



memory[®]-steel Vorspannverfahren

für Nachverstärkung von Betonbauten

Dr Julien Michels

Webinar, 15.9.2022



Das ist memory[®]-steel



Vordehnen im re-fer Werk



Rückwandlung am Bauwerk
durch **Erhitzen**



Bei verhinderter Rückver-
formung: **Vorspannung**

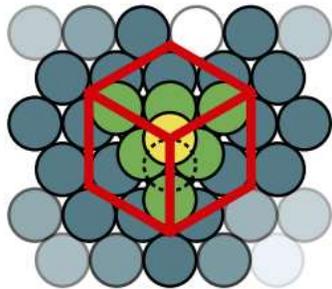
Eisenbasierte Formgedächtnislegierung

Formgedächtnislegierungen «FGL» verformen sich nach Vordehnung durch Wärmezufuhr wieder in ursprüngliche Form zurück (dank Kristallgitterumwandlung).

**memory[®]-steel
ist eisenbasiert**



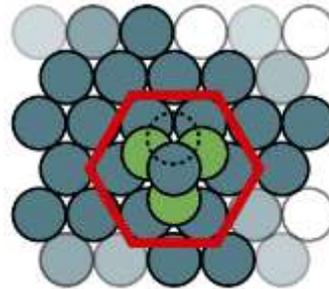
Austenit



Ausgangslegierung
im Stahlwerk

Verziehen
bei re-fer >

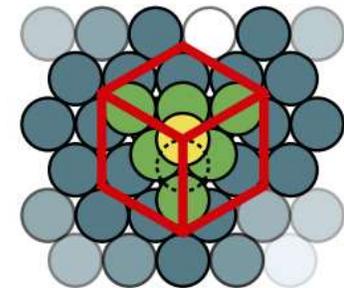
Martensit



Anlieferung und Einbau
auf der Baustelle

Aktivieren
«Erhitzen» >

Austenit



Rückwandlung im Bauwerk:
**Vorspannung bei verhinderter
Rückverformung**

re-fer Standorte, Patente, F&E



• re-fer Standorte

• Forschungspartner

Weltweite Distribution durch Sika.



Patentschutz in wichtigen
Zielmärkten rund um den Globus
(Verfahren und Legierung)

Passive/aktive Verstärkungen?

Carbon-Faserverbundwerkstoffe



- Aktivierung bei zusätzlicher Verformung (passiv)
- Sehr hohe Zugfestigkeit aber nicht duktil
- Versagen am Beton spröd und frühzeitig bei ca. 6-8%
- Keine Kraftumlagerungen/Gelenkausbildung möglich

memory®-steel



- Aktive Verstärkung dank Vorspannung
- Gute Zugfestigkeit und sehr hohe Duktilität
- Versagen der Betondruckzone
- Kraftumlagerungen/Gelenkausbildung möglich

memory[®]-steel für Ihr Projekt



re-plate Verfahren für Betonbauten
«statische Belastung»



re-bar Verfahren für Betonbauten
«statische und dynamische Belastung»



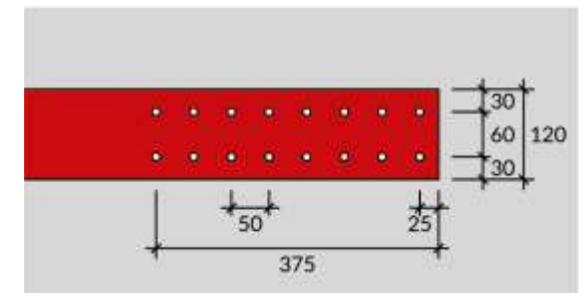
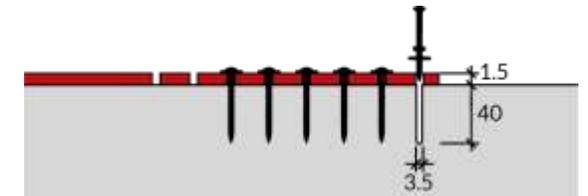
re-plate Verfahren



Produkt	Max. Zugkraft	Endverankerung
re-plate 120/1.5 mm	83.1 kN (Bemessungswert)	massgebend
Aktivierung / Heizen	Temperatur	Vorspannkraft
Standardlösung Gas	300-350 °C	68.4 kN
Infrarot-Heizstrahler	165 °C	54.0 kN



- Anlieferung auf Baustelle: vorgedehnt, vorgelocht
- Tragwirkung sofort nach Aktivierung und Abkühlung
- Extern verankertes Zugband ohne Verbund
- Direktbefestigung Hilti X-CR 48 P8 S15



Schnell und einfach installiert



Vielseitige Anwendungen

Änderung des statischen Systems, Umnutzungen:



Biegeverstärkungen (positives Moment)

Erdbebenertüchtigung:



Überdrücken von Koppelfugen



Wandverstärkungen
(hier: Liftschacht)

Sonderlösungen:



Verschweisste Endverankerungen
«memory®-steel ist schweisssbar»

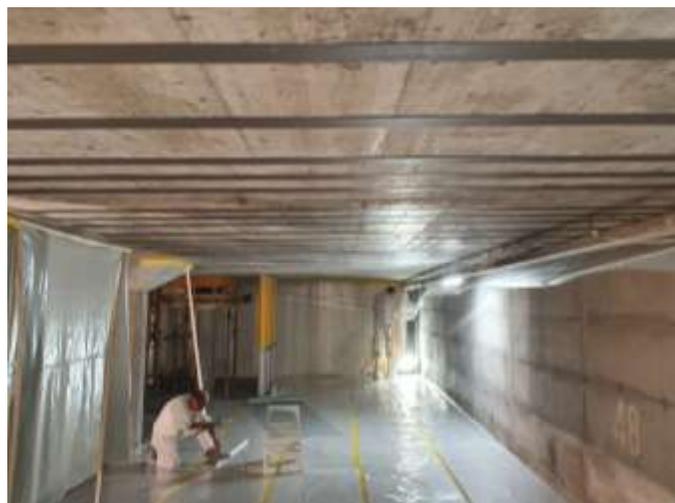
Brandschutz unkompliziert



SikaCem® Pyrocoat

«Brandschutzspritzputz» maschinell aufgetragen

Brandwiderstand	R30	R60	R90
Schichtstärke	12 mm	15 mm	23 mm



Zusätzlicher Korrosionsschutz nötig?

memory[®]-steel ist ein Edelstahl
(vergleichbar mit 1.4003 nach DIN EN 10088)



Korrosionswiderstandsklasse I

Für Chlorid-belastete Bauteile oder hohe Feuchtigkeit der Umgebung wird ein Korrosionsschutz empfohlen!



