

# Überwachung auf Spanndrahtbrüche an der Elsenbrücke in Berlin mittels der Schallemissionsanalyse (AT)

Manuel Löhr und Kai Kleeberg, GMA-Werkstoffprüfung (MISTRAS Gruppe), Niederlassung Stade  
Katrin Saloga, König und Heunisch Planungsgesellschaft, Niederlassung Berlin

## Zur Elsenbrücke

Die Elsenbrücke wurde am 7. Oktober 1968 als Straßenbrücke feierlich eröffnet. Sie verbindet die beiden Berliner Stadtteile Friedrichshain-Kreuzberg und Treptow-Köpenick. Die Brücke überspannt mit einer Gesamtlänge von 155 m die Spree. Der dreifeldrige gevoutete Durchlaufträger aus Spannbeton besteht aus zwei getrennten Überbauten (Teilbauwerke). Jedes Teilbauwerk weist eine Breite von 17,20 m zwischen Außenkante Gesims und Mittelfuge auf und besteht aus zwei über die Fahrbahnplatte gekoppelten Hohlkästen. In Längsrichtung wurden die Überbauten nach dem Spannblockverfahren (TGL 173-33, Juli 1967) vorgespannt, bei dem je Steg ein Spannglied eingebaut worden ist.

Im Sommer 2018 wurde im Rahmen einer turnusmäßigen Bauwerksprüfung in einem Randfeld des südöstlichen Überbaus ein ca. 25 m langer Riss festgestellt, der sich sowohl an der Außenseite als auch an der Innenseite abzeichnete. Die Breite des Risses betrug bis zu 1,8 mm. Neben dem breiten Riss lagen bereichsweise noch weitere kleinere Risse sowie hohlliegende Flächen vor.

Die Ursache wird im Wesentlichen auf Spaltzugkräfte, die bei Brüchen von Spanndrähten entstehen, und die hohen Temperaturbeanspruchungen in diesem Jahr zurückgeführt. Der südöstliche Überbau wurde umgehend für den Straßenverkehr gesperrt und der gesamte Verkehr über den baugleichen südwestlichen Überbau geführt. Massive Verkehrsbehinderungen waren die Folge.



Bild 1: Blick auf den weiterhin unter Verkehr stehenden südwestlichen Überbau der Elsenbrücke. Links im Bild der südöstliche Überbau während des Rückbaus

Bildquelle: Katrin Saloga

Inzwischen ist der südöstliche Überbau abgerissen (Bauphase 1 abgeschlossen, siehe Bild 1) und es wird derzeit eine stählerne Behelfsbrückenkonstruktion errichtet (Bauphase 2). Nach der geplanten Fertigstellung im 1. Quartal 2022 wird dann der südwestliche Überbau abgerissen und an gleicher Stelle ein Ersatzneubau errichtet (Bauphase 3). Abschließend erfolgt der Rückbau der Behelfsbrücke und die Errichtung eines südöstlichen Ersatzneubaus (Bauphase 4). Die Errichtung des Ersatzneubaus der Elsenbrücke wird voraussichtlich im Jahr 2028 abgeschlossen sein. Die Gesamtkosten der „neuen“ Elsenbrücke sind mit etwa 50 Millionen Euro kalkuliert [1].

## Motivation für die „akustische“ Überwachung

Der südwestliche Überbau ist weitaus weniger geschädigt, weist aber das gleiche Konstruktionsprinzip wie der südöstliche Überbau auf, dessen kritische Schädigung schlagartig aufgetreten ist. Des Weiteren wird über den südwestlichen Überbau wesentlich mehr Verkehr nach der Sperrung des südöstlichen Überbaus geführt. Nach dem Schadensereignis wurde in einem ersten Schritt für beide Überbauten eine elektronische Überwachung der Verformungen (Durchbiegung) mittels Lasertechnik installiert. Des Weiteren wird zum sicheren Betrieb des weiterhin unter Verkehr stehenden Teilbauwerks bis zu seinem Abriss eine akustische Überwachung zur Detektion und Ortung von Spanndrahtbrüchen etabliert. Zusätzlich erfolgt alle 14 Tage die Überprüfung des Teilbauwerks durch visuelle Inspektion und Abklopfen der Betonoberfläche mittels eines Hammers durch einen Brückenprüfer.

