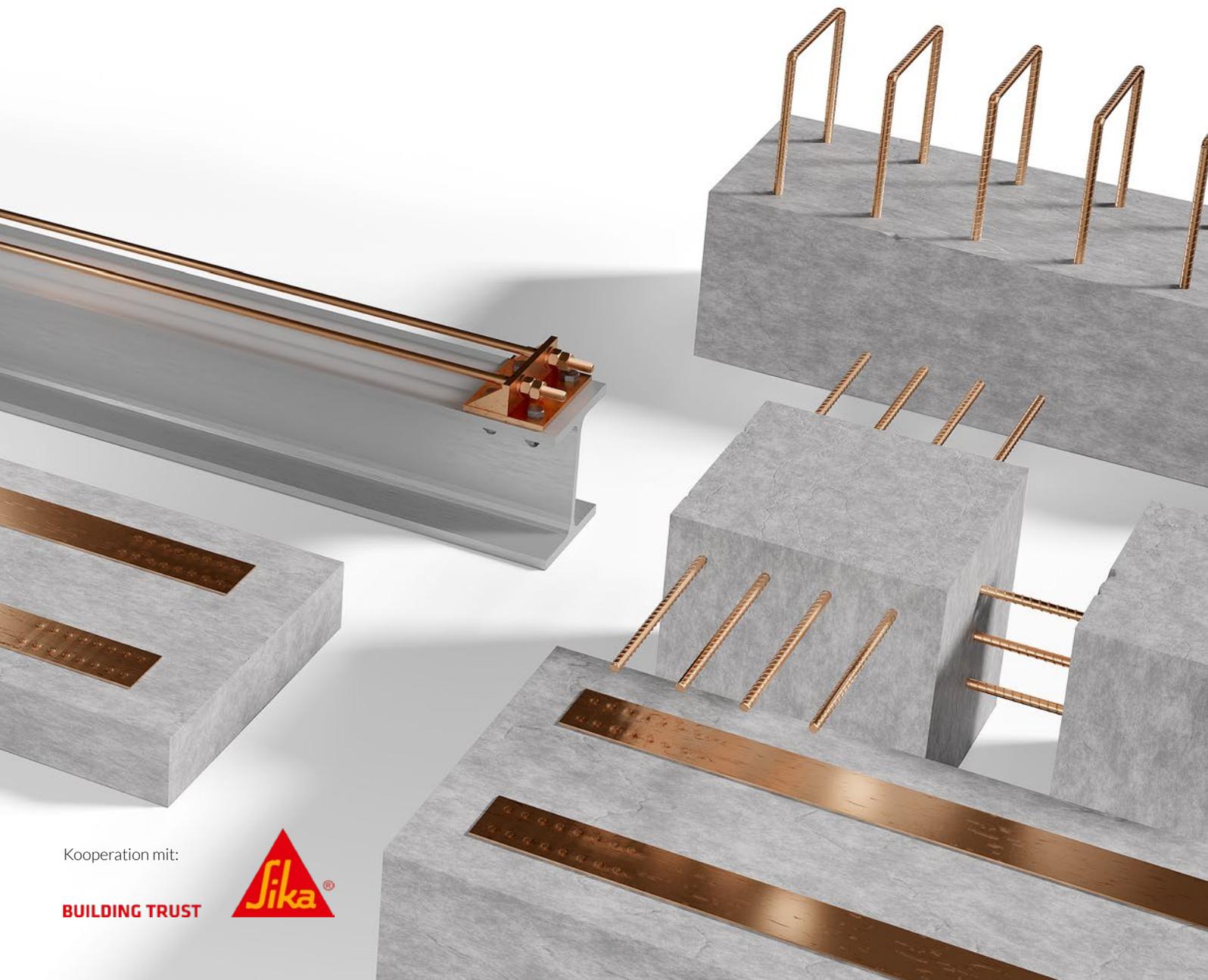


memory[®]-steel Vorspannverfahren

für Nachverstärkung und Neubau

«statische Belastung und dynamische Dauerbelastung»



Kooperation mit:

BUILDING TRUST



Unsere Vision

Wir streben die weltweite Marktführerschaft mit den Vorspannverfahren memory®-steel an. Dank unserer Kundennähe und Erfahrung verbinden wir Forschung und Entwicklung mit der Baupraxis. memory®-steel ist 100% rezyklierbar und erfüllt hohe Anforderungen an die Nachhaltigkeit. Durch konsequente Weiterentwicklung und Anmeldungen von Patenten wollen wir die langfristige Konkurrenzfähigkeit der re-fer sicherstellen.

Unsere Mission

Durch Erhöhung der Lebensdauer sowie Nachverstärkung von bestehender Bausubstanz schaffen wir Mehrwert für unsere Kunden. Ertüchtigungen und Umnutzungen von Bauwerken schonen die Umwelt im Vergleich zu Neubauten. Dank lokaler Vorspannung in einer neuen Betondecke kann auf einen Betonunterzug verzichtet werden. Wir bieten dem Planer Lösungen zum Erstellen von filigranen Betonteilen.



Schmelze aus memory®-steel

Inhaltsverzeichnis

Innovation memory[®]-steel Vorspannverfahren	2
Eisenbasierte Formgedächtnislegierung	3
re-plate Verfahren für Betonbauten	4
re-bar Verfahren für Betonbauten	14
re-bar R18 Verfahren für Stahlkonstruktionen	30
Qualitätskontrolle	33
Produkteübersicht	34
Bemessungshilfe für memory[®]-steel	35
Einführung	36
Theoretische Bemessungsgrundlagen	36
re-plate	36
re-bar	38
Hinweise	39
Bemessungsbeispiele	40
Einfache Biegeverstärkung mit re-plate	40
Verstärkung eines T-Trägers mit re-bar	45
Unsere weltweite Forschung	51
Downloads & Patente	52

Klicken Sie auf die Seitenzahlen, um auf das Inhaltsverzeichnis zurückzukehren.

Innovation memory®-steel Vorspannverfahren

Traditionelle Verstärkungen

Im Stand der Technik werden oft Klebarmierungen aus Stahl oder CFK-Lamellen als Biegezugverstärkung eingesetzt. Die Krafteinleitung von Klebarmierungen in den Betontraggrund ist oftmals ungenügend. Der Hauptgrund liegt darin, dass die Krafteinleitung aus Klebstoff durch die Betonüberdeckung in den Bauteil eingeleitet wird. In der Betonüberdeckung befinden sich Biege- und Zugrisse. Zusätzlich wurde die Überdeckung bei Aussenanwendungen vor der Instandstellung durch Umwelteinflüsse wie Frost, Tausalz, Karbonatisierung usw. stark belastet. Untersuchungen¹ zeigen, dass Klebeverankerungen unter Frost-, Tausalzeinflüssen oder Feuchtigkeit frühzeitig versagen können. **CFK-Lamellen sind für ruhend beanspruchte Bauteile und nur in Ausnahmefällen für nicht ruhend beanspruchte Bauteile bauaufsichtlich zugelassen.**

¹ www.mdpi.com/journal/polymers

Article Behaviour of Prestressed CFRP Anchorages during and after Freeze-Thaw Cycle Exposure

Innovation: Robuste Verstärkung mit memory®-steel

Bei Verstärkungen mit memory®-steel **«re-plate»** wird die Verbundkraft über eine mechanische Endverankerung in den Kernbeton eingeleitet. Die sehr einfach zu installierende Verstärkungsmassnahme lässt sich ohne grosse Vorbereitung am Betontraggrund applizieren und innert weniger Minuten vorspannen.

Bei Verstärkungen mit den Rippenstäben **«re-bar»** erfolgt die Krafteinleitung in den gesunden Kern des Betons über eine neue Mörtelschicht, welche die schadhafte Betonschicht ersetzt. Bestehende Risse im Traggrund werden durch die Vorspannung des memory®-steel massgeblich reduziert.

Brückenträger: Vorgespannte Biegezugverstärkung in Längsrichtung und vorgespannte Schubverstärkung «Überdrücken des Querschnitts» bewirken eine robuste Verankerung in der Druckzone.

Brückenplatte: Vorgespannte Biegezugverstärkung mit robuster Krafteinleitung dank Aufrauen des Traggrundes und Ersatz des schadhafte Überbeton.

Durch die Kombination von vorgespannten re-bar Stäben mit geprüften Sika Betonersatzmörtel steht eine Verstärkungsmethode für ruhend wie dynamisch dauerbelastete Tragwerke zur Verfügung.

Eisenbasierte Formgedächtnislegierung

Formgedächtnislegierungen «shape memory alloy, SMA» verformen sich nach einer Vordehnung durch Wärmezufuhr wieder in die ursprüngliche Form zurück. memory®-steel erinnert sich infolge einer Kristallgitterumwandlung «Martensit in Austenit» an die Ursprungsform.

memory®-steel ist eisenbasiert und eignet sich für Bauanwendungen.

Atomstruktur



Gleichmässige Vorspannung ohne Reibungsverlust.

Die bestehende Innenarmierung wird dank Vorspannung entlastet, dadurch wird die Lebensdauer des Bauwerks verlängert.

Drei Verfahren mit memory®-steel werden angeboten

re-plate Verfahren für Betonbauten	re-bar Verfahren für Betonbauten	re-bar R18 Verfahren für Stahlkonstruktionen
Stahlband mechanisch im Beton endverankert	Rippenstahl zum Einlegen in Mörtel oder Beton	Rundstahl über Endverankerung am Stahlträger fixiert
Externes Zugband ohne Verbund	Innenliegende Bewehrung im Verbund	Externer Zugstab ohne Verbund
für ruhend beanspruchte Bauteile	für ruhend sowie dynamisch dauerbelastete Bauteile	

re-plate Verfahren für Betonbauten

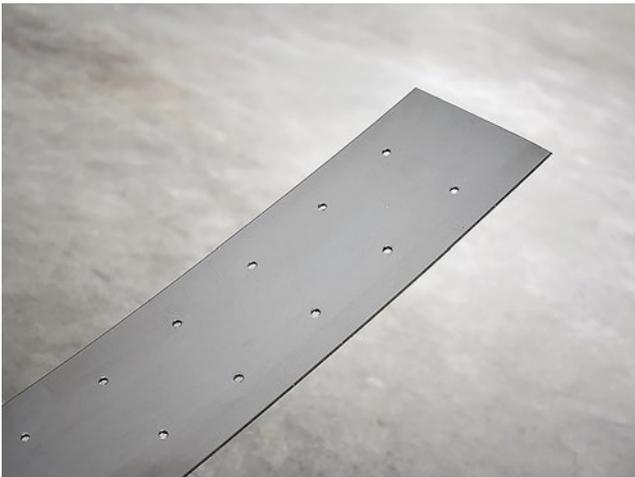
«für ruhend beanspruchte Bauteile»

re-plate «Band aus memory®-steel» wird zur Ertüchtigung von Bauwerken eingesetzt «für ruhend, in Ausnahmefällen nicht ruhend, beanspruchte Bauteile». Beidseitig endverankert agiert re-plate als externes Zugband ohne Verbund. re-plate wird im Werk vorgedehnt und vorgelocht ausgeliefert. Die mechanische Endverankerung erfolgt mit einer Hilti Direktbefestigung. Zur Aktivierung «Vorspannung» wird das Band mit einem Gasbrenner oder einem Infrarotheizstrahler erwärmt.

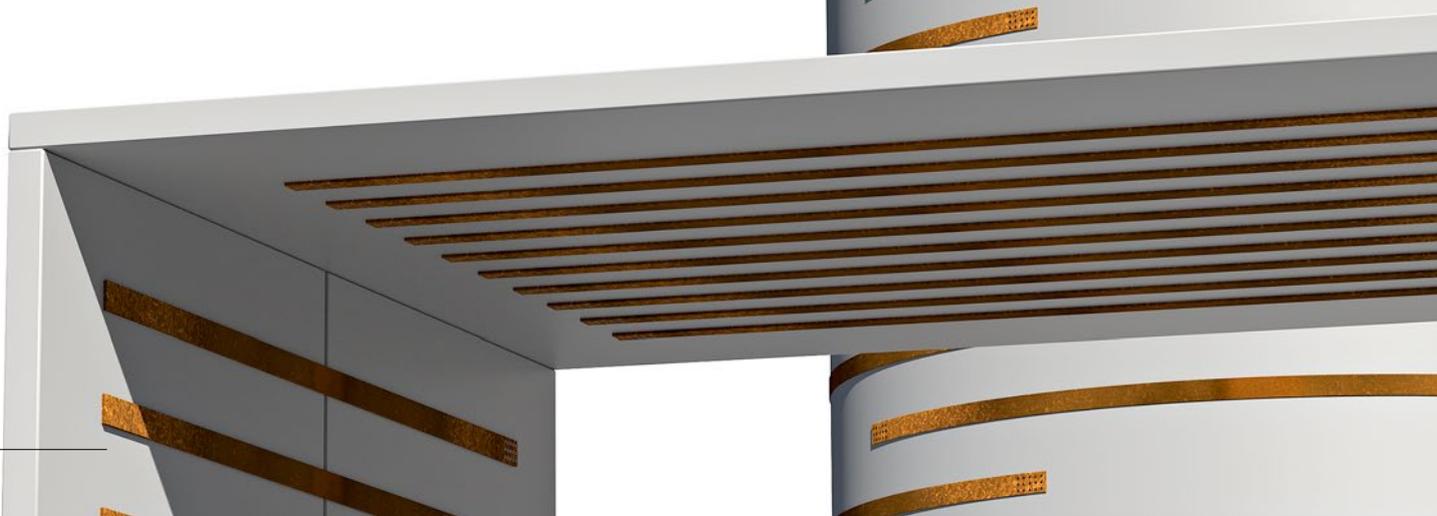
Produkt	Querschnitt	Max. Zugfestigkeit*	Max. Zugkraft*	Bruchdehnung
re-plate 120/1.5 mm	180 mm ²	580 N/mm ²	105 kN	25 %

* Bemessungswert am reduzierten Querschnitt von re-plate bei der vordersten Lochreihe bei Betonfestigkeit >35 N/mm²

Produkt	Heiztemperatur	Vorspannung	Vorspannkraft	Relaxation
re-plate – Standardlösung	Gas 300 – 350°C	380 N/mm ²	68.4 kN	15 % t ₀
Korrosionsbeschichtung oder Brandgefahr	Infrarot 165°C	300 N/mm ²	54.0 kN	15 % t ₀



Stahlband vergleichbar mit einem Werkstoff 1.4003 gemäss DIN EN 10088 (Korrosionswiderstandsklasse I)



Grundlagenversuche mit re-plate

Mechanische Endverankerung

Mit Ausziehversuchen wurde die mechanische Endverankerung der Hilti Direktbefestigung in Kombination mit re-plate geprüft.

Die Verankerung ist für die Bemessung nicht massgebend sofern der Beton eine Druckfestigkeit von $>35 \text{ N/mm}^2$ aufweist. Bei tieferen Betonqualitäten soll betreffend Verankerungswiderstand Rücksprache mit dem re-fer Ingenieur gehalten werden.

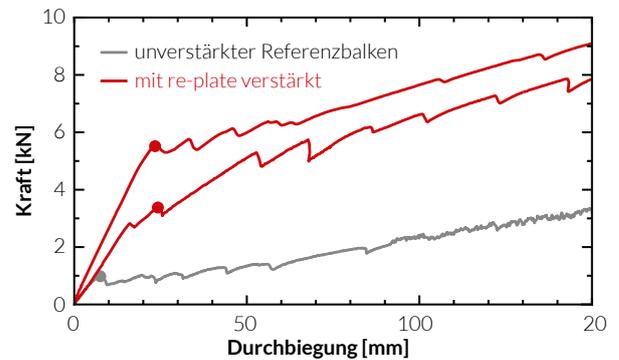
Versagen am reduzierten Querschnitt bei der vordersten Lochreihe von re-plate.



Tragwerkverhalten



Das Tragwerkverhalten der Verstärkung wurde an Platten der Abmessungen $L = 4 \text{ m}$, $h = 150 \text{ mm}$ und $b = 500 \text{ mm}$ geprüft. Eine Referenzplatte wurde mit zwei verstärkten Platten verglichen.



Im Gebrauchszustand wurde eine 3-5 Mal höhere Risslast festgestellt.

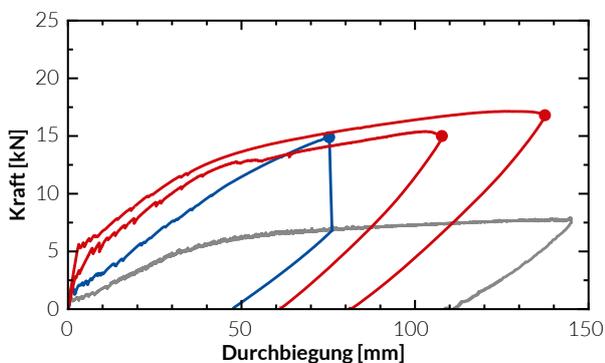
Grossversuch: Vergleich re-plate mit CFK-Lamellen

Biegeversuche an der Empa zeigen re-plate und CFK-Lamellen bei vergleichbarer axialer Steifigkeit EA. Die verstärkten Betonplatten (Höhe 150 mm, Breite 500 mm, Spannweite 4 m) wurden auch mit einem unverstärkten Referenzbalken verglichen und zeigten deutlich höhere Bruchlasten. Bei den re-plate Verstärkungen wurde ein Versagen aufgrund Betonstauchen in der Druckzone bei hohen Durchbiegungen erzielt. Die CFK-Ertüchtigung versagte aufgrund der tiefen Bruchdehnung frühzeitig. Dank der Vorspannung mit dem duktilen re-plate Verfahren wurde eine deutlich höhere Risslast erzielt.



