



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

FAKULTÄT BAUINGENIEURWESEN Institut für Massivbau www.massivbau.tu-dresden.de



31. DRESDNER BRÜCKENBAUSYMPOSIUM

PLANUNG, BAUAUSFÜHRUNG, INSTANDSETZUNG
UND ERTÜCHTIGUNG VON BRÜCKEN

07. UND 08. JUNI 2022

© 2022 Technische Universität Dresden
Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.
Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichnungen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Manfred Curbach
Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx
Technische Universität Dresden
Institut für Massivbau
01062 Dresden

Redaktion: Silke Scheerer
Layout: Ulrich van Stipriaan
Anzeigen: Harald Michler

Titelbild: Drackensteiner Hang (1936) – Foto: Martin Hahn, LAD

Druck: addprint AG, Am Spitzberg 8a, 01728 Bannewitz / Possendorf

ISSN 1613-1169
ISBN 978-3-86780-709-8



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Institut für Massivbau <http://massivbau.tu-dresden.de>

Tagungsband

31. Dresdner Brückenbausymposium

Institut für Massivbau
Freunde des Bauingenieurwesens der TU Dresden e.V.
TUDIAS GmbH

07. und 08. Juni 2022

Inhalt

Herzlich willkommen zum 31. Dresdner Brückenbausymposium 2022!	7
Grußwort des Sächsischen Staatsministers für Regionalentwicklung	11
Brücken auf geokunststoffbewehrten Widerlagern – schnell, umweltgerecht und kostengünstig	13
<i>Gero Marzahn, Jörg Kranz, Dietmar Placzek, Thomas Oehler</i>	
Brücken mit Verbunddübelleisten – Entwurf, Bemessung und Ausführungsbeispiele	27
<i>Günter Seidl, Victor Schmitt, Wojciech Lorenc</i>	
Die Filstalbrücken im Zuge der NBS Wendlingen–Ulm – Integrale Bauwerke mit besonderen statisch-konstruktiven Herausforderungen	43
<i>Anton Braun</i>	
Zugglieder aus Faserverbundwerkstoff im Brückenbau – Besonderheiten beim Einsatz von Netzwerkhängern aus Carbon	57
<i>Lorenz Haspel</i>	
Verstärken von Bestandsstrukturen mittels Verbundankerschrauben	75
<i>Jürgen Feix, Johannes Lechner</i>	
Verstärkung von Stahl- und Spannbetonbrücken mit Carbonbeton – Aktuelles aus Praxis und Forschung	89
<i>Oliver Steinbock, Thomas Bösch</i>	
Integration of FEM Analysis and Construction Geometry Management on the Example of the Thu Thiem 2 Cable Stayed Bridge	107
<i>Antti Karjalainen</i>	
Brückendenkmalpflege – Erfahrungen aus Baden-Württemberg	121
<i>Michael Hascher, Sabine Kuban</i>	
smartBRIDGE Hamburg – die Brückeninstandhaltung der Zukunft	139
<i>Marc Wenner, Steffen Marx, Markus Meyer-Westphal, Martin Herbrand, Christof Ullerich</i>	
Risikobasiertes Anlagemanagement der Brücken der SBB – Methode und erste Anwendungserfahrungen	151
<i>Dirk Proske, Herbert Friedl, Jean-Baptiste Payeur, Blaise Girardin</i>	
Die Schorgasttalbrücke – Herzstück der Ortsumgehung Untersteinach	163
<i>Bernhard Schäpertöns, Daniel Schäfer, Werner Kuhnlein, Christoph Schultheiß</i>	
Nachhaltige Brücken aus vorgespanntem Carbonbeton	175
<i>Andreas Apitz, Frank Jesse, Mike Schlaich</i>	
Fertigung und Montage der Chenab Railway Bridge in Indien – Ein Erfahrungsbericht ...	191
<i>Frank Bauchspiess</i>	
Chronik des Brückenbaus	207
<i>Zusammengestellt von Sabine Wellner</i>	

Verstärken von Bestandsstrukturen mittels Verbundankerschrauben

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Feix¹, Dr. Johannes Lechner²

1 Einleitung

Etwa 60 % der zentraleuropäischen Infrastrukturbauwerke, wie Brücken, wurden in den Jahren 1960 bis 1985 errichtet und sind somit heute 30 bis 60 Jahre alt. Diese Bauwerke wurden auf die Anforderungen der damaligen Normen hinsichtlich der Belastung und der Bemessungsregeln ausgelegt. Diese Regelungen wurden in den vergangenen Jahren immer wieder angepasst, um zum einen den erhöhten Belastungen etwa durch gestiegenes Verkehrsaufkommen zu genügen.

1.1 Verstärkungen aufgrund neuer normativer Anforderungen

Auf der anderen Seite wurden die konstruktiven Regelungen im Stahlbetonbau und die Bemessungsansätze immer wieder an neue Forschungsergebnisse angepasst und damit meist etwas restriktiver. Dies gilt vor allem für die Bemessung der Querkrafttragfähigkeit, aber auch der Durchstanztragfähigkeit im Zuge der Einführung der harmonisierten europäischen Normen, den Eurocodes. So zeigen verschiedene Untersuchungen, dass zum einen durch die Einführung der neuen Lastmodelle die einwirkenden Lasten im Vergleich zu älteren Lastansätzen zugenommen haben, aber auch dass die konstruktiven Anforderungen (z. B. hinsichtlich der Mindestquerkraftbewehrung) gestiegen sind. Aus diesem Grund ergeben sich bei Nachrechnungen

von Bestandsbrücken, wie wissenschaftliche Untersuchungen (z. B. [1], [2]) und die Praxis zeigen, sehr häufig Querkrafttragfähigkeitsdefizite.

Aber nicht nur bei Brückentragwerken, sondern auch bei anderen Bestandstragwerken kommt es durch Umnutzungen oder Umbauten zu höheren Lasten auf den Bestand und Neubewertungen der Tragfähigkeit des Bestandes, wodurch letztlich Verstärkungsmaßnahmen erforderlich werden.

