

12-1-432 Adenauerbrücke

Kurzzusammenfassung der Nachrechnungsergebnisse Stufe 1 und 2

Ausgangssituation

Die 1954 gebaute und 1971 um jeweils einen Fahrstreifen pro Fahrtrichtung erweiterte Adenauerbrücke weist im Wesentlichen bauliche Schäden (wie z.B. frei liegende, unverpresste Spannglieder) auf, die eine genauere Untersuchung erforderten. Diese Untersuchung umfasste die statische Berechnung nach Stufe 1 und 2, eine intensive Bauwerksprüfung und die Installation eines Monitoringsystems. Das Monitoringsystem wurde weiterhin dazu genutzt, um im Rahmen einer Probelastung die rechnerischen Modelle zu überprüfen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammengefasst.

Ergebnisse der Bauwerksprüfung

Die Bauwerksprüfung ergab, dass im Wesentlichen bauliche Mängel vorhanden sind, die die Lebensdauer der Brücke einschränken. Diese sind z.B. freiliegende Spannstäbe, unverpresste bzw. nur teilweise verpresste Spannstäbe und Risse im Donaufeld. Eine Auswertung der vorangegangenen Bauwerksprüfungen und Bewertung dieser Bauwerkprüfungen im heutigen SIBBW-System ergeben, dass die Note sich seit der frühesten vorliegenden Bauwerksprüfung kaum verändert hat. Somit ist aus heutiger Sicht nicht von einer wesentlichen Schadensausbreitung im Lauf der vergangenen Jahre auszugehen (siehe Anhang).

Neben den Auffälligkeiten am Überbau zeigt sich auch, dass die Kammerwand links (Ulmer Seite, Schadens-ID 2) einen Schaden aufweist. Dieser Schaden hat allerdings für die Standsicherheit des Überbaus der Brücke nur einen untergeordneten Einfluss und kann höchstens die Verkehrstauglichkeit der Brücke durch eine möglicherweise entstehende Absenkung der Fahrbahn beeinflussen.

Ergebnisse der Berechnung nach Stufe 1 und 2

Längstragsystem

Grenzzustand der Tragfähigkeit

- Defizite der unteren Längsbewehrung im mittleren Bereich des Hauptfeldes (max. Ausnutzungsgrad 115%) und im Ulmer Randfeld (max. Ausnutzungsgrad 140 %)
- Schubtragfähigkeit nachgewiesen
- Ermüdungsnachweise konnten mit den in den Stufen 1 und 2 der Nachrechnungsrichtlinie zulässigen Mitteln nicht erbracht werden (Angabe eines Ausnutzungsgrades nicht sinnvoll möglich, da logarithmische Auswerteskala)
- Anmerkung:
Die genannten Ausnutzungsgrade beziehen sich auf das Verhältnis von rechnerisch erforderlicher zu vorhandener schlaffer Bewehrung und nicht auf die Gesamttragfähigkeit der einzelnen Querschnitte.

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

- Nachweis der Dekompression konnte über große Bereiche des Überbaus (Feldbereiche und Bereiche über den Pfeilern) nicht erbracht werden. Nach

heutigen Maßstäben (NaRiLi St 1 + 2) wäre ein höherer Grad der Vorspannung erforderlich.

- Der Rissbreitennachweis ist über große Bereiche des Überbaus eingehalten. Lediglich im Ulmer Randfeld und lokal nahe der Mitte des Hauptfeldes treten Überschreitungen auf.
- Die Nachweise der Spannungsbegrenzung (Betondruckspannung, Betonstahlzugspannung, Spannstahlzugspannung) konnten im mittleren Bereich des Hauptfeldes und im Ulmer Randfeld nicht erbracht werden.

➔ Nachweise zur Dekompression, Rissbreiten- und Spannungsbegrenzung sind Hilfsmittel, die während der Planungsphase Prognosen des Gebrauchstauglichkeitsverhaltens des Bauwerks ermöglichen sollen. Nach NaRiLi St 2 kann die Gebrauchstauglichkeit von Bestandsbauwerken jedoch auch qualitativ bewertet werden, d.h. das tatsächlich am Bauwerk beobachtete Rissverhalten ist entscheidend.