In den Überbauten der Elsenbrücke wurde ein Spannstahl verbaut, der zur Spannungsrissskorrosion neigt („Hennigsdorfer Stahl“). Bei der Spannungsrissskorrosion läuft der Schadensprozess ab, indem die vorgespannten Drähte plötzlich und spröde brechen. Meist verbunden mit korrosiven Vorschädigungen aus Zwischenstandzeiten, Kondenswasser, Hüllrohrwasser oder Betonabsetzwasser. Auch der Einsatz von Korrosionsschutzmitteln kann schädigende Einflüsse ausüben. Ein wesentlicher Faktor ist zudem das Angebot an Wasserstoff, der in das Metallgefüge eindiffundieren kann. Eine Besonderheit der Spannungsrissskorrosion besteht darin, dass Brüche auch noch nach längerer Standzeit in verpresstem Zustand auftreten können.

Des Weiteren ergibt sich bei der Elsenbrücke eine Besonderheit durch die Art des Spannverfahrens. Die Überbauten wurden im Spannblockverfahren vorgespannt. In jedem Steg befindet sich ein „konzentriertes Spannglied“, bestehend aus 532 ovalen Drähten à 35 mm<sup>2</sup> St 140/160. Die lagenweise in einem Blechkasten verlegten Drähte wurden an den Bauwerksenden in baulich getrennten Spannblocken verankert. Mit Hilfe von Pressen, die zwischen den Spannblocken und den Endquerträgern eingebaut wurden, konnte die Vorspannung erzeugt werden. Anschließend wurde der Zwischenraum ausbetoniert, wodurch das endgültige Tragwerk hergestellt wurde. Der Kabelkasten hat eine Breite von 20 cm und eine Höhe von 30 cm. Der Restbetonquerschnitt neben dem Kasten reduziert sich damit für den 45 cm breiten Steg planmäßig auf 2 x 12,5 cm (siehe auch Bild 4).

Bedingt durch die bei der Herstellung der Überbauten erforderlichen Arbeitsschritte vergingen vom Einbau der Spanndrähte bis zum Verpressen der Kabelkästen zwischen fünf und sechs Monate. In dieser Zeit waren die Spanndrähte nicht durch das alkalische Milieu des Verpressmörtels geschützt, was der oben angeführten Korrosionsproblematik enormen Vorschub verleiht.

Das Spannblockverfahren gemäß TGL 173-33, Juli 1967 entspricht weitestgehend dem „Baur-Leonhardt Verfahren“ (siehe Bild 2).

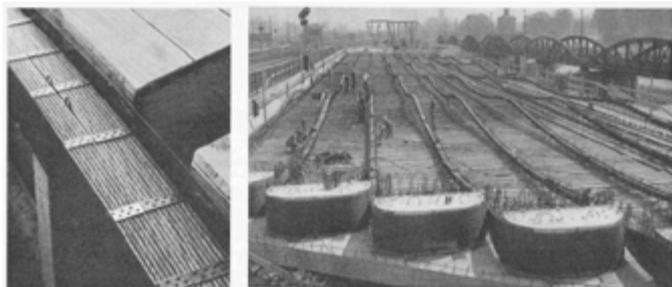


Bild 2: Historische Fotoaufnahmen zum Baur- Leonhardt Verfahren. Links ist der Spannkabelkasten mit eingelegten Spanndrähten vor dem Schließen zu sehen. Rechts die verlegten Spannkabelkästen über die Brückenlänge mit den Spannblöcken (vorne im Bild)

Bildquelle: [2] Seite 640, Aufnahmen zur Eisenbahnbrücke über den Neckarkanal in Heilbronn

Eine konstruktiv ähnliche Brücke in der Stadt Brandenburg (Altstädter Bahnhof) wurde im Dezember 2019 für den Verkehr gesperrt. Die Brücke wurde vom Juni 2020 bis zum Mai 2021 auf Spanndrahtbrüche mittels der Schallemissionsanalyse überwacht. In dieser Zeit wurden 111 Spanndrahtbrüche detektiert; auch ohne Verkehrsbelastung. Eine Zunahme der Schädigung war durch zusätzliche Rissbildung deutlich erkennbar. Die Brücke wurde inzwischen abgerissen [3].

Eine Vielzahl von Veröffentlichungen zum Einsatz der Schallemissionsanalyse zur Detektion und Ortung von Spanndrahtbrüchen finden sich bereits um die Jahrtausendwende [4], [5]. Erste Validierungsstudien zur Detektion von Spanndrahtbrüchen in Beton mittels Schallemissionsanalyse werden bereits im Jahr 2001/2002 in Japan durch die Autobahnbehörde „Japanese Public Highways Corporation“ begonnen [6], [7]. Im Jahr 2006 erscheint die Richtlinie der britischen Autobahnbehörde (British Highway Agency), in der die Schallemissionsanalyse zur Detektion von Spanndrahtbrüchen aufgeführt wird [8]. Im deutschsprachigen Raum findet sich eine umfangreiche Bearbeitung dieser Thematik an der ETH Zürich (Schweiz) aus dem Jahr 2010 [9].

