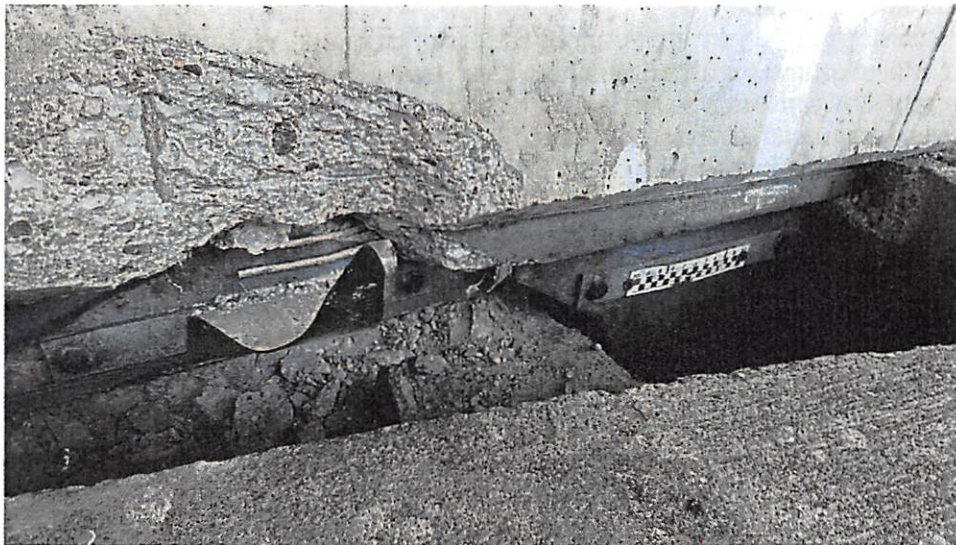


A 66 - Salzachtalbrücke - Havarie am 18.06.2021



ACI
ASCE
DAfStb
DBV
FIB
IVBH
PCI
RILEM
VDI
VDEI
VPI
Ingenieurkammer
Sachsen

Curbach Bösche Ingenieurpartner
Beratende Ingenieure PartG mbB
Bergstraße 21a
D 01069 Dresden
Tel: +49 (0)351 850 712 0
Fax: +49 (0)351 850 712 19
mailbox@cbing.de

Ermittlung und Bewertung von Schadensursachen

Projektkennung: G 0049

Manfred Curbach
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h.
Beratender Ingenieur
Prüfingenieur für Baustatik

Thomas Bösche
Prof. Dr.-Ing.
Beratender Ingenieur

Fazit zur Abstimmungsberatung am 27.08.2021

Aufgestellt:
Dresden, 26.08.2021

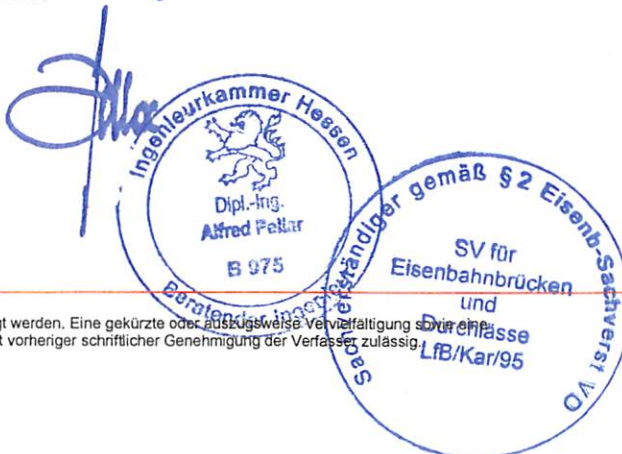
Oliver Steinbock
Manfred Curbach
Thomas Bösche

In Zusammenarbeit mit:

Härtsfeldhausen, 26.08.2021
Christian Dehlinger

Biebesheim, 26.08.2021
Alfred Pellar

Endredaktion:
Dresden, 30.08.2021



Bankverbindung:
HypoVereinsbank
Dresden
IBAN:
DE75850200860605513760
BIC:
HYVEDEMM496

Steuernummer:
Finanzamt Dresden Süd
203/188/00546
US/IdNr.: DE241631565

1 Auftrag/Aufgabenstellung

1.1 Auftrag und Auftraggeber

Im Juni 2021 wurde cbing von der Autobahn GmbH des Bundes zur Erstellung einer gutachterlichen Stellungnahme zu den Ursachen der Havarie an der Salzbachtalbrücke vom 18.06.2021 angefragt. Wegen der zeitlichen Brisanz wurde in den anschließenden Beratungen gemeinsam mit der bauausführenden Arbeitsgemeinschaft Salzbachtalbrücke Porr/PST die Bildung eines Gutachterteams aus den Sachverständigen des Auftraggebers, des Auftragnehmers und der Versicherung des Auftragnehmers angestrebt.

Nachfolgendes Gutachten entstand daher unter Mitwirkung der Sachverständigen Christian Dehlinger (Lösungswerkstatt) und Alfred Pellar (Pellar - Büro für Bautechnik und Bauwesen).

1.2 Umfang der Bewertungen

Auf der Basis der übergebenen Unterlagen sollte eine Einschätzung zu den Ursachen der eingetretenen Schäden vorgenommen werden. Die Darstellung stellt die Schnittmenge der von den drei Sachverständigenparteien auf der Basis der bisher vorliegenden Unterlagen und eigenen Untersuchungen aktuell möglichen gemeinsamen Wertungen dar.

2 Fachliche Quellen/Regelwerke

- [1] DIN-Fb 101: Einwirkungen auf Brücken, Ausgabe 2009
- [2] DIN-Fb 102: Betonbrücken, Ausgabe 2009
- [3] Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion: Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem, spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl erstellt wurden. BMVI (Hrsg.). Ausgabe 2011.

3 Zur Verfügung gestellte Unterlagen

Den Gutachtern wurde zur Bearbeitung eine von den Projektbeteiligten angelegte Datenaustauschplattform zur gemeinsamen Nutzung zur Verfügung gestellt:

https://lbingpartner-my.sharepoint.com/personal/a_bock_lb-ingpartner_de/_layouts/15/onedrive.aspx?originalPath=aHR0cHM6Ly9sYmluZ3BhcnRuZXItbXkuc2hhcmVwb2ludC5jb20vOmY6L2cvcGVyc29uYWwvYV9ib2NrX2xiLWluZ3BhcnRuZXJfZGUvRXJGYzJGa1BDVTVMbGtsZ1JMRkdxV29CakJiTGZJOWV3NVVfSkUN1dSbDVFdz9ydGltZT1wSmZqM1c1bzJVZw&id=%2Fpersonal%2Fa%5Fbock%5Fib%2Dingpartner%5Fde%2FDocuments%2FSalzbachtalbr%C3%BCcke%20Austausch%20Gutachter%2FBestandspl%C3%A4ne

Stand: 26.08.2021 → nachfolgend [Austauschplattform]

