

Verstärken von Bestandsbauwerken – ein wichtiger Beitrag zur Nachhaltigkeit

<https://doi.org/10.14459/2023.1724792.mbs27.08>

Jürgen Feix, Johannes Lechner



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Feix

1981-86 Studium Bauingenieurwesen, TU München
1986-87 Mitarbeiter im Konstruktionsbüro der Hauptverwaltung der Dyckerhoff und Widmann AG (Abteilung Brückenbau)
1987-94 Assistent am Lehrstuhl für Massivbau der TU München, Promotion 1994
1994-99 Partner im Ingenieurbüro Büchting, Streit, Feix, München
1999-10 Geschäftsführender Gesellschafter der CBP Cronauer Beratung Planung GmbH
seit 2011 Geschäftsführender Gesellschafter der Prof. Feix Ingenieure GmbH, München
seit 2003 Universitätsprofessor für Massivbau und Brückenbau, Universität Innsbruck



Dipl.-Ing. Dr.techn. Johannes Lechner

2007-13 Studium Bauingenieurwesen, Universität Innsbruck
2013-17 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Arbeitsbereich für Massivbau und Brückenbau, Universität Innsbruck, Promotion 2017
seit 2017 Mitarbeiter der Prof. Feix Ingenieure GmbH, München
seit 2022 Prokurist der Prof. Feix Ingenieure GmbH, München

Durch Nutzungsänderungen und Lasterhöhungen weisen viele Tragwerke im Zuge von Nachrechnungen deutliche Tragfähigkeitsdefizite auf. Dies gilt insbesondere für Brückentragwerke, bei welchen sich durch das massiv gestiegene Verkehrsaufkommen, aber auch durch Normenänderungen häufig Bewehrungsdefizite ergeben. Da ein Großteil der Brückeninfrastruktur Deutschlands vor 40 bis 60 Jahren erbaut wurde, wäre eine Erneuerung dieser Bauwerke nicht nur mit einem enormen ökonomischen volkswirtschaftlichen Aufwand verbunden, sondern hätte auch ökologisch weitreichende Folgen wie zum Beispiel hinsichtlich der CO₂ Emissionen durch den Umleitungsverkehr. Der folgende Beitrag soll anhand von zwei ausgeführten Beispielen und damit verbundenen Untersuchungen die positiven Umwelt-Aspekte der Tragwerksverstärkung gegenüber Ersatzneubauten zeigen.

Due to changes in use and load increases, many load-bearing structures show significant load-bearing capacity deficits in the course of recalculations. This applies in particular to bridge structures, where reinforcement deficits frequently arise due to the massive increase in traffic volume, but also due to changes in the assessment standards. Since a large part of Germany's bridge infrastructure was built 40 to 60 years ago, renewal of these structures would not only lead to enormous economic costs, but would also have far-reaching ecological consequences, for example with regard to CO₂ emissions from the diversion traffic. The following article is intended to show the positive environmental aspects of strengthening the structures in comparison to replacement constructions on the basis of two examples carried out and associated ecological studies.

Einleitung

Ein Großteil der Brückentragwerke in Mitteleuropa wurde in den Jahren zwischen 1960 und 1980 errichtet. Vor dem Hintergrund, dass 87% der Brücken im Bundesfernstraßen-Netzwerk in Betonbauweise (Stahlbeton und Spannbeton) errichtet wurden und sich seit dem Errichtungszeitraum die Nachweisführung der Tragfähigkeitsnachweise teilweise deutlich geändert haben, ergeben sich häufig wesentliche Tragfähigkeitsdefizite im Zuge der Nachrechnung, wie Untersuchungen (z.B. [1], [2]) zeigen.