### Prüftechnik Schallemissionsanalyse (AT)

Die Schallemissionsanalyse (AT – Acoustic Emission Testing) ist eine zerstörungsfreie Prüfmethode, die in Echtzeit Risswachstum, Verschleiß, Korrosion und Drahtbrüche erkennen und beurteilen kann. Die Messdatenerfassung erfolgt durch passive Sensoren, die das Prüfobjekt in einem Frequenzbereich von vielfach 20 kHz bis 1.200 kHz „abhören“ (siehe Bild 3). Die Sensoren „hören“ oberhalb des für den Menschen hörbaren Bereichs. Die Sensoren erfassen die mechanischen Schwingungen, die infolge einer plötzlichen Energiefreisetzung auftreten. Diese Schwingungen treten z. B. während des Risswachstums auf (Quelle = Source), weil lokale Festigkeitseigenschaften am belasteten Bauteil überschritten sind (Anregung = Stimulus). Die Software zur Schallemissionsanalyse erlaubt die Ortung der Schallemissionsquelle. Die Angabe des Ortes erfolgt zumeist unter Verwendung einer Wellenausbreitungsgeschwindigkeit und der zeitlichen Verzögerung in der Ankunft zwischen dem erst- und den – entsprechend der Entfernung zur Quelle – später getroffenen Sensoren. Die Schallemissionsprüfung ist prädestiniert für die Dauerüberwachung von einzelnen Bauteilen, bis hin zu kompletten Bauwerken, um z. B. den Rissfortschritt in Echtzeit zu verfolgen. Durch Integration von anderen Sensordaten (Dehnung, Schwingungen, etc.) wird eine umfangreiche Analyse möglich, um z. B. zu klären, unter welchen Umständen ein Riss wächst. Eine Angabe zur Fehlergröße muss durch andere

zerstörungsfreie Prüfmethode erfolgen. Ein Kompendium von der Deutschen Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) zur Schallemissionsanalyse ist kostenfrei im Internet erhältlich [10]. Bei der Behälterprüfung wird die Schallemissionsanalyse seit Jahren als anerkanntes Prüfverfahren erfolgreich eingesetzt, um schnell und sicher Bereiche zu orten, die infolge einer Druckbelastung des Behälters Schallemission emittieren, z. B. durch unterkritisches Risswachstum. Die detektierte Schallemission wird bewertet und gibt u. a. Empfehlungen für weitere, nachfolgende zerstörungsfreie Prüfverfahren, die dann zielgerichtet eingesetzt werden [11]. Das Prüfpersonal wird in drei Stufen qualifiziert und zertifiziert [12]. Entsprechende Schulungen werden bei der DGZfP angeboten.

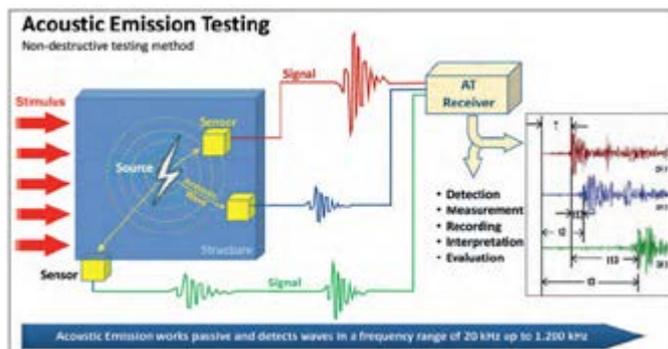


Bild 3: Prinzipskizze zur Schallemissionsanalyse (AT) mit Ortung aufgrund von Laufzeitdifferenzen

Bildquelle: [13]

### „Akustische“ Überwachung der Eisenbrücke

Physikalische Quelle der Schallemission ist die Bruchenergie, die beim Versagen der Spanndrähte frei wird. Spanndrahtbrüche sind in der Regel hochenergetische Ereignisse, die gut zu detektieren sind. Diese Bruchenergie wird durch Schallemissionssensoren in einem Bereich von etwa 1 kHz bis 400 kHz detektiert. Das Reißen von Spanndrähten ist auch gut mit dem Ohr wahrnehmbar. Der Einsatz von piezoelektrischen Sensoren vom Typ R31-LP-AST-12 dB (Hersteller: MISTRAS) mit einer Resonanzfrequenz von etwa 20 kHz hat sich bewährt und diese werden hier eingesetzt. Der Drahtbruch kann sicher bei den zu erwartenden Störgeräuschen (hier durch Straßenverkehr) zur Anzeige gebracht werden, wobei große Sensorabstände möglich werden. Ein wichtiges Mittel zur Bewertung ist der Einsatz der Ortung. Es kommt eine lineare Ortung für jeden Steg zum Einsatz. Hierbei wird der Ort des Spanndrahtbruchs in geradliniger Verlängerung der beiden erstgetroffenen Sensoren für jeden Steg zurückgerechnet. Weiterhin soll ein weiterer Sensor innerhalb der einzelnen linearen Ortung getroffen werden. Diese Strategie ermöglicht es, dass weniger Störgeräusche zu Fehlalarmen führen und die Bewertung Spanndrahtbruch ja/nein durch Verwendung von Information am drittgetroffenen Sensor zuverlässiger wird.