Betonplatte, Versuch an der Empa Schweiz

70 - 170% Erhöhung der Risslast im Vergleich zu CFK-Lamellen.



	re-plate	CFK-Lamelle
Axiale Steifigkeit EA [kN]	$\sim 10 \cdot 10^3$	$\sim 11 \cdot 10^3$
Risslast [kN]	3.4 - 5.4	2.0

— unverstärkter Referenzbalken

● Betonstauchen

● Abplatzen Lamelle

■ Oftmals sinnvoll: Kombination re-plate und Sika®CarboDur®.

re-plate

- Gegen Durchbiegung und Risse in der Decke und im darüberliegenden Wandbauteil
- Als Entlastung der bestehenden Innenarmierung
- Zur Abdeckung der Gebrauchs- und Brandlast
 - «Beispiel Bild 3: Gebrauchs-/Brandlast wird durch re-plate abgedeckt – Brandschutz-Verputz ist nur für re-plate notwendig»

Sika®CarboDur® CFK-Lamellen

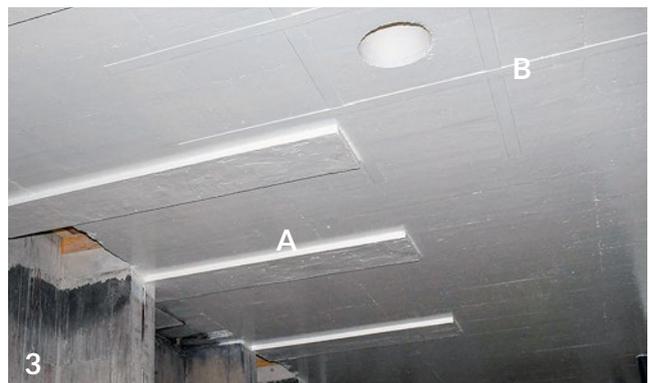
- Zur Abdeckung der übrigen Traglast



1 Typische Verstärkung des positiven Biegemomentes mit re-plate



2 Kombination re-plate mit CFK-Lamellen



3 Brandschutz für re-plate (A) in Kombination mit CFK-Lamellen (B)

Wenn re-plate und CFK-Lamellen in der gleichen Zugrichtung tragen, werden die schlaffen CFK-Lamellen immer nach den vorgespannten re-plate appliziert. Falls re-plate in Längsrichtung über bereits installierte CFK-Lamellen (in Querrichtung) appliziert wird, muss an den Kreuzungspunkten re-plate/CFK eine Alufolie als Zwischenschicht eingelegt werden. So wird der Klebeverbund zwischen re-plate und CFK-Lamelle verhindert.

Applikation von re-plate

Biegeverstärkung «Erhöhung der Gebrauchs- und der Traglast»



Bauvorbereitung

- 1 Im Bereich der Verstärkung allfällige Beschichtungen und/oder Dämmungen entfernen
- 2 re-plate provisorisch mit T-Stützen fixieren



Beidseitige Endverankerung

- 3 Traggrund durch vorgelochte re-plate vorbohren
- 4 Mechanisch endverankern mit Hilti Bolzensetzgerät und systemgeprüften, rostfreien Bolzen (X-CR 48 P8 S15)



Aktivieren der Vorspannung

- 5A/B Etappenweise Erwärmung mit Gasbrenner oder re-IR 3000 Infrarot-Heizstrahler / Temperaturkontrolle mit Sensor



Fertigstellung

- 6 re-plate zeigt sofort nach der Aktivierung und Abkühlung seine Tragwirkung (im Bild: Entfernen der tragenden Wand)

Anwendungen von re-plate

Entfernen von bestehenden Stützen oder Auflager

Durch die Vorspannung von re-plate wird das statische System einer Decke geändert. Bestehende Stützen oder Auflager können entfernt werden. Im Wohnungs- oder Industriebau bieten sich dadurch neue Möglichkeiten bei der Raumeinteilung.

Verstärken positives Moment

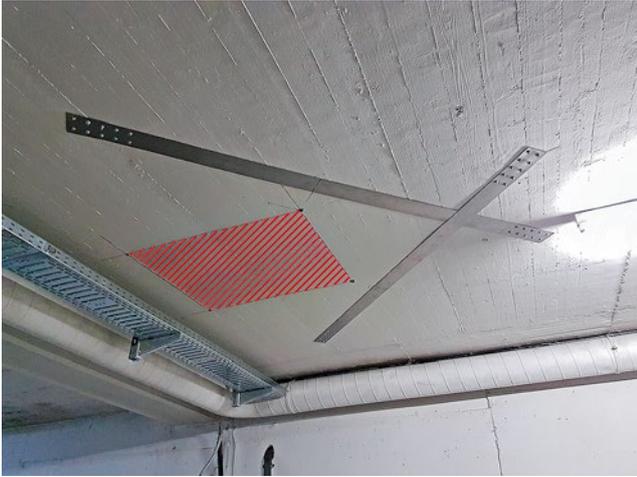


Die Spannweite in der Hauptzugrichtung wird durch Überdrücken einer Dilatationsfuge und entfernen der unterliegenden Stütze verlängert. Das höhere positive Biegemoment sowie die Überdrückung der Fuge wird durch re-plate abgedeckt.

Verstärken negatives Moment

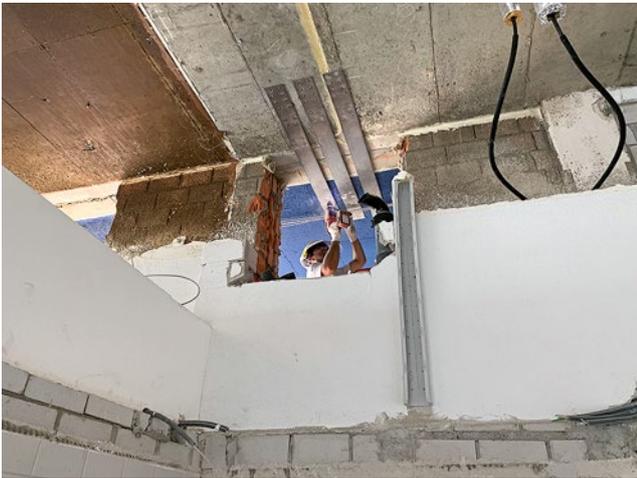


Auf der Balkonoberseite über einer bestehenden Aussenstütze wird das negative Moment verstärkt, damit eine darunterliegende Aussenstütze entfernt werden kann.



Lokale Verstärkung eines Deckenausbruchs

Die fehlende Zugbewehrung infolge einer nachträglichen Aussparung in der Decke wird mit re-plate überdrückt. Die Kräfte werden in das Tragsystem der bestehenden Decke umgeleitet. Die Applikation von re-plate erfolgt direkt auf den Beton und wird innert wenigen Minuten appliziert und vorgespannt. Die Verstärkung erfolgt vor dem Deckenausbruch.



Überdrücken von Koppelfugen

Mit kurzen re-plate Bänder können Dilatations-Koppelfugen überdrückt/überspannt werden, um Bauteile kraftschlüssig miteinander zu verbinden. Die Anwendung ist interessant für Erdbebener-tüchtigung im Hochbau. Auch Anwendungen im Brückenbau machen Sinn.



Lokale Verstärkung eines Brückenträgers

Ein Brückenträger wurde durch den Strassenverkehr lokal beschädigt. Innenliegende Spannlitzen wurden tangiert. Innerhalb von zwei Stunden erfolgte die Verstärkung mit re-plate. Der Verkehrsfluss wurde kurzfristig auf die zweite Spur umgeleitet. Dies ist mit re-plate möglich, denn das System kann sehr schnell und effizient appliziert werden. Da im Winter auf der Autobahn Salz gegen Eisbildung gestreut wird, ist eine erhöhte Chlorid-Belastung vorhanden. Aus diesem Grund wurde auf re-plate ein Korrosionsschutz appliziert. Die Aktivierung erfolgte mit dem Infrarotstrahler. Die Heiztemperatur wurde auf 165°C beschränkt.

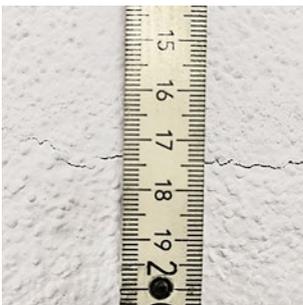


Verstärken gegen Durchstanzen

Mit der Applikation von re-plate auf der Deckenoberseite kann das negative Biegemoment verstärkt oder gegen Durchstanzen vorgespannt werden. Aufgrund von Unebenheiten der Betonoberfläche können offene Stellen unter re-plate entstehen. Diese werden seitlich mit Reprofilermörtel verfüllt, um Vibrationen der Bänder zu verhindern. Danach wird re-plate mit Reprofilermörtel oder Überzug abgedeckt. Auf der Verstärkungsmassnahme wird dann der gewünschte Bodenaufbau appliziert.

Durchbiegungen reduzieren und Risse schliessen

Nach einem Umbau und erhöhten Lasten zeigte sich, dass die bestehende Betondecke zu gering ausarmiert war. Die entstandene, unzulässige Durchbiegung (blau) führte zu Rissen im aufliegenden, verputzten Mauerwerk (rot). Acht re-plate Verstärkungsbänder wurden zur Erhöhung der Gebrauchs- und der Traglast appliziert und aktiviert. Die sichtbaren Risse im verputzten Mauerwerk konnten damit wieder geschlossen werden.



sichtbarer Riss vor Verstärkung



nach Verstärkung ist Riss geschlossen



Film Aktivierung von re-plate:
www.re-fer.eu/mov01

Brandschutz für re-plate

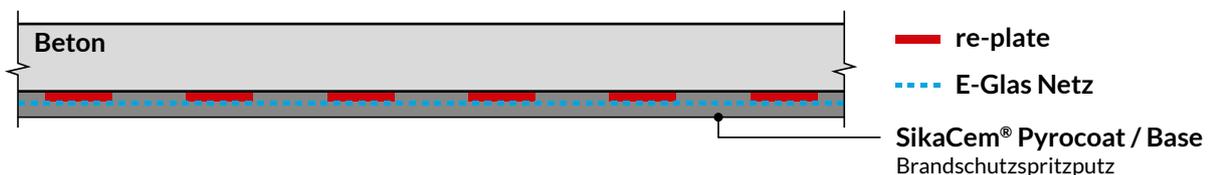
Brandverhalten von re-plate

re-plate zeigt ein ähnliches Brandverhalten wie herkömmlicher Stahl und verliert bei rund 400°C deutlich an Festigkeit, respektive reduziert seine Vorspannung bei ca. 350°C auf null. Das Gleiche gilt für die Verankerung mit Hilti Direktbefestigungen; für diese liegen separate Versuche des Herstellers zum Brandverhalten vor. Ein Brandschutz der Verstärkungsmassnahmen ist immer dann erforderlich, wenn die Norm- und länderspezifische Brandlast ohne Verstärkung nicht abgedeckt werden kann. Die Bemessungshilfe (S. 39) zeigt ein Vergleichsbeispiel.



Brandschutzmassnahme

An der MFPA Leipzig laufen Brandversuche mit einer armierten Betonplatte der Abmessung 3 m Breite und 140-150 mm Dicke mit einer Spannweite 4 m. Diese Normbiegeplatte wird mit re-plate nachverstärkt und danach vollflächig mit SikaCem® Pyrocoat beschichtet. Während dem Brandversuch wird die Temperatur am re-plate sowie an der Innenarmierung gemessen. Somit liegen die Grundlagen vor, um Bemessungskonzepte für die Brandschutzmassnahme vorzunehmen.



Applikation des Brandschutzes

Der Betonuntergrund und die Verstärkungsbänder werden gereinigt und vollflächig mit dem Haftgrundputz SikaCem® Pyrocoat Base überdeckt. Danach wird feinschichtig SikaCem® Pyrocoat Spritzputz vollflächig über der Verstärkungsmassnahme aufgetragen. Der Spritzputz dient auch als Ausgleich von Unebenheiten. Ein E-Glas Netz wird vollflächig über re-plate in den Spritzputz eingelegt. Damit Vibration von re-plate verhindert wird, werden die Bänder seitlich mit Spritzputz verfüllt.

Gültige Versuchsergebnisse liegen bis Sommer 2021 vor. Für Ihr Projekt unterstützt Sie der re-fer Ingenieur Support. Schichtstärken gemäss länderspezifischen Normen oder Richtlinien müssen eingehalten werden.

Für Aussenanwendungen oder im Tunnelbau stehen weitere geprüfte Mörtel der Sika MonoTop® Reihe zur Verfügung. Brandschutzmassnahmen, resp. die angegebenen Schichtstärken sind Richtwerte und sind auf die lokal geltenden behördlichen Vorschriften und die geltenden Normen abzustimmen.

Korrosionsschutz von re-plate

Korrosionsverhalten von memory[®]-steel

Die Legierung von memory[®]-steel enthält rund 10% Massenanteile Chrom und ist vergleichbar mit einem Werkstoff 1.4003 gemäss DIN EN 10088 (Korrosionswiderstandsklasse I). Ein bekanntes Risiko von Vorspannstählen ist die Spannungsrisskorrosion. Beim angepassten fib-Versuch für Spannungsrisskorrosion erreicht memory[®]-steel dabei Standzeiten von über 250 Stunden. Bei stark exponierten Objekten mit hoher Chlorid-Konzentration – beispielsweise bei Hallenbädern oder im Spritzwasserbereich von Bahnhöfen – sollte ein zusätzlicher Korrosionsschutz appliziert werden. Für die extern applizierten re-plate Verstärkungsbänder eignet sich das Produkt SikaCor[®] EG-1.

Hinweis: re-bar wird jeweils in eine zementöse Matrix eingelegt, welche als Alkalidepot für die Innenbewehrung sowie als Schutzschicht gegen eindringende Chloridionen dient.

Korrosionsschutz ist für Chlorid-belastete Bauteile zu empfehlen.



re-plate vorgelocht



Strahlen mit Korund im Werk



Korrosionsschutz mit SikaCor[®] EG-1 im Werk

Applikation des Korrosionsschutzes von memory[®]-steel

Die Oberfläche von re-plate wird mittels Korundstrahlen leicht aufgeraut und danach mit SikaCor[®] EG-1 bestrichen. Allfällige Transportschäden der Beschichtung werden bauseits mit SikaCor[®] EG-1 ausgebessert. Durch diese Schutzlackierung «kurzzeitige, thermische Beständigkeit von ca. 180°C» wird die Heiztemperatur des Vorspannungsvorganges auf 165°C beschränkt. Entsprechend gilt eine maximale Vorspannkraft von 54 kN/re-plate. Nach der Applikation und der Aktivierung wird das re-plate zusätzlich mit Sikaflex[®] PRO-3 beidseitig ausgefugt, um das Eindringen von Wasser zwischen Betontraggrund und Verstärkungsband zu verhindern.

SikaCor[®] EG-1 «Beschichtung»

im Werk aufgebracht

Beschichtungen auf Epoxidharzbasis wird vor Auslieferung im Werk beidseitig auf re-plate appliziert.

Nach Aktivierung von re-plate ausfugen mit Sikaflex[®] PRO-3.

*Achtung: reduzierte Heiztemperatur 165°C «Vorspannkraft 54 kN/re-plate»

re-bar Verfahren für Betonbauten

«für ruhend sowie dynamisch dauerbelastete Bauteile»

Nachverstärken von Bauwerken

Der Rippenstahl $\varnothing 10$ oder $\varnothing 16$ mm wird im Sika Reparaturmörtel endverankert und mit dem Gasbrenner aktiviert. Nach der Aushärtung der Endverankerung wird der Zwischenbereich mit Mörtel verfüllt. re-bar agiert als innenliegende Vorspannung im Verbund. re-bar 10 U-Profile werden im Sika Reparaturmörtel eingelegt und mit EL-Strom aktiviert.

Produkt	Querschnitt	Max. Zugfestigkeit	Max. Zugkraft	Bruchdehnung
re-bar 10	89.9 mm ²	800 N/mm ²	71.9 kN	30 %
re-bar 16	211.2 mm ²	750 N/mm ²	158.4 kN	30 %

Produkt	Heiztemperatur	Vorspannung	Vorspannkraft	Relaxation
re-bar 10 - Stangenware	Gas 300 - 350°C	400 N/mm ²	36.0 kN	15 % t ₀
re-bar 10 - U-Profile	mit Strom 200°C	350 N/mm ²	2 x 31.5 kN = 63 kN	15 % t ₀
re-bar 16 - Stangenware	Gas 300 - 350°C	320 N/mm ²	67.6 kN	15 % t ₀

Neubau Einlage in Beton (Versteckter Unterzug)

Der Rippenstahl re-bar 16 wird in den neuen Beton eingelegt. Die Aktivierung erfolgt vor dem Ausschalen des Betons mit EL-Strom.

Produkt	Heiztemperatur	Vorspannung	Vorspannkraft	Relaxation
re-bar 16 - mit Endhaken für EL-Anschluss	mit Strom 200°C	250 N/mm ²	52.8 kN	15 % t ₀



Rippenstahl vergleichbar mit einem Werkstoff 1.4003 gemäss DIN EN 10088 (Korrosionswiderstandsklasse I)

Grundlagenversuch mit re-bar

Verbundversuche

Mit Ausziehversuchen wurde der Verbund der Endverankerung mit verschiedenen Mörteln der Sika untersucht. Die Verankerungslänge mit den geprüften Mörteln auf einem Beton mit Druckfestigkeit $>25 \text{ N/mm}^2$ wurde wie folgt festgelegt:

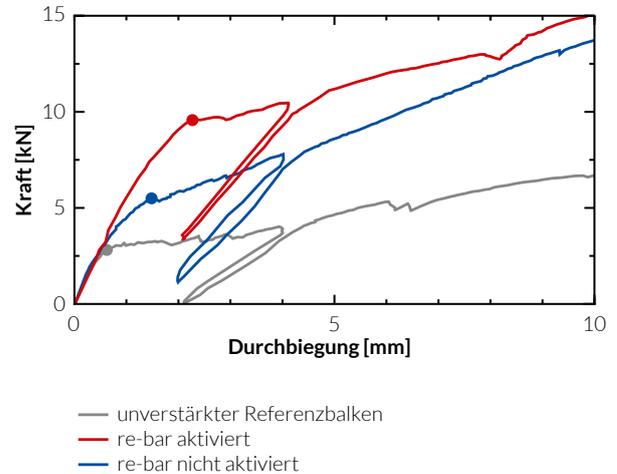
Im Sika Reprofilier- resp. Spritzmörtel
Verankerungslänge: $>500 \text{ mm}$
(situationsabhängig)

Eingeschlitz in Nut im Sika Vergussmörtel
Verankerungslänge
re-bar 10: $>600 \text{ mm}$
re-bar 16: $>1'000 \text{ mm}$
Abstand zwischen Nuten: $>200 \text{ mm}$



Bei höheren Betonqualitäten ist es möglich, die Verankerungslängen abzumindern. Weitere Verankerungsmöglichkeiten siehe Seite 25.

Tragwerksverhalten



Das Tragwerksverhalten der Verstärkung mit re-bar am Balken der Abmessung Höhe 160 mm, Breite 250 mm, Spannweite 2 m wurde geprüft. re-bar aktiviert und nicht aktiviert wurden verglichen.

Durch die Aktivierung konnte die Risslast verdoppelt werden.