1.2 Zur Nachhaltigkeit von Verstärkungen

Bild 1 zeigt das Ergebnis einer Untersuchung aus [3] an einer bestehenden Eisenbahnbrücke über eine Bundesautobahn hinsichtlich der Umweltauswirkungen einer Ertüchtigung im Vergleich zu einem Neubau mit Abbruch des

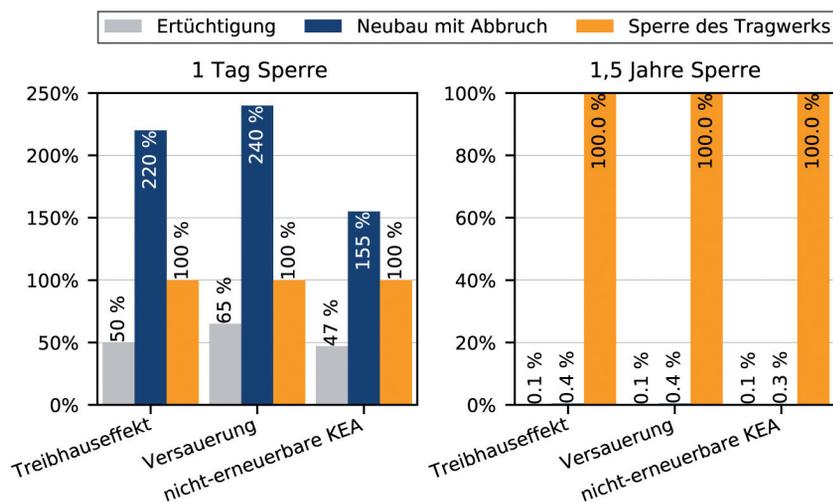


Bild 1 Untersuchungen zur Auswirkung der Sperre einer Eisenbahnbrücke über eine Autobahn hinsichtlich des Treibhauseffektes, der Versauerung und des nicht-erneuerbaren, kumulierten Energieaufwands im Vergleich zu einer Ertüchtigung bzw. dem Ersatzneubau bezogen auf einen Tag und auf 1,5 Jahre

Grafik: aus [3]

¹ Arbeitsbereich Massivbau und Brückenbau, Leopold-Franzens Universität Innsbruck

² Prof. Feix Ingenieure GmbH, München

bestehenden Tragwerks und im Vergleich zu einer Sperre des Tragwerks für einen bestimmten Zeitraum. Die gezeigten Auswirkungen auf den Treibhauseffekt, das Versauerungspotential und der nicht-erneuerbare, kumulierte Energieaufwand werden jeweils auf die zeitliche Sperre des Tragwerks bezogen. Dabei zeigt sich, dass eine Sperrung des Tragwerks und die damit verbundene Stauentwicklung bzw. der damit verbundene Ausweichverkehr die weitaus größten Umweltauswirkungen mit sich bringt.

So liegen die negativen Umwelteinflüsse infolge des Umleitungsverkehrs bereits bei zwei Tagen Sperrung des Tragwerks genauso hoch wie die Effekte des gesamten Ersatzneubaus inklusive Abbruchs und etwa beim vierfachen Umwelteinfluss gegenüber der gesamten Verstärkungsmaßnahme. Bei einem geschätzten Zeitraum für die Herstellung des Ersatzneubaus von etwa 1,5 Jahren zeigt sich, dass der Umwelteinfluss des Neubaus im Vergleich zu den Umweltauswirkungen des Ausweichverkehrs und der Staubildung mit einem Prozentsatz von deutlich unter einem Prozent verschwindend gering wird.

Bei vielen der derzeit üblichen Verstärkungsmethoden, wie etwa durchgebohrten Gewindestangen, angeklebte Stahlplatten, eingeklebten Bewehrungsstäben und CFK-Lamellen, müssen aber für die Installation der Fahrbahnaufbau und die Abdichtung an der Tragwerks- oberseite entfernt werden, um das System zu montieren. Dies führt wiederum zu Teil- oder Totalsperren der Tragwerke und der Verkehrswege.

Es braucht für die bestehenden Tragwerke somit Verstärkungssysteme, welche schnell und einfach und möglichst nur von einer Seite des Tragwerks unter weitest gehender Aufrechterhaltung der Nutzung des Tragwerks installiert und die unabhängig von den thermischen

Randbedingungen im Gegensatz zu rein geklebten Verstärkungen sofort belastet werden können. Nur so können die Umwelteinflüsse einer Verstärkung so gering wie möglich gehalten und somit ein nennenswerter Beitrag zur Nachhaltigkeit geleistet werden.

2 Betonschrauben als nachträgliches Verstärkungselement

Vor diesem Hintergrund wurde an der Universität Innsbruck in den vergangenen zehn Jahren verstärkt zum Thema der einfach anwendbaren Verstärkungsmethoden geforscht und unter anderem das Verfahren der nachträglich einbaubaren Querkraft- und Durchstanzbewehrung in Form von Verbundankerschrauben (auch Betonschrauben genannt) entwickelt und erforscht. Mit Hilfe von zahlreichen großmaßstäblichen Laborversuchen und detaillierten numerischen Untersuchungen wurden im Jahr 2019 schließlich bauaufsichtliche Zulassungen für das Verfahren der nachträglichen Querkraftverstärkung (vgl. [4]) und der nachträglichen Durchstanzverstärkung (vgl. [5]) beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) erwirkt.

2.1 Verwendete Betonschrauben als nachträgliche Schubbewehrung

Bild 2 zeigt die Verbundankerschrauben, die als nachträglich installierte Querkraft- oder Durchstanzverstärkung eingesetzt werden können. In den bauaufsichtlichen Zulassungen sind zwei Schraubendurchmesser geregelt ($d_0 = 22 \text{ mm}$ und $d_0 = 16 \text{ mm}$), wie sie auch in Bild 2 dargestellt sind.

Eine weitere Abstufung wird hinsichtlich des jeweiligen Anschlussgewindes, welches als genormtes ISO-Gewinde ausgeführt ist, vorgenommen. Hier sind für jeden Schraubentyp zwei verschiedene Anschlussgewinde verfügbar (M20 und M24 bzw. M16 und M18). Die Länge der Schrauben kann an das jeweilige Verstärkungsprojekt angepasst werden und ist in den Zulassungen über die maximale Bohrlochtiefe (200 cm für die Querkraftverstärkung, 100 cm für die Durchstanzverstärkung) begrenzt. Bei Bohrungen über 170 mm für die TSM-



Bild 2 reLAST-Verbundankerschrauben im Nenndurchmesser 22 mm und 16 mm für die nachträgliche Bauwerksverstärkung
Foto: Lechner (Prof. Feix Ingenieure GmbH)

16- bzw. 210 mm für die TSM-22-Schrauben sind Stufenbohrungen auszuführen, um das korrekte Eindrehen der Schrauben zu gewährleisten.

Über Rückverankerungselemente (Scheibe mit Keilsicherungsfederscheibe und Mutter) wird nach dem Einbau der Schraube ein definiertes Drehmoment aufgebracht. Dadurch wird eine Vorspannung in der Schraube erzeugt. Ein wesentlicher Vorteil des Systems ist dabei, dass durch die Tragwirkung der Schraube über mechanischen Verbund nicht das Aushärten der Verbundmasse abgewartet werden muss, sondern dass die Vorspannkraft direkt nach der Installation aufgebracht werden kann.