SikaCor[®] EG-1

«Beschichtung» im Werk aufgetragen

memory[®]-steel für Ihr Projekt



re-plate Verfahren für Betonbauten
«statische Belastung»



re-bar Verfahren für Betonbauten
«statische und dynamische Belastung»



re-bar Verfahren



Produkt	Max. Zugkraft	Bruchdehnung
re-bar 10	46.7 kN (Bemessungswert)	30 %
re-bar 16	109.8 kN (Bemessungswert)	30 %

Heizvorgang	Temperatur	Vorspannkraft
re-bar 10 Stangen - Gas	300-350 °C	36.0 kN
re-bar 10 U-Profile - Strom	200 °C	2 x 31.5 kN = 63.0 kN
re-bar 16 Stangen - Gas	300-350 °C	67.6 kN



- Anlieferung auf Baustelle: vorgedehnt, Fixlänge oder koppelbar
- Tragwirkung sofort nach Aktivierung, Abkühlung und Vermörtelung
- Innenliegende Vorspannung im Verbund

Im Reprofilier- oder Spritzmörtel

**Sika MonoTop®
-452 N**

Reprofiliermörtel

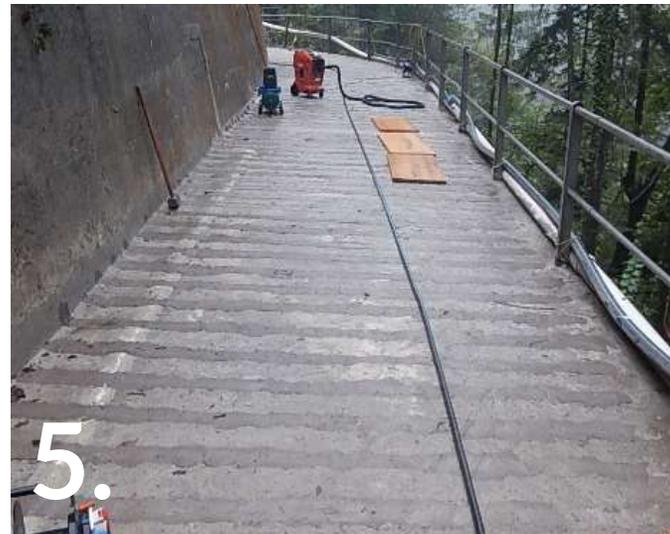
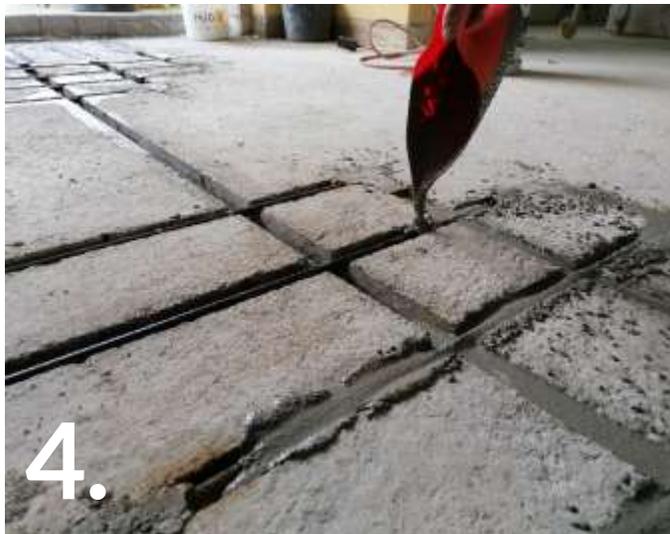


**Sika MonoTop®
-412 Eco/-4012**

Spritzmörtel



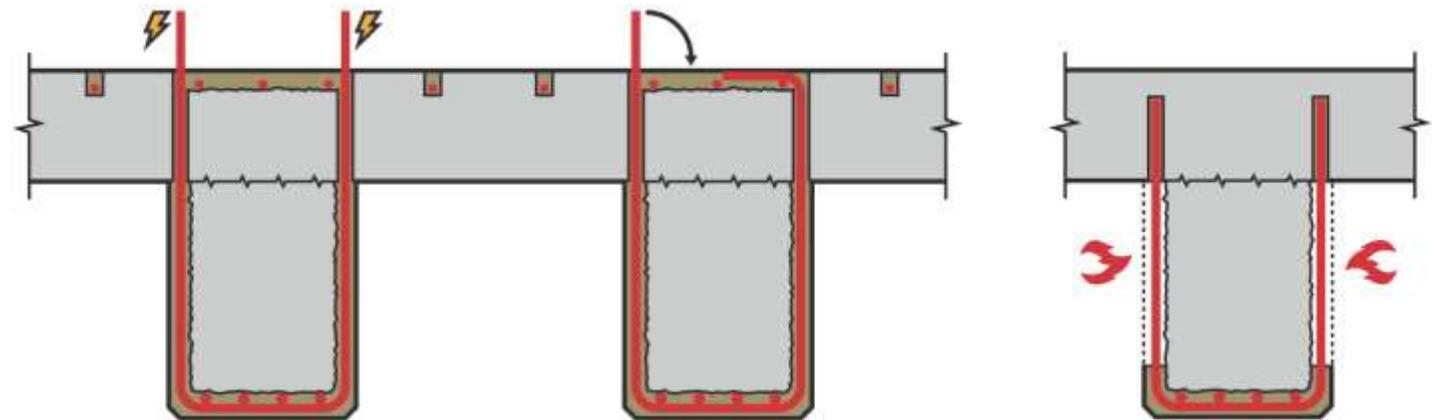
Im Schlitz mit Vergussmörtel



SikaGrout®-314 N

Vergussmörtel

Applikation von re-bar U-Bügel



Sika® FastFix-121

Oberflächenverschluss

Sika® InjectoCem-190

Rissinjektionsgut

SikaGrout®-314 N

Vergussmörtel

Sika MonoTop®-412 Eco/-4012

Spritzmörtel

Anwendungen Hochbau

Änderungen des statischen Systems, Umnutzungen:



Biegebewehrung (positiv oder negativ)



Schubverstärkungen

Erdbebenverstärkungen:



Wandverstärkungen (horizontal, vertikal, diagonal)

Anwendungen Brückenbau

Biegeverstärkung, Erhöhung der Lebensdauer:



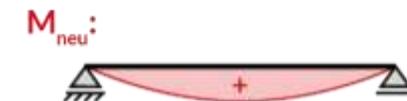
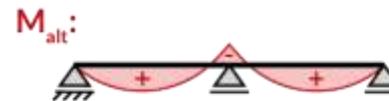
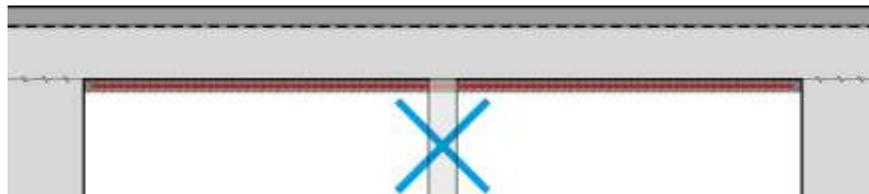
Hydromechanisch abtragen des Betons