Grossversuch: Verstärkung negatives Moment Brückenplatte

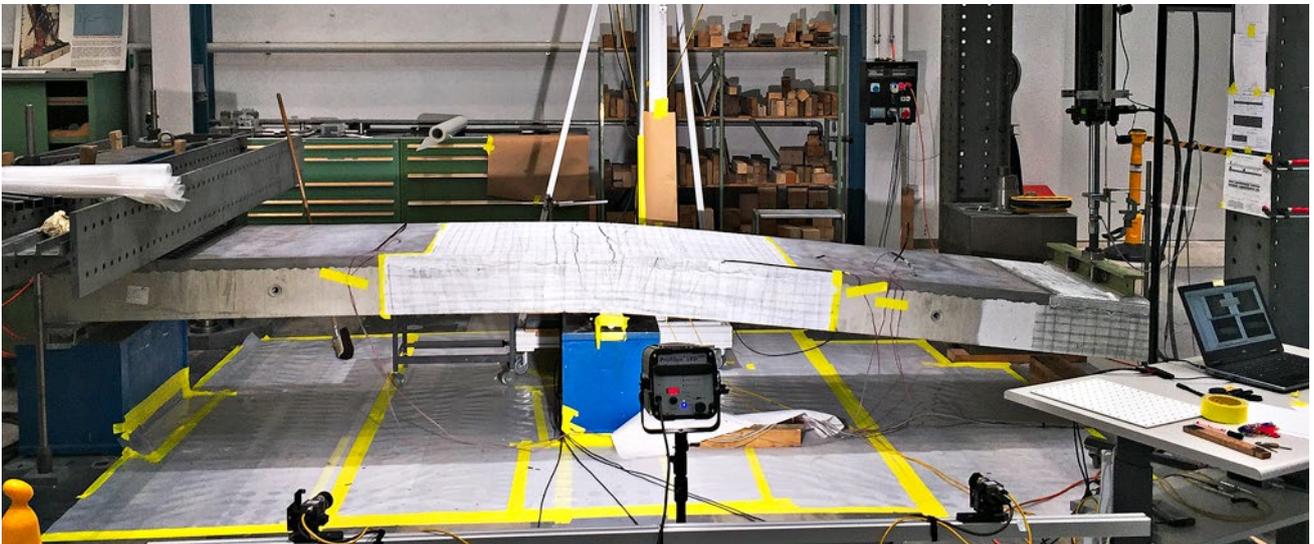
Eine Forschungsarbeit an der Empa Schweiz untersuchte die Biegetragfähigkeit von verstärkten Brückenträgern mit re-bar Stäben. Die Stäbe wurden auf der Plattenoberseite in eine Betonnut eingelegt und mit SikaGrout®-314N verfüllt. In einer zweiten Serie wurde re-bar im Reprofiliermörtel Sika MonoTop®-452 N auf der Oberfläche appliziert. Im Grossversuch wird eine Brückenplatte simuliert, welche in Querrichtung mit jeweils 5 vorgespannten re-bar Stäben verstärkt wurde.



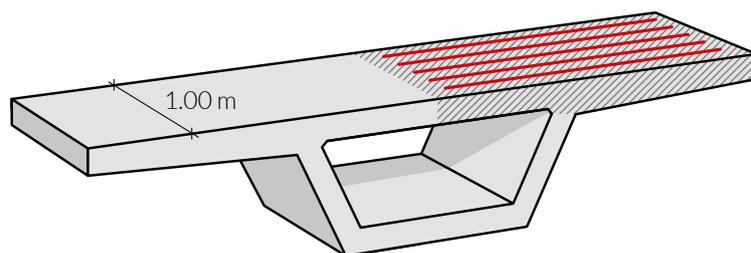
Verstärkung in Nut



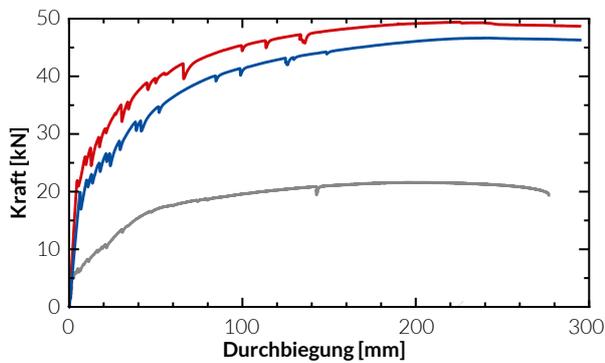
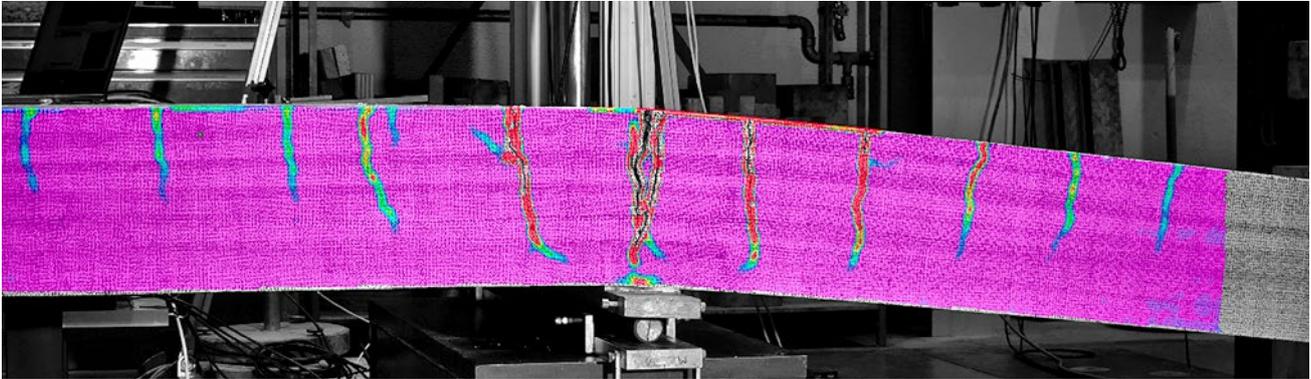
Verstärkung in Reprofiliermörtel



Versuch Betonplatte an der Empa

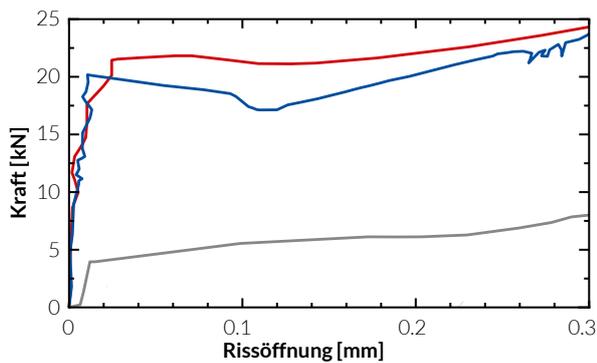


Versuchsergebnisse: Verstärkung negatives Moment



	Referenz- balken	re-bar in Betonnut	re-bar im Re- profiliermörtel
Risslast [kN]	5.9	20.0	21.9
Bruchlast [kN]	21.6	46.6	49.4

**Risslast wurde verdreifacht.
Bruchlast wurde verdoppelt.**



— unverstärkter Referenzbalken
— re-bar im Reprofiliermörtel
— re-bar in Betonnut

Die gemessenen Rissbreiten konnten bei gleicher Belastung deutlich reduziert werden. Das Tragwerk verweilt länger im ungerissenen Zustand. Da die innenliegende Zugarmierung durch die Vorspannung entlastet wird, wirkt sich dies auch positiv auf das Ermüdungsverhalten und somit auf die Lebensdauer des Tragwerkes aus.

**Entlastung der Innenarmierung.
Erhöhte Lebensdauer.**

Applikation von re-bar für Nachverstärkung

Nachverstärkung positives/negatives Moment



Bauvorbereitung

- 1 Aufrauen des Betontraggrundes bis geforderte Rauigkeit erreicht wird
- 2 Fixieren von re-bar mit elektrischen Isolatoren **re-clip** auf Innenbewehrung oder **re-bolt** am Traggrund



Beidseitige Endverankerung

Am Boden

- 3 Beidseitiges Einbetten in **Sika MonoTop®-452 N** «Reprofiliermörtel» als Endverankerung

Überkopf

- 4 Beidseitiges Einbetten in **Sika MonoTop®-412 Eco/-4012** «Spritzmörtel» als Endverankerung

Verankerungslänge: >500 mm



Aktivierung von re-bar sobald eine Druckfestigkeit >35 N/mm² im Mörtel erreicht ist.



Aktivieren der Vorspannung

- 5 Erhitzen von re-bar mit Gas-Brenner und Protokoll der Aktivierungstemperatur erstellen



Fertigstellung

Am Boden

- 6 **Sika MonoTop®-452 N** «Reprofiliermörtel» zwischen den Endverankerungen applizieren

Überkopf

- 7 **Sika MonoTop®-412 Eco/-4012** «Spritzmörtel» zwischen den Endverankerungen applizieren

Nachverstärkung negatives Biegemoment in Nut



Bauvorbereitungen

- 1 Einschlitzten der Nut in Betontraggrund
re-bar 10: Breite 2.5cm/ Tiefe 3.0cm
re-bar 16: Breite 2.5cm/ Tiefe 4.0cm
- 2 re-bar zentrisch in Betonnut fixieren



Aktivierung von re-bar sobald eine Druckfestigkeit $>35 \text{ N/mm}^2$ im Mörtel erreicht ist.

Beidseitige Endverankerung

- 3 Beidseitiges Einbetten in **SikaGrout®-314N** «Vergussmörtel»

Verankerungslänge:
re-bar 10: $>600 \text{ mm}$
re-bar 16: $>1'000 \text{ mm}$



Aktivieren der Vorspannung

- 4 Aktivieren/Erhitzen von re-bar mit Gas-Brenner
- 5 Protokoll der Aktivierungstemperatur erstellen

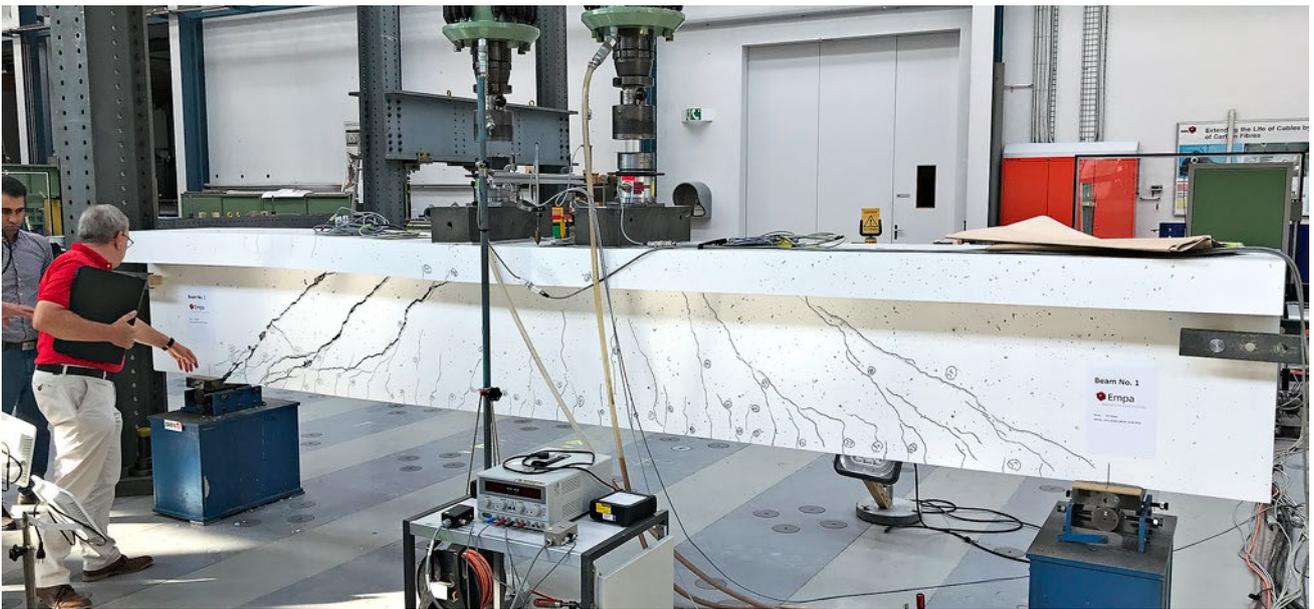


Fertigstellung

- 6 Vergießen von re-bar mit **SikaGrout®-314N** zwischen den beidseitigen Endverankerungen
- 7 Aufbringen der Abdichtung sowie des Asphaltbelages

Traglastversuch: Schubverstärkung an T-Träger

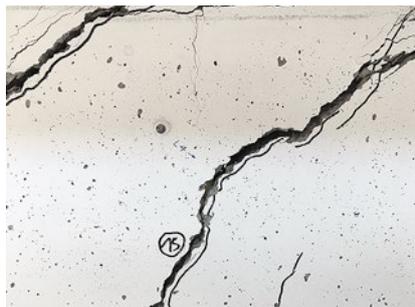
An der Empa Schweiz wurden mehrere Traglastversuche durchgeführt und so gestaltet, dass ein Schubversagen eintrat. Ein erster Referenzversuch ohne zusätzliche re-bar Schubbügel-Verstärkung wurde bis zum Bruch belastet. Dieser stark beschädigte Referenzträger mit gerissener Schubbewehrung und klaffenden Rissen wurde mit Sika Produkten ausinjiziert und nachverstärkt. Zusätzlich wurden vier weitere unbeschädigte T-Träger mit re-bar Schubbügel verstärkt und getestet.



Versuchsbalken an der Empa



Aufkleben von Dehnmessstreifen auf Innenarmierung

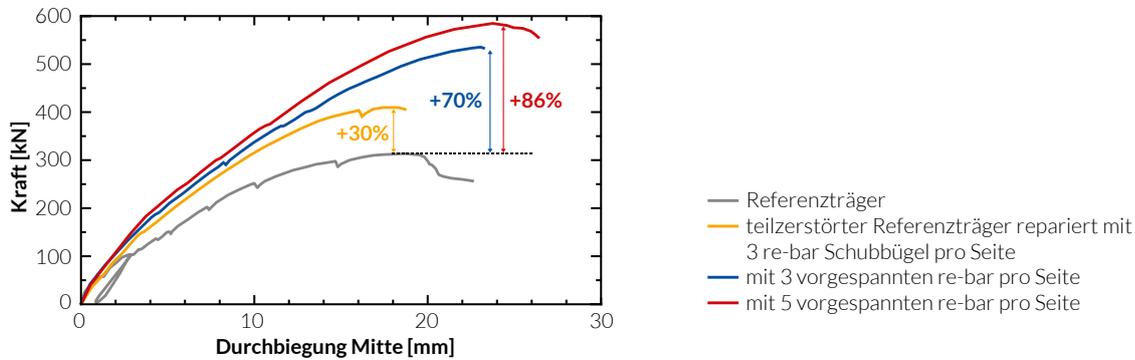


Klaffende Risse beim zerstörten Referenzträger



Wärmebild der aktivierten/erhitzten re-bar Bügel

Die Versuche zeigten deutliche Zugewinne der Traglast. Ebenfalls erlaubt es die Vorspannung, die Rissöffnungen bei gleicher Last kleiner zu halten als ohne Vorspannung.

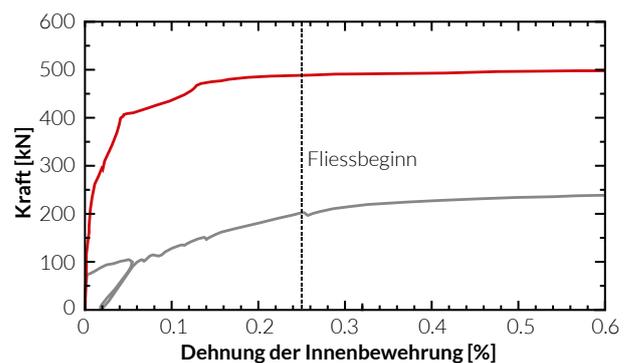


Die Verstärkung von teilerstörten Bauten nach einem Erdbeben ist möglich.

Dank den vorgespannten re-bar Schubdügel konnte eine Steigerung der Traglast des teilerstörten Referenzträger um 30% erreicht werden.

Dank Aktivierung/Vorspannung der re-bar Schubdügel tritt die Rissöffnung erst bei 50% höherer Traglast ein.

Dank der Vorspannung wird die Zugspannung in der innenliegenden Schubbewehrung entlastet. Dehnmessstreifen auf der Innenarmierung zeigten, dass diese im Referenzbalken bei ~200 kN Belastung zu fließen beginnt. Dank der Vorspannung mit 5 vorgespannten re-bar setzt der Flussbeginn der Innenbewehrung erst bei ~500 kN ein.



Entlastung der inneren Schubdügel.

Verbessertes Ermüdungsverhalten.

Applikation von re-bar U-Bügel



1



2

Rissinjektion wenn nötig

- 1 Oberflächenverschluss der Risse mit **Sika® FastFix-121** sowie Injektion mit **Sika® InjectoCem-190**

Bauvorbereitung

- 2 Hydromechanisches oder mechanisches Aufrauen auf geforderte Rauigkeit (Sandstrahlen falls mechanisch aufgeraut wurde)
- 3 re-bar Schubbügel mit re-bolt Kunststoffdübeln fixieren (elektrische Isolierung der Innenarmierung)



3



4

Vermörteln

- 4 **Sika MonoTop®-412 Eco/-4012** im Nassspritzverfahren aufspritzen, Löcher im Steg mit **SikaGrout®-314N** ausgießen. Alternativ: Schalung erstellen, Verfüllung mit Vergussmörtel **SikaGrout®-314N**



Aktivierung von re-bar sobald eine Druckfestigkeit $>35 \text{ N/mm}^2$ im Mörtel erreicht ist.



5

Aktivieren der Vorspannung

- 5 Aktivierung/EL-Widerstandsheizten, danach Bügel umbiegen und ausgießen.

