

Versuche an der Brücke Altstädtischer Bahnhof, Brandenburg an der Havel.

Felix KAPLAN¹, Oliver STEINBOCK²

¹ Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg, Hoppegarten

² TU Dresden, Dresden

Kontakt E-Mail: Felix.Kaplan@ls.brandenburg.de

Kurzfassung. Die Brücke am Altstädter Bahnhof in Brandenburg an der Havel wurde im Dezember 2019 für den Verkehr von Straßenbahnen und Kraftfahrzeugen gesperrt, nachdem im Rahmen der Bauwerksprüfung eine erhebliche Zunahme von Rissen festgestellt wurde. Bei den anschließenden Untersuchungen waren insbesondere das spröde – auf Spannungsrisskorrosion zurück zu führende – Versagen der Spanndrahtproben im Zugversuch und die festgestellten Anrisse die Ursache für die Anordnung einer umfangreichen Monitoringanlage zur Messung von Durchbiegungen des Überbaus, Temperaturverläufen im Überbau und Spanndrahtbrüchen in den Längsträgern.

Während der Laufzeit der Messanlage konnten an der Brücke zahlreiche Spanndrahtbrüche detektiert werden und bei anschließenden Bauwerksprüfungen teilweise Schadenszunahmen festgestellt werden. Der permanent fortschreitende Schädigungszustand zeichnet sich besonders durch die Längsriss im Steg der Längsträger aus, die auf Höhe des Spanngliedes verlaufen. Diese Rissbilder konnten an einzelnen Längsträgern bereits im Zuge der Bauwerksprüfung seit Dezember 2019 festgestellt werden. Somit sind am Bauwerk Altstädter Bahnhof die folgenden vier Schädigungszustände (bezogen auf die Längsträger) vorhanden:

- Längsträger ohne Längsriss
- Längsträger mit Längsrissen (vor Juni 2020)
- Längsträger mit detektierten Spanndrahtbrüchen (seit Juni 2020) ohne Längsriss
- Längsträger mit detektierten Spanndrahtbrüchen (seit Juni 2020) mit Längsrissen

An dem Bauwerk bestand die Möglichkeit die verschiedenen o. g. Schädigungszustände unter kontrollierten Bedingungen zu untersuchen. Hierfür wurde das Bauwerk im Rahmen eines zerstörenden Versuchs kontrolliert geschädigt. Dabei wurden die o.g. Schadensbilder generiert und messtechnisch erfasst. Bei der Messtechnischen Erfassung wurden u.a. die folgenden Verfahren angewendet: Monitoring mittels Schallemissionsanalyse, Monitoring mittels Faseroptik, Schwingungsmonitoring, geodätische Messung der Biegelinie, zerstörungsfreie Messung sowie Photogrammetrie.

Der Mehrwert der hier Erkenntnisse geht weit über das konkrete Bauwerk hinaus. Es konnten zu erwartende Schadensbilder, die auf andere Bauwerke mit konzentrierten Spanngliedern (Spannblockverfahren und Baur-Leonhardt-Verfahren) übertragbar sind, dokumentiert werden. Durch die systematische Auswertung der Versuchsdaten wurden Grundlagen geschaffen, durch die bei Vorliegen entsprechender Schadensbilder, fundierte Bewertungen zur Resttragfähigkeit ermöglicht werden.

1 Bauwerksbeschreibung

1.1 Baukonstruktion

Die Brücke am Altstädter Bahnhof wurde im Jahre 1969 hergestellt siehe z. B. [1]. Sie bildete die Hauptverbindung zwischen der Innenstadt und den westlichen Stadtteilen der Stadt Brandenburg an der Havel. Durch das Bauwerk wurde die Magdeburger Straße (B 1) sowie eine Straßenbahnlinie über die Zanderstraße (B 102) und die Gleise der Deutschen Bahn überführt. Die Lage des Bauwerks ist in Abbildung 1 dargestellt.

