

## RELAST – Ein zugelassenes Verfahren zur nachträglichen Bauwerksverstärkung mit Betonschrauben

Die volkswirtschaftlichen Konsequenzen infolge von längeren Streckensperrungen oder dem Sperren einzelner Spuren auf sanierungsbedürftigen Brücken sind enorm. Aus diesem Grund wurde an der Universität Innsbruck ein neues Verfahren zur nachträglichen Querkraft- und Durchstanzverstärkung entwickelt. Dieses Verfahren nutzt modifizierte, aus der Verankerungstechnik kommende Betonschrauben als nachträglich eingebaute Bewehrung. Die durchgeführten Versuche zeigten deutliche Traglaststeigerungen gegenüber Referenzversuchen ohne Schubbewehrung. Auf Basis dieser Versuche wurden anschließend Bemessungsmodelle auf Basis des EC 2 abgeleitet. Seit September 2019 ist das neue Verfahren bauaufsichtlich vom DIBt in zwei Zulassungen geregelt und auch für dynamische Lasten und hohe Expositionen zugelassen.

Mit etwa 60 % der Gesamtbrückenfläche wurde der Großteil der zentraleuropäischen Infrastrukturbauwerke, wie Brücken, in den Jahren zwischen 1960 und 1990 errichtet und ist somit heute 30 bis 60 Jahre alt. Diese Bauwerke wurden auf die Anforderungen der damaligen Normen hinsichtlich der Belastung und den Bemessungsregeln ausgelegt. Diese Regelungen wurden in den vergangenen Jahren immer wieder angepasst, um zum einen den neuen Belastungen durch zumeist gestiegenes Verkehrsaufkommen zu genügen. Auf der anderen Seite wurden die konstruktiven Regelungen im Stahlbetonbau und die Bemessungsansätze immer wieder an neue Forschungsergebnisse angepasst und damit über die Jahre meist etwas restriktiver. Dies gilt speziell für die Bemessung der Querkrafttragfähigkeit, aber auch der Durchstanztragfähigkeit im Zuge der Einführung der harmonisierten europäischen Normung, den Eurocodes. So zeigen

verschiedene Untersuchungen, dass zum einen durch die Einführung des Lastmodells LM1 die einwirkenden Lasten im Vergleich zu älteren Lastansätzen gestiegen sind, aber auch, dass die konstruktiven Anforderungen (z. B. der Mindestquerkraftbewehrung) gestiegen sind. Aus diesem Grund ergeben sich bei Nachrechnungen von Bestandsbrücken, wie die Praxis zeigt, sehr häufig Querkrafttragfähigkeitsdefizite.

Aber nicht nur bei Brückentragwerken, sondern auch bei anderen Bestandstragwerken kommt es häufig nach einigen Jahren zu Umnutzungen, Erweiterungen usw. durch welche es zu höheren Lasten auf den Bestand und Neubewertungen der Tragfähigkeit des Bestandes kommt und letztlich Verstärkungsmaßnahmen hinsichtlich der Querkraft- und Durchstanztragfähigkeit erforderlich werden.

Da Totalsperren aber auch teilweise Außerbetriebnahme von Tragwerken, gerade im Infrastrukturbereich, häufig mit massiven Beeinträchtigungen und volkswirtschaftlichen Schäden einhergehen, sind diese soweit wie möglich zu vermeiden. Aus diesem Grund wurde auch vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur die Prämisse „Erhalt vor Neubau“ ausgegeben. Es braucht für die bestehenden Tragwerke somit Verstärkungssysteme für Querkraft- und Durchstanzverstärkung, welche schnell und einfach und möglichst nur von einer Seite und damit unter weitestgehender Aufrechterhaltung des Verkehrs in das Tragwerk installiert werden können.

### RELAST Betonschrauben

Diese Anforderungen können die RELAST Verbundankerschrauben als nachträglich installierte Bewehrung hervorragend erfüllen.