Vorspannkraft: $2 \times 31.5 \text{ kN} = 63 \text{ kN}$ je zweischnittem U-Profil

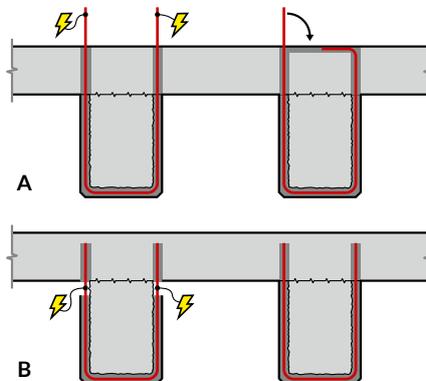
Stromanschluss bauseits: 400V, 2x 56 A (63A CEE Steckverbindung) im Umkreis von 20m



6

Fertigstellung

- 6 Ansicht des verstärkten Objektes nach Vermörtelung

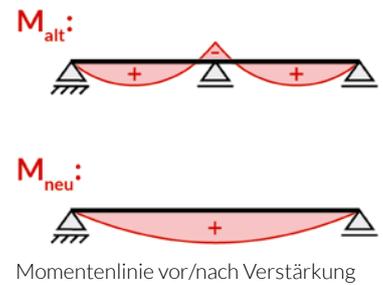
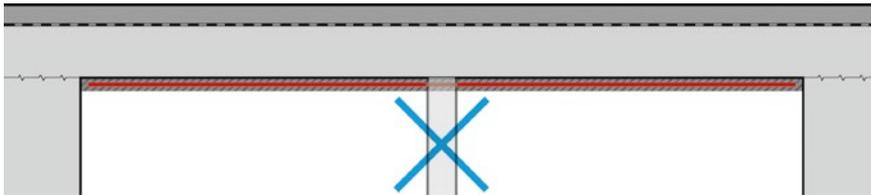


Verankerung in Druckzone

- A U-Profil geschlossen
- B U-Profil im Beton verankert

Anwendungen von re-bar für Nachverstärkung

Zur Verbesserung des Durchflussprofils unter einer Brücke wird der Mittelpfeiler (auf Querschnittsskizze blau markiert) entfernt. Für die Bauarbeiten muss der Kanal entleert werden. Provisorische Stützen werden zur Absicherung des Bauzustandes errichtet. Danach kann der Mittelpfeiler entfernt werden. Das zu verstärkende neue positive Moment M_{neu} infolge der neuen Spannweite wird durch die vorgespannten re-bar übernommen. re-bar liegt im Sika MonoTop® Spritzmörtel. Damit der Verbund gewährleistet ist, muss der Traggrund hydromechanisch aufgeraut werden.



Nach Entfernen der Zwischenwand, provisorisches Abstützen und hydromechanisches Aufrauen



Fixieren von re-bar an Innenbewehrung (re-clip) und am Traggrund (re-bolt)



Beidseitige Endverankerung von 600 mm der re-bar Stäbe mit Sika MonoTop® Nassspritzmörtel



Aktivierung von re-bar mit Gasflamme sowie Temperaturkontrolle

Mit Ausziehversuchen wurde der Verbund der Endverankerung im zementösen Sika MonoTop® an der Empa geprüft. Die beidseitige Verankerungslänge >600mm basiert auf einer Druckfestigkeit des Altbetons >25 N/mm². Die Druckfestigkeit des Objekts muss mit einem Prüfhammer respektive der Entnahme eines Kleinzylinders in jedem Fall vorgängig kontrolliert werden.



Film Aktivierung von re-bar:
www.re-fer.eu/mov02



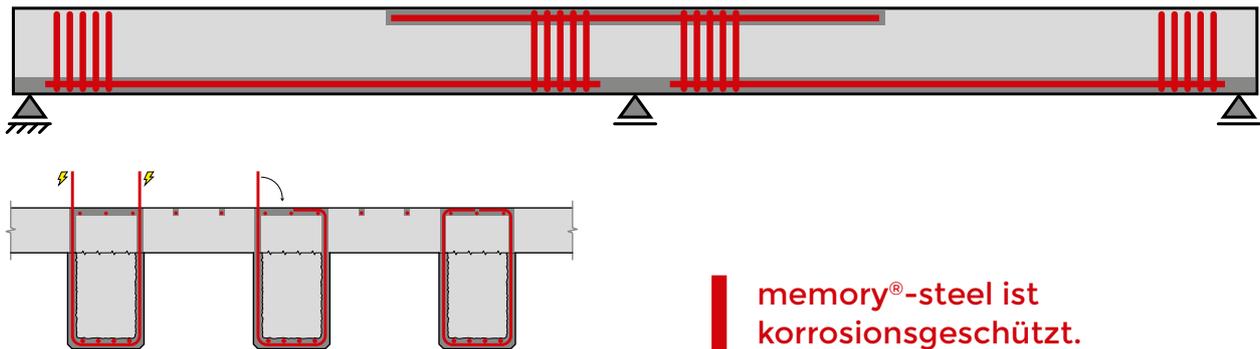
Einspritzen des Mittelbereiches mit Sika MonoTop®



Durchlass nach der Verstärkung

Kombinierte re-bar Anwendung Biegezug/ Schub im Brückenbau

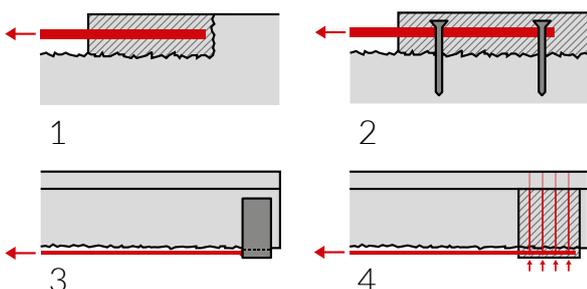
re-bar ist geeignet für die Teil- und Komplettsanierung eines Brückenträgers oder massiven Deckenunterzuges. Bei Umnutzungen oder Reparaturen von alten, carbonatisierten Betonquerschnitten wird memory®-steel bei Biege- oder Schubverstärkungen in die neue Mörtelschicht eingelegt. Die zementöse Mörtelschicht dient als neues Alkalidepot für die Stahlbewehrung. Durch die Verstärkungsarbeit entsteht ein dauerhaftes Tragsystem mit Korrosionsschutz für memory®-steel und bestehende Innenarmierung.



Flexible Verankerungsmöglichkeiten

Grundsätzlich wird re-bar bei Biegeverstärkungen hinter oder an der Momenten-Nulllinie verankert. Bei Schubverstärkung wird re-bar in der Druckzone verankert. Die Einleitung der Vorspannkraft wird normalerweise durch Mörtelverbund erreicht (1). Alternativ kann eine Verdübelung erfolgen. Dadurch wird der Schichtverbund zwischen Mörtel und Traggrund erhöht (2). Auch Speziallösungen wie verklebte oder verschraubte Stahlwinkel auf der Aussenseite mit angeschweissten re-bar Stäben sind möglich (3).

Vorgespannte re-bar Schubbügel sind speziell geeignet, um den Schubverbund zwischen Mörtel und Traggrund zu überdrücken (4).



memory®-steel ist korrosionsschutz.

Robuste Verankerung dank Überdrückung des Querschnittes.

Gegen Ermüdung.

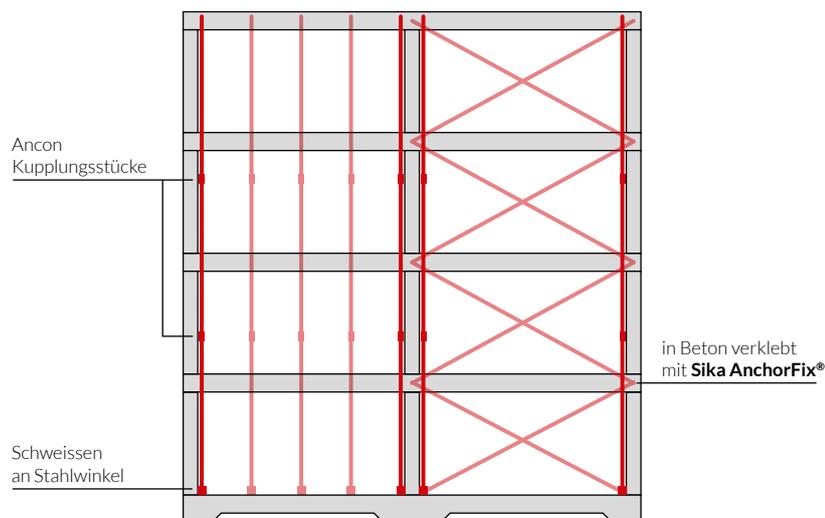
Entlastung der Innenbewehrung.

Höhere Tragfähigkeit / geringere Durchbiegung.



Erdbebenertüchtigung

Dank der Schweißbarkeit von memory®-steel sind einfache Verankerungen von re-bar möglich. re-bar wird beispielsweise an ein L-Profil aus Stahl verschweisst und in die Betondecke oder Bodenplatte verankert. Abschliessend wird re-bar im Spritzmörtel Sika MonoTop®-412 Eco/-4012 eingebettet. Schweißungen müssen von einem lizenzierten Edelstahlschweisser durchgeführt werden (Wolframspitze, Edelgas, Schweissgut "Böhler A7CN-IG" 1.6mm Draht).



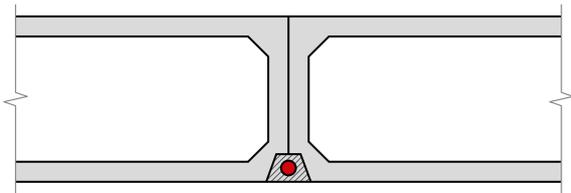
Verstärkungen im Tunnelbau

Für eine Gewölbeverstärkungen im Tunnelbau oder zur Überdrückung von Koppelfugen, beispielsweise im Kanalbau, wird re-bar im Trockenspritzmörtel Sika® Rock Gunit BE-8 eingespritzt.



Verstärkung einer Hohlkörperdecke

re-bar wird in den Beton zwischen den Hohlkörpern in eine Nut eingelegt, endverankert und aktiviert. Je nach gewünschter Vorspannkraft wird die Aktivierungstemperatur angepasst.



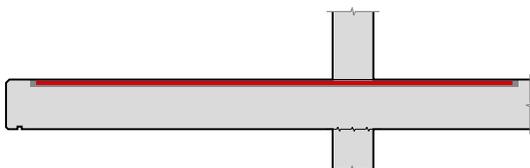
Verstärkung gegen Auftrieb

Die ungenügend bewehrte Bodenplatte zeigte Aufwölbung und Risse auf der Oberseite. Die Verstärkung gegen den Auftrieb des Grundwassers kann in beide Tragrichtungen erfolgen. Eine Kombination von re-bar «ingeschlitzt» in eine Richtung und re-bar «im Reprofiliermörtel» in die zweite Richtung ist möglich.



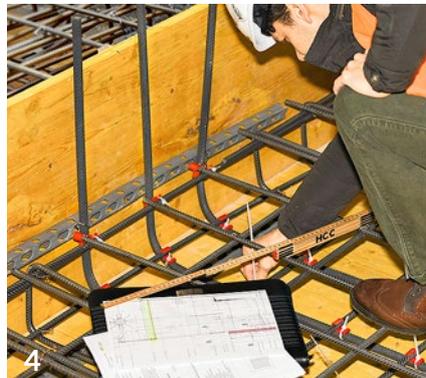
Verstärkung Balkonanschluss

Am Objekt wird die Oberseite der Decken- und Balkonplatte mit re-bar «ingeschlitzt» verstärkt. Dadurch wird die Durchbiegung verringert und es können höhere Nutzlasten für den Balkon angesetzt werden.



Applikation von re-bar im Neubau

Erstellen von versteckten, vorgespannten Unterzügen



Verlegen der Bewehrung

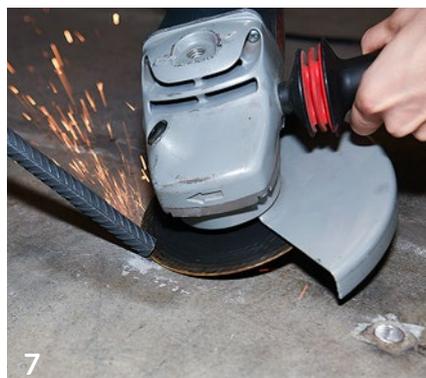
- 1 Schalung erstellen, Verlegen von Distanzhalter und 1. Lage der traditionellen Innenbewehrung
- 2 Verlegen von re-bar im Bereich des versteckten Unterzuges zwischen der Innenbewehrung
- 3 Verlegen der Querarmierung (2. Lage) / Kontakt mit re-bar durch elektrische Isolatoren re-clip getrennt
- 4 Kontrolle der re-bar durch Bauingenieur (el. Kontakt, Lage, el. Anschlusspunkte)



Aktivierung von re-bar sobald eine Druckfestigkeit $>25 \text{ N/mm}^2$ im Beton erreicht ist.

Betonieren

- 5 Betonieren nach Freigabe durch Bauingenieur.



Aktivieren der Vorspannung

- 6 Aktivieren/EL-Heizen (vor dem Ausschalen). Messung der Vorspannkraft mit Kraftmessdose möglich.

Stromanschluss bauseits:
400V, 2x 56 A (63A CEE Steckverbindung) im Umkreis von 20m

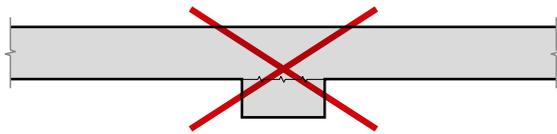
- 7 Abtrennen der re-bar Anschlussbereiche und Fertigstellung der Filigrandecke

Anwendungen von re-bar im Neubau

Versteckter, vorgespannter Unterzug in einem Mehrfamilienhaus

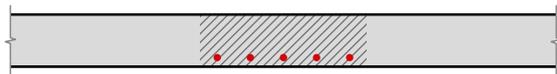
Der gezielte Einsatz von memory®-steel im Neubau ermöglicht eine Reduzierung der Deckenstärke und bietet somit eine Alternative zu herkömmlichen Tragsystemen wie Unter-/Überzüge oder zusätzliche Tragelemente. re-bar wird speziell für Betonriegel oder filigrane Betondecken mit Spannweiten bis zu ca. 15 m und Deckenstärken bis zu ca. 30 cm eingesetzt. Dank einer einfachen Handhabung und der optimalen Ausnutzung des inneren Hebelarmes entstehen verschiedene Vorteile gegenüber der herkömmlichen Litzenvorspannung.

Geplant:



**Durch Architekten/Bauherr
nicht erwünscht.**

Variante re-bar:



Um eine Einschränkung der Raumhöhe zu verhindern, wünschten Bauherr wie Architekt einen versteckten Unterzug. Damit die Durchbiegung gemäss Norm in diesem Bereich eingehalten werden kann, wurden re-bar Stäbe zwischen der untersten Bewehrungslage eingelegt. Die elektrische Aktivierung von re-bar erfolgt nach der Aushärtung, jedoch vor dem Entfernen der Deckenschalung. Der erstellte Verstärkungstreifen in der filigranen Betondecke deckt die gleichen statischen Anforderungen ab wie die anfänglich vorgeschlagene Variante.



Die Lieferung von re-bar 16 erfolgt in Standardlängen, welche für den Transport geeignet sind. Die re-bar Stäbe können auf der Baustelle mit Ancon-Kupplungen verlängert werden.

re-bar R18 Verfahren für Stahlkonstruktionen

«für ruhend sowie dynamisch dauerbelastete Bauteile»

Der Ø18 mm Rundstab re-bar R18 wird am bestehenden Stahlbauteil über eine Verschraubung endverankert. In Ausnahmefällen ist eine lokale Verschweissung der Endverankerung möglich. Die Aktivierung/Vorspannung erfolgt gemäss Produktdatenblatt der re-fer mit einem Gasbrenner. Beim Aufheizen wird ein Hitzeschild zwischen re-bar R18 und der bestehenden Stahlkonstruktion eingelegt.

Produkt	Querschnitt	Max. Zugfestigkeit	Max. Zugkraft	Bruchdehnung
re-bar R18	254.5 mm ²	750 N/mm ²	190.8 kN	15 %

Produkt	Heiztemperatur	Vorspannung	Vorspannkraft	Relaxation
re-bar R18	Gas 300 – 350°C	380 N/mm ²	96.7 kN	15 % t ₀

re-bar R18 wird in maximalen Stablängen von 5.2 m auf die Baustelle angeliefert. Auf die Stäbe wird beidseitig ein Spezialgewinde M19.5 aufgerollt. Mit der Kupplung R18 C werden vorkonfektionierte Stäbe für die entsprechende Abmessung auf der Baustelle gekoppelt.

Der Korrosionsschutz der Stahlkonstruktion sowie der Verstärkungsmassnahme erfolgt mit SikaCor® EG-1.



Rundstahl vergleichbar mit einem Werkstoff 1.4003 gemäss DIN EN 10088 (Korrosionswiderstandsklasse I)



Kupplungsstücke R18 C mit M19.5 Innengewinde



Zusatzprodukte zum re-bar R18 Verfahren

Die Verstärkung mit re-bar R18 kann mit einem, zwei oder vier Stäben ausgeführt werden. Die Stäbe können parallel zum Stahlträger oder mit einer mittig liegenden Überhöhung appliziert werden.

Verstärkungstyp	«Einfach»	«Doppelt»	«Vierfach»
Anzahl re-bar R18	1	2	4
Vorspannkraft	96.7 kN	193.4 kN	386.8 kN
Zugkraft	190.8 kN	381.6 kN	763.2 kN

R18 Endverankerung

Die Grundplatte der Endverankerung wird je nach Objekt angepasst und mit dem bestehenden Stahlprofil verschraubt. Spezialanwendungen oder der Aufbau auf speziellen Profilen sind möglich. Für die Befestigung von re-bar R18 werden R18 Muttern mit speziellen Unterlagsscheiben mitgeliefert. Die Unterlagsscheiben (Kugelscheibe + Kegelpfanne) erlauben eine Auswinkelung bis 3°.