2.2 Tragwirkung der Betonschrauben

In Bild 2 ist am vorderen Ende der Schrauben das Verbundgewinde zu erkennen, welches sich beim Eindrehen der Schrauben in das vorgebohrte Loch in die Bohrlochwand schneidet (vgl. Bild 3). Damit wird ein sehr robustes, mechanisches Tragsystem auf Basis des Hinterschnitts erzeugt, welches unempfindlich



Bild 3 Tragwirkung der Verbundankerschrauben als kombiniertes Tragverhalten auf der Basis von Hinterschnitt über das Betonschneidegewinde und Verbund über den zusätzlich eingebrachten Verbundmörtel

Grafik: aus [6]

gegenüber Ausführungsfehlern, wie etwa nicht ausreichend gereinigten Bohrlöchern, ist. Zusätzlich wird in das Bohrloch vor dem Eindrehen der Schraube aber auch ein Verbundmörtel injiziert, der den Zwischenraum zwischen Bohrloch- und Schraubenoberfläche füllt, wodurch die Traglast nochmals um etwa ein Drittel steigt. Dieser Verbundmörtel ist auch im Schnittbild durch die Schraube in Bild 3 anhand der dunklen Bereiche zwischen der Schraube und dem Beton zu erkennen. Der Verbundmörtel erhöht einerseits die Tragwirkung durch die größere Auflagefläche des Hinterschnitts, stellt aber gleichzeitig auch einen dauerhaften Korrosionsschutz für die Schraube dar. Zudem kann durch den mechanischen Verbund das System direkt nach dem Setzen belastet werden, was den Einsatz unter vollem Verkehr auf der Brücke ermöglicht.

Die eingesetzten Schrauben sind ab Werk mit einer speziellen Beschichtung versehen, welche der Korrosionsschutzklasse C5-I Mittel entspricht. Somit ist das neue Verstärkungssystem auch an exponierten Stellen z. B. mit Tausalzeintrag einsetzbar.

3 Wissenschaftliche Untersuchungen

Die grundlegende Idee zum Einsatz von Verbundankerschrauben als nachträgliche Bewehrung entstand im Jahr 2010 an der Universität Innsbruck. In einem ersten Schritt wurde die generelle Eignung der Verbundankerschrauben als nachträgliches Verstärkungselement sowohl für die Querkraftverstärkung als auch für die Durchstanzverstärkung mit mehreren Versuchen erfolgreich nachgewiesen. Auf den Erkenntnissen der ersten Versuche aufbauend wurde ein Versuchsprogramm entwickelt, welches zur bauaufsichtlichen Zulassung des Systems geführt hat. Im Folgenden werden einige Versuchsdetails der Zulassungsversuche gezeigt. Detaillierte Informationen zu den Versuchsergebnissen sind z. B. in [7]–[10] zu finden.

3.1 Querkraftversuche

Insgesamt wurden 6 Versuchsreihen mit 63 Querkraftversuchen durchgeführt, die letztendlich Berücksichtigung für die bauaufsichtliche Zulassung fanden. Es wurden Versuche an Balken und Plattenstreifen ausgeführt, welche nachträglich mit Betonschrauben verstärkt wurden.



Bild 4 Versuchsaufbau der durchgeführten Querkraftversuche an Plattenstreifen an der Universität der Bundeswehr in München
Foto: Lechner (Prof. Feix Ingenieure GmbH)

Bild 4 zeigt den Versuchsaufbau für die Versuche an Stahlbetonplattenstreifen mit Verstärkung durch nachträglich eingebaute Verbundankerschrauben. Die Querkraftversuche wurden als Dreipunktbiegeversuche durchgeführt,

wobei für diese Versuchsserie an Plattenstreifen verschiedene Schraubentypen und Installationsarten untersucht wurden. So wurden etwa die Setztiefe der Schrauben und der Schraubendurchmesser variiert.

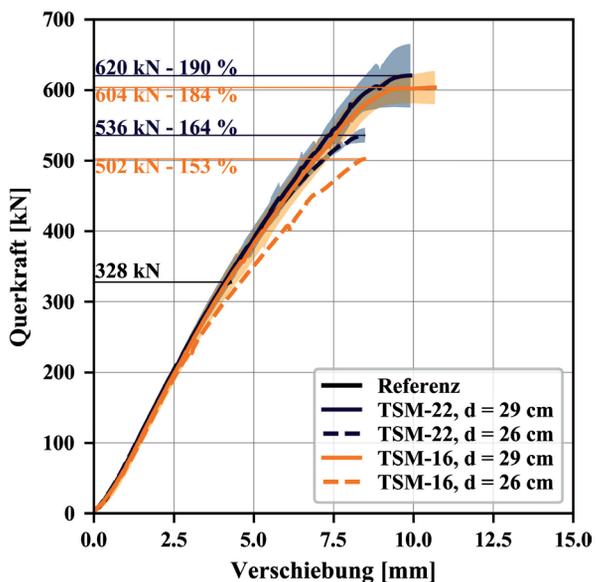


Bild 5 Experimentell ermittelte Querkrafttraglasten von durchgeführten Versuchen an Plattenstreifen mit Schraubenverstärkung inkl. Traglaststeigerungen bezogen auf Referenzversuche ohne Schubbewehrung
Grafik: aus [12]

Alle durchgeführten Versuche wurden jeweils mit Referenzversuchen ohne Querkraftbewehrung verglichen und zeigten je nach Konfiguration erreichbare Traglaststeigerungen von bis zu 150 % gegenüber den Referenzversuchen. In Bild 5 sind die Traglaststeigerungen der Versuche an Plattenstreifen mit einer Höhe von 32 cm dargestellt. Hier konnte eine maximale Traglaststeigerung gegenüber Referenzversuchen ohne Querkraftbewehrung von maximal 90 % erreicht werden. Die gezeigten Kurven stellen dabei Mittelwerte von jeweils drei Einzelversuchen dar.

In Versuchen an Stahlbetonbalken an der Universität Innsbruck wurden auch weitere Parameter wie z. B. die Bauteilhöhe und damit die Schubschlankheit, die geometrische Anordnung der Schrauben und die Einbaurichtung der Schrauben (Verankerung in der Druck- bzw. Zugzone) untersucht. Hier zeigten die Ergebnisse, dass bei optimierter Anordnung der Schrauben auch Traglaststeigerungen von bis zu 150 % möglich sind. Darüber hinaus wurden

auch dynamische Versuche an den Stahlbetonbalken mit zyklischen Lasten (5 Mio. Lastwechsel) mit wirklichkeitsnaher Schwingbreite durchgeführt. Bei allen Versuchen konnte kein Versagen während der zyklischen Belastung festgestellt werden. Somit ergibt sich keine Beeinträchtigung der Traglast des Systems bei dynamisch belasteten Bauteilen.