Die Schallemissionsanalyse (AT) ist in der Lage als Echtzeitverfahren, das Reißen von einzelnen Spanndrähten zu detektieren und zu lokalisieren. Das Verfahren ist nicht direkt in der Lage über bereits gerissene Spanndrähte vor der Überwachung eine Aussage zu liefern. Diese Information kann nur durch lokales Freilegen der Spanndrähte und visuelle Inspektion gewonnen werden. Es gibt bislang keine praktikable Lösung zur nicht-invasiven Erfassung des Zustands von Spanndrähten.

Die Prüfaussage einer Überwachung zum Spanndrahtbruch an Brücken ist der bestätigte Spanndrahtbruch. Man erhält eine Aussage zum zeitlichen Auftreten und über den Ort des Spanndrahtbruchs.

Wichtig ist auch die Information über die örtliche Häufigkeit von Spanndrahtbrüchen. Eine sprunghafte, örtliche Zunahme von Spanndrahtbrüchen kann ein starker Indikator für das Erreichen eines kritischen Zustands sein. Eine Korrelation der Spanndrahtbrüche mit weiteren Messdaten (Durchbiegung, Temperatur, Feuchte, weitere) bietet die Möglichkeit eine erweiterte Prüfaussage zu formulieren.

Eine weit verbreitete künstliche Quelle in der Schallemissionsanalyse ist die sogenannte Hsu-Nielsen-Quelle. Sie bezeichnet den Bruch einer Bleistiftmine mit einem Durchmesser von 0,5 mm und der Härte 2H [14] und wird im Allgemeinen zur Verifikation der Ankopplung von Sensoren eingesetzt. Diese Quelle ist auch eine Referenz für reale Risse in Metallen und Faserverbundwerkstoffen. Die Hsu-Nielsen-Quelle ist allerdings zu schwach, um das hochenergetische Signal eines Drahtbruchs abzubilden. Die hier verwendete künstliche Quelle für Drahtbruch ist das Auslösen eines federbelasteten Körners, dessen Spitze mit einer Schlagkraft von etwa 25 kN auf die Prüboberfläche schlägt. Dieses künstliche Signal erzeugt eine dem realen Drahtbruch ähnliche Wellenform und Frequenzinhalt und zeigt vergleichbare Intensitäten. Eine alternative künstliche Quelle ist der Rückprallhammer („Schmidt-Hammer“). Weitere Quellen sind denkbar.

### Messungen im Vorfeld

Zwei unterschiedliche Orte für die Sensoranbringung wurden miteinander verglichen: Sensoren, die direkt auf dem Blech des Spannkabelkanals nach Entfernen des Betons angebracht waren und Sensoren, die auf der Oberfläche des Stegbetons befestigt waren (siehe Bild 4).

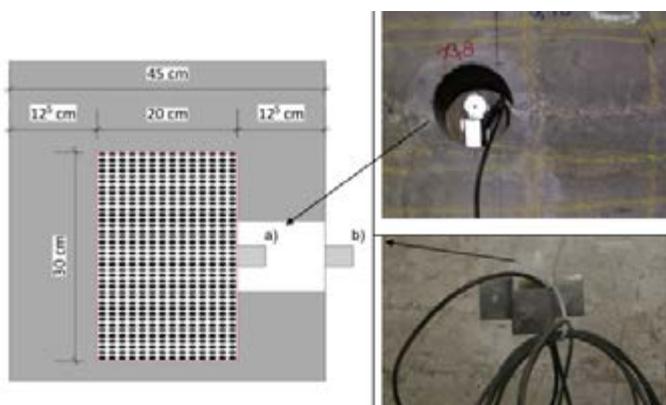


Bild 4: Schematischer Schnitt durch einen Steg der Eisenbrücke mit Spannriegel und Fotos der beiden Ankopplungsorte für die Sensoren. Hierbei zeigt a) die Ankopplung des Sensors auf dem Spannkabelkasten und b) auf dem Beton

Bildmaterial: Michael Rettig und Manuel Löhr.