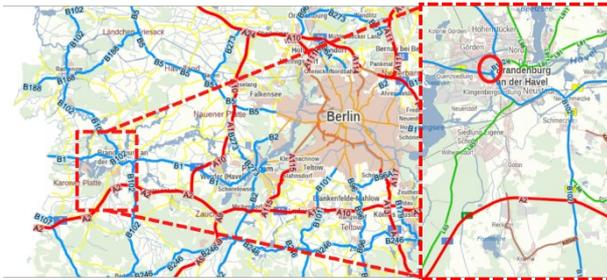


Abb. 1 Lage des Bauwerks
Straßennetzviewer Brandenburg

Die Brücke bestand aus zwei Teilbauwerken [2], [3]. Gegenstand der weiteren Ausführungen ist ausschließlich das Tbw. 1. In Abbildung 2 ist ein Luftbild von der Brücke unmittelbar vor dem Rückbau zu sehen, darin ist das Teilbauwerk farblich hervorgehoben.



Abb. 2 Bauwerk vor dem Rückbau, Tbw. 1 hervorgehoben
ifB Eigenschenk

Das Tbw. 1 war mit einer Länge von 174 m und einer Überbaubreite von ≈ 37 m ungewöhnlich breit. Gleichzeitig wurden in Brückenquerrichtung nur zwei Stützenreihen mit einem Abstand von 18,5 m angeordnet. Daraus resultierte auch die ungewöhnliche Wahl des Überbauquerschnittes, der als neunzelliger Hohlkasten mit einer variablen Konstruktionshöhe zwischen 1,46 m und 1,54 m ausgeführt war und in Brückenquerrichtung eine sehr robuste Konstruktion sicherstellte. Somit konnten auch die im Norden liegenden Kragarme mit der Straßenbahn befahren werden. Die planmäßig nicht zugänglichen Hohlkästen wiesen eine lichte Höhe von $\approx 1,22$ m bzw. 1,06 m bei einer Breite von 2,68 m auf. Mit Ausnahme des kleinen Endfeldes (20 m) waren die Hohlkästen durch schlaff bewehrte Feldquerträger in der Feldmitte ausgesteift. Des Weiteren sind in den Stützenachsen vorgespannte Querträger angeordnet. Im Anschlussbereich des Zubringers (Achse C) sind zusätzlich zum Hauptquerträger zwei vorgespannte Nebenquerträger

angeordnet. Der Querträger C und die beiden Nebenquerträger dienen als Auflager für die Längsträger des Nebentragwerks.

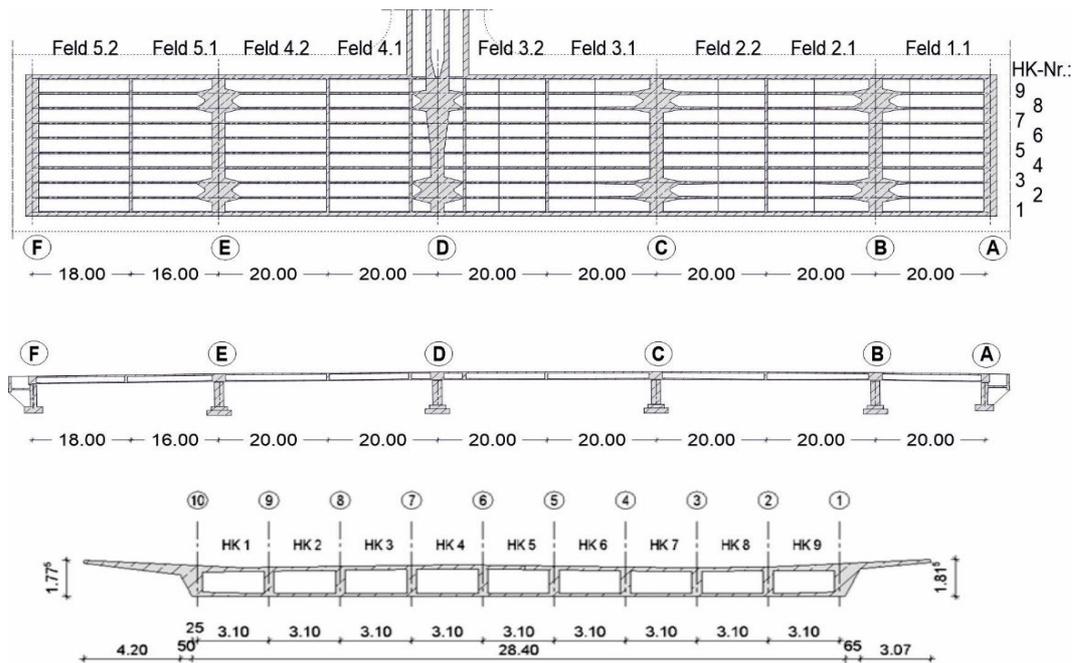


Abb. 3 Tbw. 1 Draufsicht, Längsschnitt, Querschnitt [2]

Die Längsträger des Haupttragwerks wurden jeweils mit einem konzentrierten Spannglied vorgespannt, welche mit veränderlicher Höhenlage -an einen parabolischen Verlauf angenähert- geführt wurden. Da die Querschnitte nicht gevoutet sind und im Stützbereich keine Zusatzspannglieder angeordnet wurden, führt dies im Stützbereich zu geringeren Druckspannungen in der vorgedrückten Zugzone und im Feldbereich zu hohen Druckrandspannungen in der Platte.