- [4] Bestandsunterlagen, siehe [Austauschplattform → Bestandspläne]: Schal- und Bewehrungspläne aus dem Zeitraum der Errichtung
- [5] Setzungsmessungen bis zum Jahr 1993, siehe Mail A. Israel am 5.8.2021: Dokumentation von Setzungsmessungen an der Salzbachtalbrücke Hessische Straßenbauverwaltung 9.8.1994.
- [6] Anordnung einer externen Vorspannung, siehe [Austauschplattform → Ext. Vorspannung]: Planunterlagen und statische Berechnungen
- [7] Lageraustauschinstandsetzung 2010, siehe [Austauschplattform → Lagerinstandsetzung_2010_Nord]: Schriftverkehr, Planunterlagen und statische Berechnungen
- [8] Rückbau Spundwand – Pfeiler E, siehe Mail A. Israel vom 5.8.2021: A 66 Salzbach TB – Rückbau Spundwand Pfeiler E
- [9] Spanndrahtbrüche Schallemission, siehe [Austauschplattform → Schallemissionsmessungen 2019]; Detektion und Dokumentation von detektierten Spannstahlbrüchen
- [10] Lager für Brücken und sonstige Brücken: Betonkalender 1971 – Kap. 9, S. 143–150.

- [11] Lagerung und Lager von Bauwerken: Betonkalender 1981 – Kap. 7.5; S. 530–533.
- [12] Baugrundgutachten 2016 Krebs und Kiefer, siehe [Austauschplattform → Baugrundgutachten neu];
- [13] Baumaßnahmenbegleitende Messungen an den Brücken, siehe [Austauschplattform → Vermessung vor Baubeginn 2018_19 und Vermessung Nord bauzeitl_ARGE]
- [14] Wetterdaten, siehe Mail C. Wagner (Pellar – Büro) vom 17.8.2021: Wetterdaten bereitgestellt durch R + V Allgemeine Versicherung AG.

4 Ortstermin

Die Schäden wurden im Rahmen von zwei Ortsterminen besichtigt. Beim Ortstermin 1 am 19.07.2021 war nur eine Inaugenscheinnahme mit einem Abstand von 50 m möglich, da das Bauwerk nach der Havarie einsturzgefährdet war. Nachdem temporäre Sicherungsmaßnahmen vor dem Ortstermin 2 am 25.08.2021 durchgeführt wurden, war eine handnahe Begutachtung möglich.

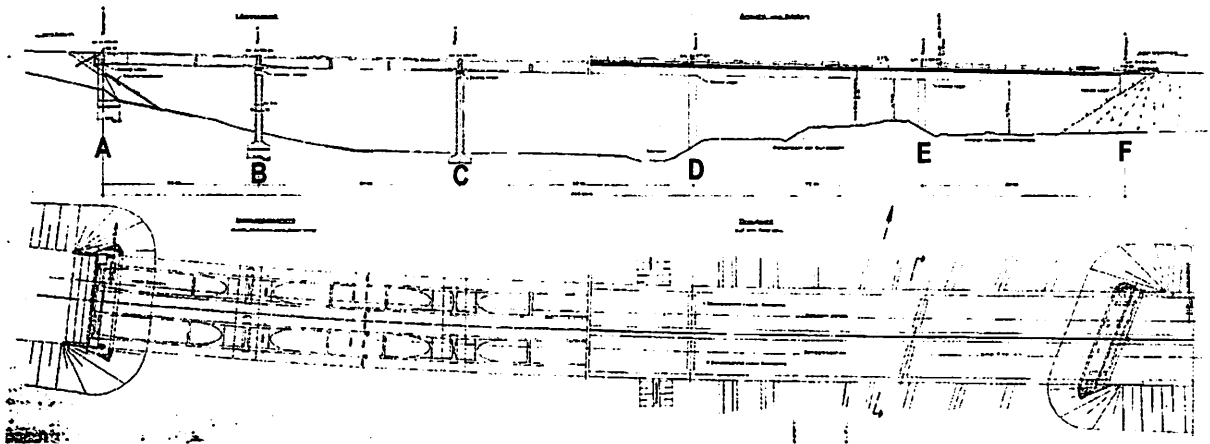
- [15] Ortstermin am 19.07.2021 mit Teilnehmerliste gemäß Protokoll
- [16] Ortstermin am 25.08.2021 mit Teilnehmerliste gemäß Protokoll
- [17] Präsentation und Dokumentation - Berechnungen und Ortstermine

5 Beschreibung und Bewertung der Erkenntnisse aus den eingesehenen Unterlagen und örtlichen Aufnahmen

5.1 Informationen zum Bauwerk

Die Salzbachtalbrücke setzt sich aus zwei Teilbauwerken (Nord und Süd) zusammen, die nahezu baugleich ausgeführt wurden. Die Brückentragwerke überqueren sowohl die Bahnstrecke Wiesbaden-Mainz, diverse Straßenwege als auch den Salzbach mit einer Ausrichtung in Ost-West. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich in erster Linie auf den Überbau „Süd“.

Die Überbaukonstruktion ist als zweistegiger Plattenbalken ausgebildet, wobei die Stege in den Stützbereichen über eine Druckplatte verbunden sind und somit einen Hohlkastenquerschnitt bilden. Das Bauwerk stammt aus den 1960er Jahren und ist als Durchlaufträgersystem mit fünf Feldern ausgeführt (46-60-69-69-60 m). Der Überbau ($k_n \approx 3,5$ m) lagert auf Pfeilern mit rechteckigen Hohlkastenquerschnitt. Den planmäßigen Festpunkt markiert Pfeiler C mit Hilfe von Linienkipplagern. In den übrigen Stützbereichen kamen Rollenlagen (Typ „Corroweld“) zum Einsatz. Die Gründung der Widerlager und Pfeiler erfolgte auf Flachgründungen in Bodenschichten (sog. „Hydrobien“) mit geringer Steifigkeit und einer hohen Setzungsempfindlichkeit.



Bereits kurz nach seiner Fertigstellung 1963 zeigte das Bauwerk verhältnismäßig große Setzungen, sodass über viele Jahre hinweg Setzungen und Verkippungen mit Hilfe tachymetrischer Messfahren aufgenommen und dokumentiert wurden, siehe [5]. Weiter zeigten beide Überbauten bereits in der Vergangenheit auffällig große Lagerwege bzw. Lagerverschiebungen was Messprotokolle und Stellungnahmen z.B. aus den Jahren 1976 und 2010 belegen, siehe [6] und [7]. An den Bauwerken erfolgten im Laufe der Zeit Instandsetzungs- und Verstärkungsmaßnahmen. So wurden beide Überbauten mit Hilfe einer nachträglich applizierten externen Vorspannung im Jahr 2010 verstärkt sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Querkrafttragfähigkeit durchgeführt. Am Überbau Nord wurden in diesem Zuge 2012 zudem die Lager gewechselt, während bei Überbau Süd die ursprünglichen Lager beibehalten wurden.