3.2 Durchstanzversuche

Die generelle Eignung des Systems hinsichtlich Durchstanzens konnte bereits 2012 anhand von ersten Durchstanzversuchen eindrucksvoll nachgewiesen werden, wie zum Beispiel in [11] gezeigt wurde. Darauf aufbauend wurden dann in weiteren drei Versuchsreihen verschiedene Parameter untersucht, um die Werte für die bauaufsichtliche Zulassung festlegen zu können.

Dazu wurden Versuchsplatten mit einer Plattenstärke von 20 cm und einem Durchmesser von 2,7 m hergestellt und mittels der in Bild 6 dargestellten Versuchseinrichtung getestet. Dazu wurde an diesen Platten ein Stützenstummel vorgesehen, über welchen im Versuch mittels einer hydraulischen Presse die Durchstanzlast statisch oder dynamisch aufgebracht wurde. Über eine Rückverankerung an den Plattenrändern konnte so eine Durchstanzbeanspruchung einer Stahlbetonplatte auf einer Stütze als Ausschnitt abgebildet werden, wie Bild 6.

Bild 7 zeigt die Versuchsergebnisse einiger durchgeführter Durchstanzversuche mit den erzielten Traglaststeigerungen gegenüber Re-

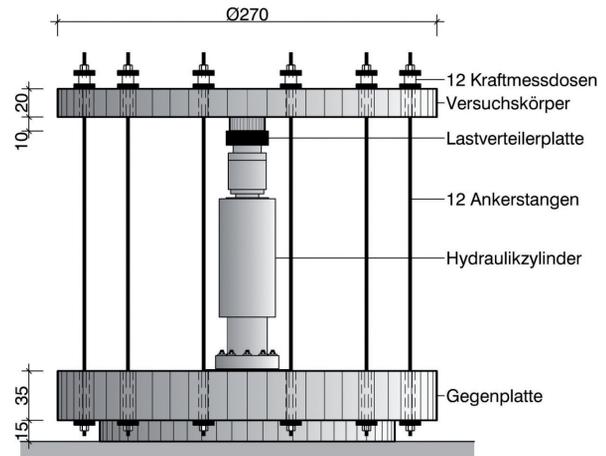
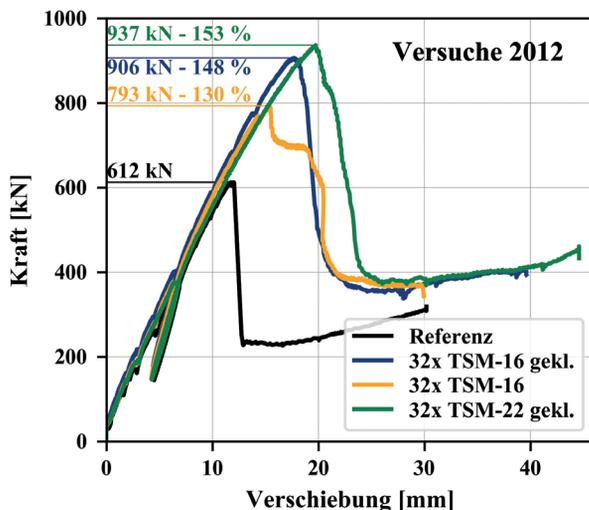


Bild 6 Versuchsaufbau der Durchstanzversuche mit der Versuchsplatte, dem Hydraulikzylinder zur Generierung der statischen bzw. dynamischen Stützenlasten und der Rückhängung in die Gegenplatte

Zeichnung: aus [10]

ferenzversuchen ohne Durchstanzverstärkung. Es zeigte sich, dass je nach Konfiguration Traglaststeigerungen zwischen 20 % und 50 % erzielt werden konnten.

In einer weiteren Versuchsreihe wurden insgesamt drei dynamische Durchstanzversuche mit zwei Millionen Lastwechseln durchgeführt. Dabei zeigte sich wiederum, dass die aufgebrachten dynamischen Lasten keinen Einfluss auf die Verstärkungswirkung hatten und dass bei nachfolgender statischer Belastung identische Traglasten wie bei den äquivalenten statisch belasteten Versuchen erzielt werden konnten. Auch für die Durchstanzverstärkung mittels Verbundankerschrauben kann damit festge-

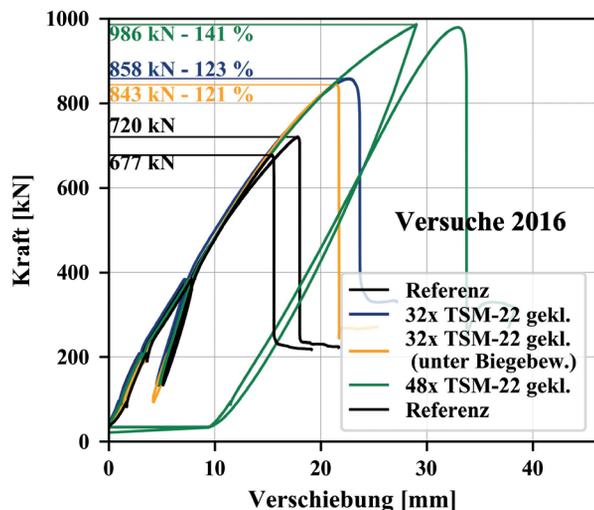


Bild 7 Vergleich einiger Durchstanzversuche an mit Schrauben verstärkten Platten mit Referenzversuchen ohne Durchstanzbewehrung und daraus abgeleitete Traglaststeigerungen

Grafik: aus [10], [11]

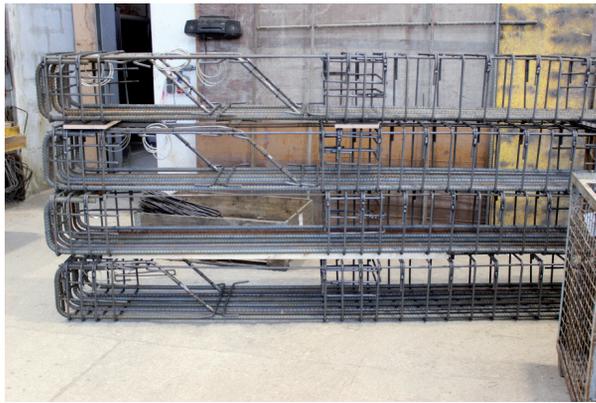


Bild 8 Bewehrungskörbe der Versuchsträger mit den verschiedenen untersuchten Anordnungen der Schubaufbiegungen und Versuchskörper im 3-Punkt-Biegeversuch mit Versagensbild und Messeinrichtung
Fotos: Lechner (Prof. Feix Ingenieure GmbH)

halten werden, dass diese ohne Einschränkungen auch für dynamisch belastete Strukturen, wie Brücken, verwendet werden kann.