R18 Endverankerungen «Einfach, Doppelt und Vierfach» geschraubt



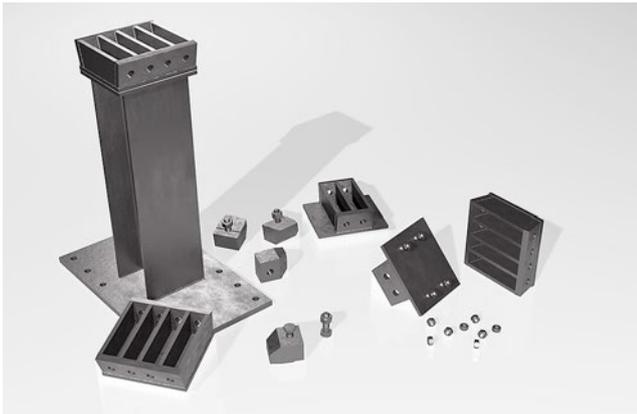
R18 Muttern und Unterlagsscheiben mit Auswinkelung bis 3°

Die Standard-Endverankerungen sind für die folgenden Stahlprofile ausgelegt:

Stahlprofil	IPE	PEA	INP	HEA	HEB	HEM
«Einfach»	270 – 750	270 – 600	300 – 550	140 – 1000	140 – 1000	140 – 1000
«Doppelt»	350 – 750	300 – 600	360 – 550	140 – 1000	140 – 1000	140 – 1000
«Vierfach»	750			260 – 1000	260 – 1000	260 – 1000

R18 Umlenkstütze

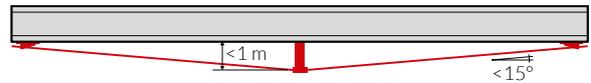
Um das Moment aus der Vorspannung zu vergrößern, kann in der Trägermitte eine Umlenkstütze eingebaut werden. Damit an dieser Stelle keine Querschnittsschwächung des Stahlträgers erfolgt, werden die R18 Umlenkstützen geklemmt. Die Umlenkstützen sind bis zur maximalen Überhöhung von 1 m ausgelegt. Mit den Unterlagsscheiben und der Grundschräge der Konsole ist eine Auswinkelung von 15° möglich.



R18 Umlenkstütze «Doppelt und Vierfach» geklemmt

Verlegevorschriften finden sich im Produktdatenblatt. Für spezielle Anwendungen (bspw. re-bar R18 im Stegbereich anbringen etc.) bietet das re-fer Team seine Unterstützung an. Anbringen von Verstärkungsrippen bei den Kräfteinleitungspunkten ist durch den Ingenieur zu prüfen. Die Applikation und Vorspannung sind am entlasteten Bauwerk zu machen.

Verstärkung überhöht zum Stahlträger:



Umlenkstütze geklemmt

Verstärkung parallel zum Stahlträger:



Endverankerung an Stahlträger-Flansch geschraubt

Versuche zur dynamischen Dauerbelastung

Vorgespannte re-bar R18 Stäbe haben dynamische Dauerbelastungsversuche mit 2 Millionen Lastzyklen mit einer Schweissnaht und einer Spannungsamplitude von 60 N/mm^2 , sowie mit einer Kupplung M19.5 und einer Spannungsamplitude von 50 N/mm^2 erfolgreich überstanden.



Eignet sich für Anwendungen mit Dauerbelastung.

Qualitätskontrolle

Im Herstellwerk

Gemäss re-fer ISO Qualitätssicherungskonzept wird die Rückverformungsspannung (Vorspannkraft) in der Temperaturkammer (1) kontrolliert. Zusätzlich prüft ein zertifiziertes Institut die Zugfestigkeit jeder Liefercharge. Somit wird die Qualität des Endproduktes sichergestellt.

Am Traggrund

Die Qualität des Traggrundes wird mit dem Betonprüfhammer (2) bestimmt. Für die Verstärkung mit re-plate ist eine gemessene Druckfestigkeit $>35 \text{ N/mm}^2$ erforderlich. Bei tieferen Betonqualitäten soll betreffend Verankerungswiderstand Rücksprache mit dem re-fer Ingenieur gehalten werden.

Temperaturkontrolle bei Aktivierung

Während dem Heizvorgang wird die Temperatur auf dem memory®-steel gemessen. Dies geschieht mit integrierten Temperatursensoren und einem Display (3) im Infrarot-Heizgerät oder mit einem separaten Handmessgerät bei der Aktivierung mit Gas.

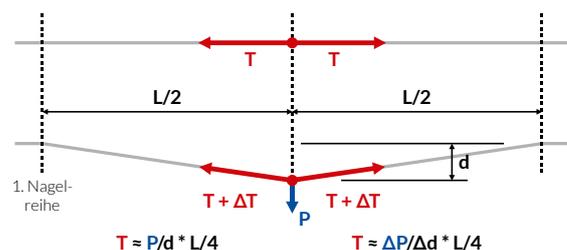
Riss- und Deformationskontrolle

Das Schliessen der bestehenden Risse kann beim Spannvorgang überprüft werden. Mit einer Messeinheit (4) wird die Rissweite gemessen. Die Rückverformung der Decke kann mit einem Lasergehärt kontrolliert werden.

Kontrolle der Vorspannkraft

Ein spezielles Prüfgerät (5) wurde für die Vorspannkraft am Objekt entwickelt. Das Verfahren basiert auf dem «Armbrust-Prinzip» für Spannlitzen und ermöglicht sofort nach dem Aktivieren die Vorspannkraft von re-plate und re-bar schnell und einfach zu überprüfen.

Die gemessene Vertikalkraft P und der Dehnweg d werden über trigonometrische Verhältnisse der resultierenden Zugkräfte im Spanglied $T + \Delta T$ gegenübergestellt.



Produkteübersicht

Produktkatalog re-fer



memory®-steel Produkte

re-plate 120 /1.5	Verstärkungsband zur Vorspannung
re-bar 10	Vorspann-Rippenstahl, Querschnitt 89.9 mm ²
re-bar 16	Vorspann-Rippenstahl, Querschnitt 211.2 mm ²
re-bar R18	Vorspann-Rundstahl, Querschnitt 254.2 mm ²

Applikationsgeräte und Komponenten

re-bolt	Kunststoffdübel zur Fixierung von re-bar im Betontraggrund
re-clip	Kunststoff-Clip zur Fixierung von re-bar auf Innenarmierung
re-IR 3000	Infrarot-Heizstrahler mit Steuermodul und Temperatursensor
re-EL	elektrisches Heizgerät mit Steuermodul für Widerstandsheizten
T-Stützen	Hand-Deckenspriesse mit T-Stützen für provisorische Fixierung von re-plate

Endverankerung von re-plate

Universalnagel X-CR 48 P8 S15	Hilti Universalnagel für Endverankerung
DX Kartusche 6.8 / 11 M10 STD (Rot)	Kartuschen
DX 5	Hilti Bolzensetzgerät

Geprüfte Sika-Produkte



In Kombination mit re-plate

SikaCem® Pyrocoat	Brandschutzspritzputz
SikaCem® Pyrocoat Base	Haftgrundputz für Brandschutzspritzputz
SikaCor® EG-1	Korrosionsanstrich: Eisenglimmerhaltige Zwischenbeschichtung auf Epoxidharzbasis
Sikaflex® PRO-3	Fugendichtstoff für beidseitige Verfüllung von re-plate

In Kombination mit re-bar

Sika® FastFix-121	Zementmörtel für Oberflächenverschluss von Rissen
SikaGrout®-314 N	schwindfreier R4-Präzisionsvergussmörtel in Schalung oder Nut
Sika® InjectoCem-190	Feinstzement-Rissinjektion
Sika MonoTop®-412 N/DE, Eco, -4012	schwindkompensierter R4-Nassspritzmörtel
Sika MonoTop®-422 PCC	schwindkompensierter R4-Reprofiliermörtel
Sika MonoTop®-452 N	schwindkompensierter R4-Reprofiliermörtel für horizontale Flächen
Sika MonoTop®-910 N/ECO, -1010	Bewehrungskorrosionsschutz und Haftbrücke
Sika® Rock Gunit BE-8	Trockenspritzmörtel (zementgebunden, alkalifrei)
Sika® AnchorFix®-3030	Epoxid-Klebstoff für Verankerung «Kartusche»

memory®-steel wurde mit Sika Spritz-, Reparatur- und Vergussmörtel sowie Brand- und Korrosionsschutz im System geprüft. Bei Verwendung von anderen Mörtelprodukten in Kombination mit memory®-steel übernimmt re-fer keine Gewährleistung.

Bemessungshilfe für memory®-steel

Buchstabenverzeichnis

Lateinische Buchstaben

A_f	Querschnittsfläche re-plate oder re-bar
A_s	Gesamtquerschnittsfläche der Bewehrung
a_s	Bewehrungsgehalt pro Laufmeter
b	Breite des Betonquerschnittes
d	statische Höhe
d_f	statische Höhe von re-plate oder re-bar
E_c	E-Modul Beton
E_{SMA}	vereinfachter E-Modul re-plate nach Aktivierung
F_c	Kraft in der Betondruckzone
f_{cd}	Bemessungswert der Betonspannung
$F_{ms,u}$	Zugkraft re-plate für Querschnittsanalyse
$F_{p,i}$	Vorspannkraft re-plate, direkt nach Aktivierung
$F_{p,\infty}$	Vorspannkraft re-plate, nach Relaxation
F_s	Kraft im Bewehrungsquerschnitt
f	Abschätzung maximale Durchbiegung Betonplatte / -träger nach Kordina und Hegger
h_c	Dicke einer Betonplatte
I	Trägheitsmoment
l	Spannweite Betonplatte / -träger
L	freie Länge von re-plate zwischen den Verankerungen
ΔL	Längenänderung von re-plate bis zum Bruch nach Kordina und Hegger
M_{Ed}	Bemessungswert des Biegemoments
$M_{p,BZ}$	Biegemoment aus re-plate im Bauzustand
$M_{p,GZ}$	Biegemoment aus re-plate nach Relaxation (für Berechnung Grenzzustand)
M_{Rd}	Biegezugwiderstand
m_{Rd}	Biegezugwiderstand einer Betonplatte
P_∞	Vorspannkraft eines Spannglieds nach $t = \infty$
P_0	Vorspannkraft eines Spannglieds bei $t = 0$
V_{Ed}	Bemessungswert der Querkraft
V_{Rd}	Bemessungswert des Querkraftwiderstands
$V_{Rd,s}$	Scherwiderstand re-plate Endverankerung mit Hilti X-CR Nägeln
w_{eff}	vorhandene Durchbiegung
w_{zul}	zulässige Durchbiegung
x	Höhe der Biegedruckzone
z	Hebelarm

Griechische Buchstaben

ε_0	Vordehnung eines Spannglieds
ε_c	Dehnung des Betons
ε_s	Dehnung der Bewehrung
ε_f	Dehnung von re-plate oder re-bar
$\Delta\varepsilon_f$	Dehnungszuwachs von re-plate aus Längenänderung
$\Delta\sigma_f$	Spannungsänderung im re-plate
$\Delta\sigma_{p,r}$	Vorspannung nach Relaxation (nach 50 Jahren)
σ_c	Betonspannung
$\sigma_{p,i}$	Anfangsvorspannung re-plate, direkt nach Aktivierung
$\sigma_{p,\infty}$	Vorspannung re-plate nach Relaxation

Einführung

Die Bemessung mit memory®-steel Produkten erfolgt nach den gängigen Regeln der Tragwerksbemessung für Stahl- und Spannbetonbauten. Das Verstärkungsband «re-plate» wird als externes Zugband mit Vorspannung ohne Verbund betrachtet. Beim System «re-bar» kann ein starrer Verbund zwischen dem eingelegten Rippenstahl und dem umgebenden Mörtel/Spritzbeton angenommen werden. Im Folgenden werden Bemessungsvorschläge für Biegeverstärkungen im Bauzustand, im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und der Tragfähigkeit erläutert. Zum besseren Verständnis sind Bemessungsbeispiele aufgezeigt.

Theoretische Bemessungsgrundlagen

re-plate

Bauzustand

Für den Bauzustand gilt es, eine mögliche Rissbildung an der Plattenoberseite infolge Vorspannung zu überprüfen. Hierfür ist die Anfangsvorspannung $\sigma_{p,i}$ anzusetzen. Die Vorspannung kann als konstantes Biegemoment $M_{p,BZ}$ zwischen den Verankerungen angesetzt werden, um dieses dem Rissmoment gegenüber zu stellen.

$$M_{p,BZ} = F_{p,i} * z = \sigma_{p,i} * A_f * z \quad (1)$$

(A_f =Fläche re-plate, z =Hebelarm)

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit über einen längeren Zeitraum muss die Anfangsvorspannung $\sigma_{p,i}$ wegen der Relaxation abgemindert werden. Über einen Zeitraum von 50 Jahren kann diese mit 15% abgeschätzt werden. Es gilt demnach:

$$\sigma_{p,\infty} = \sigma_{p,i} * \left(1 - \frac{\Delta\sigma_{p,r}}{\sigma_{p,i}} \right) \approx \sigma_{p,i} * 0.85 \quad (2)$$

Das konstante Biegemoment $M_{p,GZ}$ zwischen den Verankerungen kann somit beschrieben werden als:

$$M_{p,GZ} = F_{p,\infty} * z = \sigma_{p,\infty} * A_f * z \quad (3)$$

Grenzzustand der Tragfähigkeit

Beim System re-plate erfolgt die Einleitung der Kräfte in das Tragwerk über die beiden Endverankerungen, in der freien Länge gibt es keinen Verbund zum Betonuntergrund. Entsprechend ist eine herkömmliche Querschnittsanalyse mit abgeleiteter Dehnungskompatibilität nicht möglich. Grundsätzlich sind zwei Varianten möglich:

a) Berechnung ohne Spannungszuwachs im re-plate

Bei dieser vereinfachten Berechnungsmethode wird die Zugkraft $F_{ms,u}$ im re-plate bei grösser werdender Tragwerksverformung als konstant angenommen. Diese Annahme führt dazu, dass das Kräftegleichgewicht im Querschnitt mittels herkömmlicher Querschnittsanalyse realisiert und somit die Tragfähigkeit hergeleitet werden kann. Eine solche Berechnung kann von Hand, über eine Datenverarbeitung, wie z.B. Excel, oder aber mit Rechensoftware durchgeführt werden. Übliche Bemessungssoftware mit Querschnittsanalysen bedienen sich ebenfalls dieser Vereinfachung.

$$F_{ms,u} = \sigma_{p,\infty} * A_f \quad (4)$$

Diese konservative Annahme führt zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Traglast. Das Konzept bietet sich in Fällen an, bei denen der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für die Tragwerksbemessung massgebend ist.

b) Berechnung mit Spannungszuwachs im re-plate

Eine zweite Herangehensweise basiert auf der Abschätzung der zusätzlichen re-plate-Längenänderung bei grösser werdender Last, respektive Plattendurchbiegung. Als Basis dienen empirische Bemessungsansätze, welche anhand von Belastungsversuchen an Betonträgern mit nachträglicher Litzenvorspannung ohne Verbund hergeleitet wurden [1]. Zusammenfassend wird basierend auf den Querschnittsabmessungen eine zusätzliche maximale Durchbiegung f abgeschätzt, welche eine Längenänderung ΔL im re-plate hervorruft. Die Vorgehensweise beruht auf der Annahme, dass sich bei einem Einfeldträger sämtliche Verformungen in einem Rissquerschnitt in der Trägermitte konzentrieren [2]. Diese Längenänderung kann in eine zusätzliche Dehnung $\Delta \epsilon_f$ umgerechnet werden, welche dann anhand der bekannten Spannungs-Dehnungskurve nach dem Aktivieren den Spannungszustand $\sigma_{p,\infty} + \Delta \sigma$ im Lamellenquerschnitt ergibt. Vereinfacht kann hier ein reduzierter E-Modul E_{SMA} von 70 GPa angesetzt werden, um die definitive Spannung über die Dehnungsänderung zu berechnen.

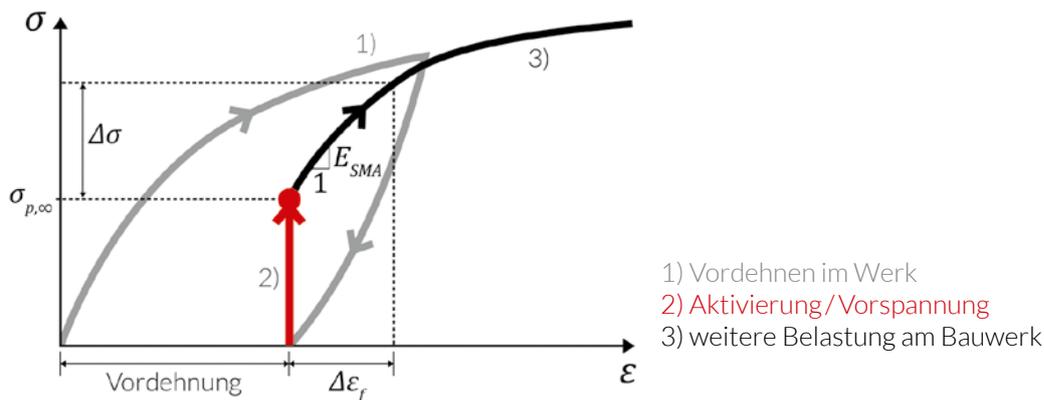


Abbildung 1: Spannungsdehnungsdiagramm re-plate mit Vordehnen, Aktivieren und nachträglicher Belastung

Es gilt:

$$f = 0.9 * d - e_v < 0.02 * L \quad (5)$$

(d =statische Höhe, $e_v=0$ im Fall von geraden Lamellen, L =freie Länge von re-plate zwischen den Verankerungen)

$$\Delta L = \frac{4 * f * z}{L} \quad (6)$$

$$\Delta \epsilon_f = \frac{\Delta L}{L} \quad (7)$$

Anhand der bekannten zusätzlichen Dehnung und somit zusätzlichen Spannung ist die Zugkraft im re-plate bekannt und es kann ein Kräftegleichgewicht im Querschnitt berechnet und daraus die maximale Tragfähigkeit bestimmt werden. Es gelten die landesspezifischen Bemessungsgrundlagen für Betontragwerke (Betonstauchen und Zugversagen der Bewehrung(en)) mit angepassten Materialkennwerten.

Verankerung

Zusätzlich muss zur Bemessung der Tragsicherheit unter Umständen die zusätzliche Zugkraft im re-plate auf den Verankerungswiderstand überprüft werden:

$$F_{ms,u} = (\sigma_{p,\infty} + \Delta\sigma_f) * A_f \leq V_{Rd,s} = \mathbf{105kN} \quad (8)$$

Der Verankerungswiderstand von 105 kN gilt für eine Anzahl von 12 Hilti X-CR Nägeln unter Annahme eines Zugversagens von re-plate im geschwächten Querschnitt bei der vordersten Nagelreihe. Die Angaben gelten für Betone, welche eine gemessene Druckfestigkeit von $>35 \text{ N/mm}^2$ aufweisen. Für Betone mit tieferen Festigkeiten kontaktieren Sie bitte die re-fer Ingenieurabteilung.

re-bar

Bauzustand

Standardmässig wird re-bar beidseitig in den Verankerungsbereichen über eine Mörtelschicht am Traggrund verankert und die Zwischenbereiche vorgespannt. Die Tragwirkung ist dabei die gleiche wie beim re-plate da der freiliegende Bereich wie ein externes Zugband agiert. Es kann sinngemäss die Formel (1) mit der entsprechenden Querschnittsfläche für re-bar angewendet werden.