re-bar versetzen und Verankerung einspritzen

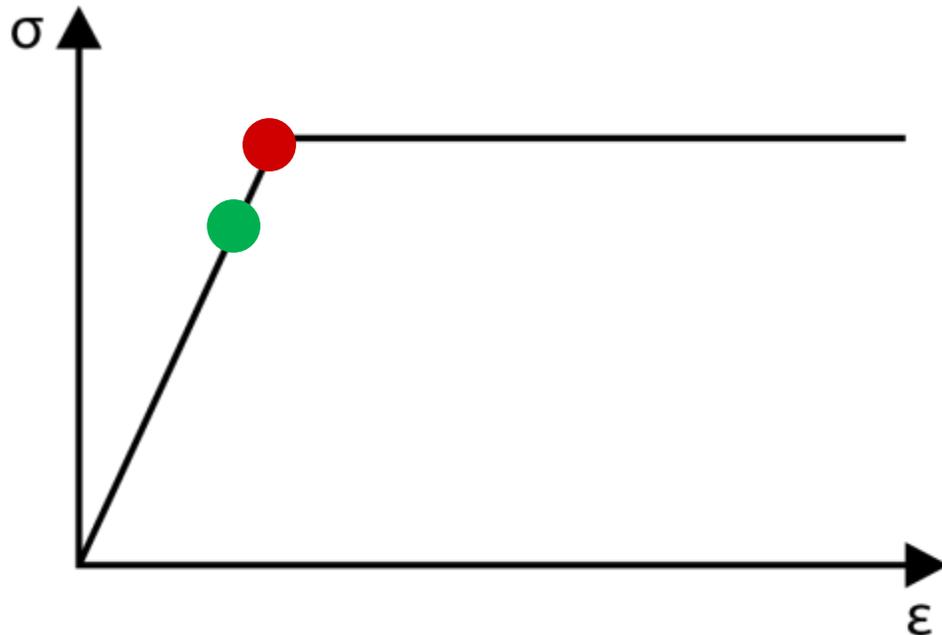


re-bar erhitzen, Mittelbereich ausspritzen, Oberflächen-Finish

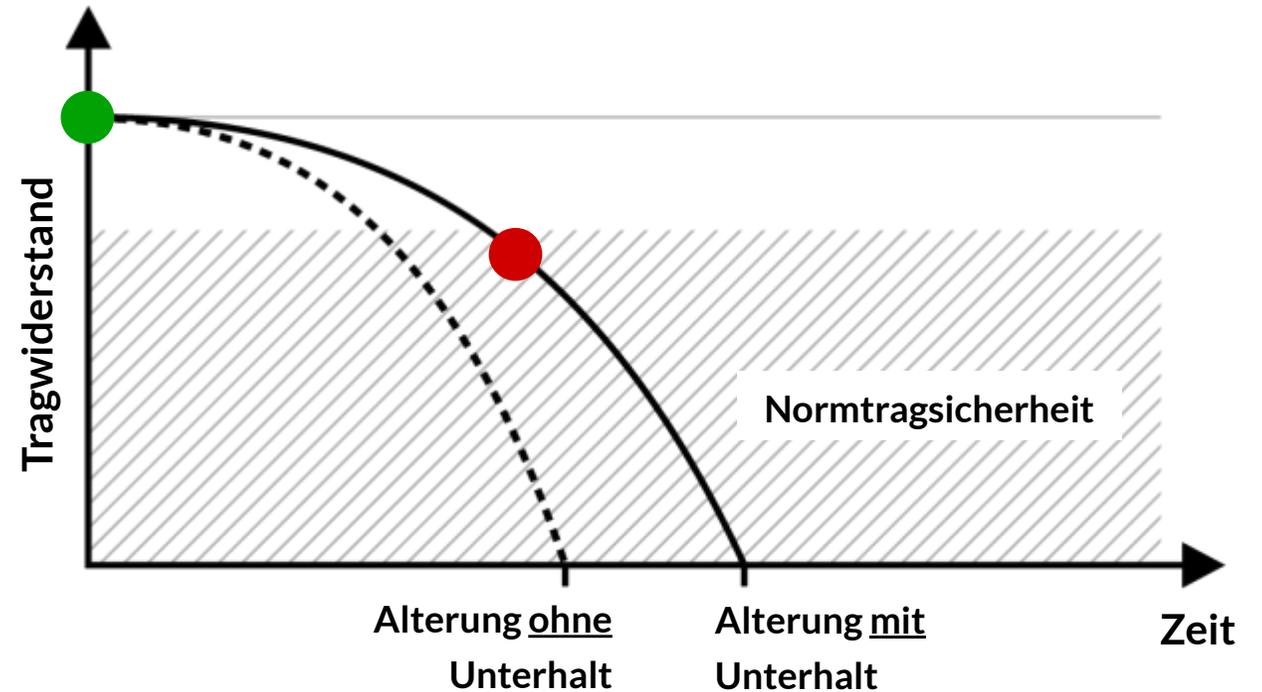


Neue Epoche für die Baubranche

Spannung der Innenbewehrung:



Lebensdauer:

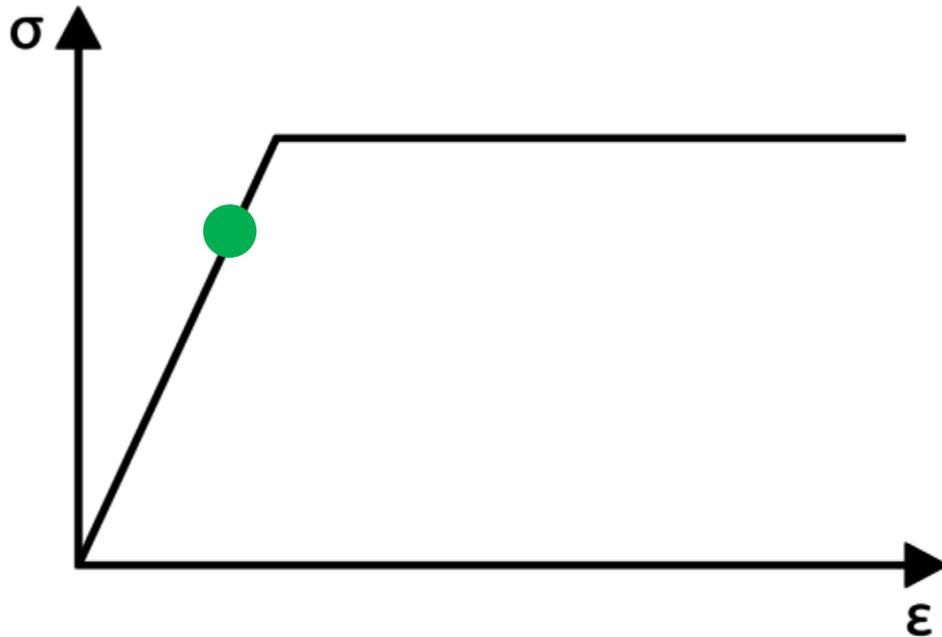


1. Neubau einer Brücke

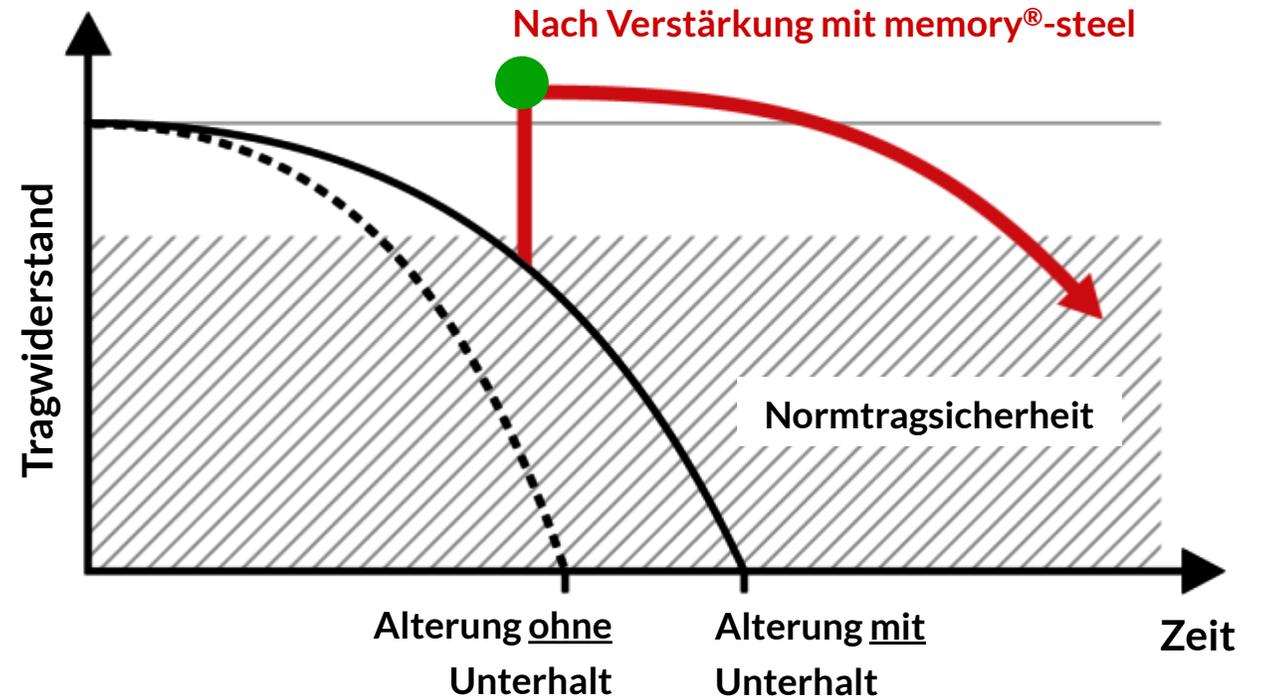
2. Nach Alterung (Relaxation, Ermüdung, Korrosion)

Neue Epoche für die Baubranche

Spannung der Innenbewehrung:



Lebensdauer:



Dank Vorspannung (Entlastung der Innenbewehrung)

Und das funktioniert?



