

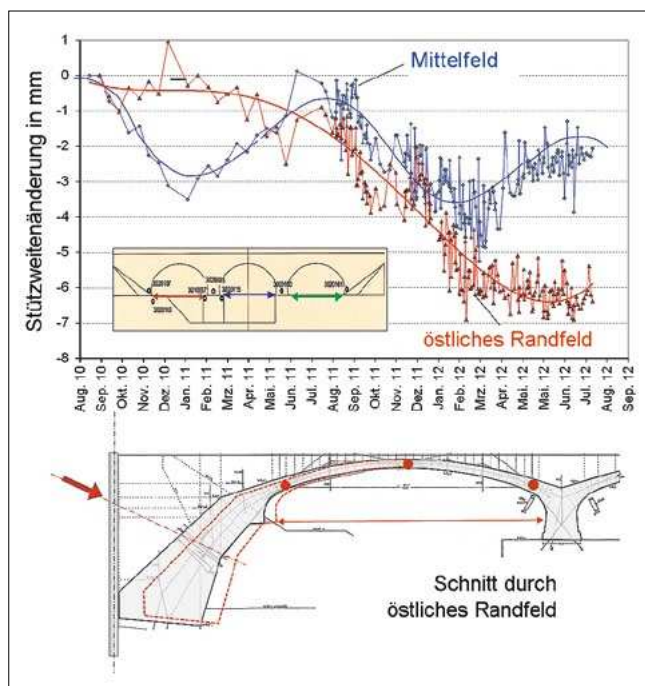


Bild 12: Verlauf der Stützweitenänderung an der alten Unterhauptbrücke im Zeitraum August 2010 bis August 2012 (oben) und Systemskizze im Bereich des östlichen Brückenfeldes

6 Fazit

Die Analyse der Ergebnisse der statischen Untersuchungen und der umfangreichen messtechnischen Überwachung lässt nach Abschluss der Baumaßnahmen den Schluss zu, dass keine kritischen Messwerte auftraten

7 Literatur

Angermeier Ingenieure GmbH (2016): Neubau der Weserschleuse Minden – Messbericht 228 – Dokumentation und Auswertung aller Messungen zur baugemessenen Überwachung an den Bestandsbauwerken und Baubehelfen im Bau- und Bauumfeld; 08. November 2016.

BAW (1999): Zweite Schleuse Minden (VKN). Gutachterliche Stellungnahme zur Standsicherheit der bestehenden Schachtschleuse bei einseitiger Freilegung der Kammerwand. BAW-Nr. 99116460 vom 15. November 1999.

Hart, O. (1913): Der Ems-Weser-Kanal und seine Eisenbetonbauten. Beton und Eisen, Heft VI – VIII, S. 126-176.

Loebell, O. (1921): Die Bauten des Ems-Weser-Kanals in der Weserniederung bei Minden i. W. Zeitschrift für Bauwesen, S. 238-243.

Neumann, S. et al. (2018): Messtechnische Begleitung beim Bau der Weserschleuse in Minden – Konzeption, Umsetzung und Vergleich der Messergebnisse mit der Prognose. In: **BAWMitteilungen** Nr. 104, S. 65-84.