Bild 1 zeigt die Schrauben, deren Anwendung durch die RELAST Zulassungen für die nachträgliche Verstärkung abgedeckt wird. In den Zulassungen sind zwei Schraubendurchmesser geregelt ( $d_0 = 22 \text{ mm}$  und  $d_0 = 16 \text{ mm}$ ), die jeweils in zwei Ausführungen hinsichtlich des Anschlussgewindes eingesetzt werden können.

In Bild 1 ist auch das Betonschneidegewinde am vorderen Ende der Schrauben zu erkennen, welches sich beim Eindrehen der Schrauben in das vorgebohrte Loch in die Bohrlochwandung schneidet. Damit wird ein sehr robustes Tragsystem auf Basis des Hinterschnitts erzeugt, welches unempfindlich gegenüber Ausführungsfehlern, wie etwa nicht ausreichend gereinigten Bohrlöchern ist. Zusätzlich wird in das Bohrloch vor dem Eindrehen der Schraube ein Verbundmörtel injiziert, der den Zwischenraum zwischen Bohrloch- und Schraubenoberfläche füllt, wodurch die Traglast nochmals um ein Drittel steigt.

Der Verbundmörtel erhöht einerseits die Tragwirkung durch die größere Auflagefläche des Hinterschnitts, stellt aber gleichzeitig auch einen dauerhaften Korrosionsschutz für die Schraube dar. Die Schrauben sind ab Werk mit einer speziellen Beschichtung versehen, welche die Korrosionsschutzklasse C5-I Mittel erfüllt. Somit ist das neue Verstärkungssystem auch an exponierten Stellen z. B. mit Tausalzeintrag einsetzbar.

### Wissenschaftliche Untersuchungen

Die grundlegende Idee zum Einsatz von Anker-elementen als nachträgliche Bewehrung entstand im Jahr 2010 am Arbeits-



**Bild 1** RELAST Verbundankerschrauben für die nachträgliche Bauwerksverstärkung



Versuchsaufbau der Querkraftversuche



Verformungsmessung



optisches Messsystem

**Bild 2** Versuchsaufbau und Messsysteme der durchgeführten Querkraftversuche an der Universität Innsbruck

bereich für Massivbau und Brückenbau an der Universität Innsbruck. In zahlreichen Versuchsreihen an Querkraft- und Durchstanzversuchen wurden zuerst die generelle Eignung des Systems und anschließend gezielt einzelne Parameter untersucht.

*Querkraftversuche*

Ingesamt wurden seit Beginn der Untersuchungen 6 Versuchsreihen mit 63 Querkraftversuchen durchgeführt. Es wurden Versuche an Balken und Platten ausgeführt, welche nachträglich mit Betonschrauben verstärkt wurden.

Bild 2 zeigt den Versuchsaufbau für die Balkenversuche und einige der eingesetzten Messsysteme. Die Querkraftversuche wurden als Vierpunktbiegeversuche durchgeführt, wobei verschiedene Größen an Probekörpern, aber auch verschiedene Schraubentypen und Installationsarten untersucht wurden. So wurde die Anzahl der Schrauben in geklebter und ungeklebter Installationsweise variiert und der Einfluss der Installationsseite sowie der Setztiefe der Schrauben betrachtet.

Alle durchgeführten Versuche wurden pro Testserie mit Referenzversuchen ohne Querkraftbewehrung verglichen und zeigten erreichbare Traglaststeigerungen von bis zu 150 % gegenüber den Referenzversuchen. Es wurden auch dynamische Versuche mit zyklischen Lasten (5 Mio. Lastwechsel) mit wirklichkeitsnaher Schwingbreite untersucht. Bei allen Versuchen konnte kein Versagen während der zyklischen Belastung erzielt werden. Somit ergibt sich keine Beeinträchtigung des Systems bei dynamisch belasteten Bauteilen.