**Verstärkung von
teilerstörten Trägern
nach Erdbeben möglich**

Kurz und einleuchtend:



Effizient. Einfach. Schnell.

**Robuste, vielseitige und gesamtheitliche
Lösungen mit Qualitätsprodukten**



**Bauwerke nachhaltig erhalten,
Ressourcen gezielt einsetzen**



100% recyclebares Material



Kosten/Nutzen-Vergleich

Sika Systeme mit Faserverbundwerkstoffen



- ✓ Traglast erhöhen

Preis einfach
«eine Massnahme»

Die Kombination der Systeme
ist der Schlüssel zum Erfolg.

memory®-steel im Sika Betonersatzmörtel



- ✓ Gebrauchslast erhöhen
- ✓ Traglast erhöhen
- ✓ Brandlast abdecken
- ✓ Kraftumlagerung bei Erdbeben
- ✓ Lebensdauer erhöhen

Preis 5-fach
«fünf Massnahmen»



Referenzen



Wann setzen wir auf memory[®]-steel?

Hochbau

- Reduktion von Durchbiegungen

«für schlanke Biegeplatten/-elemente»



- Biegeverstärkungen, falls Brandlast mit re-plate abgedeckt werden kann



- Verstärkung der Durchstanzbewehrung



- Erdbebenverstärkungen



- Sonderlösungen

Brückenbau

- Biege- und Schubverstärkungen (zementös, dampffoffen)



- ✓ Dank Überdrücken auch bei schlechter Betonqualität möglich!

- Erhöhung der Lebensdauer



- ✓ Dank Spannungsreduktion der Innenbewehrung!
- ✓ Neues Alkalidepot für Bewehrungen!

Gewerbegebäude



Ort: Adetswil, Schweiz
Jahr: 2020
Produkte: re-plate



Durchbiegungen Betondecke und Risse in Mauerwerk

- Biegeverstärkungen (positives Moment)
- Risschliessung (rot) dank Vorspannung

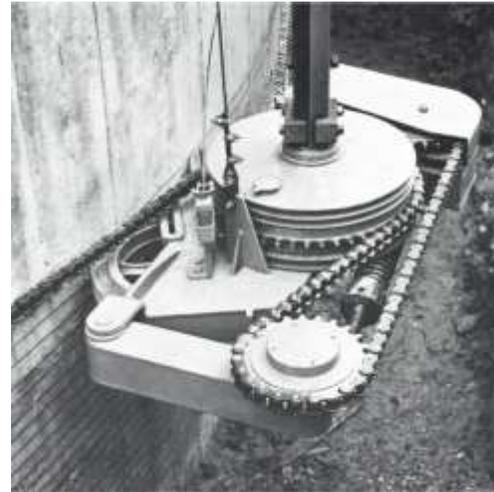
ARA Silo



Ort: Cham, Schweiz
Jahr: 2022
Produkte: re-bar 16, Sika MonoTop®-452N

Fassadenbohrungen

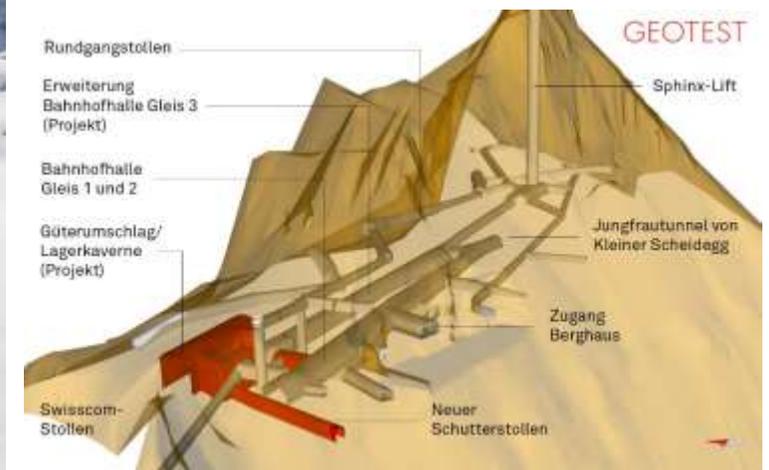
- Lokale Überbrückung von alten Spanndrähten, welche für die neue Fassade durchbohrt werden
- re-bar im Sika Reparaturmörtel



Gewölbeverstärkung unterirdischer Bahnhof



Ort: Jungfraujoch BE, Schweiz
Jahr: 2019
Produkte: re-bar 10, Sika® Rock Gunit BE-8



Gewölbeverstärkung unterirdischer Bahnhof



Neuer Stollenanschluss

- Lokale Biegeverstärkung mit re-bar im Sika Gunit
- Trockenspritzverfahren für Tunnelanwendungen



Umnutzung Produktion Delica

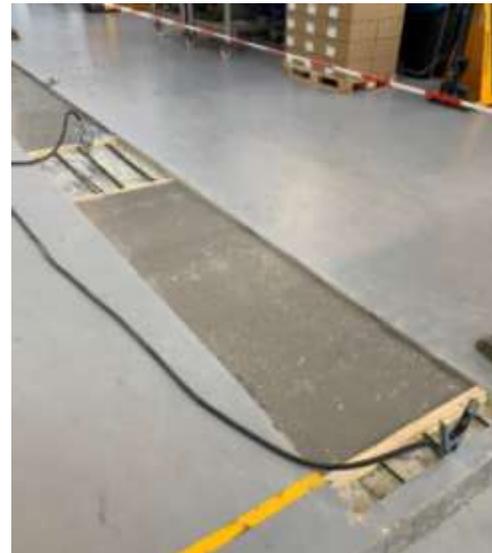
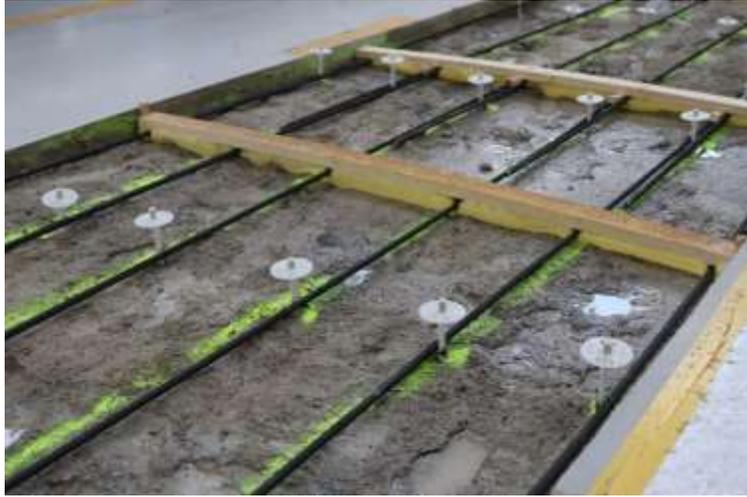