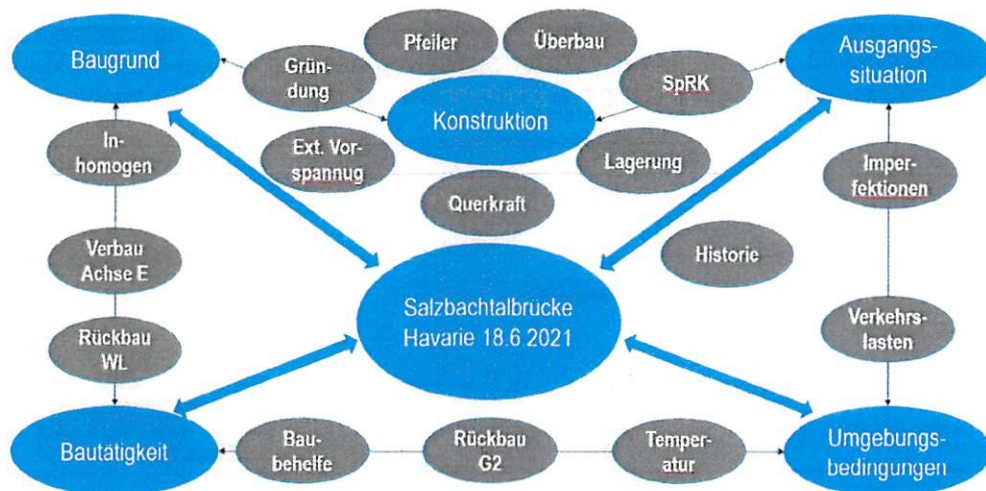
Am 18.7.2021 gegen 17:00 Uhr kam es zu einer Havarie an dem Überbau Süd. Zu diesem Zeitpunkt war der Straßenverkehr bereits von der Brücke genommen und erste vorbereitende Maßnahmen für den Rückbau ausgeführt (Rückbau des Asphaltbelags der Fahrbahndecke). Im Bereich der Widerlager waren Baustraßen errichtet und Abbrucharbeiten an den Flügelwänden vorgenommen, sowie vorbereitende Maßnahmen für die Errichtung der neuen Gründungkörper des geplanten Neubaus erstellt. Neben den Arbeiten an den Widerlagern erfolgen im Bereich des Pfeilers E auch Rückbaumaßnahmen früherer Verbauten aus der Zeit der Errichtung des Bauwerks.

5.2 Ausgangssituation

Am 18.6.2021 kam es zu einer Havarie an der Salzbachtalbrücke. Dabei sackte der Überbau in den Achsen E und F um $\approx 30\text{--}50\text{ cm}$ ab. Infolge dessen kam es zu starken Rissbildungen im Überbau und an den Pfeilern. Neben den Rissbildungen verschob sich der gesamte Überbau ostwärts ($\approx 50\text{ mm}$), wohingegen an den Pfeilerköpfen (insbesondere in Achse E) eine Verschiebung westwärts festgestellt wurde (bis 50 cm). Der Südüberbau lagerte zum Zeitpunkt der Havarie auf Rollenlagern (Typ „Corroweld“) und stand nicht mehr unter Verkehr, da bereits Rückbaumaßnahmen vorbereitet wurden. Neben baulichen Tätigkeiten an den Widerlagern bzw. im Bereich der Pfeilerachsen im Vorfeld der Havarie, markiert der 18.06.2021 mit einer Tageshöchsttemperatur von $32,1^\circ\text{C}$ den wärmsten Tag des Jahres 2021. Das angetroffene Schadensbild lässt auf Überschreitungen der möglichen Lagerwege schließen, die zu einem Abrollen der Lagerwalzen in den Achsen E und F geführt haben. Das Gutachten untersucht und bewertet mögliche Einflussfaktoren, die zu dieser Havarie des Überbaus geführt haben. Des Weiteren soll bewertet werden, warum der Schaden nicht bereits während der Nutzungsdauer des Bauwerks von knapp 60 Jahren auftrat, sondern aktuell im Rahmen der Vorbereitung der Rückbaumaßnahmen.

Die Bewertung der Schadensursachen erfolgt vor dem Hintergrund der Konstruktion, der Ausgangssituation bzw. Historie des Bauwerks, des Baugrundes, der Bautätigkeiten im Vorfeld und den Umgebungsbedingungen am Tag der Havarie.

Die Einflussfaktoren werden im Gesamtbild mit den sich ergebenden Abhängigkeiten betrachtet und bewertet.



5.3 Konstruktive Besonderheiten

5.3.1 Längenänderungen des Überbaus aus Vorspannung.

Verschiedene Spannstähle sind im Sinne von [3] als anfällig für Spannungsrissskorrosion einzustufen. Beim vorliegenden Tragwerk kam entsprechender Spannstahl (sog. Neptun-Spannstahl) zum Einsatz. Aufgrund eines rechnerisch nicht ausreichenden Ankündungsverhaltens wurde am Bauwerk eine Schallemissionsmessanlage (≈ 2017) installiert an der vereinzelte Spanndrahtbrüche (2017– Mitte 2019) dokumentiert wurden. Da die Vorspannung des Tragwerks zu einer Stauchung des Überbaus führt, bewirkt ein Abfall der Vorspannung im Umkehrschluss eine Verlängerung des Überbaus. Tastrechnungen zeigten, dass die Längenänderungen infolge vereinzelter Spanndrahtbrüche jedoch nur zu einer marginalen Längenänderung des Überbaus führen, siehe [17].

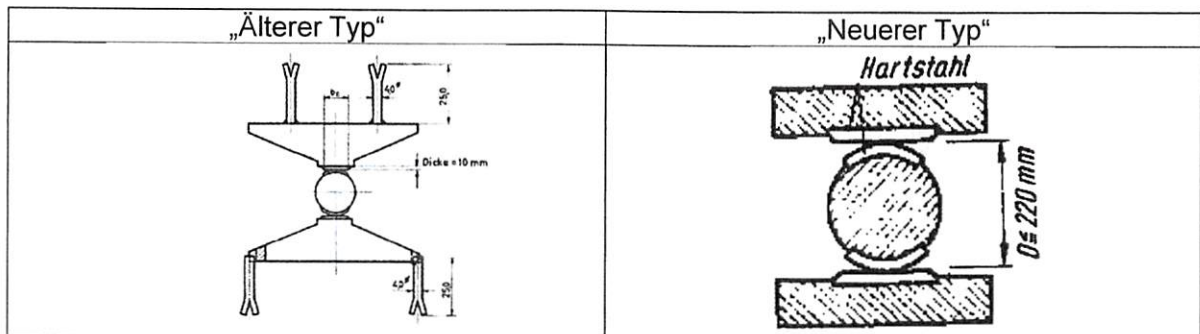
Gleiches ist für die ≈ 2011 nachträglich ergänzte externe Vorspannung festzuhalten. Zunächst kam es infolge der externen Vorspannung zu einer zusätzlichen Stauchung des Tragwerks. Die Stauchungen aus der zusätzlichen Vorspannung sind gering. Augenscheinliche Schäden an der externen Vorspannung sind nicht dokumentiert, sodass von einer intakten externen Vorspannung auszugehen ist.