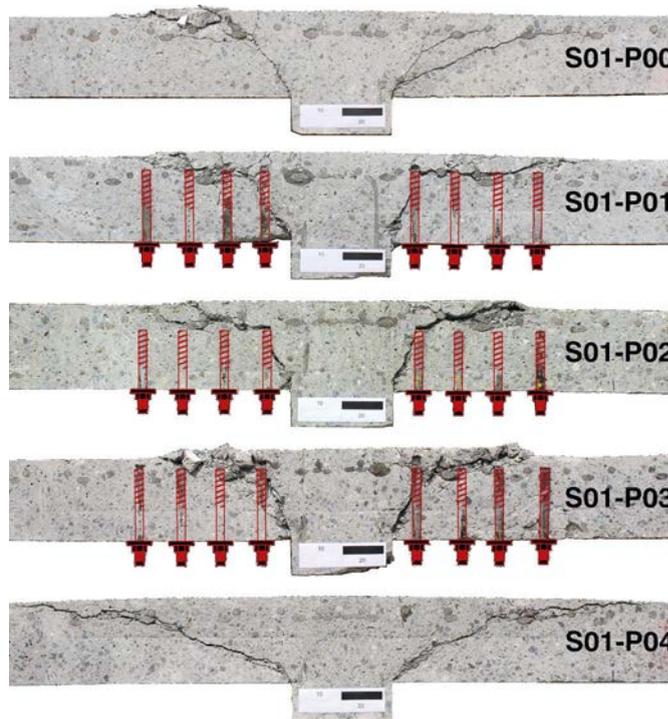
*Durchstanzversuche*

Ebenfalls wurden an der Universität Innsbruck mehrere Versuchsreihen zur nachträglichen Durchstanzverstärkung mit RELAST Verbundankerschrauben durchgeführt. Die Versuche wurden an kreisrunden Versuchsplatten mit einem Durchmesser von 2,7 m und einer Stärke von 20 cm vorgenommen und auch hier wurden zahlreiche Parameter wie die Schraubenanzahl, die Installationsweise, die Setztiefe oder der Längsbewehrungsgrad variiert (Bild 3).

Die erzielten Traglasten lagen hier gegenüber Referenzversuchen ohne Schubbewehrung um bis zu 50 % über den Referenzversuch. Durchgeführte zyklische Durchstanzversuche mit jeweils 2 Mio. Lastwechsel zeigten analog zu den Querkraftversuchen, dass eine dynamische Belastung keine Einschränkung für das neue System darstellt, sondern dass die Traglasten der vergleichbaren statischen Versuche erreicht werden können.

**Die RELAST Zulassungen**

Auf Basis der durchgeführten Versuche sowie zahlreicher numerischer Simulationen war es möglich Bemessungsansätze für die



**Bild 3** Schnittbilder durch die Versuchskörper der Durchstanzversuche, die mit RELAST-Schrauben verstärkt wurden.

**Tab. 1** Faktoren zu Berücksichtigung der Setztiefe und des Schraubendurchmessers

Schraube	Setztiefe	Faktor $c_1$	Faktor $c_2$
RELAST 22	Über der Bew.	0,4097	0,046
	Unter der Bew.	0,2384	
RELAST 16	Über der Bew.	0,3925	0,046
	Unter der Bew.	0,3130	

Verstärkung mit RELAST Verbundankerschrauben abzuleiten. Basierend auf diesen Bemessungsansätzen und weiteren konstruktiven Regeln war es anschließend möglich, bauaufsichtliche Zulassungen des DIBt für die Querkraftverstärkung (Z-15.1-344) und für die Durchstanzverstärkung (Z-15.1-345) zu erlangen.

*Querkraftverstärkung*

Die Bemessung basiert auf den bekannten Gleichungen des Fachwerkmodells des Eurocode, wobei die Druckstrebenneigung mit  $\theta = 45^\circ$  fixiert wird und die Schrauben immer unter  $90^\circ$  zur Bauteilachse eingebaut werden. Damit ergeben sich die Bemessungsgleichungen zu

$$V_{Rd,max} = \frac{1}{2} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} \tag{1}$$

$$V_{Rd,s} = a_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd,ef} \tag{2}$$