Lasterhöhung auf Decke

- Neg. Biegeverstärkung mit re-bar im Sika Vergussmörtel
- Pos. Biegeverstärkung mit CFK-Lamellen

Ort: Birsfelden BS, Schweiz
Jahr: 2021
Produkte: re-bar 16, SikaGrout®-314 N, Sika® CarborDur®

Umnutzung Produktion Delica



Seismische Verstärkung Mauerwerk



Ort: Wallis, Schweiz
Year: 2022
Products: re-bar 16, Sika MonoTop®-422 PCC



Normalkraft auf Mauerwerk

Robuste Komplettlösung Brückenträger

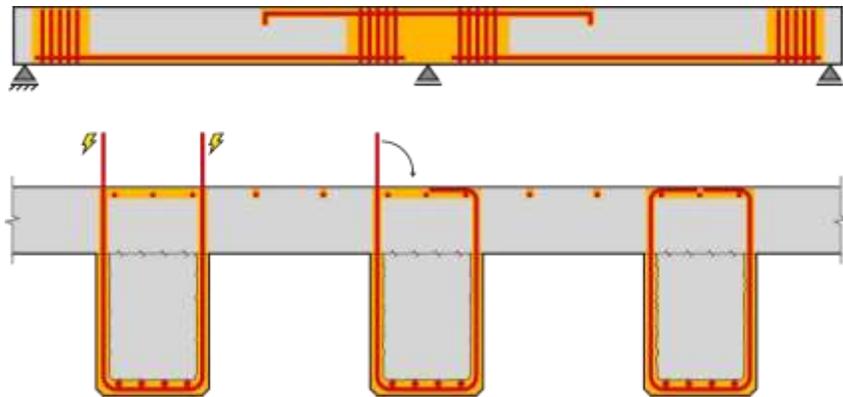
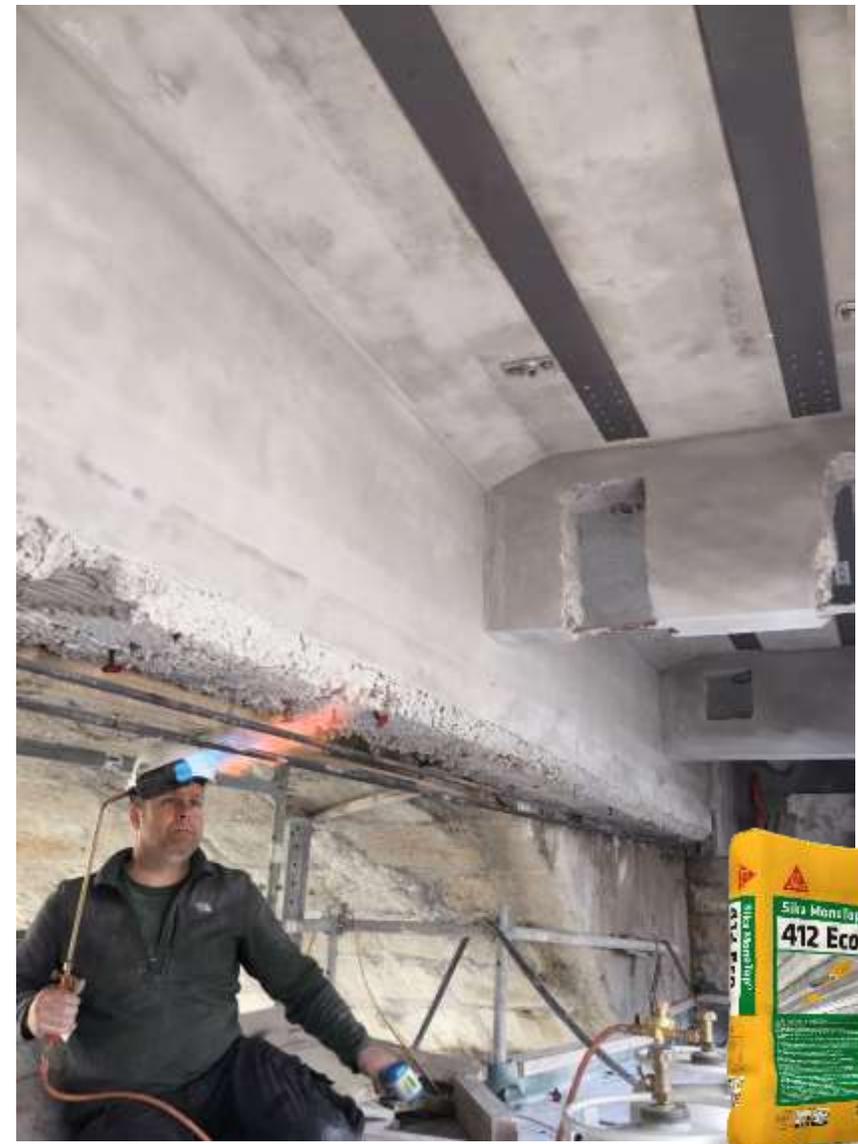


Alterung der Betonbrücke

- Robuste Biegeverstärkung Brückenträger
- Schubverstärkung und Überdrückung der Endverankerung
- Erhöhung der Lebensdauer

Ort: Courendlin JU, Schweiz
Jahr: 2021
Produkte: re-bar 16, Sika MonoTop®-412 Eco, re-plate

Robuste Komplettlösung Brückenträger



In Druckzone umschlossen oder im Kernbeton durch Aufbiegung verankert «Fachwerkanalogie»





re-bar R18 Verfahren für Stahlkonstruktionen



re-bar R18 Verfahren



Produkt	Max. Zugkraft
re-bar R18	190.8 kN

Heizvorgang	Temperatur	Vorspannkraft
Standardlösung Gas	300-350 °C	96.7 kN



- **Anlieferung auf Baustelle: vorgedehnt, mit beidseitigem Gewinde, koppelbar**

SikaCor® Korrosionssystem

Gemäss re-fer Merkblatt

Systembestandteile



Kupplungsstücke R18 C



R18 Endverankerungen, mit
Stahlträger verschraubt

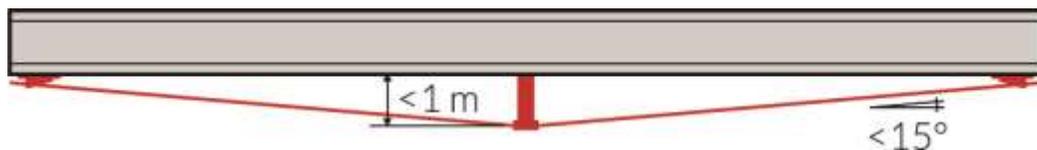


R18 Umlenkstütze, an
Stahlträger geklemmt



R18 Muttern/U-Scheiben

Verstärkung überhöht:



Verstärkung parallel:



Strassenbrücke Captain Jaroš



Neue Normen, Alterung

- Biegeverstärkung der Stahl-Beton-Verbundbrücke mit re-bar R18
- Reduktion der Durchbiegung
- Erhöhung der Lebensdauer (Ermüdung)

Ort: Karlovy Vary, Tschechien
Jahr: 2020
Produkte: re-bar R18, SikaCor® System

Strassenbrücke Captain Jaroš





memory[®]-steel... Jetzt sind Sie gefragt!