Im den beiden letzten vorliegenden Prüfberichten aus den Jahren 2013 und 2018 sind für die Feldbereiche des Überbaus Risse bis 0,2 mm dokumentiert. Dies würde gemäß den vorstehenden Ausführungen eine Einstufung in Nachweisklasse C bedeuten und mit einer auf 20 Jahre beschränkten Restnutzungsdauer einhergehen.

Quertragsystem

Grenzzustand der Tragfähigkeit

- Defizite der Längsbewehrung in einem von sechs Schnitten in der Fahrbahnplatte (max. Ausnutzungsgrad 117 %) sowie in der Bodenplatte (max. Ausnutzungsgrad 182 %).
- Schubtragfähigkeit nachgewiesen
- Nachweise der Ermüdung erfüllt

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

- Nachweis der Dekompression konnte für die quer vorgespannte Fahrbahnplatte unter den relevanten häufigen Lasten nur in drei von sechs Schnitten erbracht werden. Bei Führen des Dekompressionsnachweises auf Basis der quasi-ständigen Lasten (Anforderungsklasse C, Restnutzungsdauer 20 Jahre) wäre dieser nach Stufe 2 eingehalten.
- Der Rissbreitennachweis konnte im Wesentlichen erbracht werden. Nur in einem Schnitt der Fahrbahnplatte treten bereichsweise rechnerische Überschreitungen der zulässigen Rissbreite $w_{\max} = 0,2 \text{ mm}$ auf.
- Nachweis der Begrenzung der Betondruckspannungen erbracht.
- Nachweis der Begrenzung der Betonstahlspannungen kann im Wesentlichen erbracht werden. Nur in einem Schnitt der Fahrbahnplatte treten bereichsweise rechnerische Überschreitungen der zulässigen Betonstahlspannung auf.

Auch für die Querrichtung gilt, dass für die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit das tatsächliche Rissverhalten betrachtet werden kann. ➔ Nachweisklasse C, beschränkte Restnutzungsdauer.

Ergebnisse der Probelastung

Durch die Probelastung konnte nachgewiesen werden, dass

- sich beide Hohlkästen, die über die durchgehende Fahrbahnplatte miteinander verbunden sind, nennenswert an der Verkehrslastabtragung beteiligen – d.h. auch dann, wenn sich die Lasten auf einem der beiden Hohlkästen befinden. Für die Bemessung wurde dies allerdings nicht angesetzt, da davon auszugehen ist, dass im Grenzzustand der Tragfähigkeit insbesondere die Biegesteifigkeit der Fahrbahnplatte durch Rissbildung stark reduziert wird. Die Verteilung der Lasten in Querrichtung fällt im GZT und GZG dadurch unterschiedlich aus.
- die Ermüdungsbeanspruchung durch eine bessere Verteilung der Belastung zwischen den beiden Hohlkästen geringer ist. Weiterhin entspricht die Verteilung der einwirkenden LKWs nicht den Angaben in der Nachrechnungsrichtlinie entspricht. Wie aus den Messdaten erkenntlich wird, ist der Anteil der LKWs mit < 12 to mit 94% deutlich höher als beim für die Ausgangsberechnung angenommenen Profil der Nachrechnungsrichtlinie, so dass mit Hilfe der Probelastung der Ermüdungsnachweis für die nächsten 10 Jahre erbracht werden konnte (ab 2014 gerechnet).

Weitere Maßnahmen

Im Rahmen einer abschätzenden Überprüfung der Tragfähigkeit konnte festgestellt werden, dass eine wesentliche Ursache für die Überschreitung der Tragfähigkeit die Berücksichtigung der Kriechverformungen sind (siehe auch Anhang). So wurde 1954 eine Kriechzahl von 1,0 angenommen, während heute eine Kriechzahl von 2,4 anzunehmen ist. Damit werden – bedingt durch die Bauweise – die Lasten aus Eigengewicht von der Stütze ins Feld umgelagert, da diese Bereiche später belastet werden und dadurch weniger kriechen.