Die durchgeführten Versuche zeigten, dass die volle plastische Tragfähigkeit der Zugstrebe nicht erreicht werden kann, also die Schraubenverankerung versagt, bevor es zum Fließen der Schraube kommt. Dies wird durch die Definition einer sogenannten ausnutzbaren Spannung in  $f_{ywd,ef}$  der Gleichung 2 berücksichtigt, welche sich mit

$$f_{ywd,ef} = c_1 \cdot \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} + c_2 \cdot \frac{1}{\rho_{sw}} \cdot v \cdot f_{cd} \leq \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} \tag{3}$$

berechnet. Die beiden Parameter  $c_1$  und  $c_2$  wurden durch statistische Auswertung der Versuchsergebnisse abgeleitet und berücksichtigen den Schraubendurchmesser sowie die Setztiefe der Schraube, wobei unterschieden wird, ob die Schraubenspitze

auf Höhe der Oberkante der Längsbewehrung oder darunter liegt. Die Werte für  $c_1$  und  $c_2$  sind in Tabelle 1 angeführt.

Da ab einer gewissen Querkraftbewehrungsmenge kein Zuwachs der Tragfähigkeit mehr festgestellt werden konnte, wurde die maximale Verstärkungswirkung über einen oberen Grenzwert der Querkraftbewehrung mit  $\rho_{sw} = 0,83\%$  für die 22 mm Schraube bzw.  $\rho_{sw} = 0,88\%$  für die 16 mm Schraube begrenzt. Das entspricht einem minimalen Achsabstand von 20 cm bzw. 14 cm, welcher zwischen den Schrauben nicht unterschritten werden darf.

Zusätzlich werden in der Zulassung einzuhaltende Maximalabstände zwischen den Verstärkungselementen definiert, welche den Regelungen des Eurocodes für Bügel entsprechen.

*Durchstanzverstärkung*

Die Bemessung der nachträglichen Durchstanzverstärkung mit RELAST Betonschrauben beruht ebenfalls auf dem bekannten Bemessungsmodell des EC 2. Der Widerstand gegen Durchstanzen darf mit

$$V_{Rd,cs} = 0,75 \cdot V_{Rd,c} + 1,5 \cdot \frac{d}{s_r} \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd,ef} \cdot \frac{1}{u_1 \cdot d} \tag{4}$$

berechnet werden, wobei die maximale Tragfähigkeit mit  $V_{Rd,cs} \leq 1,4 \cdot V_{Rd,c}$  nicht über die 1,4-fache ( $k_{max}$ ) Tragfähigkeit ohne Durchstanzbewehrung hinaus steigerbar ist. Dies entspricht auch den Regelungen des EC 2 für konventionelle Bügelbewehrung.

Für die Ermittlung der ansetzbaren effektiven Spannung  $f_{ywd,ef}$  der Schraube werden abweichende Regelungen vom EC 2 getroffen. Für die Ermittlung dieses Wertes wurden wiederum die Versuchsergebnisse statistisch ausgewertet. Die effektive Spannung berechnet sich damit zu

$$f_{ywd,ef} = 5,5 \cdot \frac{k_{max}}{\gamma_s} \cdot \frac{d}{d_{k,1}} \leq 0,5 \cdot \frac{f_{ywk}}{\gamma_s} \tag{5}$$



**Bild 4** Verstärkung einer Eisenbahnunterführung mit RELAST Verbundankerschrauben (Bild mit freundlicher Genehmigung der ÖBB)

Der Faktor  $d_{k,1}$  stellt den Durchmesser der gewählten Schraube dar, welcher somit in der Bemessung berücksichtigt wird.

Auch für die Durchstanzverstärkung werden minimal zulässige Achsabstände definiert, um eine gegenseitige Beeinflussung der Schrauben zu vermeiden, die in Abhängigkeit der statischen Nutzhöhe berechnet werden. Die maximal zulässigen Achsabstände sowie die sonstigen konstruktiven Regeln wurden unverändert dem EC 2 (für Bügelbewehrung) entnommen.