Qualitätskontrolle

Im Werk



Materialprüfungen
vorgängig im Werk

Am Bauwerk



Betonqualität mit
Prüfhammer

Beim Applizieren



Temperaturkontrolle
während Heizvorgang

Schlusskontrolle



Vorspannkontrolle mit
«Armbrustprinzip»

Sika Qualitätsprodukte

memory®-steel ist mit Sika Spritz-, Reparatur, Vergussmörtel sowie Brand- und Korrosionsschutz im System geprüft. Bei Verwendung anderer Zusatzprodukte übernimmt re-fer keine Gewährleistung.

Kosten/Nutzen bei Ertüchtigung

Grobkosten Beispiel Autobahnbrücke:

Arbeit	Kosten (%)
Verkehrsumleitung / Gerüst / Entsorgung / Baustelleneinrichtung / etc.	~ 20
Ersatz bituminöse Beläge	~ 15
Abdichtung Betonplatte / Entwässerung	~ 15
Abbau / Ersatz des Überbetons / etc.	~ 15
Vorgespannte Verstärkungsschicht mit memory-steel	~ 15
Engineering / Planung / Diverses	~ 20
Total	100



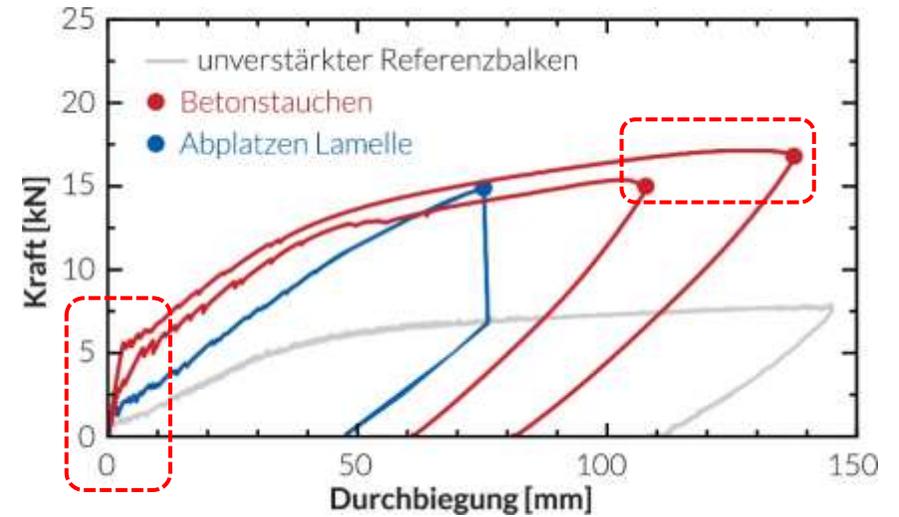
Robuste Gesamtlösung mit ca. 15 % Kosten



Payback: Kosten können über erhöhte Lebensdauer amortisiert werden!



Vergleich re-plate mit CFK-Lamellen

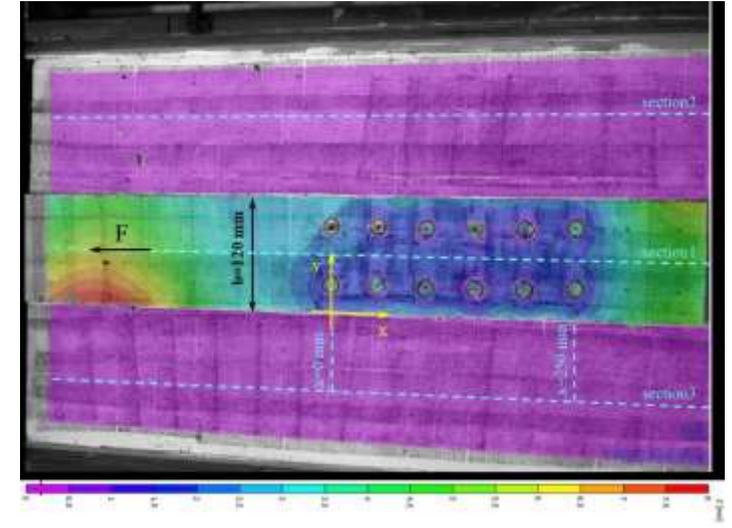
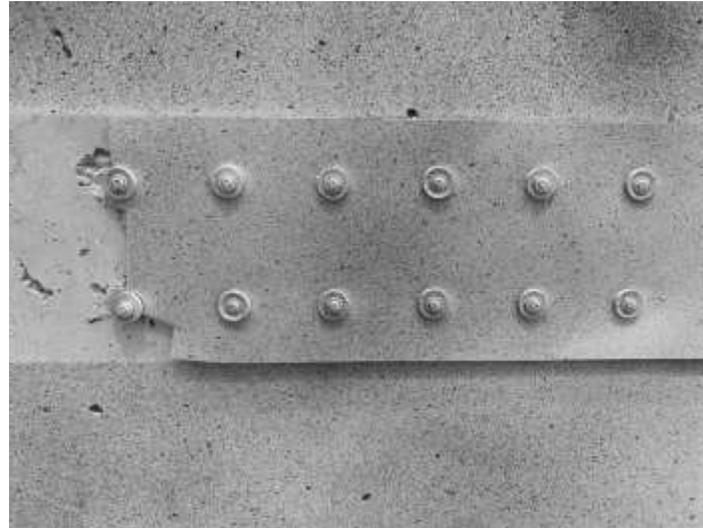


	re-plate	CFK-Lamelle
Axiale Steifigkeit EA [kN]	$\sim 10 \cdot 10^3$	$\sim 11 \cdot 10^3$
Risslast [kN]	3.4 - 5.4	2.0

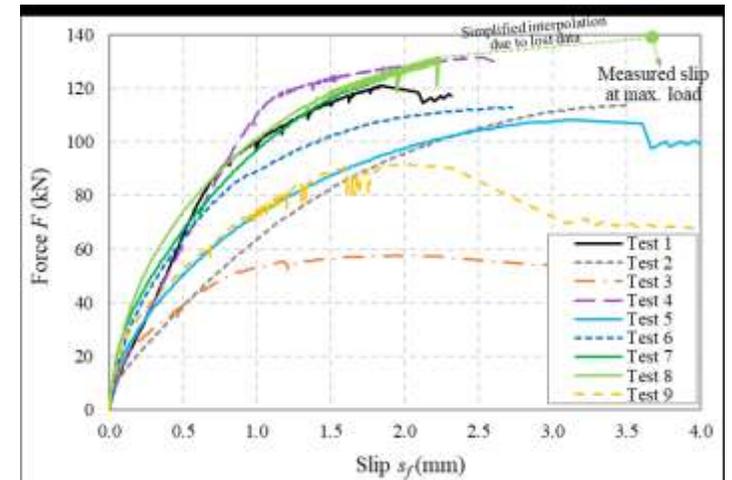
70 - 170% Erhöhung der Risslast im Vergleich zu CFK-Lamellen