1.2 Spannblochverfahren

Bei der Brücke am Altstädter Bahnhof kam das Spannblochverfahren für die Längsträger zur Anwendung. Bei dem Spannblochverfahren handelt es sich um eine Adaption anderer Spannverfahren mit konzentrierten Spanngliedern, wie z. B. dem Verfahren Baur-Leonhardt, auf dem Gebiet der ehemaligen DDR. Das Spannverfahren wurde zwischen 1962 und 1970 bei insgesamt elf Bauwerken angewendet.

Als die Brücke am Altstädter Bahnhof errichtet wurde, war das Spannblochverfahren durch in der TGL 173-33 geregelt. Gegenüber den normativen Vorgaben kam beim vorliegenden Bauwerk eine Sonderform zum Einsatz. Zum einen wurden anstelle des üblichen Spanndrahtes mit 40 mm^2 Querschnittsfläche, Spanndrähte mit 35 mm^2 verwendet. Grund hierfür war, dass zum damaligen Zeitpunkt lediglich die Spanndrähte mit 35 mm^2 in der erforderlichen Lieferlänge von 175 m beim Hennigsdorfer Stahlwerk zur Verfügung standen. Zum anderen wurde ein größerer Spannkasten (Spanngliedkasten für SSG 1400 statt SSG 1200) notwendig, um die insgesamt 392 Einzeldrähte im Spannkasten unterbringen zu können bzw. eine Spannkraft von 12 MN je Hauptträger einleiten zu können. Die 392 Einzeldrähte wurden lagenweise eingebaut und mittels Abstandshaltern in ihrer Lage gesichert, wie in Abb. 4 erkennbar ist.

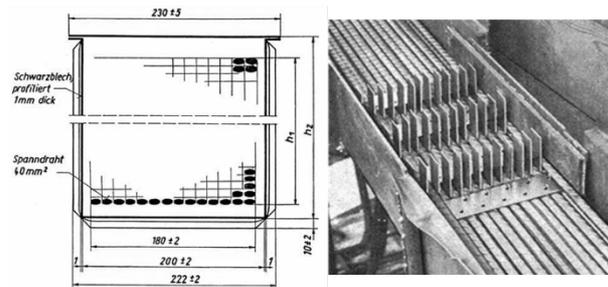


Abb. 4 Konzentriertes Spannglied im Querschnitt (links) [4] und in der Ansicht (rechts) [1]

Mit dem heutigen Wissen ist das Spannblochverfahren grundsätzlich kritisch zu bewerten. Als Spannstahl wurden die vergüteten Hennigsdorfer Spanndrähte verwendet, diese sind mittlerweile bei Ortbetonbauwerken als hochgefährdet in Bezug auf Spannungsrisskorrosion bekannt. Bedingt durch den Bauablauf wurden die Spannglieder erst nach ca. 6 Monaten verpresst. Bis dahin waren die Spanndrähte nicht durch das alkalische Milieu geschützt.

2 Bauwerkszustand und Zustandsentwicklung

2.1 Bauwerkszustand

Die Sperrung der Brücke erfolgte im Zuge der Vorbereitung der Hauptprüfung im Dezember 2019. Dabei war aufgefallen, dass sich in der Untersicht der Brücke eine massive Risszunahme eingestellt hat. Zusätzlich wurden in einzelnen Hohlkästen auch spanngliedparallele Risse in den Längsträgerstegen dokumentiert, Abb. 5. Während der anschließenden intensiven Bauwerksprüfung wurde außerdem festgestellt, dass die Anzahl und die Länge der Risse spürbar zu nimmt.