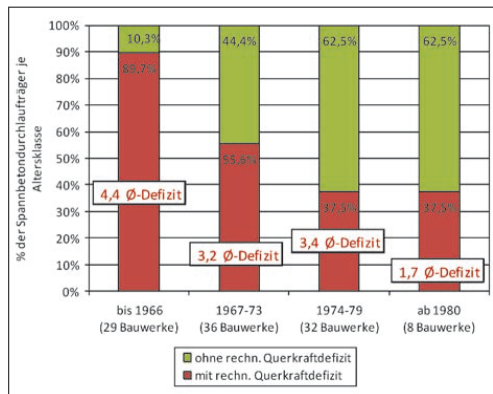


Abb. 1: Auswertung von 105 nachgerechneten Spannbetonbrücken hinsichtlich der Querkrafttragfähigkeit bezogen auf das Brückenalter, aus [1]

Eine statistische Auswertung von mehreren Tragwerksnachrechnungen in [1] zeigt, dass ein wesentlicher Anteil der Brückentragwerke deutliche Defizite aufweist. Exemplarisch ist in Abbildung 1 das Defizit der Querkrafttragfähigkeit für Bauwerke verschiedenen Alters dargestellt. Hier zeigt sich, dass der Anteil der Bauwerke mit Defizit bei einem Errichtungszeitraum vor 1974 deutlich größer ausfällt. Dies lässt sich zum einen auf die geänderte Normung und die darin enthaltenen Bemessungsregeln zurückführen.

Andererseits haben sich seit dem Errichtungszeitraum auch die Verkehrseinwirkungen insbesondere auch das Schwerverkehrsaufkommen auf den Bundesfernstraßen deutlich gesteigert (vgl. [3]). Um dieser Entwicklung zu entsprechen wurden auch die normativen Berechnungslasten in den letzten

Jahrzehnten kontinuierlich angepasst und erhöht, was ebenfalls zu rechnerischen Defiziten bei der Brückennachrechnung führen kann, wie in [4] gezeigt wird.

Das gesamte Anlagevermögen der deutschen Infrastrukturbauwerke im Bundesfernstraßennetz kann mit etwa 45 Mrd. Euro abgeschätzt werden (Stand 2010, vgl. [5]). Ein Austausch der Bauwerke mit rechnerischen Defiziten würde entsprechend zu massiven volkswirtschaftlichen Kosten führen. Neben dem ökonomischen Gründen sprechen aber auch die ökologischen Aspekte für einen Verbleib der vorhandenen Tragwerke im Verkehrsnetz. Ein Abbruch und Ersatzneubau würde zum einen zu deponierendes Abbruchmaterial erzeugen, aber auch einen massiven CO₂-Austoß infolge des Materialeinsatzes für den Neubau verursachen. Wobei der größte Anteil der CO₂-Emissionen auf den Ausweich- und Umleitungsverkehr zurückzuführen ist, wie nachfolgend noch gezeigt wird.

Aus diesen Gründen wird in den letzten Jahren am Arbeitsbereich für Massivbau und Brückenbau der Universität Innsbruck an Verstärkungsmethoden mit folgenden Schwerpunkten geforscht:

- Schneller und einfacher Einbau der Verstärkung
- Geringer Materialeinsatz für die Verstärkung

Durch einen schnellen Einbau können etwaige Sperrzeiten des Tragwerks vermieden oder deutlich reduziert werden, was sich nachhaltig auf die Emissionen des Verkehrs auswirkt. Durch geringen Materialaufwand können andererseits die Emissionen bei der Erzeugung der Baumaterialien reduziert werden. Die neuen Verstärkungsmethoden wurden in den letzten Jahren bereits mehrfach in der Praxis angewandt und begleitende Untersuchungen zur Nachhaltigkeit der neuen Verfahren durchgeführt.

Praxisbeispiel Eisenbahnbrücke

Für eine Eisenbahnüberführung über eine Bundesautobahn konnte im Zuge einer Nachrechnung nach der Handlungsanweisung Spannungsrisskorrosion kein Ankündungsverhalten durch Riss vor Bruch nachgewiesen werden. Die verbleibende Restlebensdauer musst daher mit 0 Jahren eingestuft werden. Um das Tragwerk weiterhin im Betrieb halten zu können, wurde durch die Prof. Feix Ingenieure GmbH eine Verstärkung geplant, die auf dem Einsatz von Betonschrauben als nachträgliche Bewehrung aufbaut

(vgl. auch [6]). Dazu wurden zum einen Stahllamellen als externe Biegezugbewehrung an den Außenseiten des Hohlkastenquerschnitts mittels Betonschrauben angebracht. Andererseits wurden Betonschrauben mit einer Länge von 1,20 m durch den Hohlkasten gebohrt, um eine nachträgliche Querkraftbewehrung zu erhalten, wie die Abbildung 2 zeigt.