3.3 Aktuelle Forschungsvorhaben

Aktuell wird an der Universität Innsbruck an der Weiterentwicklung des Systems geforscht. Da die derzeitigen Zulassungen auf Versuchen basieren, die ohne konventionelle Querkraft- bzw. Durchstanzbewehrung in Form von Bügeln oder Schubaufbiegungen durchgeführt wurden, darf derzeit rechnerisch keine Interaktion mit solchen Bewehrungsformen berücksichtigt werden. Es muss somit gemäß den bauaufsichtlichen Zulassungen (vgl. [4], [5]) die volle rechnerische Durchstanzkraft bzw. Querkraft im Bauteil über die Verstärkung der Schrauben abgedeckt werden. Um das System auch in dieser Hinsicht weiter zu optimieren und wirtschaftlicher auszulegen, werden seit Sommer 2021 weitere Querkraftversuche an Balken an der Universität Innsbruck durchgeführt. Diese Balken wurden neben der Biegebewehrung auch mit Schubaufbiegungen in unterschiedlicher Anordnung versehen. Die Geometrie der Anordnungen der Aufbiegungen, die Querschnittsabmessungen der Versuchsträger sowie die Bewehrungsgrade wurden dabei an die typischen Parameter der Plattenbrücken der 1960er Jahre angepasst, um möglichst wirklichkeitsnahe Versuchsträger zu erhalten. Bild 8 zeigt die verschiedenen untersuchten Anordnungen der Schubaufbiegungen anhand der Bewehrungskörbe. Ebenfalls dargestellt ist das Versagensbild eines Versuches mit Schubaufbiegungen im 3-Punkt-Biegeversuch.

Die in Bild 8 gezeigten Bewehrungsführungen wurden für zwei verschiedene Trägerhöhen

(40 cm und 50 cm) untersucht und in einem ersten Schritt die Querkrafttragfähigkeiten ohne Querkraftverstärkung experimentell ermittelt. Auf Basis der Erkenntnisse dieser Versuche, die als Referenzversuche dienen, wurde dann ein Versuchsprogramm erstellt, bei dem Versuchskörper mit Verbundankerschrauben in unterschiedlicher Anzahl und Varianten der Anordnung bezogen auf die Schubaufbiegungen getestet wurden. Den Abschluss dieser Versuchsreihe bildete wiederum ein dynamischer Versuch, bei dem zwei Millionen Lastzyklen aufgebracht wurden.

Alle Versuche zeigten eine deutliche Traglaststeigerung bei der Verwendung von Verbundankerschrauben als nachträgliche Querkraftbewehrung in Kombination mit den vorhandenen Aufbiegungen. Die erzielten Laststeigerungen gegenüber den Versuchen mit Schubaufbiegungen ohne Verstärkung lagen dabei in einem Bereich zwischen 40 % und 100 % je nach Konfiguration der Aufbiegungen und der Schraubenanordnung. Auch der dynamisch belastete Probekörper zeigte wiederum keine Traglastreduktion infolge der zyklischen Belastung im Vergleich mit der identischen, rein statisch belasteten Probe.

4 Erste Projekte

Auf Basis der ersten Versuchsreihen und der Zulassungen konnten mittlerweile gut 50 Projekte zur nachträglichen Verstärkung mit Verbundankerschrauben im Ingenieurbau erfolgreich umgesetzt werden. Im Folgenden werden drei Projekte exemplarisch vorgestellt.

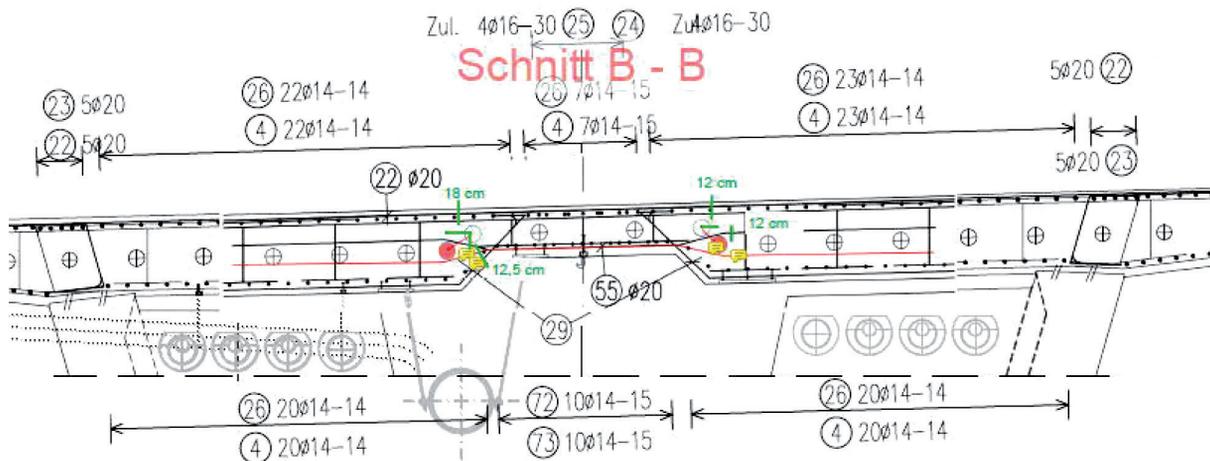


Bild 9 Unplanmäßige Lage von zwei Längsspanngliedern im Obergurt des Hohlkastens, woraus zusätzliche Umlenkkräfte entstehen
Zeichnung: WTM Engineers München GmbH

4.1 Querkraftverstärkung der Fahrbahnplatte einer Autobahnbrücke

In Zuge des Neubaus eines Autobahnabschnittes der Bundesautobahn A94 wurden auch mehrere neue Brückentragwerke errichtet. Kurz vor der Freigabe des Autobahnabschnittes im September 2019 wurden an einem mehrfeldrigen Brückentragwerk mit Kastenquerschnitt Risse mit Rissbreiten von ca. 0,8 mm an der Unterseite des Obergurtes festgestellt.

Wie entsprechende Nachforschungen ergaben, führte der Einbau von zwei Spanngliedern in zur Planung abweichender Lage in einem Bereich des Hohlkastens (siehe Bild 9) zu unplanmäßigen Umlenkkräften im Obergurt des Hohlkastens. Diese Umlenkkräfte führten zu Zug- und Querkraften in der Fahrbahnplatte, die in weiterer Folge Rissbildung in einem Bereich des Obergurtes erzeugten.