Abb. 5 Spanngliedparallele Risse (exemplarisch)

Im Rahmen der parallel durchgeführten objektbezogenen Schadensanalyse wurden auch Spanndrahtproben entnommen. Deren Untersuchung zeigte einen sehr hohen Versprödungsgrad und infolgedessen eine mangelhafte Bruchdehnung und eine reduzierte Zugfestigkeit. Alle untersuchten Proben wiesen Anrisse infolge Spannungsrisskorrosion auf, exemplarisch Abb. 6.



Abbildung 28: Exemplarisches Bruchbild - versprödeter Spannstahl

Abb. 6 Exemplarisches Bruchbild der Spanndrähte, KHP Berlin

Am Bauwerk waren somit nicht nur plötzlich auftretende Rissbilder, sondern auch mangelhafte Materialeigenschaften anzutreffen. Eine weitere Befahrung war dadurch ausgeschlossen und ein schnellstmöglicher Abbruch einzuleiten.

2.2 Überwachungskonzept

Es zeichnete sich schnell ab, dass bis zum Rückbau ca. 12 Monaten vergehen würden. Eine Sperrung der unterführten Verkehrswege wurde deshalb diskutiert, allerdings sind diese für den Verkehr in der Region so wichtig, dass dieses Szenario vermieden werden sollte. Aus diesem Grund musste ein umfangreiches Überwachungskonzept entwickelt und umgesetzt werden.

Bei der Konzeption wurde davon ausgegangen, dass die Schäden primär infolge spannungsrissskorrosionsbedingter Spanndrahtbrüche entstehen und dass die Schäden fortschreiten. Das Überwachungskonzept setzte sich zusammen aus den Bestandteilen Schallemissionsmonitoring, Durchbiegungsmonitoring in Feldmitte, punktueller Rissüberwachung in Bereichen mit Schädigungsentwicklung sowie engmaschiger Bauwerksprüfung.

2.3 Zustandsentwicklung

Aufgrund der unter 2.2 beschriebenen Überwachung des Bauwerks können umfangreiche Aussagen zur Zustandsentwicklung zwischen Juni 2020 (Inbetriebnahme Monitoringanlagen) und Mai 2021 (Rückbau) getroffen werden. In diesem Zeitraum wurden insgesamt 111 Spanndrahtbrüche gemessen, siehe Abb. 7. Dabei ist ersichtlich, dass sich die Lage der Spanndrahtbrüche in bestimmten Bereichen konzentriert. Die Bauwerksprüfung zeigte außerdem, dass die visuell erkennbaren Schäden zunehmen. Dies wurde teilweise im unmittelbaren zeitlichen Kontext mit Spanndrahtbrüchen detektiert, Abb. 8.

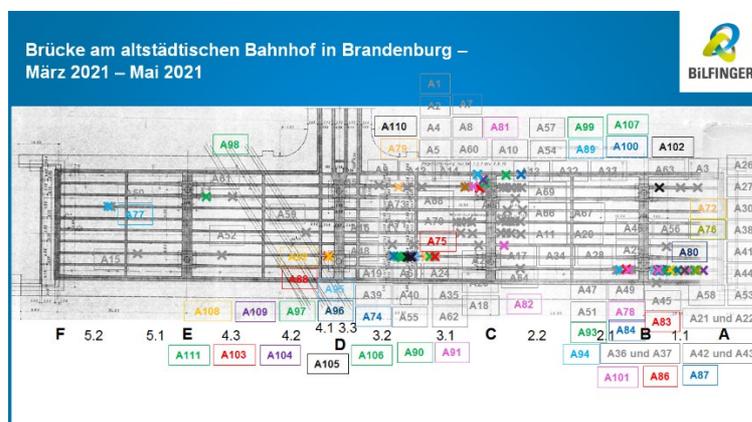


Abb. 7 Lage Spanndrahtbrüche 03/2021 – 05/2021, Bilfinger Noell

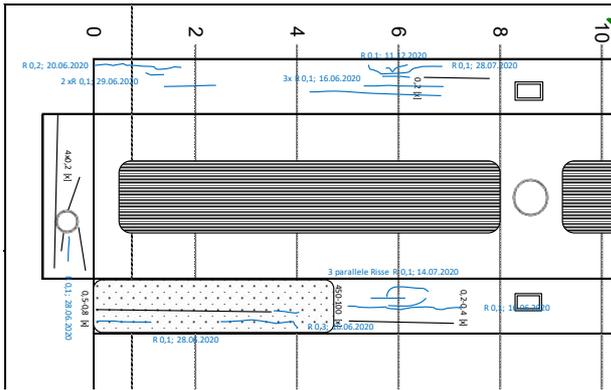


Abb. 8 Schadensskizze Hohlkasten 3.1-9, Anschluss Querträger C, LS Brandenburg und r.a.p. Ingenieure