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Nach der initialen Aktivierung / Vorspannung von re-bar werden die Bereiche zwischen den Verankerungen ausgegossen und ein fester Verbund mit der Tragstruktur entsteht. Für die Berechnung kann eine herkömmliche Querschnittsanalyse mit abgeleiteter Dehnungskompatibilität und Kräftegleichgewicht gemacht werden. Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit muss die Anfangsvorspannung $\sigma_{p,i}$ wegen der Relaxation gemäss Formel (2) abgemindert werden.

Für Berechnungen der Durchbiegungsreduktion infolge Vorspannung kann auch wieder ein gleichmässiges Biegemoment angenommen werden (siehe Formel (3)) um das Problem beispielsweise mit der Arbeitsgleichung zu lösen.

Grenzzustand der Tragfähigkeit

Dieselben Grundsätze der Querschnittsanalyse gelten auch für die Berechnung der Tragsicherheit. Je nach Situation erfährt re-bar nun eine zusätzliche Dehnung / Spannung, welche sich zu der initialen Vorspannung addiert. Die Spannungsänderung im re-bar setzt sich also aus der zusätzlichen Dehnung zwischen dem Zeitpunkt der Applikation / Vorspannung und dem Bruchzustand zusammen ($\Delta\epsilon_f$).

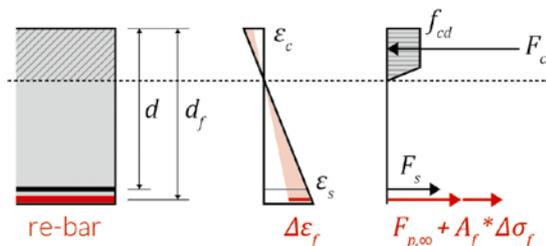


Abbildung 2: Schematische Darstellung für Querschnittsanalyse des Grenzzustandes der Tragfähigkeit

Das Kräftegleichgewicht wird nun mit einer äquivalenten Kraft im re-bar durchgeführt, welche sich wie nachstehend zusammensetzt. Einfachheitshalber kann wieder ein reduzierter E-Modul E_{SMA} von 70 GPa angesetzt werden.

$$F_{ms,u} = F_{p,\infty} + A_f * \Delta\sigma_f = A_f * (\sigma_{p,\infty} + \Delta\epsilon_f * E_{SMA}) \quad (9)$$

Verankerung

Die Verarbeitungsrichtlinien der re-fer geben Richtwerte für die Einbindelänge von re-bar vor. Die Verankerungsbereiche sind abhängig von den zu erwartenden Zugkräften, Stabdurchmessern und Anwendungstyp (im Schlitz, Überbeton oder Spritzbeton). Zudem sind Normvorgaben bezüglich Haftzugwerte, Rauigkeiten usw. einzuhalten. Für einen bestehenden Betontraggrund werden R3 und R4 Mörtel gemäss Ausführungsvorschriften von Betoninstandsetzungen in Europa verwendet. Es wird ein Haftzugwiderstand von 1.5 N/mm² empfohlen.

Grundsätzlich gilt es, Biegeverstärkungen hinter oder an der Momenten-Nulllinie zu verankern. Die Einleitung der Vorspannkraft in den Betontraggrund wird im Normalfall über den reinen Mörtelverbund erreicht. Alternativ lassen sich zugelassene Verdübelungssysteme oder Speziallösungen, wie auf Seite 25 gezeigt, einsetzen.

Hinweise

Materialkennwerte sind den gültigen und länderspezifischen Datenblätter der jeweiligen Produkte zu entnehmen. Verwendete Werte in den Bemessungsbeispielen können aufgrund Materialoptimierungen von den gültigen Materialkennwerten abweichen und sind entsprechend zu überprüfen. Bei Unklarheiten oder speziellen Bemessungssituationen unterstützt Sie die re-fer Ingenieurabteilung gerne. Für weitere Informationen besuchen Sie uns unter www.re-fer.eu (Referenzen, technische Datenblätter, Applikations- und Sicherheitsvorschriften, Ausschreibungstexte, Prüfberichte und Publikationen) oder wenden Sie sich telefonisch direkt an unseren technischen Service.

Korrosion

Bei Anwendungen an Chlorid-belasteten Standorten sind trotz der guten Korrosionsresistenz von memory[®]-steel entsprechende Massnahmen vorzusehen (Gefahr der Spannungsrissskorrosion). Mörtelüberdeckungen beim re-bar sind allenfalls neu zu beurteilen und anzupassen. Bei der Verwendung von re-plate wird im Werk eine spezielle Beschichtung appliziert (SikaCor[®] EG-1). Diese beschränkt die maximal zulässige Heiztemperatur auf 165°C und somit die Vorspannkraft.

Brandschutz

Ein Brandschutz für Verstärkungsmassnahmen wird immer dann erforderlich, wenn die norm- und länderspezifische Brandlast ohne Verstärkung nicht abgedeckt werden kann. Als einfaches Beispiel zeigt die nachstehende Tabelle den Vergleich der Restsicherheit für eine Tragstruktur mit «tiefem» und «hohem» Verstärkungsgrad.

Lastenangaben [kN/m ²]	Vor der Verstärkung	Nach der Verstärkung	
		«tiefer» Verstärkungsgrad +3.0	«hoher» Verstärkungsgrad +5.0
Eigengewicht / Auflast	5.0	5.0	5.0
Nutzlast	3.0	3.0 + 3.0 = 6.0	3.0 + 5.0 = 8.0
Gebrauchslast	8.0	11.0	13.0
Beispiel mit globalem Sicherheitsbeiwert	8.0 * 1.5 = 12.0	11.0 * 1.5 = 16.5	13.0 * 1.5 = 19.5
Abzudeckende Traglast	12.0	16.5	19.5
Brandschutz Kriterium: neue Gebrauchslast muss < 12.0 (bestehende Traglast) sein	-	11.0 < 12.0 Nicht erforderlich	13.0 > 12.0 Erforderlich

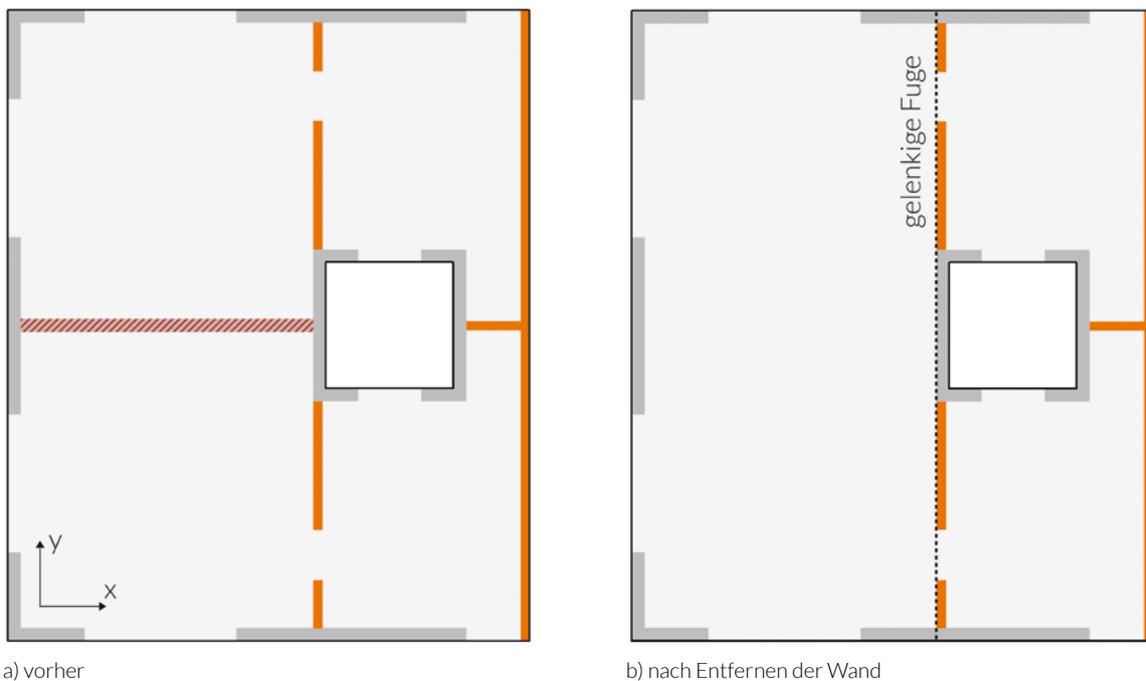
Wenn der «hohe» Verstärkungsgrad erreicht werden soll, muss auch die Verstärkungsmassnahme im Brandfall tragen; für re-plate respektive re-bar ist eine Brandschutzmassnahme notwendig. Für den in Beton oder zementösen Mörtel eingelegten re-bar gelten die gleichen Vorschriften und Normen wie für eine traditionelle Stahlbewehrung. Für re-plate wird im Normalfall ein Brandschutzspritzputz auf Zementbasis angewendet (SikaCem® Pyrocoat).

Bemessungsbeispiele

Einfache Biegeverstärkung mit re-plate

Auf Wunsch des Bauherrn sollen die tragenden Wände (rot markiert) entfernt werden um zwei Räume zu einem grossen Wohnzimmer zu vereinen. Durch diese Änderung der Tragstruktur entsteht unweigerlich ein Biegeproblem in der Deckenplatte. Das nachstehende Beispiel zeigt die Biegeverstärkung der Betonplatte. Sonstige Nachweise wie der Lastabtrag auf die Wände und die unteren Geschosse, Querkraftsnachweise, Durchstanzen, etc. werden nicht behandelt. Ebenfalls wird der Bauzustand nicht untersucht.

Abbildung 3: Grundriss Cubus-Modell



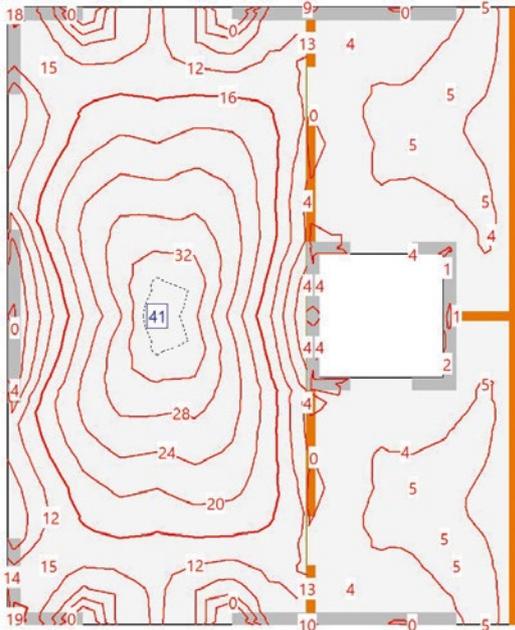
Im Bestand ist in allen Lagen eine Bewehrung von $\text{Ø}10@150$ ($a_s = 524 \text{ mm}^2/\text{m}^2$) eingelegt. Die Betonplatte hat eine Dicke von $h_c = 20 \text{ cm}$, eine Betonqualität von C30/37 und eine Bewehrungsüberdeckung von 3.0 cm. Für die tragenden Bauteile wird ein Brandwiderstand von R30 gefordert.

Mit diesen Bemessungsangaben wird im Bestand in der 1./4. Lage (x-Richtung) ein Biege widerstand von $m_{Rd} = 36 \text{ kNm/m}^2$ erreicht. In der 2./3. Lage beträgt der Wert 32 kNm/m^2 . Beim neuen Grundriss käme die bestehende Bewehrung (4. Lage) bereits unter quasi-ständiger Last ins Fließen. Deshalb wird in diesen Bereichen eine gelenkige Fuge modelliert, um dieses Moment ins Feld umzulagern (siehe Abbildung 3b)).

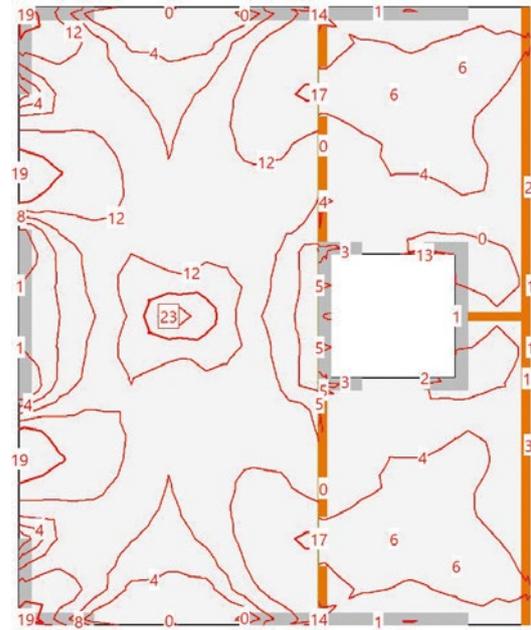
Nachweis auf Gebrauchsniveau

Unter Gebrauchslasten zeigt der neue Grundriss die folgenden Biegemomente in x- und y-Richtung. In Feldmitte in Haupttragrichtung ist der Biege­widerstand der Bestandsbewehrung leicht überschritten. Somit muss die Verstärkungsmassnahme für den Brandfall geschützt werden. Das Vorgehen wird im Abschnitt «Brandschutz» aufgezeigt.

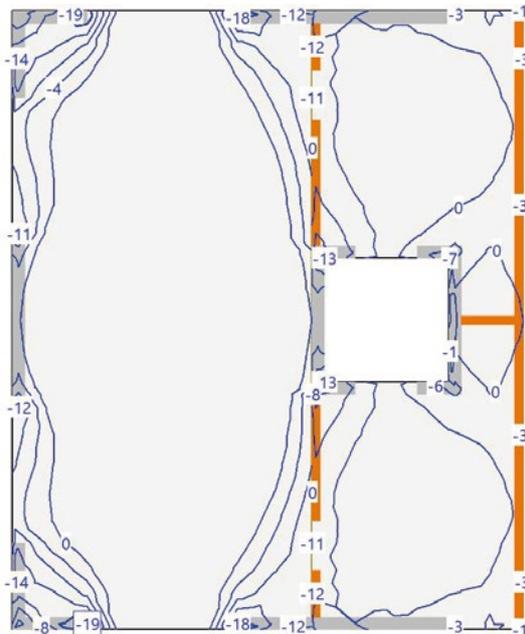
Abbildung 4: Cubus-Plots der Biegemomente unter Gebrauchslast («quasi-ständig»)



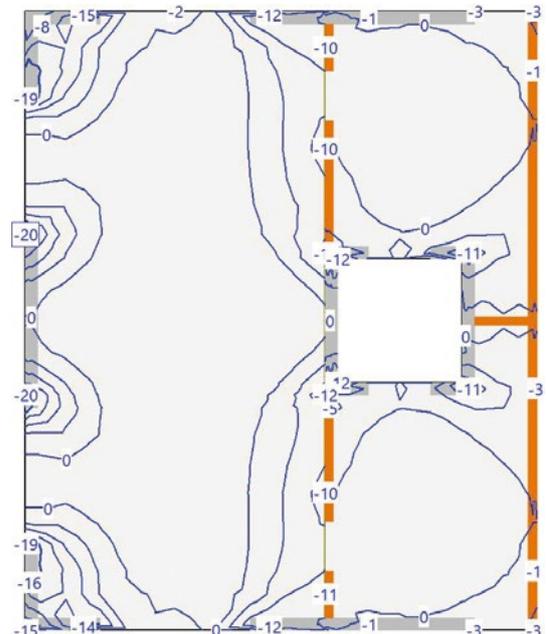
a) x-Richtung unten (1. Lage)



b) y-Richtung unten (2. Lage)



c) x-Richtung oben (4. Lage)



d) y-Richtung oben (3. Lage)

Ein weiterer Punkt der Gebrauchstauglichkeit ist die Durchbiegung. Hier weist der gerissene Betonquerschnitt unter Gebrauchslast im Beispiel eine effektive Durchbiegung von 16.6 mm auf. Als zulässiger Wert wird der Normwert herbeigezogen:

$$w_{zul} \leq \frac{l}{300} = \frac{4'600}{300} = 15.3 \text{ mm}$$

Durch die Vorspannung kann ein konstantes Moment über den rund 3.0 m breiten Streifen in Feldmitte aufgebracht werden. Hier wird die gängige Formel aus der Literatur für ein konstantes Moment auf einem einfachen Balken angewendet. Für speziellere Fälle (bspw. Durchlaufträger) kann die Bemessung mit der Arbeitsgleichung durchgeführt werden.

$$w = \frac{M * l^2}{8 * E_c I}$$

Zudem wird die vereinfachte Annahme getroffen, dass der gesamte Beton Querschnitt gerissen ist. Dadurch verringert sich der Wert $E_c I$ zu $E_c I/3$. Die effektive Formel ergibt sich nun zu:

$$w = w_{eff} - w_{zul} = 16.6 \text{ mm} - 15.3 \text{ mm} = 1.3 \text{ mm} \leq \frac{M_{p,GZ} * l^2}{8 * \left(\frac{E_c I}{3} \right)}$$

Diese Formel lässt sich nach n (Anzahl re-plate Bänder pro Meter) auflösen:

$$w = \frac{M_{p,GZ} * l^2}{8 * \left(\frac{E_c I}{3} \right)} = \frac{(\sigma_{p,i} * 0.85 * A_f * z * n) * l^2}{8 * \left(\frac{E_c * h_c^3 * b}{12 * 3} \right)}$$

$$\rightarrow n = \frac{w * 8 * E_c * h_c^3 * b}{12 * 3 * \sigma_{p,i} * 0.85 * A_f * z * l^2} = \frac{1.3 \text{ mm} * 8 * 33.6 \text{ GPa} * (200 \text{ mm})^3 * 1.0 \text{ m}}{12 * 3 * 380 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 0.85 * 120 \text{ mm} * 1.5 \text{ mm} * \frac{200 \text{ mm}}{2} * (4.6 \text{ m})^2} = 0.63$$

Es zeigt sich, dass in Feldmitte mindestens 0.63 re-plate Bänder pro Laufmeter erforderlich sind. Falls die Überprüfung der Tragsicherheit keinen grösseren Wert angibt, sind im Abstand von ca. 1.6 m Verstärkungsbänder anzubringen.