Folgende Messungen wurden im Vorfeld der Installation durchgeführt:

- Dämpfungsmessungen mit einer künstlichen Quelle (federbelasteter Körner, Schlagkraft: etwa 25 kN) für Drahtbrüche in unterschiedlichen Entfernungen zum Sensor
- Künstlich erzeugte Drahtbrüche
- Erfassung von Störgeräuschen (hier: Straßenverkehr)

Es hatte sich gezeigt, dass die Ankopplung der Sensoren an den Spannkabelkanal größere maximal zulässige Sensorabstände als die Ankopplung an den Beton ermöglicht. Der Abstand der Sensoren auf dem Spannkabelkasten wurde mit max. 12,5 Meter fest-

gelegt, während für die Sensoren auf dem Beton ein maximaler Abstand von 8 Metern einzuhalten ist. Der Sensorabstand wird im Wesentlichen festgelegt durch die Störgeräusche, der konstruktivbedingten Dämpfung in der Schallausbreitung, das drei Sensoren innerhalb der linearen Ortung sicher getroffen werden und der Intensität von künstlich erzeugten Drahtbrüchen. Insbesondere das gezielt herbeigeführte Versagen einzelner Spanndrähte ist auch wichtig als Referenzwert zur Bewertung. Hierzu wurde der Spannkabelkasten aufgestemmt und ein Teil der Spanndrähte freigelegt. Einzelne Spanndrähte wurden mit einer Schleifscheibe so weit im Querschnitt geschwächt, dass der Spanndraht kurze Zeit später versagte.

### Installation und Betrieb der Überwachungstechnik

Die Installation umfasste hier die Anbringung von Sensoren, die Verkabelung zu den beiden Mess-Systemen und das Einrichten des Fernzugriffs. Die Überprüfung der Ankopplung der Sensoren mit gleichzeitiger Überprüfung des entsprechenden Messkanals erfolgte durch die Hsu-Nielsen-Quelle (Bleistiftminenbruch). Nach erfolgreicher Kontrolle des Überwachungssystems wurden Referenzdatensätze mit der künstlichen Quelle (federbelasteter Körner) erzeugt. An festgelegten Punkten wurde die künstliche Quelle ausgelöst. Dadurch kann man einerseits die Ortung überprüfen/optimieren und andererseits dienen die Messdaten als Referenz zur Prüfbewertung. So wurde eine Wellenausbreitungsgeschwindigkeit von 2.300 Metern pro Sekunde ermittelt und eine maximale Ortungsgenauigkeit von bis zu 15 Prozent des Sensorabstands festgestellt. Geringere Ortungsgenauigkeiten erfordern in der Regel zusätzliche Sensoren, wobei auch der Kostenaufwand für eine Überwachung entsprechend steigt.

Das Teilbauwerk der Eisenbrücke wird mit insgesamt 59 Schallemissionsensoren überwacht. Die verwendeten Sensoren besitzen eine integrierte Vorverstärkung von 12 dB und zeigen ihre höchste Empfindlichkeit in einem Frequenzbereich bis etwa 30 kHz. Die Sensoren wurden auf der Innenseite der vier Stege angebracht (Zugang über den Hohlkasten). Die Stege A, B und D wurden mit jeweils 14 Sensoren bestückt, wobei die Ankopplung der Sensoren direkt auf dem Blech des Spannkabelkastens erfolgte. Der Steg C wurde mit insgesamt 17 Sensoren bestückt. Hier mussten mehr Sensoren verwendet werden, da es baulich nicht überall möglich war, entsprechende Kernbohrungen für eine Ankopplung an den Spannkabelkanal durchzuführen. Die zusätzlichen Sensoren wurden direkt auf dem Beton angebracht, wobei der Sensorabstand von sonst etwa 12 Meter auf 8 Meter reduziert wurde.

Das Bild 5 zeigt einen Blick auf die Überwachungseinrichtung, die in einer Brückenvorkammer installiert ist. Die Datenaufnahme erfolgt über zwei Mess-Systeme, jeweils eines für die Stege A/B und für die Stege C/D, die über jeweils 32 Messkanäle verfügen. Die Messkarten sind in einem Industrierechner verbaut und in einem wettergeschützten Gehäuse untergebracht (Typ SensorHighway III, Hersteller: MISTRAS). Jeder Sensor wurde über ein Koaxialkabel mit einem Messkanal verbunden. Eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) gewährleistet den sicheren Weiterbetrieb bei Stromausfall für mindestens 48 Stunden (Kasten auf dem Boden stehend).