3 Bauwerksuntersuchungen im Zuge des Rückbaus

3.1 Untersuchungskonzept

Während sich bei Tragwerken mit kleinteiligen Spanngliedern und einem Ankündigungsverhalten in Sinne der Handlungsanweisung Spannungsrisskorrosion der Ausfall einzelner Spanndrähte in Form von Biegerissen zeigt, ist dies bei großformatigen Spanngliedern nicht der Fall. Die dokumentierten Längsrisse sowie der Versprödungsgrad der Spanndrähte führten zu der These, dass ein hoher und lokaler Schädigungsgrad der Spanndrähte in den großformatigen Spanngliedern zu Spaltzugrissen im Steg führt, bevor Biegerisse auftreten. Die Spaltzugkräfte bei einer lokalen Schädigung von großformatigen Spannglieder sind jedoch nahezu unabhängig von zusätzlichen äußeren Einwirkungen und können somit bereits unter Eigenlasten auftreten.

Zur Verifizierung dieser These wurden durch das BMDV umfangreiche Untersuchungen im Rahmen des Rückbaus finanziert. Um dieses Ziel zu erreichen, sollte das Schadensbild künstlich erzeugt werden. Der Versuch war durch zahlreiche messtechnische Verfahren zu begleiten, um hierdurch auch Einsatzempfehlungen für andere Bauwerke zu erhalten.

Für die Durchführung wurden insgesamt 2 Versuchsstellen festgelegt, siehe Abb. 9. Dabei handelt es sich bei der V1 um einen Bereich in dem zuvor keine Spanndrahtbrüche gemessen wurden und auch keine Längsrisse vorhanden waren. V2 lag sowohl im gemessenen Hot-Spot und hatte die erwarteten Längsrisse bereits.



Abb. 9 Lage von Hot Spots und Darstellung der Messstellen V1 und V2 [2]

Der Versuchsaufbau wurde so gewählt, dass die Spandrähte lagenweise mittels Seilsäge angesägt wurden, siehe Abb. 10. Durch den geringen Stich stellte dies auch an den Seilsägenführer sehr hohe Anforderungen. Nähere Informationen zur Versuchsdurchführung sind [2] zu entnehmen.

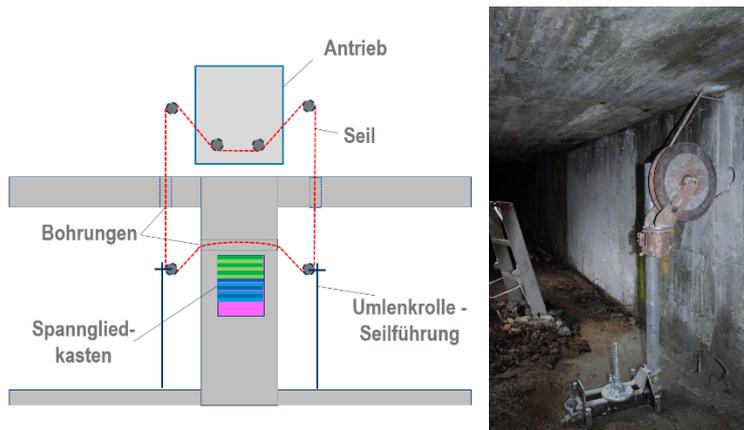


Abb. 10 Versuchsaufbau links, schematisch, rechts Umlenkrolle im Hohlkasten [2]

3.2 Ergebnisse in Bezug auf die Schadensbilder

Beim Trennen der Spannglieder konnte an Messstelle V1 das Entstehen der Längsrisse nachgewiesen werden und somit das prognostizierte Schadensbild bestätigt werden. Nachdem etwa ein Drittel der Drähte des vorliegenden großformatigen Spanngliedes durchtrennt waren, entstand ein vergleichbares Schadensbild wie es bereits am Bauwerk dokumentiert werden konnte. Mit zunehmender Schädigung konnte auch eine Zunahme der hohl liegenden Bereiche festgestellt werden. Bei diesem Spannverfahren können Längsrisse in den Stegen entlang des Spanngliedverlaufs, insbesondere in Verbindung mit Hohlstellen, auf eine lokale Häufung von Spanndrahtbrüchen im Inneren der Spannglieder hinweisen, siehe hierzu exemplarisch Abb. 5 und Abb. 11.