Längenänderungen des Überbaus infolge von Einflüssen durch Vorspannung, die zu einer Überschreitung der Lagerwege geführt haben könnten, sind als gering bis sehr gering einzuschätzen. Die Installation der externen Vorspannung erfolgte bereits vor mehr als 10 Jahren und jüngst wurden nur vereinzelte Spanndrahtbrüche in der Altbetonkonstruktion festgestellt, siehe [9]. Anzumerken ist jedoch, dass es bei der Montage der nachträglich angebrachten externen Vorspannung zu einer kurzzeitigen Verschiebung des Lagerfestpunktes kam. Aufgrund der grenzwertigen Lagerwege wurden an zahlreichen Pfeilerachsen vorsorglich Lagerstapel angeordnet. Während des Vorspannvorganges konnte ein zeitweises Aufsetzen in den Lagerstapeln der Achse A beim Überbau Nord festgestellt werden. Eine entsprechende zwischenzeitliche Verschiebung des Lagerpunktes am Überbau Süd ist nicht dokumentiert, kann an dieser Stelle jedoch nicht ausgeschlossen werden.

5.3.2 Lagerung

Der Überbau hat seinen planmäßigen Festpunkt in Achse C (Linienkipplager). An den restlichen Stützungen sind Rollenlager des Typs „Corroweld“ angeordnet. Die genaue Lagerbezeichnung ist nicht bekannt, jedoch ist die vorgefundene Bauform eine ältere Bauform dieses Lagertyps. Während neuere Bauformen größere Lagerbewegungen ermöglichen, sind diese beim älteren Lagertyp geringer. Grund hierfür ist die dachförmige Ausbildung mit Plateau bei älteren Konstruktionen, wohingegen die Lagerplatten beim neueren Typ flach sind. Die hohe Tragfähigkeit dieser Lager wird durch lokal vergütete Oberflächen (Auftragschweißung) erreicht,

die unter Ausnutzung der Hertz'schen Pressung einen hohen Tragwiderstand ermöglichen. Überschreitet ein Lager auf seinem Verformungsweg den vergüteten Bereich kann es zu einem lokalen Versagen des Lagers infolge der Überschreitung der lokalen Spannungen kommen.



Bereits in der Vergangenheit wurden große Lagerauslenkungen festgestellt, siehe [17]. Dies führte um 2011 dazu, dass am Überbau Nord ein Lageraustausch erfolgte, da sich zu diesem Zeitpunkt die Auslenkungen kritischer darstellten als beim Überbau Süd, siehe auch [7].

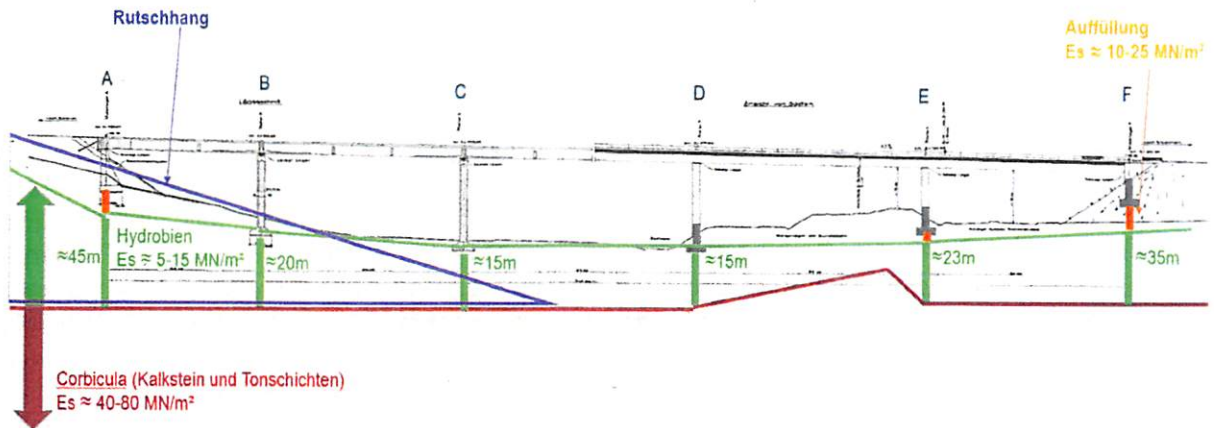
Neben den geringen möglichen Lagerwegen in Längsrichtung sei an dieser Stelle noch auf die Empfindlichkeit dieses Lagertyps für Kräfte in Querrichtung verwiesen. Daher wird deren Anwendung nur bei geraden Brücken empfohlen bzw. sind einseitige Erwärmungen infolge von Sonneneinstrahlungen rechnerisch zu verfolgen, siehe [11]. Winkeldrehungen im Grundriss müssen wegen der Gefahr des Schräglaufens bzw. Schäden an Führungsleisten vermieden werden. Das Bauwerk weist im Grundriss eine geringfügige Krümmung auf, womit ein Querlaufen der Lagen nicht vollständig ausgeschlossen werden kann. Kritischer ist jedoch der Einfluss aus einseitiger Erwärmung des Tragwerks aufgrund der Ost-West-Ausrichtung. Hier unterliegt der Südüberbau einer starken einseitigen Sonneneinstrahlung, sodass es infolge extremer Temperaturereignisse zu Querbeanspruchungen kommen kann.

Infolge des Abtrags des Fahrbahnbelags stellte sich eine erhöhte Empfindlichkeit des Überbautragwerks für Temperatureinflüsse ein. Am Tag der Havarie betrug die Sonnenscheindauer $\approx 16,5$ Stunden und entspricht somit der maximalen Einwirkungsdauer (Sommersonnenwende am 21.6). Des Weiteren wurde an diesem Tag die Jahreshöchsttemperatur für Wiesbaden-Biebrich erreicht, sodass von einer einseitig erhöhten Temperaturbeanspruchung (horizontaler linearer Temperaturanteil) des Tragwerks auszugehen ist.