Die Messdatenerfassung erfolgt mit einer eingestellten Schwelle von 50 dBAE. Die Aufzeichnung von extrahierten Größen einzelner Signale (Hits) erfolgt mit 2 MHz und einer Auflösung von 18 bit. Die Wellenformen werden mit einer Abtastrate von 500 kHz aufgezeichnet. Es besteht voller Zugriff aus der Ferne auf die beiden Mess-Systeme.

teme mittels einer Breitbandverbindung. Jedes der beiden Systeme arbeitet mit der MISTRAS-Software AEWIN. Die Einstellungen in der Software erlauben eine eindeutige Zuordnung und Abspeicherung der Messdaten zu jedem einzelnen Sensor. Des Weiteren legt die Software fest, wann und wie Messdaten weiter verarbeitet werden (z. B. für die lineare Ortung). In der Software AEWIN werden auch die Alarmbedingungen festgelegt, unter denen automatisch eine E-Mail an das Überwachungsteam über einen möglichen Drahtbruch (PWB – Possible Wire – Break) erfolgt.



Bild 5: Ansicht auf das akustische Überwachungssystem

Bildquelle: Manuel Löhr.

Das Überwachungssystem sammelt und speichert die Messdaten automatisch und fortlaufend. Die unmittelbare Speicherung der Messdaten erfolgt auf der Festplatte des einzelnen Mess-Systems vor Ort. Die Messdaten werden auch per Fernzugriff in regelmäßigen Abständen heruntergeladen und auf dem MISTRAS-Server archiviert. Weiterhin werden die Messdaten alle 30 Minuten automatisch an die Überwachungsseite gesendet und die Daten in den Graphiken und Tabellen entsprechend aktualisiert. Autorisierte Nutzer haben Zugang zu der Überwachungsseite. Voraussetzung ist der Zugang zum Internet via Computer, Tablet oder Smartphone. Die Überwachungsseite bietet eine schnelle Übersicht zu den zusammenfassenden Statistiken, zu Alarmen und deren Status. Die Überwachungsseite enthält die Dokumentation, Handbuch, Berichte von Systemüberprüfungen, Quartalsberichte, Zeichnungen usw. Die Dokumente können durch den Nutzer heruntergeladen werden. Zur Sicherstellung der einwandfreien Funktion des Überwachungssystems wird jedes Jahr eine Überprüfung durchgeführt. Hierbei wird in unmittelbarer Nähe zu jedem einzelnen Sensor die Hsu-Nielsen Quelle (Bleistiftminenbruch) ausgelöst. Die gemessenen Werte werden mit den Werten aus der Inbetriebnahme verglichen. Sollte es hier zu unzulässigen Abweichungen kommen, so wird die Ursache ermittelt und behoben, z. B. durch Sensortausch. Weiterhin erfolgt auch die Überprüfung der einzelnen Messkanäle mittels eines kalibrierten elektronischen Signalgebers bei begründetem Verdacht. Wichtig ist auch die Durchführung von Testortungen mit einem federbelasteten Körner, um die Qualität der Ortung erneut zu kontrollieren. Des Weiteren werden alle Systemkomponenten einer visuellen Prüfung unterzogen. Es werden auch notwendige bzw. sinnvolle Updates der Software durchgeführt. Alle Arbeiten werden

dokumentiert und auf der Überwachungsseite zum Herunterladen zur Verfügung gestellt.

### Prüfbewertung

Es wird automatisch eine E-Mail mit Kurzinformation an das Überwachungsteam gesandt, wenn die Bedingungen für einen „möglichen Drahtbruch (PWB)“ erfüllt sind. Die Bedingungen definieren eine gewisse Mindestintensität und einen zulässigen Frequenzbereich an den einzelnen Sensoren. Zusätzlich müssen mindestens drei Sensoren innerhalb der linearen Ortung getroffen sein. Diese Information wird auch an die Überwachungsseite gesendet und als „PWB – Possible Wire Break“ angezeigt.

Das Überwachungsteam hat ein Zeitfenster von 48 Stunden, um zu beurteilen, ob es sich um einen bestätigten Drahtbruch („CWB – Confirmed Wire Break“) oder um keinen Drahtbruch („NWB – Non Wire Break“) handelt. Im Falle eines bestätigten Drahtbruchs wird der Kunde per E-Mail über den bestätigten Drahtbruch informiert. Weiterhin wird nach erfolgter Beurteilung der Status eines möglichen Drahtbruchs auf der Überwachungsseite entsprechend geändert.