An Messstelle V2 konnten keine nennenswerten Zunahmen in den Rissweiten bestehender Risse festgestellt werden, anstelle dessen kam es vorwiegend zu neuen Rissbildungen und zur Verlängerung bestehender Risse.

Die Versuchsergebnisse lassen den Rückschluss zu, dass an anderen Stegen, die ein ähnliches Riss- und Schadensbild wie an Messstelle II (vor dem Trennen der Spanndrähte) aufwiesen, von einem ähnlich hohen Schädigungsgrad des Spanngliedes ($\approx 1/3$) und somit von einer merklich reduzierten Resttragfähigkeit auszugehen ist.



Abb. 11 Markierter Verlauf der Risse und hohl liegenden Bereichen bei Abschluss des Versuches an der Messstelle V1 sowie Darstellung der Messtechnik [2]

3.3 Monitoring

Durch den gleichzeitigen Betrieb von einer Vielzahl an verschiedenen Monitoringverfahren, im praktischen Einsatz an einem geschädigten Bauwerk getestet werden, vgl. Abb. 11.

Detektion von einzelnen Spanndrahtbrüchen	Messung von globalen Steifigkeitsänderungen	Erfassung von Rissen im Beton
➤ Schallemissionsanalyse	➤ Schwingungsmonitoring ➤ Tachymetrische Messung	➤ Faseroptik ➤ Fotogrammetrie ➤ Beton-DMS

Abb. 11 Überblick der eingesetzten Monitoringverfahren

Insbesondere durch den vergleichenden Einsatz dieser Verfahren herausgearbeitet werden. Abb. 12 zeigt exemplarisch den Vergleich der Ergebnisse der Messungen mittel Schallemission, Fotogrammetrie und Faseroptischer Verfahren. Daraus ist ersichtlich, dass alle 3 Verfahren in der Lage sind die Schädigung grundsätzlich zu erkennen. Unterschiedlich ist jedoch die Auflösung und die Bereiche mit genauer Schadensbeschreibung.

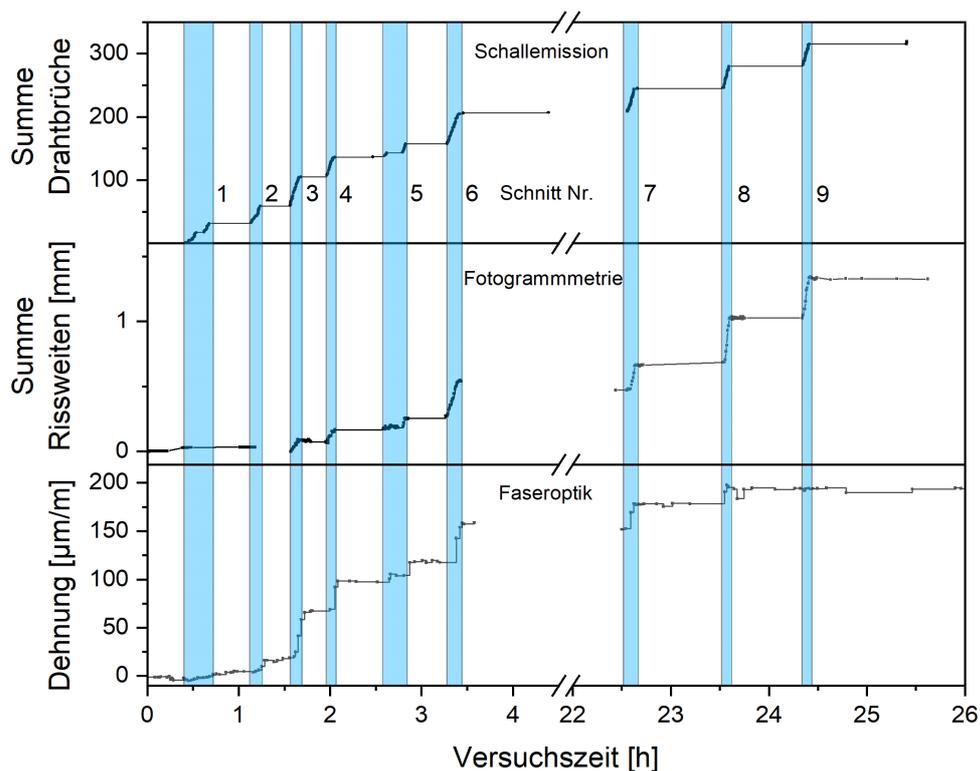


Abb. 12 Korrelation des ursächlichen Schadens (Summe der Spanndrahtbrüche) mit dem daraus resultierenden Rissöffnungen an der Seite des Längsträgers sowie den Dehnungen an der Unterseite des Längsträgers [8]