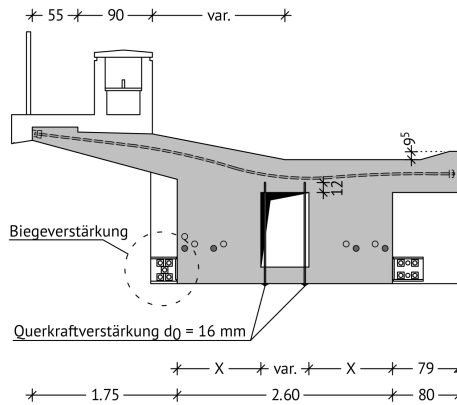


Abb. 2: Nachträgliche Biegezugverstärkung mit Stahllamellen als externe Bewehrung und Querkraftverstärkung mit Betonschrauben, Planauszug Prof. Feix Ingenieure GmbH

Durch den abschnittweisen Einbau der Biegeverstärkung und den Einbau der Querkraftverstärkung ausschließlich von der Brückenunterseite, konnte eine Sperre des Bahnverkehrs auf dem Tragwerk gänzlich vermieden werden. Der Autobahnverkehr unter dem Tragwerk konnte durch Sperren einzelner Fahrspuren auch ohne wesentliche Beeinträchtigung aufrechterhalten werden.

Im Zuge der Planung und Umsetzung dieser Verstärkung wurde eine Lebenszyklusanalyse [7] für die Maßnahme durchgeführt, in der ein Ersatzneubau mit der durchgeführten Verstärkung gegenübergestellt wurde. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse dieser Analyse und vergleicht die Umweltauswirkungen der Verstärkung mit einem Ersatzneubau und den Auswirkungen der Verkehrsumleitung infolge der Sperre des Tragwerks und der Autobahn unterhalb davon. Es zeigt sich dabei, dass bei einem Tag

Verkehrssperre die Verstärkung in etwa die Hälfte der schädlichen Umwelteinflüsse erzeugt, während ein Ersatzneubau den 1,55 bis 2,4fachen Einfluss hat.

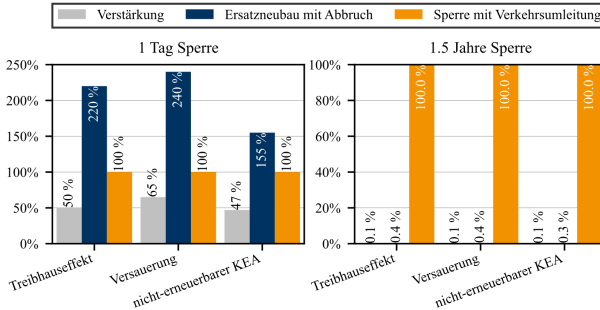


Abb. 3: Vergleich der Umweltauswirkungen der durchgeführten Verstärkungsmaßnahme mit einem Ersatzneubau und den Auswirkungen aus Umleitungsverkehr für einen Tag Verkehrssperre und 1,5 Jahre Verkehrssperre

Berechnet man diese Anteile jedoch auf einen Zeitraum von 1,5 Jahre, was für einen Ersatzneubau mindestens erforderlich wäre, so zeigt sich, dass die Anteile des Ersatzneubaus und der Verstärkung gegenüber dem Umleitungsverkehr verschwindend gering werden. Eine Verstärkung unter Aufrechterhaltung des Verkehrs mit kurzen Bauzeiten ist hat somit einen massiven positiven Einfluss auf die negativen Umwelteinflüsse.

Praxisbeispiel Straßenbrücke

Im österreichischen Bundesland Vorarlberg wurde in den letzten zwei Jahren eine bestehende dreifeldrige Straßenbrücke nachgerechnet und verstärkt. Das Tragwerk hatte aufgrund seiner stark gekrümmten Lage im Grundriss und der Konstruktion als vierstegiger Plattenbalken in den Randfeldern deutliche Defizite hinsichtlich der Torsions- und Querkraftbewehrung und auch schon ein ausgeprägtes Schubrissbild in den Stegen.