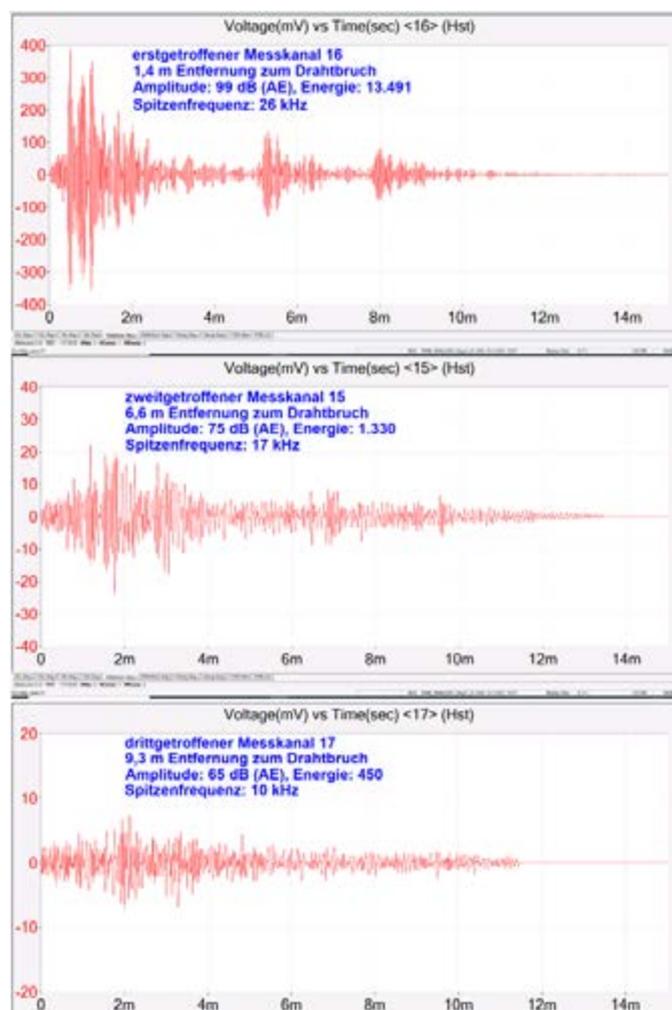


Bild 6: Wellenformen, der drei angestoßenen Sensoren der linearen Ortung am Steg C. Dieser Drahtbruch ist am 16.03.2021 an der X-Position 142,6 m aufgetreten

Bildquelle: AEWIN-Software (MISTRAS)

Die Bewertung für einen bestätigten Drahtbruch (CWB) erfolgt in drei Schritten, siehe Bild 6:

1. Erfüllen der Bedingungen an Intensität und Frequenz am erstgetroffenen Sensor der linearen Ortung.
2. Erfüllen der Bedingungen für die lineare Ortung. Passt die Ankunftsreihenfolge? Passen die extrahierten Größen aller Sensoren zu der Entfernung vom Ort des Spanndrahtbruchs?
3. Vergleich mit den Messdaten aus der künstlichen Quelle (federbelasteter Körner) an der Position, die dem Ort des angenommenen Spanndrahtbruchs am nächsten liegt.

### Resumee zur Überwachung

Es sind bisher insgesamt zehn Drahtbrüche detektiert worden (Stand bis 21.12.2021, siehe Bild 7). Alle Drahtbrüche haben im Steg A oder C stattgefunden. Es wurde bisher keine signifikante Häufung im zeitlichen oder örtlichen Auftreten der Drahtbrüche festgestellt. Die Überwachung läuft bisher ohne eine nennenswerte Anzahl von Fehlalarmen ab, obwohl gleichzeitig der Abriss des anderen Teilbauwerks und an gleicher Stelle der Bau der stählernen Behelfsbrücke erfolgt.

Die stählerne Behelfsbrücke ist fast fertig und wird in nächster Zeit in Betrieb genommen. Der gesamte Verkehr wird dann über die Behelfsbrücke geführt. Die akustische Überwachung endet mit dem Abbruch des südwestlichen Überbaus.

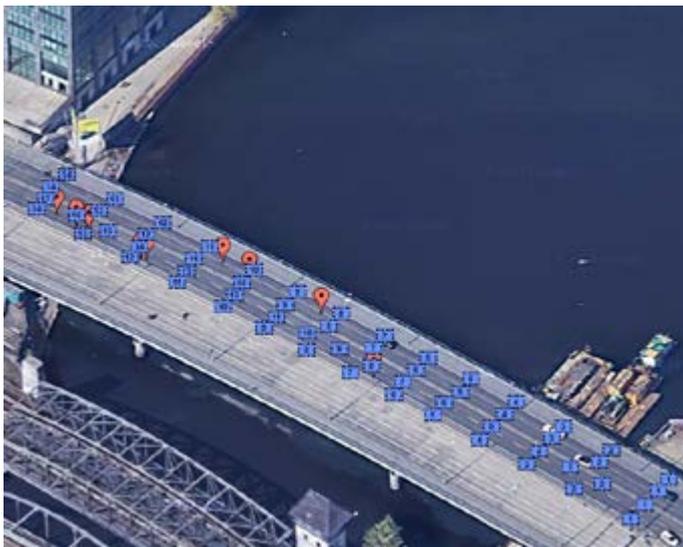


Bild 7: Übersicht zu den Sensorpositionen (blaue nummerierte Kästen) an den vier Stegen und der Position der bisher aufgetretenen bestätigten Drahtbrüche (Rote Marker, bis zum 21.12.2021)

Bildquelle: entnommen von der MISTRAS-Überwachungsseite zur Eisenbrücke.