Erhöhung der Tragsicherheit

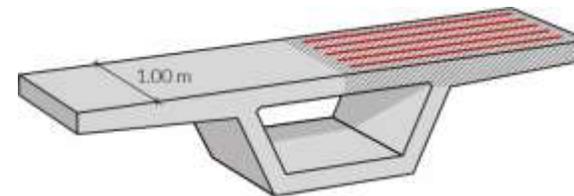
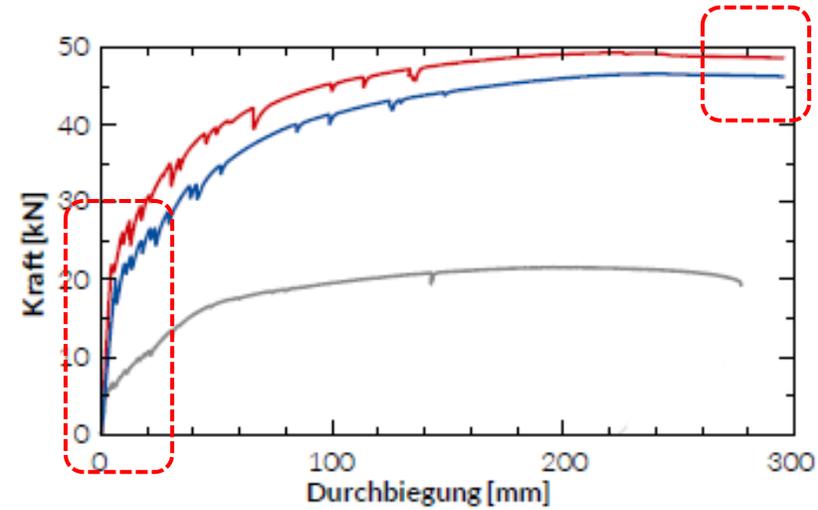
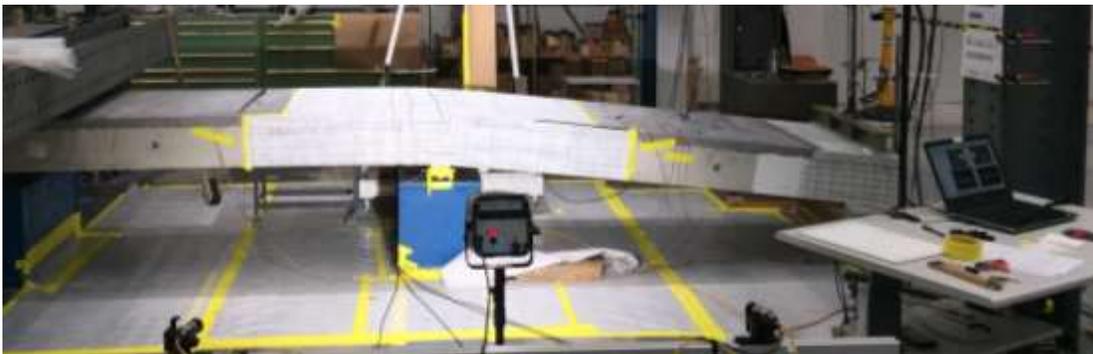
Verankerungsversuche Direktbefestigung



- Versagen durch Abscheren der Nägel oder Zugbruch von re-plate in der vordersten Nagelreihe ab $f_{cm,cube} > 20 \text{ N/mm}^2$



Grossversuch: Verstärkung Brückenplatte



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

Risslast wurde verdreifacht, Bruchlast verdoppelt!

Spannungsreduktion der Innenarmierung

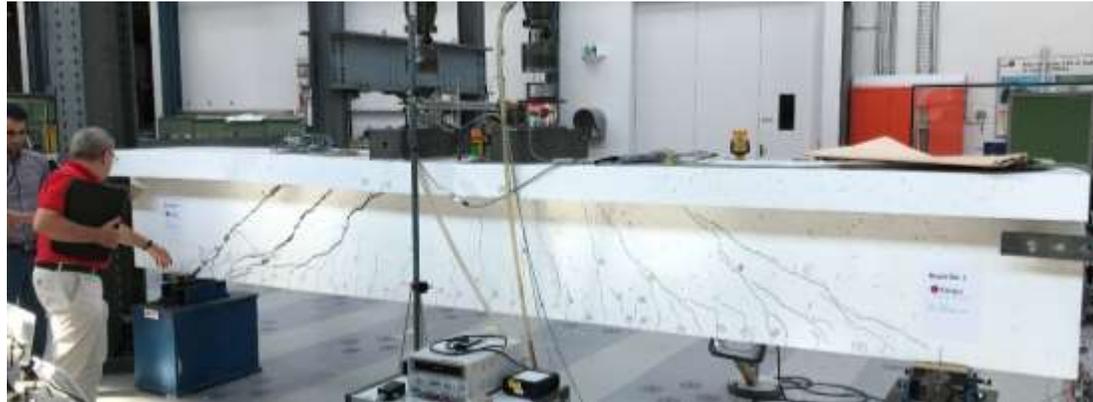


Höhere Lebenserwartung des Bauwerks

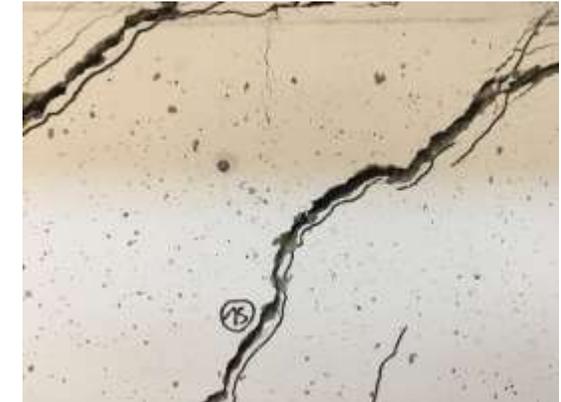
Grossversuch: Schubverstärkung an T-Träger



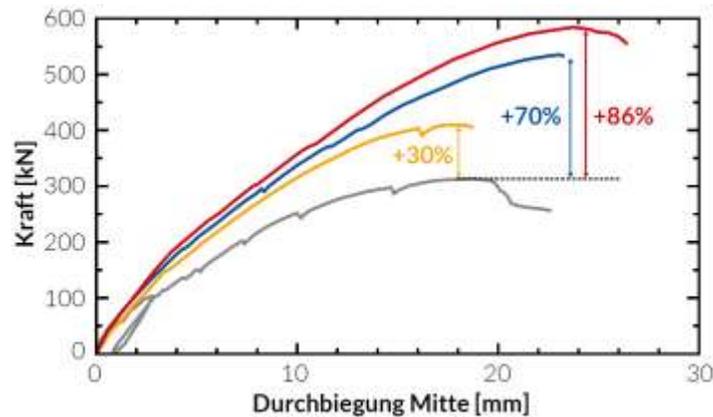
Dehnmessstreifen fixieren



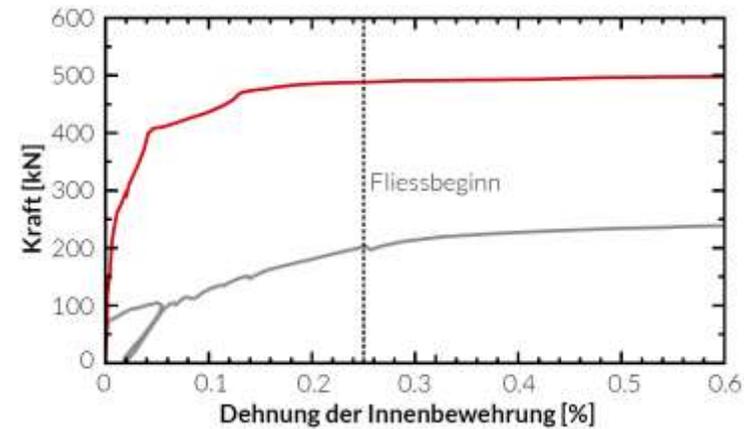
Traglastversuch bis zum Bruch der innenliegenden Schubbügel