Da sich die Brücke unmittelbar vor der Inbetriebnahme befand, war bereits der volle Fahrbahnaufbau inklusive Abdichtung auf der Brücke vorhanden. Es wurde daher ein Verstärkungssystem für den nachträglichen Einbau vom Hohlkasten aus gesucht, welches ein Entfernen des Fahrbahnaufbaus und der Abdichtung nicht erforderlich macht. Gewählt wurde ein kombiniertes Verstärkungsverfahren aus CFK-Lamellen an der Unterseite des Obergurtes für die Biegeverstärkung und nachträglich eingebohrten Verbundankerschrauben als nachträgliche Querkraftverstärkung.

Nach genauer Detektion der exakten Spanngliedlage in dem betroffenen Bereich mittels

zerstörungsfreier Verfahren wurden Schrauben TSM-22 M20 eingebohrt und die Verstärkung innerhalb kürzester Zeit abgeschlossen. Die eingebaute Verstärkung im Hohlkörper des Brückenquerschnitts ist in Bild 10 dargestellt. Durch die kurzfristige Planung und den schnellen und unkomplizierten Einbau der Verstär-



Bild 10 Eingebaute Querkraftverstärkung im Obergurt des Hohlkastens
Fotos: Pleschberger (Habau Hoch- und Tiefbaugesellschaft m.b.H)



Bild 11 Plattenbrücke über drei Felder mit punktgestützten Zwischenauflagern

Foto: Lechner (Prof. Feix Ingenieure GmbH)

kung konnte das Tragwerk und der damit verbundene Autobahnabschnitt zum geplanten Termin in Betrieb gehen.

4.2 Durchstanzverstärkung einer Plattenbrücke

Im Zuge der Nachrechnung einer stark schiefwinkligen, dreifeldrigen Plattenbrücke in Brandenburg wurde ein Tragfähigkeitsdefizit festgestellt. Die Brücke ist an den Zwischenauflagern auf 6 bzw. 7 einzelnen Pendelstützen gelagert, wie in Bild 11 zu erkennen ist. Eine Einstufungsberechnung aus dem Jahr 2006 ergab eine Brückenklasse 16/16 für das vorhandene Bauwerk. Daher wurde die Überfahrt über das Tragwerk auf 16-t-Fahrzeuge beschränkt.

Nun soll das Tragwerk für den Ausweichverkehr im Zuge einer Brückenerneuerung an einer naheliegenden Strecke genutzt werden, weshalb es auch für langsam fahrende Einzelfahrzeuge mit Lasten größer 16 t freigegeben werden muss. Das Ziellastniveau der erneuten Nachrechnung lag damit bei der Brückenklasse 30/0. Die Nachrechnung mit diesen Lasten ergab im Wesentlichen

ein Durchstanzdefizit bei den jeweils beiden äußeren Stützen an beiden Seiten der Zwischenaullagerachsen.

Der Einbau der Verstärkung erfolgte ausschließlich von der Tragwerksunterseite von einem Brückeninspektionsgerät aus. In einem ersten Schritt wurde die vorhandene Bewehrung an der Tragwerksunterseite mittels zerstörungsfreier Prüfverfahren detektiert und die Einbaupunkte entsprechend angezeichnet (Bild 12). Aufgrund der großen Menge an Bewehrung in der oberen Lage der Platte über den Zwischenauflagern wurde die Bohrtiefe der Verstärkung so gewählt, dass die Schraubenspitzen knapp unterhalb der oberen Bewehrungslage liegen und damit eine Beschädigung der oberen Biegebewehrung vermieden werden kann. Diese Konfiguration wurde auch im Zuge der durchgeführten Versuche an der Universität Innsbruck untersucht, wobei lediglich ein geringfügiger Unterschied in der Laststeigerung gegenüber einer Verankerung über der oberen Bewehrung festgestellt wurde. Aus diesem Grund ist in der bauaufsichtlichen Zulassung [5] rechnerisch keine Unterscheidung zwischen einer Verankerung unter oder über der oberen Bewehrungslage vorgesehen.

Aufgrund der Querneigung der Brücke weist die Platte eine variierende Dicke über die Querrichtung auf, womit die Einbautiefe für jedes Bohrloch abweichend ist. Die erforderlichen Bohrlängen wurden vorab anhand der Bestandspläne bestimmt. Die Schrauben konnten jedoch in einer Länge geliefert werden, da das System über das Anschlussgewinde im hinteren Bereich mit den dazugehörigen Rückverankerungsmuttern (vgl. Bild 2) an die jeweilige erforderliche Länge angepasst werden kann.

4.3 Verstärkung einer Tunneldecke

Der Münchner Altstadttring stellt den innersten Verkehrsring der Landeshauptstadt München dar. Der sogenannte Altstadttringtunnel im Norden des Rings ist zugleich zentrale West-Ost-Verbindung im Herzen von München. Der Tunnel wurde in den späten 1960er Jahren errichtet und anlässlich der Olympischen Spiele 1972 für den Verkehr freigegeben. Heute stellt der Altstadttring Nord mit einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsbelastung von 60.000 Fahrzeugen im Tunnel eine wesentliche Hauptverkehrsader von München dar. Eine Teil- oder Totalsperrung würde für München eine schwerwiegende verkehrliche Beeinträchtigung für das gesamte Innenstadtgebiet bedeuten.

Eine Besonderheit des Altstadttringtunnels ist mit dem Tunnelblock 34, direkt unter dem Prinz-Carl-Palais, gegeben. Das historische Palais, welches lange als Amtssitz des bayerischen Ministerpräsidenten genutzt wurde, wurde 1806 fertiggestellt. Daher musste der Tunnel aufwendig nachträglich unter dem Gebäude errichtet werden. Dafür wurde im vorhandenen Kellergeschoss des Gebäudes eine Abfangkonstruktion aus Stahlträgern eingebaut und anschließend wurden darunter im Pilerschrittverfahren insgesamt 15 Betonträger (auch als Lamellen bezeichnet) abschnittsweise betoniert. Diese Lamellen besitzen eine Höhe von 3,5 m und eine variable Querschnittsbreite. Zur Reduzierung des Eigengewichts wurden in den Lamellen in Längsrichtung mehrere Hohlkörper angeordnet. Die Lamellen wurden in Längsrichtung vorgespannt. Anschließend wurden die 15 Lamellen auch in Querrichtung vorgespannt und bilden so die Tunneldecke.