Bei den Nachweisen zeigen sich Reserven in den Stützbereichen. Infolge von Rissbildung können sich die Schnittgrößen umlagern, d.h. die Beanspruchungen in den Feldern werden kleiner, in den Stützbereichen wachsen die Beanspruchungen an.

Nachweise unter Berücksichtigung von rissbildungsbedingten Umlagerungen wurden bisher nicht geführt (NaRiLi Stufe 4).

Momentan wird die Brücke durch Messung von Dehnungen in Feldmitte kontinuierlich überwacht, um Änderungen bei den Verformungen und beim Verkehrsaufkommen feststellen zu können. Die Messungen sind bisher ohne Auffälligkeiten.

Empfehlungen:

Bei den neuesten Untersuchungen der Spannstabkopplungen der Gänstorbrücke (2018 / 2019) zeigten sich systematische Korrosionsschäden. Diese können sich negativ auf das Ermüdungstragverhalten auswirken.

Eine Neubewertung der oben genannten Ergebnisse in Bezug auf das Ermüdungsverhalten der Adenauerbrücke ist bisher nicht erfolgt.

Es wird empfohlen, ergänzende Sondierungen im Bereich von Spannstabkopplungen durchzuführen. Ggf. muss die Standsicherheit neu bewertet werden.

Um statisch relevante Veränderungen frühzeitig erkennen zu können (z.B. den Ausfall eines Spannstabes), wäre eine Erweiterung des Monitoringsystems mittels „Acoustic emission“ bzw. Schallemissionsanalyse – analog zur Gänstorbrücke sinnvoll. Durch diese Erweiterung können Spannstabbrücke in Echtzeit erkannt und lokalisiert werden. Im Zuge der Erweiterung des Monitoringsystems ist der bestehende Alarmplan auszuweiten. Es sind Maßnahmen entsprechend den Schadensszenarien und den zugehörigen Reaktionszeiten auszuarbeiten.

Als zusätzliches Sicherheitselement wird empfohlen, die Hauptprüfung des Bauwerks in einem kürzeren Prüfintervall durchzuführen (Vorschlag: alle zwei Jahre - nächste Hauptprüfungen 2020, 2022, 2024).

Zur Verkleinerung der ermüdungswirksamen Beanspruchungen wird empfohlen, LKW-Stausituationen durch eine LKW-Mindestabstandsregelung zu entschärfen (Vorschlag: LKW-Mindestabstand 50 m).

Kurzzusammenfassung

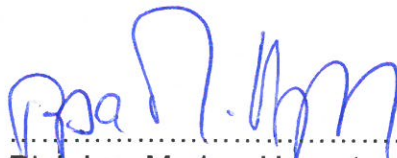
Bei der Adenauerbrücke sind Schwächen bzgl. der Standsicherheit vorhanden. Diese Schwächen umfassen sowohl die Tragfähigkeit als auch die Ermüdungsfestigkeit bezogen auf die heutigen Anforderungen. Eine Abschätzung der Tragfähigkeit deutet an, dass diese Schwächen durch Umlagerungen kompensiert werden können, bzw. durch Auswertung des Riss-Vor-Bruchkriteriums eine Ankündigung vorhanden ist.

Um den Zustand der Brücke zu kontrollieren, sind an ausgewählten Stellen Messeinrichtungen angebracht, die kontinuierlich Messdaten aufzeichnen. Durch kontinuierliche Überprüfung der Messdaten und der Vergleich mit Grenzwerten lässt sich ein kritischer Schadensfortschritt rechtzeitig erkennen. Die bisherigen Messergebnisse stehen im Einklang mit den konstruktiven Randbedingungen und den äußeren Einwirkungen. Basierend auf den vorliegenden Messergebnissen zeigt sich ein plausibles und intaktes Bauwerksverhalten unter äußeren Einwirkungen. Die in der Messstation eingerichteten Schwellenwerte zur Alarmierung wurden in der Berichtszeit nicht überschritten.