Als Verstärkung wurde eine zusätzliche Betonschicht mit textiler Bewehrung geplant, wobei ein gesticktes Carbontextil verwendet wurde, welches an der Universität Innsbruck entwickelt wurde (vgl. [8]). Diese Bewehrung

rungsmatten kann infolge der Herstellung mittels Stickens an das zu verstärkende Tragwerk optimiert gefertigt werden. Durch die damit erzielte sehr geringe Schichtdicke der zusätzlichen Betonschicht war es möglich, deutliche Material- und Gewichtsersparnisse gegenüber einer herkömmlich bewehrten Querschnittsergänzung zu erzielen.

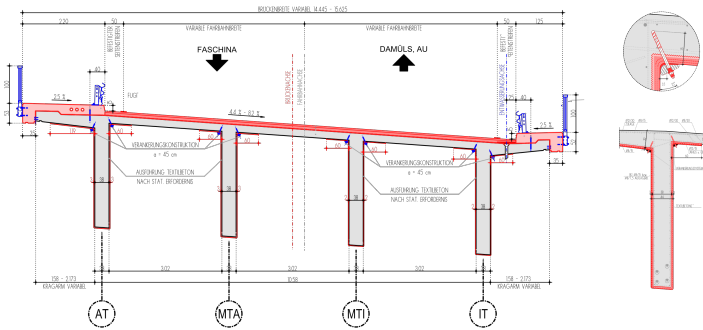


Abb. 4: Verstärkung der Stege der Brücke mittels Textilbeton und Verankerung mit Betonschrauben in der Fahrbahnplatte, Planauszug Prof. Feix Ingenieure GmbH

Im Zuge der Arbeit [9] wurde für dieses Bauvorhaben eine Ökobilanzierung durchgeführt und mehrere Varianten der Textilbetonverstärkung und einer konventionellen Verstärkung miteinander verglichen.

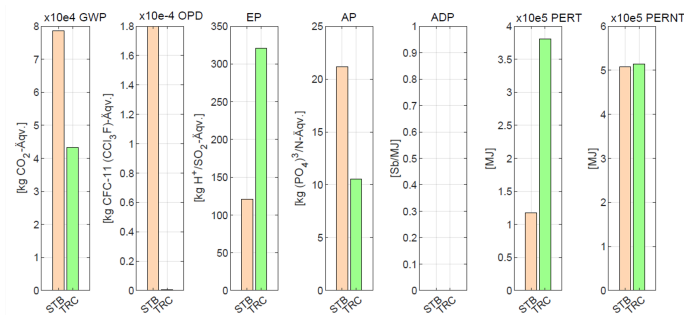


Abb. 5: Vergleich einer konventionellen Verstärkung mit einer Stahlbetonschicht (STB) und einer Verstärkung mit Carbonbeton (TRC) hinsichtlich des globalen Treibhauspotentials (GWP), des Abbaupotentials der Ozonschicht (OPD), des Eutrophierungspotentials (EP), der Versauerung (AP), des erneuerbaren Primärenergiebedarfs (PERT) und des nicht-erneuerbaren Energiebedarfs (PERNT), aus [9]

Abbildung 5 zeigt den Vergleich einer Verstärkung mittels Aufbetonschicht unter der Verwendung von konventionellen Bewehrungsstahl (STB). Dabei wird von einer Schichtdicke von 10 cm ausgegangen. Dem gegenübergestellt wird eine textilbewehrte Aufbetonschicht (TRC) mit einer Schichtdicke von 3 cm. Für beide Varianten wird in diesem Vergleich von einer Nutzungsdauer von 30 Jahren ausgegangen und es werden die Transportwege der Materialien zur Baustelle vom Herstellungsort im Vergleich berücksichtigt.