3.4 Weitere Ergebnisse

Die Ergebnisse im Hinblick auf das Monitoring und die Auswertung zur Untersuchung der Spanndrähte werden separat vorgestellt und sind in diesem Tagungsband enthalten, siehe [5], [6] und [7].

4 Zusammenfassung

Die Brücke am Altstädter Bahnhof stellt mit dem verwendeten konzentrierten Spannglied eine Besonderheit dar. Dank der umfangreichen Überwachung konnte der Betrieb auf den unterführten Verkehrswegen bis zum Ersatzneubau gewährleistet werden.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen wurden folgende Schlussfolgerungen gezogen:

Bauwerke mit konzentrierten Spanngliedern haben bauartbedingt eine hohe Gefährdung für Schäden aufgrund von Spannungsrissskorrosion. Die Schäden können dabei lokal konzentriert auftreten.

Die Schadensbilder weichen von den bekannten Schadensbildern ab. Nach Auftreten der sichtbaren Schäden können sie sich sehr schnell weiterentwickeln.

Monitoringverfahren zur Überwachung des Schädigungsfortschritts sind vorhanden.

Diese Ergebnisse erfordern von den Baulastträgern, dass Bauwerke mit konzentriertem Spannglied (Spannblockverfahren und Baur-Leonhardt) einer besonderen Beobachtung unterliegen sollten. Randbedingungen hierfür werden durch das BMDV im Obmannschreiben 2021-13 [9] definiert.

TAE_Literatur

- [1] Lippold, P.: Konzentrierte Spannglieder im Straßenbrückenbau. Bauplanung - Bautechnik, Heft 4 1969, S. 172ff.
- [2] Div. Autoren, Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg (Hrsg.): B1 – Altstädter Bahnhof in Brandenburg an der Havel – Bauwerksuntersuchungen vor dem Rückbau. Abrufbar unter <https://www.lsb.brandenburg.de/ls/de/ueber-uns/publikationen/>
- [3] Kaplan, F., Steinbock, O., Saloga, K., Ebell, G., & Schmidt, S. (2022). Überwachung der Brücke am Altstädter Bahnhof. *Bautechnik*, 99(3), 222-230.
- [4] TGL 173-33 Spannblockverfahren – Spannglieder mit Nennspannkraft 600 bis 1600 Mp. Fachbereichsstandard. Ausgabe 1967-06.
- [5] Pirskawetz, S.: Rückbau der Brücke Altstädter Bahnhof, Brandenburg/Havel – Detektion von Spanndrahtbrüchen mit Schallemissionsanalyse, Tagungsband 5. Brückenkolloquium 2022, TAE
- [6] Niederleithinger, E.: Überwachung der Brücke Altstädter Bahnhof, Brandenburg/Havel: Begleituntersuchungen mit moderner Sensorik und zerstörungsfreier Prüfung, Tagungsband 5. Brückenkolloquium 2022, TAE
- [7] Ebell, G.: Neue Erkenntnisse zu wasserstoffinduzierten Spannungsrisssen infolge korrosiver Belastung hochempfindlicher Spannstähle in Spannblockverfahren nach TGL 173-33, Tagungsband 5. Brückenkolloquium 2022, TAE.
- [8] Pirskawetz, S., Steinbock, O., Hille, F., Schmidt, S. & Hofmann, D. (2022). Erfahrungen aus dem Rückbau der Brücke am Altstädter Bahnhof in der Stadt Brandenburg – Teil 2: Schadensmonitoring bei zerstörenden Versuchen. *Beton- und Stahlbetonbau*, 117(8).
- [9] Marzahn, G.: Obmannschreiben 2021-13 Neue Erkenntnisse zu wasserstoffinduzierten Spannungsrisssen infolge korrosiver Belastung hochempfindlicher Spannstähle in Spannblockverfahren nach TGL 173-33.