Damit kann nach heutigem Stand der Auswertungen (Sommer 2019) festgestellt werden, dass die Adenauerbrücke entsprechend den Auswertungen im Bericht 12-1-432/7 mit der derzeitigen Verkehrsführung (kein genehmigungspflichtiger Schwerverkehr) mind. bis 2024 weiterbetrieben werden kann, sofern keine Veränderung aus den Messdaten und/oder den weiteren laufenden Untersuchungen im Rahmen der Brückenprüfungen und im Rahmen der Erweiterungen des Monitoringsystems auf wesentliche Änderungen des Zustands schließen lassen.

Nach dieser Zeit wird empfohlen, eine Neubewertung der Brücke durchzuführen. Auf Basis dieser Neubewertung kann dann über das weitere Vorgehen aufgrund der dann neuen Daten entschieden und das bisherige Konzept sowohl der Überwachung als auch der u.U. dann sinnvollen baulichen oder organisatorischen Maßnahmen entschieden werden.

Kempten, 23.09.2019



Dipl.-Ing. Markus Hengst
Bereichsleiter Brückenbau



Prof. Dr.-Ing. habil Jörg Schänzlin
Bereichsleiter F&E

Anhang:

Adenauerbrücke – Ursachen für den aktuellen Zustand

Bei der 1954/55 im Freivorbau errichteten Adenauerbrücke ergeben die Nachrechnungen, dass die Standsicherheit entsprechend der Nachrechnungsrichtlinie nicht mehr gegeben ist. Für die rechnerischen Defizite gibt es mehrere Gründe:

- **Langzeitverhalten:** In der ursprünglichen statischen Berechnung wurden kriechbedingte Umlagerungen unterschätzt. Bei der Nachrechnung ergeben sich daher in Feldmitte deutlich ungünstigere Beanspruchungen.
- **Statisch unbestimmte Wirkung der Vorspannung:** Bei Spanngliedern, die nach dem Lückenschluss vorgespannt wurden, ergeben sich bei der Nachrechnung andere Schnittgrößen als in der ursprünglichen statischen Berechnung.
- **Modellierung:** In der Ausgangsberechnung wurde das System auf ein Stabwerk reduziert und dann als Rahmen gerechnet. Die Schiefwinkligkeit der Pfeiler bezogen auf die Brückenlängsachse blieb unberücksichtigt. Damit wurde die Spannweite der Randfelder teilweise unterschätzt. Gerade bei kurzen Spannweiten führt diese Unterschätzung um einen bestimmten Betrag zu größeren Beanspruchungen. Anzumerken ist allerdings, dass diese Brücke mit den damals zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln nicht genauer modelliert werden konnte.

Neben diesen Unterschieden zwischen der damaligen und der heutigen Modellierung des Trag- und Verformungsverhaltens zeigt sich, dass die Erweiterung der Brücke von 2 auf 3 Fahrstreifen pro Fahrtrichtung ebenfalls ungünstige Auswirkungen auf die Nutzungsdauer der Brücke hatte. Seit 1970/71 können je Fahrtrichtung bis zu drei LKWs direkt nebeneinander die Brücke passieren. Dies führt zu erhöhten Spannungsschwingbreiten in den Bewehrungselementen und daher zu einer verringerten Lebensdauer.

Im Rahmen des Unterhalts der Brücke wurden regelmäßige Bauwerksprüfungen in unterschiedlichen Untersuchungstiefen durchgeführt. Im Rahmen der Begutachtung der Brücke im Jahr 2012 durch die KBK wurden diese bisherigen Prüfungen gesichtet (siehe Bericht KBK 12-1-432/1 und Abbildung 1). Da nicht alle Prüfungen entsprechend der Notengebung nach SIB-BW durchgeführt wurden, wurden nachträglich die Ergebnisse vorheriger Prüfungen entsprechend SIB-BW ausgewertet.