Nachweis der Tragsicherheit

Der Nachweis der Tragsicherheit wird mit der Methode «Berechnung mit Spannungszuwachs im re-plate» erbracht. Die abzudeckenden Biegemomente sind nachstehend aufgezeigt:

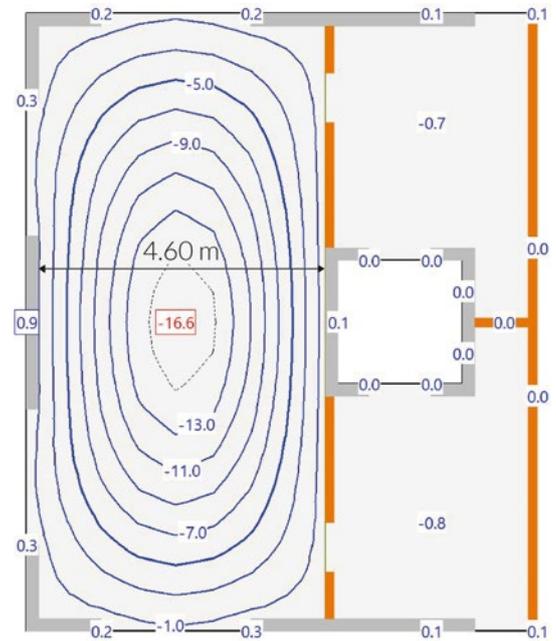
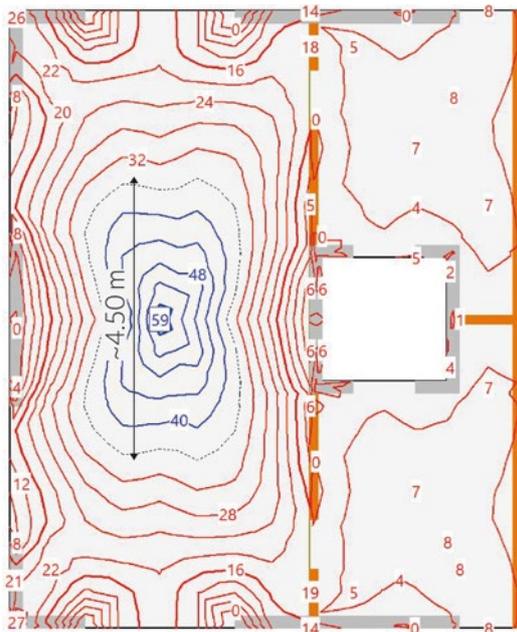


Abbildung 5: Durchbiegungen quasi-ständige Lasten

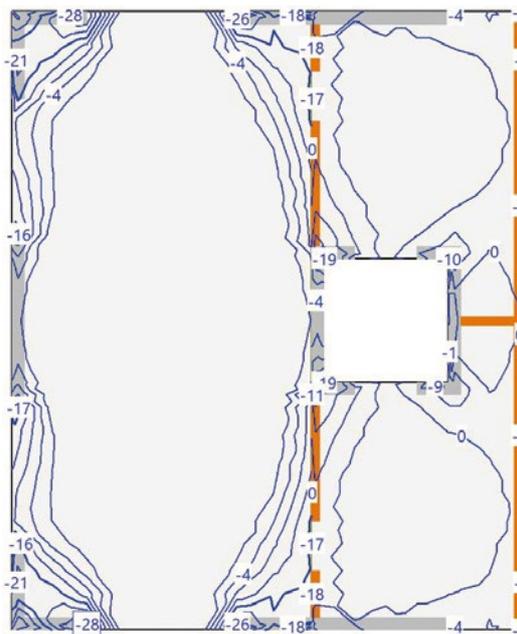
Abbildung 6: Cubus-Plots der Biegemomente im Grenzzustand der Tragsicherheit



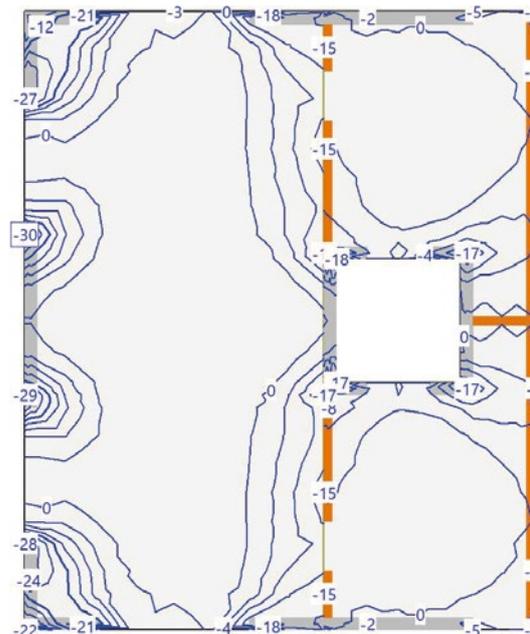
a) x-Richtung unten (1. Lage)



b) y-Richtung unten (2. Lage)



c) x-Richtung oben (4. Lage)



d) y-Richtung oben (3. Lage)

Hierfür wird zuerst der Dehnungszuwachs im re-plate berechnet. Den Wert für L (freie Länge von re-plate zwischen den Verankerungen) wird dabei über die beidseitige Reduktion der Verankerungslänge (40 cm) und eines Sicherheitsabstandes (10 cm) erreicht:

$$L = 4.6\text{m} - 2 * (40\text{cm} + 10\text{cm}) = 3.6\text{m}$$

$$f = 0.9 * d - e_v = 0.9 * (0.9 * 200\text{mm}) - 0 = 162\text{mm} < 0.02 * L = 72\text{mm}$$

$$\Delta \varepsilon_f = \frac{\Delta L}{L} = \frac{4 * f * z}{L^2} = \frac{4 * 72 \text{ mm} * (0.9 * 200 \text{ mm})}{(3.6 \text{ m})^2} = \mathbf{0.4\%}$$

Das zu verstärkende Biegemoment wird demnach mit der finalen Kraft $F_{ms,u}$ in n re-plate Bänder über einen inneren Hebelarm z von rund $0.9 * h_c$ aufgenommen:

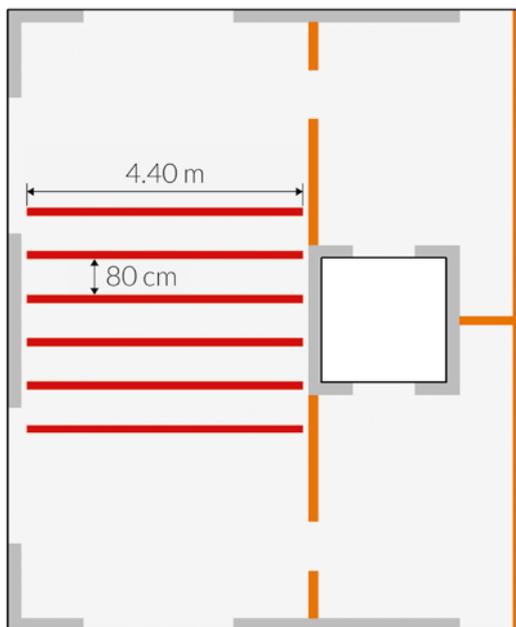
$$F_{ms,u} = (\sigma_{p,\infty} + \Delta \sigma) * A_f = (\sigma_{p,i} * 0.85 + \Delta \varepsilon_f * E_{SMA}) * A_f =$$

$$\left(380 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 0.85 + 0.004 * 70 \text{ GPa} \right) * 120 \text{ mm} * 1.5 = 108.5 \text{ kN} < \mathbf{105 \text{ kN}}$$

$$M_{p,GZ} = n * F_{ms,u} * z = n * 105 \text{ kN} * 0.9 * 200 \text{ mm} \geq 58.6 \text{ kNm} - 36.0 \text{ kNm} = 22.6 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow n = \frac{M_{p,GZ}}{F_{ms,u} * z} = \frac{22.6 \text{ kNm}}{105 \text{ kN} * 0.9 * 200 \text{ mm}} = \mathbf{1.2}$$

Zur Abdeckung der Tragsicherheit sind demnach in den überbeanspruchten Bereichen (rund 4.5 m) 1.2 Stück re-plate Bänder pro Laufmeter erforderlich – also alle 80 cm ein Band (total 6 Stück).



6-mal re-plate
 $l = 4.40 \text{ m}$, alle 80 cm
 mit Brandschutz

Abbildung 7: Position der Verstärkungsbänder re-plate

Brandschutz

Für den Brandfall gilt es die quasi-ständigen Einwirkungen abzudecken. Da die Biegetragfähigkeit im Bestand hierfür nicht ausreichend ist, müssen die Verstärkungsmaßnahmen für ein R30 geschützt werden. Für diese Innenanwendung wird ein Brandschutzspritzputz auf Zementbasis verwendet. Über den Haftgrund SikaCem® Pyrocoat Base wird eine 1.5 cm dicke Schicht SikaCem® Pyrocoat mit einem eingebetteten E-Glas Netz appliziert.

Verstärkung eines T-Trägers mit re-bar

Aufgrund einer Nutzungsänderung und zusätzlichen Auflasten müssen diverse T-Träger einer Fabrikhalle statisch verstärkt werden. Die Beispielrechnung zeigt den Umgang mit einer unzulässigen Durchbiegung im Feld und Verstärkungen von Biege- und Schubproblemen eines solchen Einzelträgers. Auf die übrigen Nachweise wird im Rahmen dieses Beispiels verzichtet. Die Träger überspannen zwei Felder von 12.00 und 8.00 m und sind einfach gelagert.

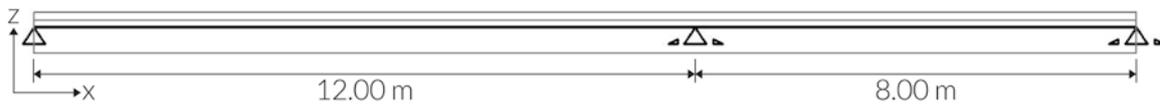
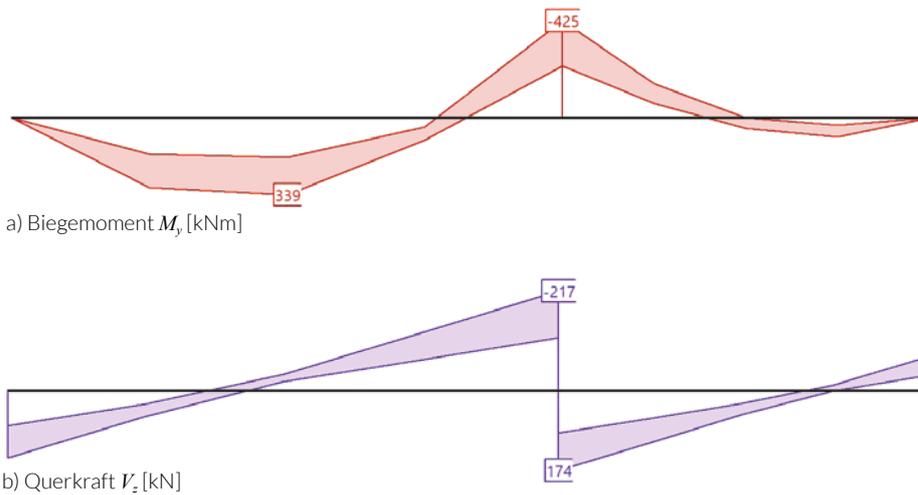


Abbildung 8: Zweifeldträger der Fabrikhalle, Modell Statik-8

Die bisherigen Schnittkräfte (Biegemomente und Querkräfte) sind nachfolgend aufgezeigt; Normal- und Torsionskräfte sind keine vorhanden.

Abbildung 9: Schnittkräfte Grenzzustand Tragsicherheit



Den Einwirkungen entsprechend wurden die damaligen Träger wie in Abbildung 10 dargestellt dimensioniert und bewehrt. Die resultierenden Durchbiegungen des gerissenen Betonquerschnittes entsprechen den zulässigen Normvorgaben ($w_{eff} = 32 \text{ mm} / w_{zul} = 34 \text{ mm}$).

Aufgrund der Wünsche der Bauherrschaft müssen nun Auf- und Nutzlasten erhöht werden. Ebenfalls kommt ein grösseres Eigengewicht durch die zusätzliche Mörtelschicht zu tragen. Die resultierenden Schnittkräfte für den Grenzzustand der Tragsicherheit sind wie folgt:

	Bisherige Schnittkräfte		Bisherige Widerstände		Neue Schnittkräfte	
Biegemomente [kNm]	M_{Ed}	+339 -425	M_{Rd}	+355 -440	M_{Ed}	+449 -557
Querkräfte [kN]	V_{Ed}	217	V_{Rd}	230	V_{Ed}	285

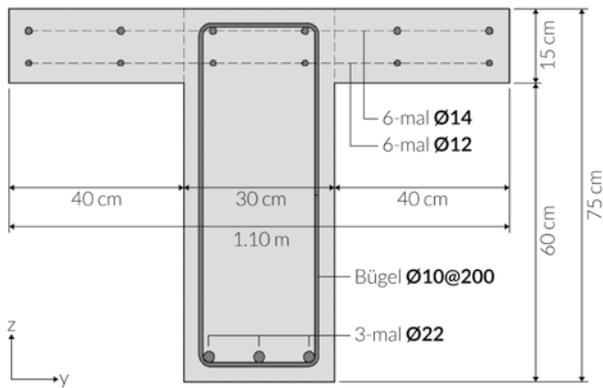
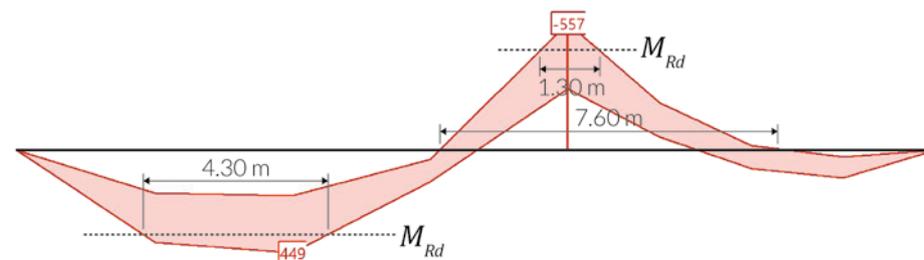


Abbildung 10: bestehender Querschnitt der T-Träger

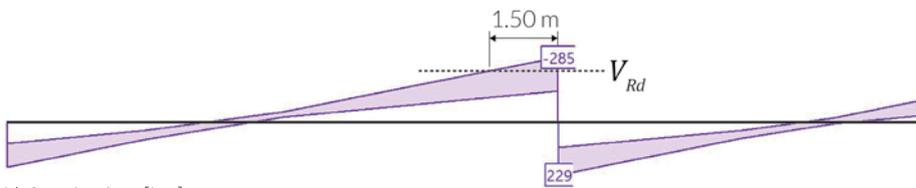
Nachweis der Tragsicherheit

In einem ersten Schritt wird der Grenzzustand der Tragsicherheit untersucht. Die neuen Schnittkräfte sind nachstehend im Detail dargestellt.

Abbildung 11: Neue Schnittkräfte Grenzzustand Tragsicherheit



a) Biegemoment M_y [kNm]



b) Querkraft V_z [kN]

Mit den zusätzlichen Lasten tritt in einem rund 1.5 m breiten Bereich neben dem mittleren Auflager ein Schubproblem auf. Die fehlenden Querkraft von ca. 55 kN/m' werden mit re-bar 10 U-Profilen aufgenommen. Einfachheitshalber wird die reine Vorspannkraft (kein Spannungszuwachs bis zum Schubbruch) auf den zweischnittigen Bügeln angenommen.

$$V_{Rd,s} = \frac{2 * \sigma_{p,s} * A_f}{s} * z * \cot(45^\circ) = \frac{2 * 350 \frac{N}{mm^2} * 0.85 * 89.9 mm^2}{0.5 m} * \sim 0.7 m * \cot(45^\circ) = 75 kN / m'$$

Es sind demnach insgesamt drei re-bar 10 U-Profile im Abstand von 50 cm nötig um den Bereich zu verstärken. Die Bügel werden um den bestehenden, aufgerauten Steg und über die zusätzlichen Längsverstärkungen mit re-bar geführt. Danach werden sie im Spritzmörtel eingebettet und im Flansch ein-

gegossen (Verankerung über der Nulllinie). Die re-bar Schubdügel werden elektrisch von oben geheizt/aktiviert. Mit Distanzhaltern wird sichergestellt, dass kein Kontakt mit der restlichen Bewehrung besteht (Spannungsverlust beim Heizvorgang).

Im grösseren Teilfeld überschreitet die neue Biegeeinwirkung den bisherigen Widerstand um rund 94 kNm. Über die gesamte Spannweite werden drei re-bar 16 auf der Unterseite des Steges angebracht und im Spritzmörtel eingebettet. Über dem mittleren Auflager übersteigt das negative Biegemoment über eine Länge von ca. 1.3 m die zulässige Belastung um ca. 117 kNm. In dieser Zone werden insgesamt vier re-bar 10 in den frischen Überbeton eingelegt (Achtung: Verankerung der Verstärkung hinter Momenten-Nulllinie). Die Verstärkungsstäbe werden jeweils im Verankerungsbereich vermörtelt und nach deren Aushärtung bspw. mit einem Gasbrenner erhitzt. Zum Schluss werden die übrigen Zonen ebenfalls verfüllt.

Der Biegenachweis des neuen Querschnittes wurde mit einer üblichen Bemessungssoftware erbracht. Die neuen Widerstände sind in der nachstehenden Tabelle aufgeführt.