Es zeigt sich, dass es bei einer Verstärkung mit Textilbeton aufgrund der deutlich geringen Schichtdicken zu einer Reduzierung des Treibhauspotentials (GWP) von bis zu 45% kommt. Ähnlich große Einsparungen ergeben sich beim Versauerungspotential. Hingegen ist eine Verstärkung mit Carbonbeton mit einem höheren Energiebedarf (PERT) verbunden, wie der Vergleich in Abbildung 5 zeigt. Geht man jedoch davon aus, dass bei Verwendung von Carbonbeton aufgrund der nicht vorhandenen Korrosionsgefahr eine längere Nutzungsdauer der Verstärkung möglich ist, ergibt sich bei der etwa doppelten Nutzungsdauer der Textilbetonverstärkung auch ein geringerer Bedarf an nicht erneuerbarer Energie (PERNT), wie in [9] gezeigt wird.

Fazit

Verstärkungsmaßnahmen, die schnell und unter laufendem Verkehr eingebaut werden können vermeiden Sperren der zu verstärkenden Tragwerke. An der Universität Innsbruck wurden daher die Verstärkung mit Betonschrauben als nachträgliche Schubbewehrung, sowie die Verstärkung mittels gestickter Textilbewehrung aus Carbon entwickelt.

Im Zuge von Pilotprojekten mit den neuen Verstärkungsmethoden konnten die positiven Einflüsse von Tragwerksverstärkungen auf negative Umwelteinflüsse nachgewiesen werden. Durch die Aufrechterhaltung der Nutzung einer Brücke konnte das massive Einsparungspotential infolge des vermiedenen Umleitungsverkehrs gezeigt werden. Andererseits konnte durch den optimierten Materialeinsatz mit der neuen Verstärkungsmethode der positive Einfluss auf das Treibhauspotential nachgewiesen werden. Optimierte Tragwerksverstärkungen gegenüber konventionellen Methoden oder Ersatzneubauten stellen daher einen wesentlichen Beitrag zur Nachhaltigkeit dar.

Literatur

- [1] O. Fischer, T. Lechner, M. Wild, A. Müller, und K. Kessner, Nachrechnung von Betonbrücken-Systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke, Heft B 124. Bergisch Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, 2016.
- [2] P. Huber, A. Schweighofer, J. Kollegger, H. Brunner, und W. Karigl, „Vergleich der rechnerischen Querkrafttragfähigkeit von Bestandsbrücken nach Eurocode 2 und fib Model Code 2010“, Beton- und Stahlbetonbau, Bd. 107, Nr. 7, S. 451–462, Juli 2012.
- [3] A. Fitschen und H. Nordmann, „Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2015“, Bergisch Gladbach, 2018.
- [4] R. Maurer, A. Arnold, und M. Müller, „Auswirkungen aus dem neuen Verkehrslastmodell nach DIN EN 1991-2 / NA bei Betonbrücken“, Beton- und Stahlbetonbau, Bd. 106, Nr. 2011, S. 747–759, 2011.
- [5] P. Haardt, „Vom schadensbasierten zum zuverlässigkeitsorientierten Erhaltungsmanagement für Brückenbauwerke der Bundesfernstraßen“, in Sicherstellung der Nutzungsfähigkeit von Bauwerken mit Hilfe innovativer Bauwerksüberwachung, 2010, S. 11–16.
- [6] J. Feix, J. Lechner, M. Spiegl, und R. Walkner, „Nachhaltige Bauwerksverstärkung mit Betonschrauben“, in Beton Kalender 2021, John Wiley & Sons, Ltd, 2021, S. 953–1005.
- [7] F. Gschösser, R. Schneider, A. Tautschnig, und J. Feix, „Retrofitting Measure vs. Replacement - LCA Study for a Railway Bridge“, in Sustainable Built Environment (SBE) Regional Conference Zurich 2016., 2016, S. 472–477.
- [8] J. Konzilia u. a., „Embroidered Carbon Reinforcement for Concrete“, Buildings, Bd. 13, Nr. 9, S. 2293, 2023.
- [9] J. Wachter, „Textilbetonverstärkung im Brückenbau - Qualitätsbegleitung einer Bauausführung und Nachhaltigkeitspotentiale“, Universität Innsbruck, 2023.