**Pilotprojekte**

Mit Hilfe der vorgestellten Bemessungsmodelle und Erkenntnisse aus

den Versuchen war es möglich, in den letzten Jahren diverse Pilotprojekte durchzuführen. Neben der Verstärkung des Blocks 34 des Münchner Altstadttringtunnel mit über 7.300 RELAST Schrauben und der Verstärkung der Eisenbahnbrücke bei Bamberg über die A70 innerhalb von 4 Wochen unter laufendem Eisenbahnverkehr auf der Brücke und auf der Autobahn unter der Brücke konnten auch zahlreiche kleinere Tragwerke bereits ausgeführt werden.

So wurde etwa eine Eisenbahnunterführung verstärkt, welche als Plattenbrücke ausgeführt war und an welcher bereits deutliche Schubrisse an beiden Plattenrändern zu erkennen waren. Auf der Brücke liegen vier Gleise einer Hauptverkehrsstrecke weshalb Baumaßnahmen von der Oberseite nicht möglich waren. Durch den Einbau von RELAST Betonschrauben von der Unterseite in mehreren parallelen Reihen an beiden Seiten der Platte, wie in Bild 4 ersichtlich ist, war es möglich die Platte auf das Design-Niveau des Eurocodes zu verstärken.

Ebenfalls konnte eine punktgestützte Plattenbrücke einer Schnellstraße verstärkt werden. Die vorhandenen Schubaufbiegungen der Brücke um die Punktlager reichten nicht aus, um die Durchstanzlasten aufnehmen zu können. Durch den Einsatz von RELAST Verbundankerschrauben konnte die geforderte Durchstanztragfähigkeit des Tragwerks ohne Störung des Verkehrs der Schnellstraße auf der Brücke wiederhergestellt werden. Der Einbau der Durchstanzverstärkung erfolgte von unten (siehe Bild 5).

### Fazit

Mit dem neuen System RELAST zur nachträglichen Querkraft- und Durchstanzverstärkung steht dem planenden Ingenieur nun ein einfaches und schnell zu installierendes Verstärkungssystem mit bauaufsichtlicher Zulassung zur Verfügung. Dieses neue System zeichnet sich durch den robusten mechanischen Tragmechanismus der Betonschraube und durch die Installation der Verstärkung von einer Seite des Tragwerks aus. Damit kann die Verstärkung unter Aufrechterhaltung des Verkehrs auf und unter dem zu verstärkenden Tragwerk durchgeführt werden.

Durch die umfangreichen wissenschaftlichen Untersuchungen konnten Bemessungsansätze abgeleitet werden, welche im Wesentlichen auf den Bemessungsgleichungen der aktuellen Normung, des EC 2 basieren. Dies ermöglicht die schnelle und einfache Planung einer Verstärkung von Tragwerken mit Hilfe der bekannten Formelapparate und unter Beachtung der bekannten Konstruktionsregeln.

In zahlreichen Pilotanwendungen an bestehenden Straßen- und Eisenbahnbrücken, aber auch in Tunneldecken oder Tragwerken des Hochbaus konnte die hervorragende Eignung und sehr schnelle Installation des Systems eindrucksvoll gezeigt werden.

*Prof. Dr.-Ing. Jürgen Feix, Universität Innsbruck;  
Dipl.-Ing. Dr. Johannes Lechner, Prof. Feix Ingenieure GmbH*

### Weitere Informationen:

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen:

- Z-15.1-344: Würth Verbundankerschraube RELAST in Durchmesser 16 mm und 22 mm zur Anwendung als nachträglich verankerte Querkraftbewehrung; Allgemeine bauauf-



Foto: / Abb. 1 - 3 Würth, 4 u. 5 siehe Bildlegende)

**Bild 5** Einbau der RELAST Durchstanzverstärkung unter laufendem Verkehr auf der Brücke (Bild mit freundlicher Genehmigung der Asfinag)

sichtliche Zulassung, Deutsches Institut für Bautechnik; 28.10.2019

- Z-15.1-345: Würth Verbundankerschraube RELAST in Durchmesser 16 mm und 22 mm zur Anwendung als nachträglich verankerte Durchstanzbewehrung; Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung; Deutsches Institut für Bautechnik; 28.10.2019

Die Zulassungen und weitere Informationen finden Sie unter: [www.wuerth.de/relast](http://www.wuerth.de/relast)