Tabelle 1: Benotung der Brücke entsprechend den Beispielschäden in SIB-Bauwerke

Prüfer	Jahr	DVS	DS	S	D
LAP	1984	3.3	3.3	3.0	2.5
Bardolini & Seitz	2000	3.3	3.3	3.0	2.5
Bardolini & Seitz	2007	3.3	3.3	3.0	2.5
Müller	2011	3.3			
KBK	2012	3.4	3.4	3.0	3.0

DVS = kombinierte Note aus Dauerhaftigkeit, Verkehrssicherheit und Standsicherheit

DS = kombinierte Note aus Dauerhaftigkeit, und Standsicherheit

S = Note im Hinblick auf die Standsicherheit

D = Note im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit

Abbildung 1: Zusammenstellung der Noten aus Bericht 12-1-432/1;
aktuelle Note der **Hauptprüfung 2018**: 3,4

Dabei zeigt sich, dass die Zustandsnote sich über die Jahre nicht geändert hatte und die Brücke bereits 1984 eine Zustandsnote von 3,3 aufwies. Wird die Gesamtnote entsprechend den einzelnen Schäden aufgegliedert, zeigt sich, dass diese Note im Wesentlichen durch den Schaden 44 und Schaden 43 verursacht werden (siehe Abbildung 2).

Tabelle 4: Auswirkungen der einzelnen Schäden auf die Gesamtnote

Schadensid	DVS	DS	S	V	D
44	3.4	3.4	3	1	3
43	3.3	3.3	3	1	2.5
2	2.7	2.7	1.2	1	2.5
35	2.7	2.7	1.2	1	2.5
36	2.7	2.7	1.2	1	2.5
48	2.6	1.1	1	2.5	1.1
6	2.5	2.5	1	1	2.5
38	2.5	2.5	1	1	2.5
...	...	...	...	...	...

Abbildung 2: Auswertung der Schäden (aus Bericht 12-1-432/1); in der HP 2018 maßgebender Schaden ist weiterhin ID 44 und 43

Diese beiden Schäden sind allerdings im Wesentlichen durch bauliche Mängel verursacht worden, da es sich bei diesen Schäden um freiliegende Spannglieder bzw. schlecht verpresste Spannglieder handelt.

[43] Balken / Steg, Hüllrohr, Beton, eine Stelle, nicht verpresst, 2-tes Feld, hinten am Bauwerk, rechts, innen, Hüllrohr klingt hohl, siehe auch [44]
S=3, V=0, D=3



P1000943

Schadensid 43

[44] Fahrbahnplatte, Spannstahl, Beton, mehrfach, verrostet mit Narbenbildung, 2-tes Feld, hinten am Bauwerk, rechts, innen, 6 weitere Stellen vorhanden, siehe Schadenspläne
S=3, V=0, D=4



P1000959

Schadensid 44

Abbildung 3: Maßgebende Schäden der visuellen Prüfung nach DIN 1076 (siehe [KBK 2012])

Abbildung 3: Maßgebende Schäden (aus Bericht 12-1-432/1)

Werden die 2012 erhobenen Schäden im Innern des Überbaus betrachtet, wurden folgende Schadensgruppen gefunden:

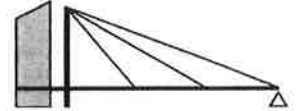
Hohlstelle	58
Spannstahl liegt frei	7

Abbildung 4: Zusammenstellung der Schadensgruppen (aus Bericht 12-1-432/1)

Diese Schädigungen sind im Wesentlichen auf die baulichen Schwächen zurückzuführen. Feuchteschäden im Innern des Hohlkastens der Brücke bzw. an der Außenseite wurden bei der intensiven Bauwerksprüfung 2014 nicht vorgefunden. Die Bauwerksprüfung 2018 zeigt allerdings, dass eine feuchte/nasse Stelle vorhanden ist. Dies – mit Ausnahme der nassen Stelle -- ist auch bei den vorherigen Prüfungen vergleichbar (sofern die Prüfungen nach heutigen Gesichtspunkten auswertbar waren). Lediglich im Bericht von LAP aus dem Jahr 1984 wurden einige Aussinterungen bzw. Wassereintritte vermerkt. Dies bedeutet, dass nach 1984, also nach dem Bekanntwerden der Schäden, umfassende Maßnahmen zur Abdichtung der Brücke erfolgten, so dass im Innern der Hohlkästen keine Feuchtespuren mehr erkennbar sind.