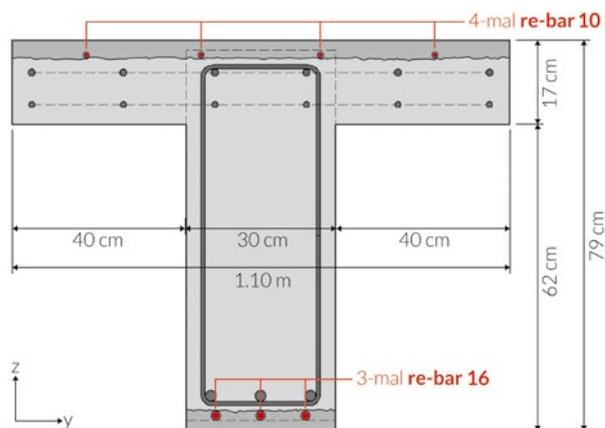


Abbildung 12: neuer Querschnitt der T-Träger mit re-bar Biegeverstärkung

	Bisherige Schnittkräfte		Bisherige Widerstände		Neue Schnittkräfte		Neue Widerstände	
Biegemomente [kNm]	M_{Ed}	+339 -425	M_{Rd}	+355 -440	M_{Ed}	+449 -557	M_{Rd}	+657 -601
Querkräfte [kN]	V_{Ed}	217	V_{Rd}	230	V_{Ed}	285	V_{Rd}	305

Zur Modellierung wurden unter anderem die folgenden Eingabeparameter benutzt:

Spannglied-Attribute:

- Vordehnung $\epsilon_0 = 0.57\%$ für re-bar 10 und 0.46% für re-bar 16 (ergibt rechnerische Vorspannung von $E\text{-Modul} \cdot \epsilon_0 = 400 \text{ N/mm}^2$, respektive 320 N/mm^2)
- Vorspannung mit Verbund
- Verlustfaktor $P_\infty/P_0 = 0.85$ (Relaxation)

Baustoffeigenschaften:

- $E\text{-Modul} = 70 \text{ kN/mm}^2$ (E-Modul re-bar nach Aktivierung)
- $f_{p0.1k} = 750 \text{ N/mm}^2$
- $\epsilon_{ud} = 30\%$

Nachweis auf Gebrauchsniveau

Durch das Einsetzen von im Mörtel eingebetteten, vorgespannten Verstärkungselementen werden Rissöffnungen beschränkt und die bestehende Bewehrung entlastet. Nebst der verbesserten Dauerhaftigkeit wird in diesem Beispiel auch die Durchbiegung untersucht. Durch die neuen Lasten wird die Vertikalverschiebung im grossen Feld zu rund 39 mm berechnet. Die Biegeverstärkung mit drei re-bar 16 impliziert ein konstantes Biegemoment, welches der Durchbiegung entgegenwirkt. Die überschrittenen 5 mm ($w_{eff} = 39 \text{ mm} / w_{zul} = 34 \text{ mm}$) sollen so überdrückt werden.

Die durch die Vorspannung implizierte Verformung des statisch unbestimmten Systems kann auf verschiedene Weisen berechnet werden. Hier wird die Arbeitsgleichung für das einfach statisch unbestimmte System angewendet. Als Grundsystem (GS) wird beim mittleren Auflager ein Gelenk eingeführt. Die Vorspannung im negativen Biegebereich wird einfachheitshalber nicht berücksichtigt; diese hätte zusätzlich einen positiven Effekt.

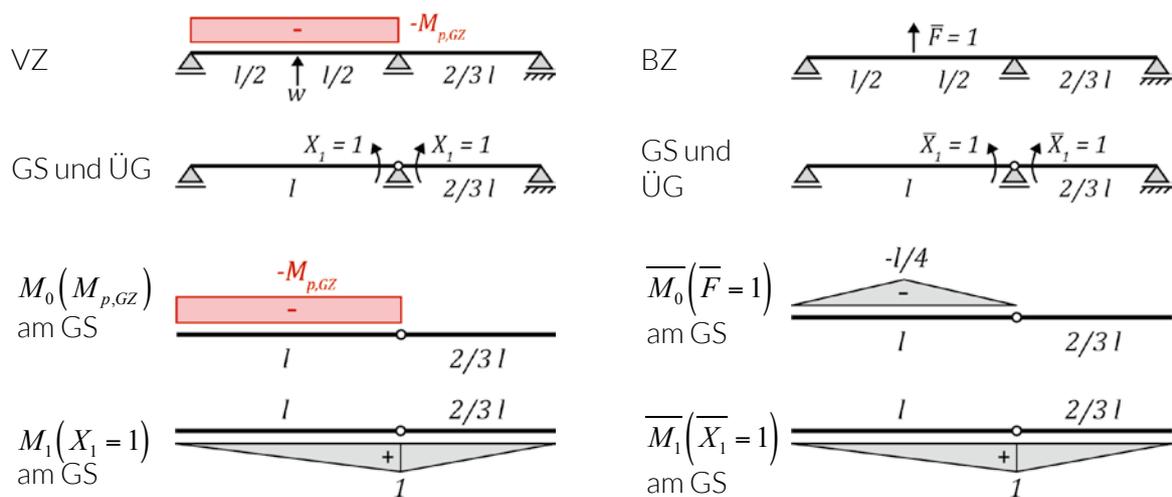


Abbildung 13: Vereinfachung und Reduktion des statisch unbestimmten Systems und Arbeitsgleichung

$$\delta_{10} = \int M_1 \cdot \frac{M_0}{E_c I} dx = \frac{1}{2} \cdot (+1) \cdot (-M_{p,GZ}) \cdot \frac{l}{E_c I} + 0 = -\frac{M_{p,GZ} \cdot l}{2 \cdot E_c I}$$

$$\delta_{11} = \int M_1 \cdot \frac{M_1}{E_c I} dx = \frac{1}{3} \cdot (+1)^2 \cdot \left(1 + \frac{2}{3}\right) l = \frac{5 \cdot l}{9 \cdot E_c I}$$

$$\delta_{10} + X_1 \cdot \delta_{11} = 0 \rightarrow X_1 = -\frac{\delta_{10}}{\delta_{11}} = \frac{9}{10} M_{p,GZ}$$

Daraus lässt sich die Verformung w wie folgt herleiten:

$$w = \int \overline{M}_0 \cdot \frac{M_0}{E_c I} dx + X_1 \cdot \int \overline{M}_0 \cdot \frac{M_1}{E_c I} dx = \frac{1}{2} \cdot \left(-\frac{l}{4}\right) \cdot (-M_{p,GZ}) \cdot \frac{l}{E_c I} + \left(\frac{9}{10} M_{p,GZ}\right) \cdot \frac{1}{4} \cdot \left(-\frac{l}{4}\right) \cdot (+1) \cdot \frac{l}{E_c I} =$$

$$\frac{M_{p,GZ} \cdot l^2}{E_c I} \cdot \left(\frac{1}{8} - \frac{9}{160}\right) = \frac{11 \cdot M_{p,GZ} \cdot l^2}{160 \cdot E_c I}$$

Das konstante Biegemoment $M_{p,GZ}$ über die Spannweite von 12.00m ergibt sich aus Formel (3):

$$M_{p,GZ} = F_{p,\infty} * z = \sigma_{p,\infty} * A_f * z = 3 * 320 \frac{N}{mm^2} * 0.85 * 211.2 mm^2 * \sim 0.66m = 114 kNm$$

Zudem wird eine abgeminderte, gerissene Biegesteifigkeit des Betonquerschnitts angesetzt ($E_c I_{gerissen} = E_c I / 3$) und in die Formel eingesetzt.

$$w = \frac{11 * M_{p,GZ} * l^2}{160 * \left(\frac{E_c I}{3} \right)} = \frac{11 * 114 kNm * (12.00m)^2}{160 * \frac{647'000 kNm^2}{3}} = 5.2 mm$$

Die drei eingelegten re-bar zur Erhöhung der Tragsicherheit tragen also zu einer Verringerung der Durchbiegung von rund 5 mm bei. Der Nachweis gilt als erfüllt.

Nachweis der Verankerungsbereiche

Die negativen und positiven Biegegewiderstände wurden mit einer Fagus Querschnittsanalyse ermittelt, bei welcher ohne Spannungszuwachs nach dem Vorspannen gerechnet wird. Für die Nachweise der Verstärkungsmassnahmen muss deshalb die initiale Vorspannung verankert werden. Bei der negativen Biegeverstärkung werden re-bar 10 eingesetzt. Die Verankerungslänge l_b beträgt 50 cm und eine Vorspannung von 400 N/mm² wurde aktiviert. Daraus ergibt sich folgende Rechnung für die erforderliche Breite der Kontaktfläche b_{erf} je re-bar:

$$F_{p,i}(\text{negativ}) = \sigma_{p,i} * A_f = 400 \frac{N}{mm^2} * 89.9 mm^2 = 36.0 kN$$

$$F_{p,i} \leq l_b * b_{erf} * 1.5 \frac{N}{mm^2} \rightarrow b_{erf} = 50 mm$$

Da die Verstärkung in eine vollflächige Überbetonschicht eingelegt wird, ist die erforderliche Kontaktfläche je re-bar eingehalten. Der Nachweis gilt als erfüllt.

Im Falle der positiven Biegeverstärkung müssen drei Stück re-bar 16 auf der Unterseite des Steges (Breite 30 cm) angebracht werden.

$$F_{p,i}(\text{positiv}) = 3 * \sigma_{p,i} * A_f = 3 * 320 \frac{N}{mm^2} * 211.2 mm^2 = 202.8 kN$$

$$F_{p,i} \leq l_b * b_{erf} * 1.5 \frac{N}{mm^2} \rightarrow b_{erf} = 270 mm$$

Dieser Wert ist mit der vorhandenen, vollflächig vermörtelten Stegbreite erfüllt. In anderen Fällen kann dies nicht immer gewährleistet werden und eine Sonderlösung muss angewendet werden. Als Beispiel wird hier dennoch der positive Effekt des Überdrückens mittels re-bar Schubbügel aufgezeigt. Der Verankerungswiderstand (im Beispiel 1.5 N/mm²) erhöht sich dank der zweiseitigen Vertikalkraft des vorgespannten U-Profiles wie folgt:

$$F_{p,i} = 202.8kN \leq l_b * b * \left(1.5 \frac{N}{mm^2} + \frac{2 * \sigma_{p,\infty} * A_f}{l_b * b} \right) = 500mm * 300mm * \left(1.5 \frac{N}{mm^2} + \frac{2 * 350N / mm^2 * 89.9mm^2}{500mm * 300mm} \right) =$$

$$150'000mm^2 * \left(1.5 \frac{N}{mm^2} + 0.42 \frac{N}{mm^2} \right) = \mathbf{288kN}$$

Schemaskizze der Verstärkung

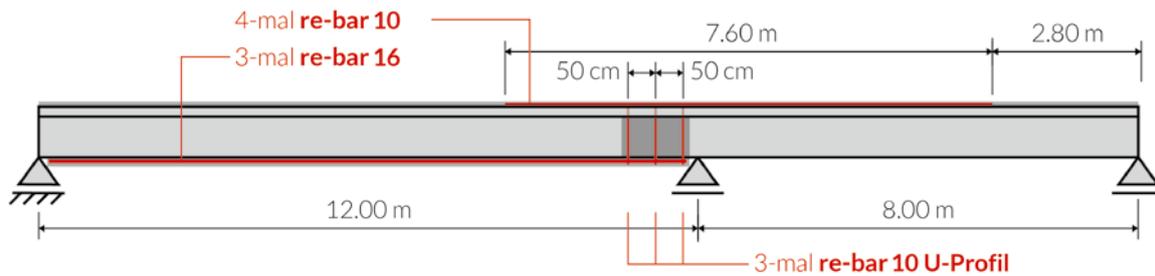


Abbildung 14: Schema der Verstärkungsarbeiten mit re-bar Längsbewehrung und Schubbügel

Referenzen

- [1] Hegger, J. and K. Kordina, Bericht 30-0107/001: Ermittlung der Biegetragfähigkeit bei Bauteilen mit Vorspannung ohne Verbund. 1985, TU Braunschweig: Braunschweig, Germany.
- [2] Bruggeling, A.S.G., Voorspanning zonder aanhechting, enkelstrengsystemen. 1976, TU Delft: Delft, The Netherlands.

Unsere weltweite Forschung

Forschungspartner

Schweiz



Belgien



Deutschland



Österreich



Tschechien



Griechenland



Spanien



Texas USA



Nevada USA



Calgary Kanada



Melbourne Australien



Cheongju Südkorea



Shanghai China



Teheran Iran



Publikationen, Fachartikel,
Konferenzen und Prüfberichte im
Zusammenhang mit memory®-steel.



www.re-fer.eu

Downloads & Patente

Auf der re-fer Webseite (www.re-fer.eu) stehen immer die aktuell gültigen Unterlagen bereit. Im Downloadbereich finden Sie Ausschreibungstexte, Produktdatenblätter und sonstige Unterlagen.

Ausschreibungstexte

1. a) re-plate 120/1.5 Stahlband Biege- oder Zugverstärkung mechanisch im Beton verankert (für Gebrauchs-, Brand- und Traglast)
b) Sika®CarboDur® CFK-Lamelle Biegeverstärkung (für Traglast)
2. Biege- oder Zugverstärkung mit re-bar 10/16 im Reprofilier-, Spritz- oder Vergussmörtel
3. Biege- oder Zugverstärkung mit re-bar 10/16 in Fräsnut mit Grout
4. Schubverstärkung mit re-bar 10 U-Profilen/Endverankerung von re-bar
5. Biege- oder Zugverstärkung im Tunnelbau im Spritzbeton
6. Biegeverstärkung im Neubeton «lokaler verstärkter Unterzug»
7. re-bar R18 Rundstahl Biege- oder Zugverstärkung auf Stahlbaukonstruktion

Produktdatenblätter

- re-plate «externes Zugband»
- re-bar «innenliegende Vorspannung»
- re-bar R18 «externer Zugstab»

Direktdownload unter:
www.re-fer.eu/downloads



Patente

Die memory®-steel Vorspannverfahren wurden durch re-fer in wichtigen Zielmärkten patentrechtlich geschützt.

memory[®]-steel Schulungen für Planer und Ingenieure

Unsere re-fer Ingenieure bieten für memory[®]-steel Schulungen (Online oder vor Ort) zu verschiedenen Themen an:

Statische Bemessung Ausschreibung Ausführung

Die Schulung per Videokonferenz dauert je nach Wunsch 30 – 45 Minuten und ist jederzeit möglich. Bitte kontaktieren Sie uns per E-Mail oder mit dem Kontaktformular auf unserer Webseite. Die Beratung ist in Deutsch, Französisch und Englisch möglich.

Gerne unterstützen wir Sie auch bei objektspezifischen Fragen telefonisch.

Wir freuen uns auf Ihre Kontaktaufnahme.



Dr. Julien Michels
jmichels@re-fer.eu

A handwritten signature in red ink, consisting of a stylized 'J' and 'M'.



Daniel Schmidig
dschmidig@re-fer.eu

A handwritten signature in red ink, appearing as a stylized 'DS'.



Dr. Bernhard Schranz
bschranz@re-fer.eu

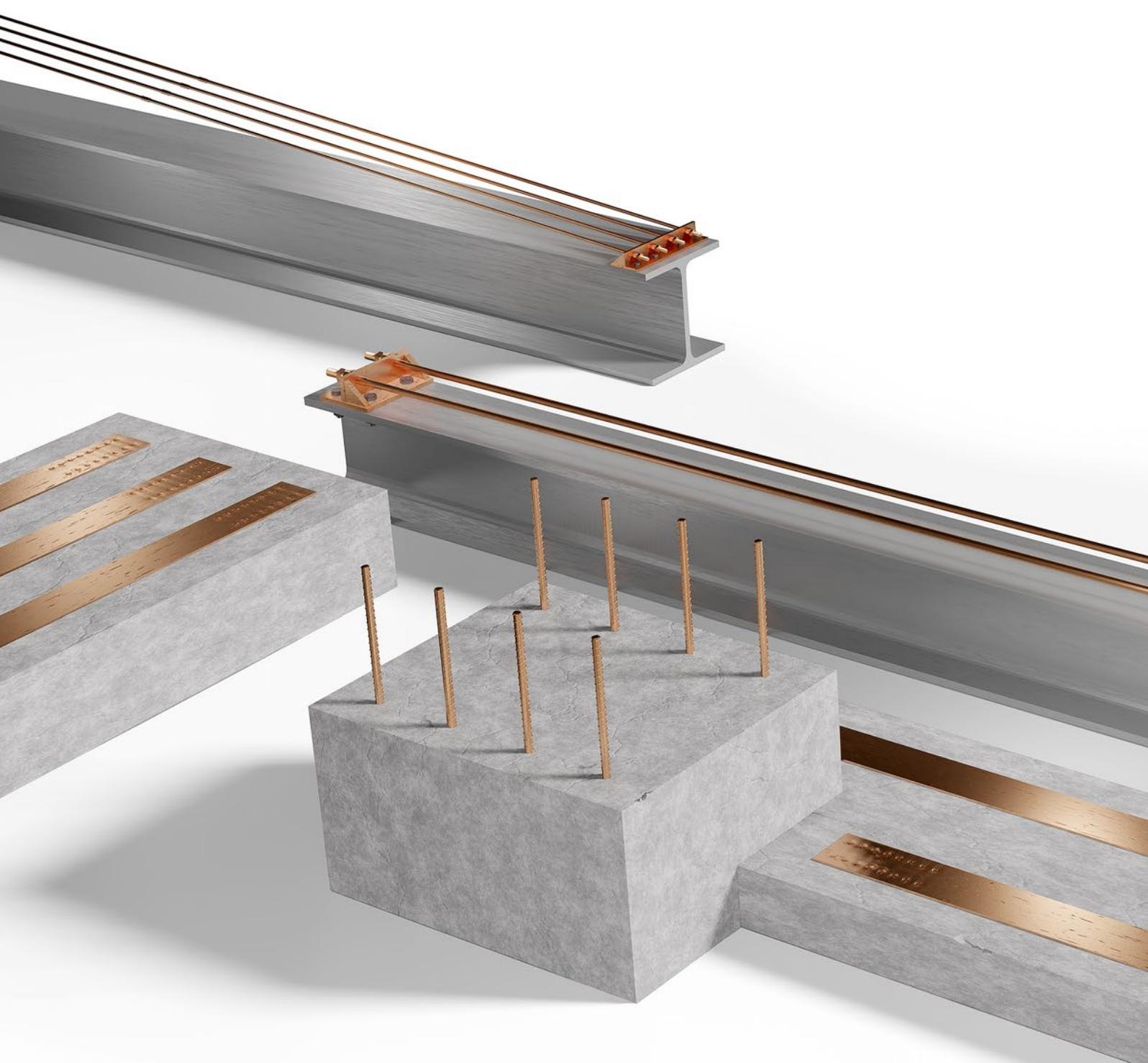
A handwritten signature in red ink, appearing as 'B. Schranz'.



strengthening solutions

Kooperation mit:

BUILDING TRUST



Hauptsitz Schweiz

re-fer AG
Riedmattli 9
CH-6423 Seewen
Phone +41 41 818 66 66

Deutschland

re-fer GmbH
Neuenburger Strasse 37
DE-79379 Müllheim
Phone +49 151-11333430

Österreich

re-fer Austria GmbH
Wiener Strasse 99
A-2514 Traiskirchen
Phone +43 670 55 64 876

info@re-fer.eu
www.re-fer.eu