5.4 Baugrund

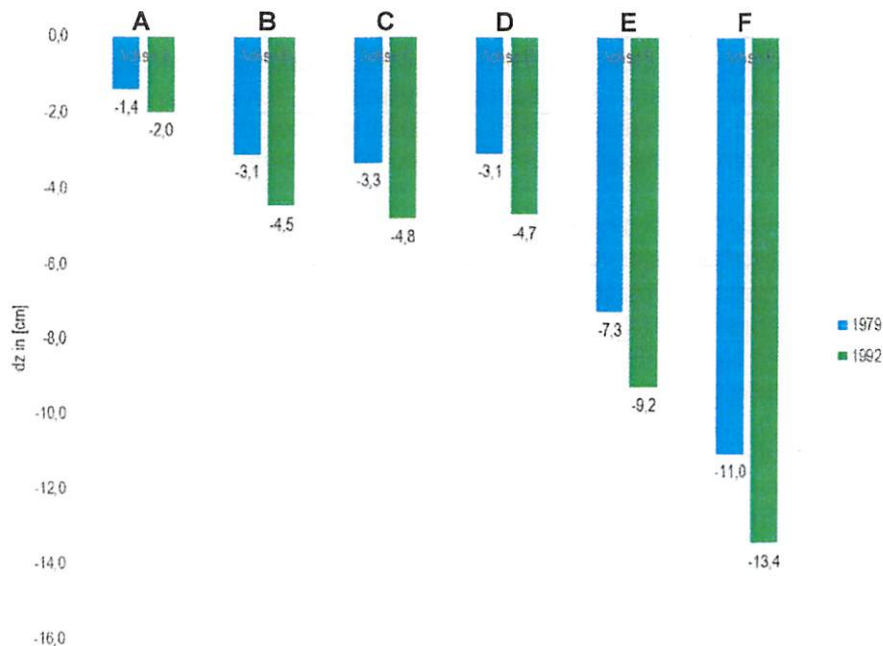
5.4.1 Baugrundverhältnisse

Sowohl Pfeilerachsen als auch Widerlagerkonstruktion sind flach gegründet. Diese Tatsache überrascht im Hinblick auf den anstehenden Baugrund. Die Gründungssohlen der Flachgründung liegen allesamt in sogenannten Hydrobien, die als breiig bis weich eingestuft wurden, siehe [12]. In [12] wird dieser Schichtenfolge lediglich ein Steifemodul von $E_s \approx 5-20$ kN/m² bescheinigt, sowie die Setzungsempfindlichkeit betont. Die setzungsrelevanten Schichtstärken unterhalb der Pfeilerachsen betragen $\approx 15-25$ m. In Anschluss an die Hydrobienschicht schließen sich tragfähigere Kalkstein- und Tonschichten an ($E_s \approx 40-80$ MN/m²). Im Bereich des Pfeilers E liegen sowohl in Längs- als auch Querrichtung Hinweise auf variierende Baugrundverhältnisse vor.



5.4.2 Setzungsverhalten

Bereits in der Vergangenheit (seit 1964) zeigten sich auffällig große Setzungen des Tragwerks, sodass diese regelmäßig und über viele Jahre hinweg (letztmalig im Jahre 1992) dokumentiert wurden. Neben Verkippungen der Pfeiler wurden insbesondere Setzungen dokumentiert, siehe [5]. Die zur Verfügung gestellten Unterlagen sind nicht lückenlos nachvollziehbar. Zunächst wurde nur der Überbau vermessen (1963) und erst im Jahr 1976 durch Setzungsmessungen an den Pfeilern ergänzt. Im Jahr 1979 wurden Messpunkte sowohl am Überbau als auch am Unterbau aufgenommen. Die Messungen aus dem Jahr 1979 lassen auf enorme Anfangssetzungen schließen, die in Richtung Osten (Achsen E und F) deutlich zunehmen. Aus der dargestellten Grafik zeigt sich, dass auch noch nach Jahren große Setzungen auftraten und nicht vollständig abgeklungen waren. Im Jahr 1997 erfolgte ein Austausch des Gesimses bzw. Kappenbereiche, sodass neue Messpunkte notwendig wurden und eine Setzungsverfolgung nicht mehr möglich ist.



Umfangreiche Vermessungen des Bestandes liegen auch aus jüngerer Vergangenheit (November 2019 bis August 2021) vor, siehe [13]. Diese beschränken sich jedoch auf den Überbau Nord und können daher nur mit Einschränkung auf den Überbau Süd übertragen

werden. Im Rahmen sämtlicher Baumaßnahmen konnten am Bauwerk Nord jedoch keine nennenswerten Verformungen festgestellt werden.

Im Hinblick auf die Havarie des Bauwerks am 18.6.2021 sollen nachfolgend mögliche Auswirkungen aufgrund der bis 1992 dokumentierten ungleichmäßigen Setzungen untersucht werden. Die Achsen E (≈ 10 cm) und F (≈ 15 cm) zeigten deutlich größere Setzungen als die übrigen Achsen A bis D (≈ 2 -5 cm). Daher wurden Berechnungen zu den Auswirkungen dieser unterschiedlichen Setzungen durchgeführt. Exemplarisch ergibt sich bei einer angenommenen Setzungsdifferenz von 5 cm in den Achse E und F gegenüber den übrigen Achsen, eine Abnahme der Auflagerkraft um $\approx 10\%$. Ähnliches ergibt sich auch in Achse C, wohingegen in Achse D eine Zunahme der Auflagerkraft zu verzeichnen ist. Infolge der unterschiedlichen Auflagerkräfte, kann auch dies zu wechselnden Steifigkeitsverhältnissen sowie zu Verschiebungen des Festpunktes führen. Die anteiligen Auswirkungen auf die Biegebeanspruchung im Überbau sind hierbei noch höher als bei den Auflagerkräften, siehe [17].

Die Sensibilität des Tragwerks zeigte sich im Rahmen einer rechnerischen Betrachtung der Pfeiler. Der variierende und wenig tragfähige Baugrund lässt nur eine grobe Abschätzung der Baugrundsteifigkeit zu. Vergleichsrechnungen zeigen, dass es infolge geringer Normalkraftbeanspruchungen (geringere Auflagerkräfte) in Verbindung mit einem geringen Verdrehwiderstand zu einer hohen Auslastung in den Pfeiler kommen kann bzw. große Pfeilerkopfauslenkungen möglich sind. Exemplarisch hierfür stehen die M-N-Diagramme, die sowohl den Übergang zwischen gerissenem und ungerissenem Pfeilerquerschnitt als auch den Grenzzustand der Tragfähigkeit widerspiegeln. Die Untersuchungen erklären auch die ausgeprägten Rissbildungen am Pfeiler der Achse E, der infolge des Abrollens des Rollenlagers Anzeichen eines Biegeversagens zeigte.

5.5 Bautätigkeiten

5.5.1 Rückbau Fahrbahnbelag

Der Fahrbahnbelag am Überbau Süd – in Anschluss an die Verkehrsumlegung auf den Überbau Nord – wurde als vorbereitende Maßnahme für den späteren Rückbau abgetragen. Der Fahrbahnbelag wurde über die Bauwerkslänge zwischen den Schrammborden und einer Dicke von ca. 6-8 cm abgetragen. Der Rückbau hat Auswirkungen auf die Einwirkungen auf das Tragwerk.

Zunächst bewirkt der Rückbau eine Reduktion der ständigen Lasten auf das Tragwerk. Neben einer geringen Biegebeanspruchung werden auch die Auflager entlastet. Dabei reduzieren sich die Lasten in diesem Rückbauzustand aus Eigengewicht um $\approx 10\%$ gegenüber dem Eigengewicht während der Nutzung. Der zunächst positive Effekt der Gewichtsreduktion führt jedoch zu einer höheren Empfindlichkeit der Pfeiler für Biegebeanspruchungen bzw. einem geringerem Biege widerstand wegen reduzierter Normalkraft. Das ohnehin bereits sensible System wird somit zunehmend verformungsanfälliger insbesondere bei Zwangsbeanspruchungen.