Klaffende Risse beim teilzerstörten Referenzträger

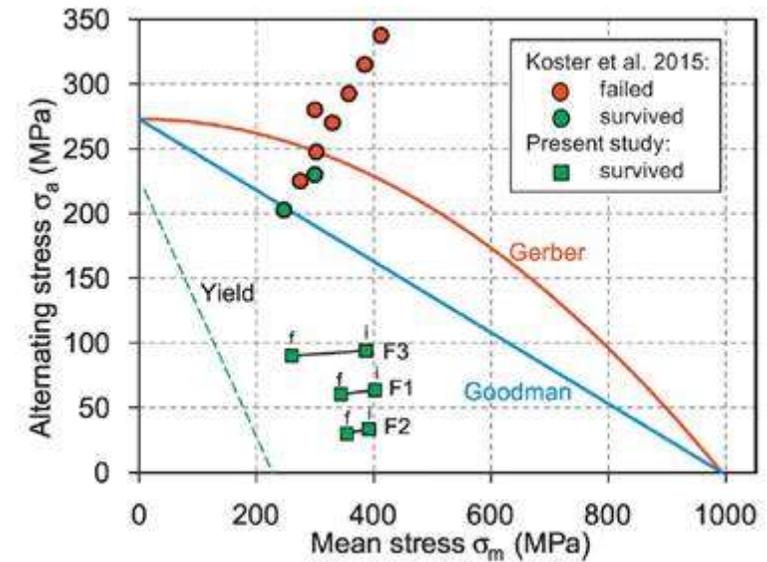


Steigerung Traglast des teilzerstörten Referenzträgers um 30 %



Entlastung der inneren Schubbügel, verbessertes Ermüdungsverhalten

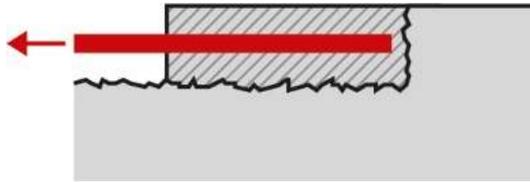
Ermüdungsversuche



Dank Vorspannung kann Mittelwert der Spannung im Bauwerk gesenkt werden und damit die Lebensdauer erhöht werden.

Diverse Dauerbelastungsversuche für re-bar und re-bar R18, inkl. allen Kupplungen und Schweissungen

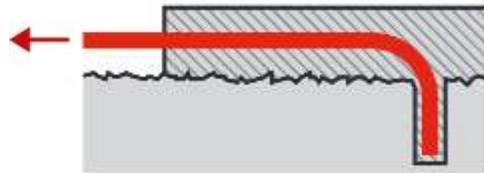
Verankerungsmöglichkeiten re-bar



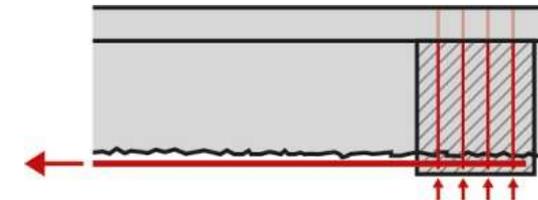
Standard über Mörtelverbund



über angeschweisste Endverankerung

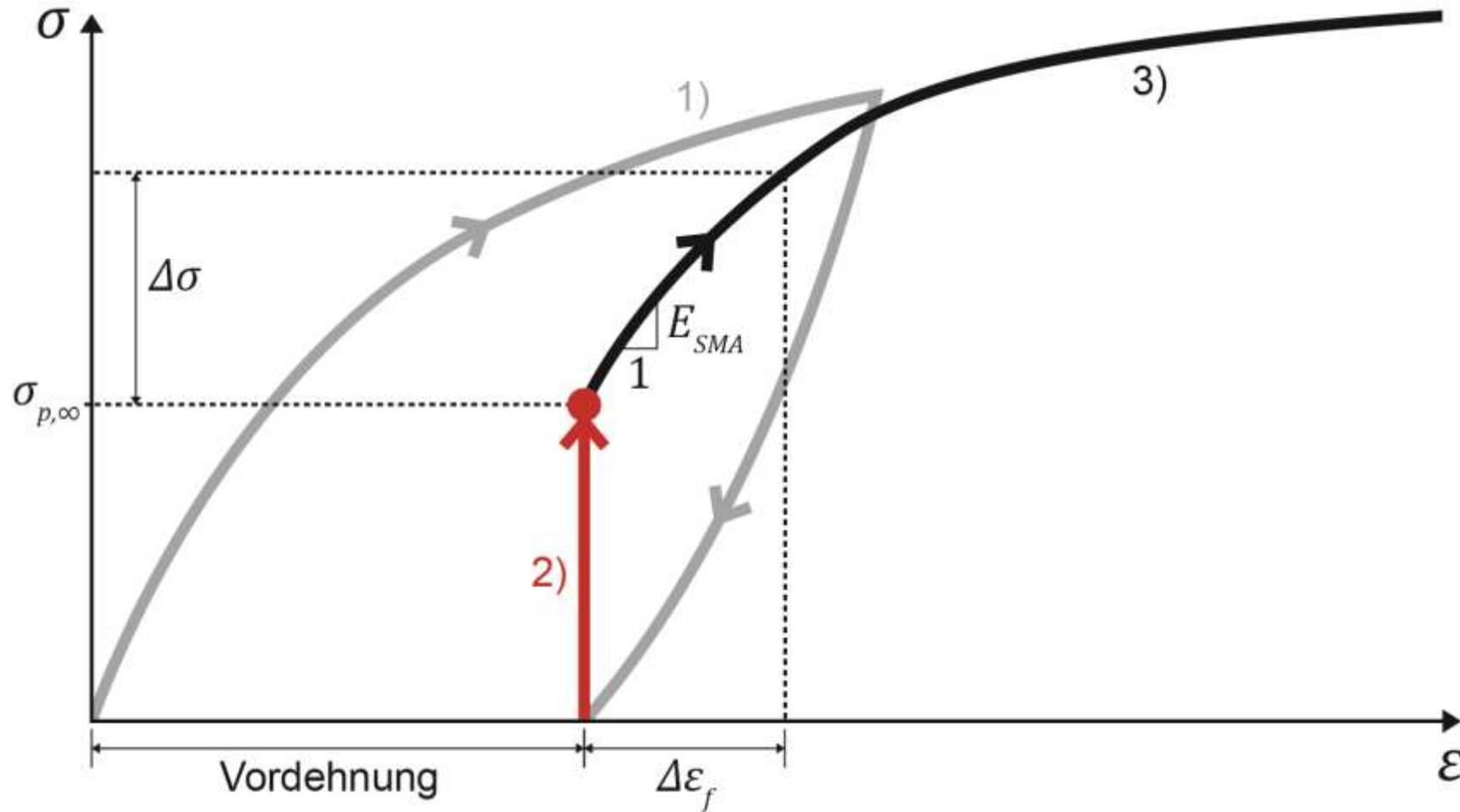


mit Endhaken im Beton tiefenverankert



mit Schubbügel im Endbereich
(normal schlaff, bei Schubverstärkung vorgespannt)

Spannungs-Dehnungs-Diagramm



re-fer Meilensteine

- Seit 2000 Forschungsaktivitäten an der Empa
- 2012 Gründung der re-fer AG – Beginn von gezielten F&E Aktivitäten im Bereich memory-steel für Anwendungen im Bauwesen
- 2014 Erste industrielle Produktion der memory[®]-steel Legierung
- 2016 Fertigstellung Produktionshalle und Büros in Müllheim DE
- 2017 Erstes Pilotprojekt mit re-plate
- 2018 Erstes Pilotprojekt mit re-bar
- 2019 Umzug in die neue Produktionshalle und Büro in Seewen CH
- Seit 2020 Erste re-fer Franchise-Nehmer im Ausland und Zusammenarbeit mit Sika