Nach Errichtung der Tunneldecke wurden die Bereiche für die beiden Tunnelwände ausgegraben und diese errichtet, abschließend wurde der Restquerschnitt des Tunnels ausgebrochen und die Fahrbahn hergestellt. Somit stellen die einzelnen Lamellen vorgespannte



Bild 12 Angezeigte Einbaupunkte der Durchstanzverstärkung um die Stützen nach vorangegangener Bewehrungsdetektion mittels zerstörungsfreier Prüfverfahren
Foto: Lechner (Prof. Feix Ingenieure GmbH)

Einfeldträger dar, welche auf den Tunnelaußenwänden aufliegen. Die maximale Spannweite der Lamellen ist etwa 32 m, wobei der gesamte Lastabtrag des Prinz-Carl-Palais über die Tunneldecke dieses Blocks erfolgt.

Für die Vorspannung der Tunneldecke wurde das Spannsystem PZ mit vergüteten Spannstählen Sigma Oval St 145/160 verwendet. Nach heutigem Kenntnisstand gilt der verwendete Sigma-Oval-Stahl als spannungsrissskorrosionsgefährdet. Eine Nachrechnung im Jahr 2013 ergab, dass bei 13 der 15 Lamellen keine Vorankündigung des Versagens bei Ausfall der Spannbewehrung nachgewiesen werden kann.

Aufgrund der Randbedingungen wurde von der Landeshauptstadt München eine Verstärkung der Tunneldecke dieses Tunnelblockes beschlossen, wobei keine Maßnahmen von oben gesetzt werden können und eine Totalsperrung des Tunnels nicht möglich ist. Es wurden daher ein Einbau von Betonschrauben durch die Hohlkörper als nachträgliche Querkraftverstärkung und eine zusätzliche Betonschicht von 30 cm an der Tunneldeckenunterseite geplant, in die zusätzliche Biegebewehrung eingebaut wird, wie Bild 13 zeigt. Je nach Bereich und Spannweite der Tunneldecke kommen dazu hochfeste Gewindestäbe mit einem Durchmesser von \varnothing 43 mm bzw. \varnothing 63,5 mm zum Einsatz. Diese Gewindestäbe werden mithilfe von 2 oder 4 Betonschrauben an beiden Seiten in den Tunnelwänden verankert, um die entstehenden Biegezugkräfte aufzunehmen.

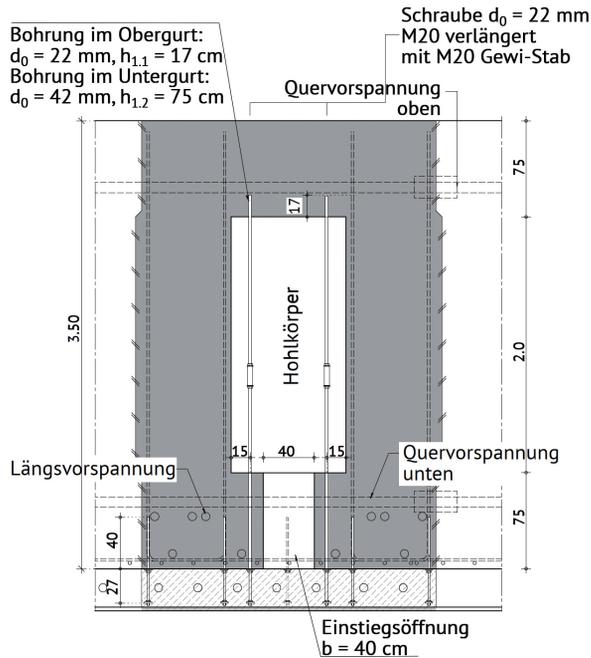


Bild 13 Verstärkung mit reLAST-Schrauben als nachträgliche Querkraftverstärkung durch die Hohlkörper der einzelnen Lamellen und hochfeste Gewindestäbe als neue Biegezugbewehrung in der Spritzbetonschicht
Zeichnung: Prof. Feix Ingenieure GmbH

Im Frühjahr 2019 wurde mit den Ausführungsmaßnahmen zur Tunnelverstärkung begonnen, wobei in einem ersten Schritt die reLAST-Schrauben an der Tunnelnordseite eingebaut wurden. Dafür wurde der Verkehr umgelegt, wobei stets mindestens zwei Fahrstreifen geöffnet bleiben mussten, wie auch Bild 14 zeigt. Nach einer ausführlichen, zerstörungsfreien Detektion der vorhandenen Spannglieder konnten die Einstiegsöffnungen in die Hohlkörper hergestellt werden, welche für den Einbau der Schrauben in die Hohlkörper erforderlich sind (vgl. Bild 13). Die im Zuge der Erstellung zurückgebliebene Schalung der Hohlkörper musste im Hohlkörper zerkleinert und entfernt werden. Anschließend konnte mit dem Einbau der Verstärkungsschrauben begonnen werden. Der Einbau

der Schrauben in der Nordhälfte des Tunnels konnte im September 2019 abgeschlossen werden. Im nächsten Schritt wurden die hochfesten Gewindestäbe an der Deckenunterseite eingebaut und der Verkehr auf die Nordseite umgelegt, um die Arbeiten an der Südseite der Decke fortsetzen zu können.

Anschließend wurden die Arbeiten an der Südseite des Tunnelblockes fortgesetzt. Nach dem Einbau der verbleibenden Verstärkungsschrauben (insgesamt wurden ca. 7.300 Schrauben verbaut), wurde die neue Biegebewehrung an der Südseite eingebaut und mittels Muffen an die Bewehrung der Nordseite angeschlossen. Abschließend wurde eine Spritzbetonschicht von 30 cm an der Deckenunterseite angebracht und somit die ebene Deckenunterseite wiederhergestellt. Diese Arbeiten wurden im März 2021 beendet und damit auch die Verstärkung der Tunneldecke im Block 34 erfolgreich abgeschlossen.

5 Zusammenfassung

Seit Anfang September 2019 sind die reLAST-Verbundankerschrauben als nachträgliche Querkraft- und Durchstanzbewehrung durch das Deutsche Institut für Bautechnik zugelassen. Dem gingen jahrelange wissenschaftliche Untersuchungen und zahlreiche Bauteilversuche voraus. Diese Versuche zeigten, dass mit Hilfe der nachträglich eingebauten Betonschrauben die Traglasten gegenüber Referenzversuchen ohne Schubbewehrung um bis zu 150 % bei Querkraftverstärkungen und



Bild 14 Installation der nachträglichen Querkraftverstärkung und der Biegezugbewehrung im Tunnel unter Aufrechterhaltung des Verkehrs in umgelegten Fahrspuren

Foto: Lechner (Prof. Feix Ingenieure GmbH)

um bis zu 50 % bei Durchstanzverstärkungen gesteigert werden können. Das neue System wird derzeit weiterentwickelt, um auch das Zusammenwirken der Verbundankerschrauben in Kombination mit vorhandener Querkraftbewehrung wie zum Beispiel Schubaufbiegungen berücksichtigen zu können.