Weitere negative Auswirkungen ergeben sich durch die größere Temperaturanfälligkeit des Überbaus. Der Fahrbahnbelag führt zu einer Reduktion der Temperaturbeanspruchung bei rascher Abkühlung bzw. Erwärmung. Dies wird auch normativ [1] mit Hilfe der sogenannten k_{sur} Beiwerte berücksichtigt, die in Abhängigkeit der Stärke des Fahrbahnaufbaus eine Erhöhung oder Abminderung des nichtlinearen Temperaturanteils über die Querschnittshöhe berücksichtigen, siehe auch [17]. Entsprechende Untersuchungen zu den Auswirkungen sind in Kap. 5.6 dargestellt, die die Umgebungsbedingungen zum Zeitpunkt der Havarie berücksichtigen.

5.5.2 Bautätigkeiten in Achse E und an den Widerlagern

Im Rahmen des geplanten Rückbaus mittels Vorschubrüstung, waren vorbereitende Maßnahmen notwendig. Neben der Errichtung von Baustraßen nahe den Widerlagern wurden in Achse B bereits Zugänge am Pfeilerfußpunkt für Abstützungen geschaffen. All diese Maßnahmen zeigen jedoch nur geringen Einfluss, wie Tastuntersuchungen belegen.

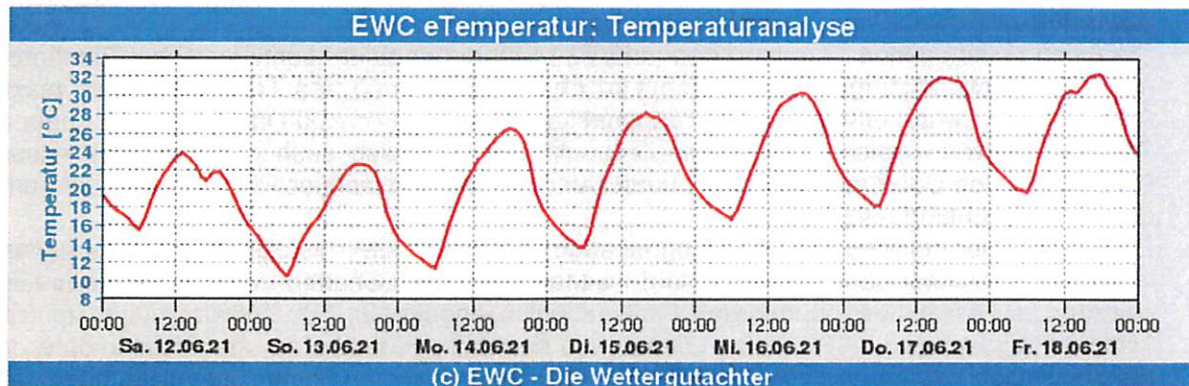
Im Bereich der Achse E wurden im April 2021 Spundwände gezogen, die während der Errichtung des Tragwerks 1963 als Baubehelf dienten. Die Spundwände wurden gezogen und die Lücke mit Sand im Spülverfahren wieder verschlossen. Da die Arbeiten im möglichen Einflussbereich der Gründung Achse E stattfanden, kann eine Veränderung der Baugrundeigenschaften in diesem Bereich nicht ausgeschlossen werden. Die Auswirkungen einer veränderlichen Baugrundeignisigkeit sind auch in [17] enthalten - es ist von einem geringen Einfluss auszugehen. Im Rahmen der baubegleitenden Messungen zeigten sich zudem keine Auffälligkeiten, siehe [13].

5.6 Umgebungsbedingen

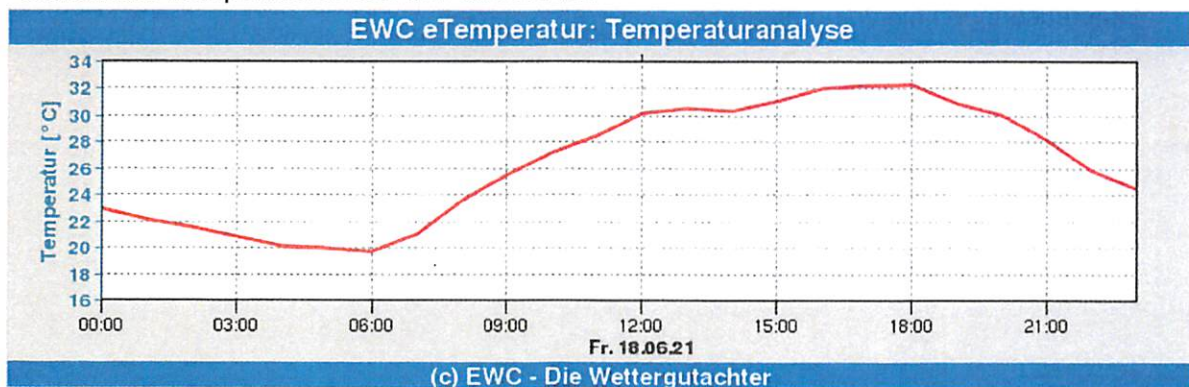
5.6.1 Temperaturen

Am Tag der Havarie (18.6.2021) lagen ungewöhnlich hohe Temperaturen an. Mit $\approx 32,3^{\circ}\text{C}$ wurden an diesem Tag die Jahreshöchsttemperaturen erreicht. Aufgrund der ungewöhnlichen Temperaturen wurden nachfolgende Wetterdaten angefordert, entnommen aus [14]:

- Aufstellung der Tageshöchst- und Tagestiefsttemperaturen im Zeitraum vom 12.-19.6.2021 (KW 24)



- Stündlicher Temperaturverlauf am 18.06.2021



In KW 24 zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen tageshöchst- und tagestiefsttemperaturen. Somit ist von vergleichsweise großen Zwangsbeanspruchungen infolge

Temperatur bzw. mit vergleichsweise großen Verformungsbewegungen am Überbau Süd auszugehen. Die bauzeitlichen Messungen am Überbau Nord können aufgrund der geänderten Lagerung nur bedingt zum Vergleich herangezogen werden. Über die Woche hinweg ist ein ansteigender Temperaturverlauf zu verzeichnen. Da Umgebungs- und Bauteiltemperatur korrelieren ist folglich auch von einer ansteigenden mittleren Bauteiltemperatur auszugehen. Die Temperatur schwankte in dieser Woche zwischen 10,4°C und 32,3°C, woraus eine Gesamtamplitude von 22 K resultiert.