### Danksagung

Die Autoren danken der Berliner Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (Abteilung V) für die Möglichkeit zur Durchführung der notwendigen Vormessungen und der Beauftragung zur Überwachung. Weiterer Dank geht an Rico Thumeyer von der Unternehmung Bockermann Fritze IngenieurConsult GmbH für die Rückmeldungen aus den Brückenprüfungen. Abschließend geht der Dank für die Unterstützung an die englischen Kollegen der MISTRAS-Gruppe, die über eine langjährige Erfahrung im Bereich Brückenüberwachung verfügen, insbesondere bei der Detektion von Drahtbrüchen.

### Literaturverzeichnis

- [1] Information der Senatsverwaltung Berlin zur Eisenbrücke via Internet unter (Stand 18.12.2021): <https://www.berlin.de/sen/uvk/verkehr/infrastruktur/brueckenbau/elsenbruecke/>
- [2] Steinmann, G. (1954): *Das Verfahren Baur-Leonhardt und die Ausführung von Brücken in vorgespanntem Beton*, Schweizerische Bauzeitung, Band 72, Heft 44, Seite 639 bis 644, permanenter kostenloser Download über <http://doi.org/10.5169/seals-61286>
- [3] Land Brandenburg (2021): *B1 – Brücke Altstädter Bahnhof in Brandenburg an der Havel – Bauwerksuntersuchung vor dem Rückbau*, Landesbetrieb für Straßenwesen Brandenburg.
- [4] Murakami, Y. and Yuyama, S. (1996): *Acoustic Emission Evaluation of Structural Integrity in Reinforced Concrete Beams Deteriorated Due to Corrosion of Reinforcement*, Progress in AE VIII (JSNDI), Proc. 13th Inter. AE Symp., Nov. 27-30, 1996, Nara, Japan, pp.217-224.
- [5] Cullington, D. W., MacNeil, D., Paulson, P. and Elliot, J. (1999): *Continuous acoustic monitoring of grouted post-tensioned concrete bridges*, Proc. 8th Int. Conf. Structural Faults & Repair-99, Commonwealth Institute, London, 13-15 July, Engineering Technics Press, ISBN 0-947644-41-5.
- [6] Yuyama, S., Li, Z.W., Yoshizawa, M., Tomokiyo, T., and Uomoto, T. (2001): *Evaluation of fatigue damage in reinforced concrete slab by acoustic emission*, NDT & E International, Vol. 34, pp.381-387.
- [7] Yuyama, S., Yokoyama, K., Niitani, K., Ohtsu, M., Uomoto, T. (2007): *Detection and evaluation of failures in high-strength tendon of prestressed concrete bridge by acoustic emission*, Construction and Building Materials; Vol. 21, pp 491-500.
- [8] BA 86/06 (2006): *Advice notes on the non-destructive testing of highway structures*, UK Highway Agency, Vol 3 (Highway Structures – Inspection and Maintenance).
- [9] Fricke, S. (2010): *Schallemissionsanalyse zur Detektion von Spanndrahtbrüchen bei Stahlbetonbrücken*, Promotion an der ETH Zürich, Institut für Baustatik und Konstruktion, permanenter kostenloser Download über <https://doi.org/10.3929/ethz-a-006512388>
- [10] DGZfP-Fachausschuss Schallemissionsprüfverfahren (2018): *Kompendium Schallemissionsprüfung*, Herausgeber DGZfP e.V., permanenter kostenloser Download über <https://www.dgzfp.de/Fachausschüsse/Schallemissionsprüfverf>
- [11] EN 14584 (2013): *Zerstörungsfreie Prüfung- Schallemissionsprüfung- Prüfung von metallischen Druckgeräten während der Abnahmeprüfung- Planare Ortung von Schallemissionsquellen*.
- [12] ISO 9712 (2013): *Zerstörungsfreie Prüfung – Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung*.
- [13] Grabe, M., Löhr, M.: *Brückenmonitoring – Durch Digitalisierung den Brückenzustand stets online im Blick*, Zeitschrift EI – Eisenbahningenieur, Ausgabe Juli 2016, Seite 19-23.
- [14] EN 1330-9 (2009): *Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Teil 9: Begriffe der Schallemissionsprüfung*.