Wie zahlreiche durchgeführte Pilotprojekte gezeigt haben, liegt der große Vorteil der nachträglichen Verstärkung mit reLAST-Verbundankerschrauben in der einfachen Installation und sofortigen Belastbarkeit der Schrauben. Das Verstärkungssystem kann aufgrund der Tragwirkung auf dem Prinzip des Hinterschnitts über das Verbundgewinde im Bohrloch von einer Seite in die zu verstärkende Struktur eingebaut werden. Damit entfällt der Abtrag von Fahrbahnaufbauten auf der Oberseite des Tragwerks, was bei anderen Verstärkungssystemen oftmals notwendig ist. Damit kann die Verstärkung unter laufendem Betrieb durchgeführt werden.

Das neue System der Tragwerksverstärkung mit reLAST-Betonschrauben zeichnet sich somit durch die einfache und schnelle Installation während des laufenden Betriebs auf dem Tragwerk aus. Durch die nun vorliegenden Zulassungen für die Querkraft- und Durchstanzverstärkung und die enthaltenen Bemessungsgleichungen auf Basis der Eurocode-Bemessungsmodelle ist eine einfache und schnelle Planung und Ausführung mit dem neuen System für alle konstruktiv tätigen Ingenieure möglich. Detaillierte Ausführungen sind in [12] nachzulesen.

Literatur

- [1] Fischer, O.; Müller, A.; Lechner, T.; Wild, M.; Kessner, K.: Ergebnisse und Erkenntnisse zu durchgeführten Nachrechnungen von Betonbrücken in Deutschland. *Beton- und Stahlbetonbau* 109 (2014) 2, S. 107–127 – DOI: 10.1002/best.201300084
- [2] Maurer, R.; Arnold, A.; Müller, M.: Auswirkungen aus dem neuen Verkehrslastmodell nach DIN EN 1991-2/NA bei Betonbrücken. *Beton- und Stahlbetonbau* 106 (2011), S. 747–759 – DOI: 10.1002/best.201100052
- [3] Gschösser, F.; Schneider, R.; Tautschning, A.; Feix, J.: Retrofitting Measure vs. Replacement – LCA Study for a Railway Bridge. In: Habert, G.; Schlueter, A. (Hrsg.): *Proc. of Sustainable Built Environment (SBE) Regional Conf.*, 15.–17.06.2016 in Zü-

- rich, Zürich: vdf Hochschulverlag AG, 2016, S. 472–477 – DOI: 10.3218/3774-6
- [4] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung – TOGE TSM BC SB reLAST für die Querkraftverstärkung. Z-15.1-339, 2019.
 - [5] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung – TOGE TSM BC SB reLAST für die Durchstanzverstärkung. Z-15.1-340, 2019.
 - [6] Lechner, J.: Ein neues Verfahren zur nachträglichen Querkraftverstärkung von Stahlbetonbauteilen. Diss., Universität Innsbruck, 2017
 - [7] Lechner, J.; Feix, J.: First experiences with concrete screw-anchors as post-installed shear reinforcement in concrete bridges. *Civil Engineering Design* (2019) 1, S. 17–27 – DOI: 10.1002/cend.201800004
 - [8] Feix, J.; Lechner, J.: Development of a new shear strengthening method for existing concrete bridges. In: *Proc. to the 10th Japanese-German Bridge Symp.*, München, 2014
 - [9] Walkner, R.; Spiegl, M.; Feix, J.: Experimentelle Untersuchungen und Vorstellung eines Bemessungsansatzes zur Durchstanzverstärkung von Betonbauteilen mit Betonschrauben. *Bauingenieur* 95 (2020) 1, S. 26–36
 - [10] Spiegl, M.; Walkner, R.; Axmann, H.; Pilch, E.; Schön, A.; Feix, J.: Betonschrauben als Durchstanzertüchtigung für statisch und zyklisch belastete Platten. *Bauingenieur* 93 (2018) 7, S. 274–285
 - [11] Feix, J.; Wörle, P.; Gerhard, A.: Ein neuer Ansatz zur Steigerung der Durchstanztragfähigkeit bestehender Stahlbetonbauteile. *Bauingenieur* 87 (2012) 4, S. 149–155
 - [12] Feix, J.; Lechner, J.; Spiegl, M.; Walkner, R.: Nachhaltige Bauwerksverstärkung mit Betonschrauben. In: Bergmeister, K.; Fingerloos, F.; Wörner, J.-D. (Hrsg.): *Beton-Kalender 2021*, Berlin: Ernst & Sohn/John Wiley & Sons, Ltd, 2021, S. 953–1005 – DOI: 10.1002/9783433610206.ch11

- 7 Herzlich willkommen zum 31. Dresdner Brückenbausymposium 2022
- 11 Grußwort des Sächsischen Staatsministers für Regionalentwicklung
- 13 Brücken auf geokunststoffbewehrten Widerlagern – schnell, umweltgerecht und kostengünstig
- 27 Brücken mit Verbunddübelleisten – Entwurf, Bemessung und Ausführungsbeispiele
- 43 Die Filstalbrücken im Zuge der NBS Wendlingen–Ulm – Integrale Bauwerke mit besonderen statisch-konstruktiven Herausforderungen
- 57 Zugglieder aus Faserverbundwerkstoff im Brückenbau – Besonderheiten beim Einsatz von Netzhängern aus Carbon
- 75 Verstärken von Bestandsstrukturen mittels Verbundankerschrauben
- 89 Verstärkung von Stahl- und Spannbetonbrücken mit Carbonbeton – Aktuelles aus Praxis und Forschung
- 107 Integration of FEM Analysis and Construction Geometry Management on the Example of the Thu Thiem 2 Cable Stayed Bridge
- 121 Brückendenkmalpflege – Erfahrungen aus Baden-Württemberg
- 139 smartBRIDGE Hamburg – die Brückeninstandhaltung der Zukunft
- 151 Risikobasiertes Anlagemanagement der Brücken der SBB – Methode und erste Anwendungserfahrungen
- 163 Die Schorgasttalbrücke – Herzstück der Ortsumgehung Untersteinach
- 175 Nachhaltige Brücken aus vorgespanntem Carbonbeton
- 191 Fertigung und Montage der Chenab Railway Bridge in Indien – Ein Erfahrungsbericht
- 207 Chronik des Brückenbaus