Am Tag der Havarie zeigten sich analoge Schwankungen am Standort. Der Tagesminimalwert ($\approx 19,7^\circ\text{C}$) wird gegen $\approx 6:00$ Uhr erreicht. In Verbindung mit dem Sonnenaufgang steigt im Anschluss die Temperatur kontinuierlich an. Zwischen 12:00 Uhr und 14:00 Uhr wird zwischenzeitlich ein Plateau ($\approx 30,5^\circ\text{C}$) erreicht, ehe die Tageshöchst-Temperatur um 18:00 Uhr mit $\approx 32,3^\circ\text{C}$ erreicht wird.

Der Tag der Havarie ist auch im ganzjahreszeitlichen Verlauf zu betrachten. Der 21.6 eines Kalenderjahres markiert den Tag der Sommersonnenwende. An diesem Tag wird in nördlichen Breiten die maximale Sonnenscheindauer erreicht. Der 18.6 liegt in unmittelbarer Nachbarschaft, sodass an diesem Tag die maximale Sonnenscheindauer von $\approx 16:28$ Std (Aufgang um 5:12 Uhr bis Untergang um 21:40Uhr) erreicht wurde, siehe auch [17]. Die Korrelation zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang spiegelt sich in den Temperaturverläufen wider.

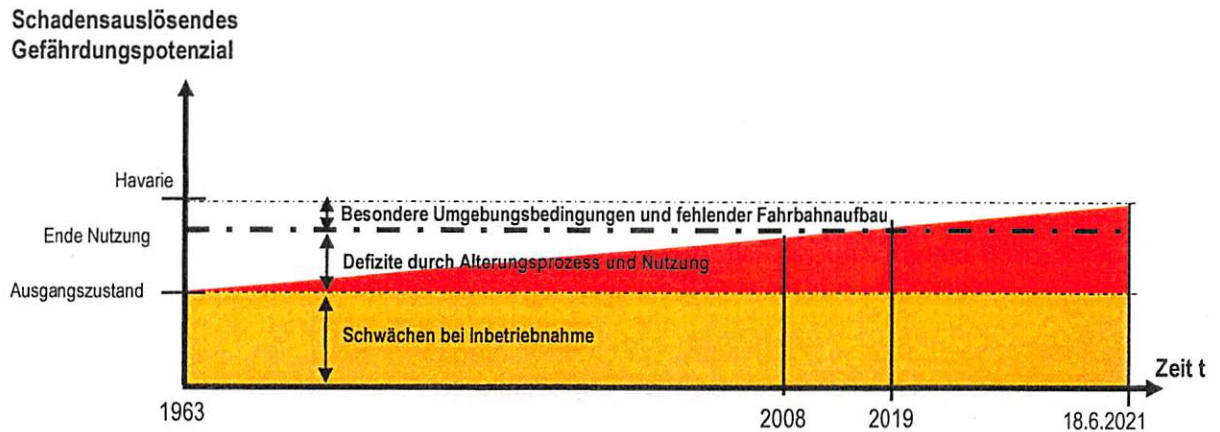
Die enorme Temperaturbeanspruchung in KW 24 bzw. insbesondere am 18.6 in Verbindung mit einer kontinuierlichen Sonneneinstrahlung hatte Auswirkungen auf die Zwangsbeanspruchungen im Tragwerk. Die Effekte wurden hierbei aufgrund des zwischenzeitlich entfernten Fahrbelags zusätzlich verstärkt.

Die stetig ansteigenden Temperaturen in KW 24 führten zu einer kontinuierlichen Zunahme der mittleren Bauwerkstemperatur und somit zu einer Ausdehnung des Tragwerks. Die maximale Ausdehnung wurde offenbar zum Zeitpunkt der Havarie ($\approx 17:00$ Uhr am 18.6) nahe dem Tageshöchstwert erreicht. Zu diesem Zeitpunkt lag vermutlich auch die maximale einseitige Erwärmung des Überbaus, sowohl in vertikaler als auch horizontaler Richtung vor, die aus der Sonneneinstrahlung resultierte.

Der Effekt einer einseitigen Erwärmung ist auch an den Pfeilern des Südüberbaus zu erwarten. Während die Pfeiler des Überbaus Nord weitestgehend im Schatten des Südüberbaus liegen, werden die Pfeiler des Südüberbaus kontinuierlich angestrahlt. Am Vormittag und am frühen Nachmittag werden die Pfeiler von Osten aus bestrahlt, sodass es an den Pfeilerköpfen durch die einseitige Erwärmung zu Auslenkungen in Richtung Westen kommt. Am Nachmittag fällt die Sonne von Westen auf die Pfeileroberflächen, sodass eine Rückverformung in Richtung Osten erfolgt. Das genaue Maß der Verformungen kann nur abgeschätzt werden. Entsprechende Untersuchungen hierzu enthält [17].

6 Zusammenfassung

Einflussmatrix der untersuchten schadensauslösenden Gefährdungspotenziale



		1963	1963-2019	2019-2021
Lagerung				
Konstruktionsform	Corroweldlager alte Bauform	++		
Lagersystem und - wege	Elastischer Festpunkt – kleine rechnerische Lagerwege	+++		
Festpunktwechsel	Unsicherheiten bei Festpunktwechsel	+++		
Temperatur				
Pfeiler	Pfeilerverkrümmung durch einseitige Sonneneinstrahlung	++		
Überbau		++		+
Vorspannung				
Bruch	Bruch von Spanndrähten infolge SPRK		+	o
Extern	Nachträgliche externe Vorspannung		+	o
Unterbauten				
Setzung vertikal	Setzungen bis zu 150 mm auf der Ostseite		+++	
Schiefstellungen	Pfeilerschiefstellung durch Setzungsdifferenzen		+++	
Umbauarbeiten				
Arbeiten Überbau Nord				o
Querkraftverstärkung				o
Zugänge Pfeiler B				o
Bautätigkeiten an den Gründungen				o*
Rückbau Fahrbahnaufbau				++
		12	8	3

*Auf Grundlage der vorliegenden Unterlagen konnten keine Hinweise gefunden werden, die auf eine zusätzliche Setzung oder Schiefstellung der Pfeiler infolge der Bautätigkeiten zurückzuführen sind, sodass hier nur minimale Auswirkungen nach 2019 wahrscheinlich sind. Einflüsse sind jedoch nicht vollständig auszuschließen.

Einen zusammenfassenden Überblick über die möglichen Einflussfaktoren und einer Einschätzung des schadensauslösenden Gefährdungspotenzial zeigen die obige Grafik und die zugehörige Tabelle. Dabei wurde die Entwicklung des Gefährdungspotenzials von der Inbetriebnahme 1963 über das Ende der planmäßigen Nutzung 2019 bis zum Zeitpunkt der Havarie bewertet und dargestellt.

Grundsätzlich zeigt sich, dass die Konstruktion bereits bei der **Inbetriebnahme** große konstruktive Schwächen aufwies und über ein hohes Gefährdungspotenzial (+12) verfügte. Neben dem anfälligen Lagerungssystem sind hier vor allem der inhomogene *Baugrund* sowie die Sensibilität des Tragwerks hinsichtlich Temperaturbeanspruchung durch die exponierte Lage des Südüberbaus zu nennen.