Dipl.-Ing. Manfred Eisele

Prüfingenieur für Bautechnik Fachrichtung Massivbau (2)



Stahlbau Verbundbau
Holzbau Massivbau

Bürogemeinschaft
Kuhlmann Gerold Günther Eisele

Dipl.-Ing. Manfred Eisele • Felix-Wankel-Str. 6 • 73760 Ostfildern

Stadt Ulm
Hauptabteilung Verkehrsplanung
Sachgebietsleitung Ingenieurbauwerke
Herrn Gerhard Fraidel
Münchner Straße 2
89073 Ulm

Felix-Wankel-Straße 6
73760 Ostfildern-Nellingen

Tel.: +49 (0) 711-340170-3
Fax: +49 (0) 711-340170-42

E-Mail: mail@ing-nellingen.de
web: www.ing-nellingen.de

Datum: 16.10.2019

Aktenzeichen: VGV/VP-AS
Unsere Nr.: E14N19

Adenauerbrücke in Ulm Zusammenfassung der Ergebnisse der Nachrechnung Stufe 1 und 2 durch Konstruktionsgruppe Bauen, Kempten

Sehr geehrter Herr Fraidel,

die zusammenfassende Beurteilung des Zustands der Adenauerbrücke und die Vorschläge für das weitere Vorgehen durch die Konstruktionsgruppe Bauen vom 23.09.2019 habe ich durchgesehen. Der Inhalt dieser Beurteilung deckt sich mit unserer Einschätzung. Wir können dem vorbehaltlos zustimmen.

Mit freundlichen Grüßen

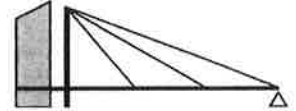
M. Eisele



Dipl.-Ing. Manfred Eisele

Dipl.-Ing. Manfred Eisele

Prüfingenieur für Bautechnik Fachrichtung Massivbau (2)



Stahlbau Verbundbau
Holzbau Massivbau

Bürogemeinschaft
Kuhlmann Gerold Günther Eisele

Dipl.-Ing. Manfred Eisele • Felix-Wankel-Str. 6 • 73760 Ostfildern

Stadt Ulm
Hauptabteilung Verkehrsplanung
Sachgebietsleitung Ingenieurbauwerke
Herrn Gerhard Fraidel
Münchner Straße 2
89073 Ulm

Felix-Wankel-Straße 6
73760 Ostfildern-Nellingen

Tel.: +49 (0) 711-340170-3
Fax: +49 (0) 711-340170-42

E-Mail: mail@ing-nellingen.de
web: www.ing-nellingen.de

Datum: 16.10.2019

Aktenzeichen: VGV/VP-AS
Unsere Nr.: E14N19

Adenauerbrücke in Ulm Zusammenfassung der Ergebnisse der Nachrechnung Stufe 1 und 2 durch Konstruktionsgruppe Bauen, Kempten

Sehr geehrter Herr Fraidel,

die zusammenfassende Beurteilung des Zustands der Adenauerbrücke und die Vorschläge für das weitere Vorgehen durch die Konstruktionsgruppe Bauen vom 23.09.2019 habe ich durchgesehen. Der Inhalt dieser Beurteilung deckt sich mit unserer Einschätzung. Wir können dem vorbehaltlos zustimmen.

Mit freundlichen Grüßen

M. Eisele



Dipl.-Ing. Manfred Eisele