Das Lagerungssystem ist mit *Corroweldlagern älteren Bautyps* (+2) ausgeführt und die geringen erlaubten *Lagerwege* (+3) sind bei der vorliegenden leicht gekrümmten Bauform des Überbaus und zusätzlicher *Temperatureinwirkung* (+2) als hochsensibel einzustufen. Aufgrund der Ost-West-Ausrichtung des Bauwerks kann es infolge einseitiger Sonneneinstrahlung zu *Pfeilerkrümmungen* (+2) kommen, womit sich die Auswirkungen aus Temperatur verstärken. Sinnbildlich stehen hier die bereits während der Nutzungsdauer festgestellten Lagerwege an den Rollenlagern, die aus Zwangsschnittgrößen (insbesondere Temperatur) resultierten. Zudem ist die planmäßige Festhaltung in Achse C als anfällig einzustufen. Zum einen ist der hohe Pfeiler vergleichsweise biegeweich und somit verformungsanfällig, zum anderen ist eine zwischenzeitliche Verschiebung des tatsächlichen Festpunktes nicht auszuschließen (Festpunktwechsel +3). Entsprechendes wurde bereits zuvor am Überbau Nord beobachtet und kann somit für den Überbau Süd nicht ausgeschlossen werden. Ein einfaches Ausloten des Pfeilers C beim Ortstermin [16] bestätigte die vom Vermesser bereits am 23.8.2021 gemessene Kopfauslenkung von 8-10 cm, wobei der Nullzustand z. B. im November 2019 nicht bekannt ist und auch nicht mehr rekonstruiert werden kann. Tastrechnungen zeigten eine hohe Empfindlichkeit des Systems bei veränderlichen Parametern.

Infolge von **Alterungsprozessen** und in Verbindung mit der **Nutzung (1963–2019)** des Tragwerks kamen weitere mögliche Schadensparameter hinzu (+8). Infolge des inhomogenen und setzungsempfindlichen *Baugrundes* traten während der Nutzung des Bauwerks bereits große Setzungen (+3) auf, die auch mit Schiefstellungen der Pfeiler (+3) einhergingen. Auswirkungen aufgrund der Änderung der *Vorspannung infolge von Spanndrahtbrüchen* (+1) sind nur mit einem geringen Ausmaß zu bewerten. Gleiches ist für die Verstärkungsmaßnahmen zur *Querkrafttragfähigkeit bzw. zur nachträglichen Vorspannung* (+1) festzuhalten.

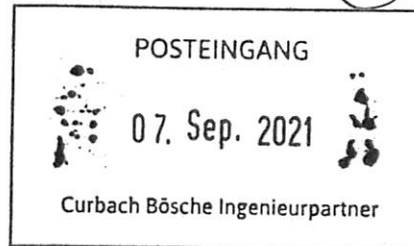
In der Phase nach der Nutzung (**ab 2019**) und als entscheidende und außergewöhnliche Belastung stellte sich die Kombination aus hohen *Temperaturbeanspruchungen* (+1) mit langer Sonnenscheindauer und den Auswirkungen des zwischenzeitlich *rückgebauten Fahrbahnaufbaus* (+2) heraus. Infolge des Abtrages des Fahrbahnbelages kam es zu einer erhöhten Beanspruchung des Tragwerks aus Temperatur gegenüber der langjährigen Nutzung im Vorfeld. Gleichzeitig wurde dadurch die Auflast auf die ohnehin sensiblen Pfeiler durch die Abnahme des Eigengewichts reduziert und somit das Tragwerk verformungsanfälliger. In Verbindung mit dem ohnehin kritischen Zustand mit großen Lagerauslenkungen, enormen Setzungserscheinungen und unklarer Lagerungssituation kann eine ungünstige Kombination der genannten Parameter zum Schadenszeitpunkt als Gesamtschadensursache ausgewiesen werden.

Der finale Schadensauslöser war am Ende offensichtlich das besondere Temperaturgeschehen am Schadenstag.

Eine zusätzliche Erhöhung des Gefährdungspotenzials in der vergleichsweise kurzen Zeitspanne nach 2019 aus zusätzlichen *Spanndrahtbrüchen, Arbeiten am Überbau Nord, der Querkraftverstärkung sowie Bautätigkeiten an den Gründungen (Wertung mit 0)* ist unwahrscheinlich und es liegen keine relevanten Hinweise hierfür vor.

30.8.21 
04/09/21

CURBACH BÖSCHE INGENIEURPARTNER
BERATFENDE INGENIEURFIRMA MBH
HEREN PROF. DR.-ING. THOMAS BÖSCHE
BERGSTR. 21A
D 01069 DRESDEN



DIPL.-ING. ALFRED PELLAR
BERATENDER INGENIEUR

AN DER TUCHBLEICHE 9
64584 BIEBESHEIM/RHEIN

TEL. 06258 - 7450
FAX 06258 - 9058916
E-MAIL [REDACTED]

KURZMITTEILUNG

POST FAX

05-09-2021

- KENNTNISNAHME
- RÜCKSPRACHE
- STELLUNGNAHME
- VERBLEIB
- GENEHMIGUNG

SEHR GEEHRTEN HEREN PROF. BÖSCHE,

ANBEI EIN UNTERSCHRIEBENES EXEMPLAR
DES FAZITS ZUR ABSTIMMUNGSBERATUNG, DAS
OFFENBAR VON DER AUTOBAHN GEWÜNSCHT WIRD.

VIELE GRÜSSE

- ANLAGEN
- _____
- _____
- _____
- _____

Dr. Christian Dehlinger



dr. christian dehlinger – röhrbachstr. 21 - 73441 bopfingen

An

Pellar Büro für Bauwesen und Bautechnik
z. Hdn. Hr. Dipl.-Ing Alfred Pellar
An der Tuchbleiche 9
D-64584 Biebesheim / Rhein

Gutachten Salzachtalbrücke

Härtsfeldhausen, den 2. Sept. 2021

Sehr geehrter Herr Pellar,

in der Anlage sende ich Ihnen das von mir unterzeichnete Exemplar des o.g. Gutachtens von cbing. Der Bauherr wünscht eine von allen drei Gutachtern unterzeichnetes Exemplar des Gutachtens.

Bitte unterzeichnen Sie jede Seite (mit Kürzel), unterschreiben Sie auf der letzten Seite mit Datum und voller Unterschrift und senden Sie das Dokument dann bitte weiter an Herrn Prof. Bösche.
Ganz herzlichen Dank für Ihre Bemühungen.

Mit freundlichen Grüßen



Dr. Christian Dehlinger

Dr. Christian Dehlinger
Wirtschaftsmediator
Lehrmediator
Wirtschaftscoach

Röhrbachstraße 21
73441 Bopfingen

tel. +49 (0) 7362 838039-0
mail@loesungswerkstatt.eu

USt-IdNr. DE326417923

IBAN:
DE72614901500417678002
BIC: GENODE33AAV
bei der VR-Bank Ostalb