

# memory<sup>®</sup>-steel Vorspannverfahren

für Nachverstärkung von Betonbauten

Dr Julien Michels

Fachtagung Empa Akademie, 24.10.2022



# Das ist memory<sup>®</sup>-steel



Vordehnen im re-fer Werk



Rückwandlung am Bauwerk  
durch **Erhitzen**

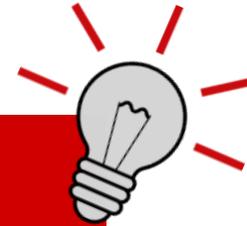


Bei verhinderter Rückver-  
formung: **Vorspannung**

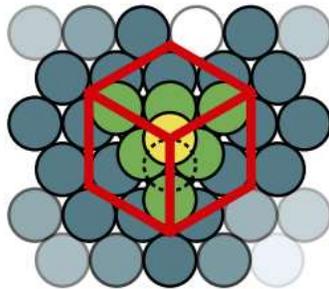
# Eisenbasierte Formgedächtnislegierung

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

**memory<sup>®</sup>-steel  
ist eisenbasiert**



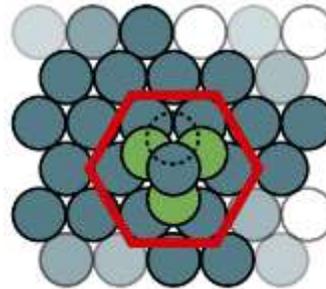
## Austenit



Ausgangslegierung  
im Stahlwerk

Verziehen  
bei re-fer >

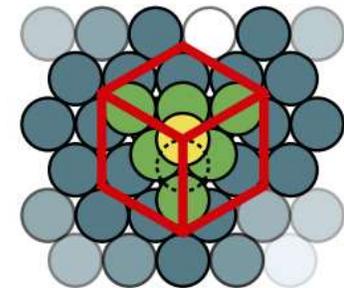
## Martensit



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<sup>®</sup>-steel für Ihr Projekt



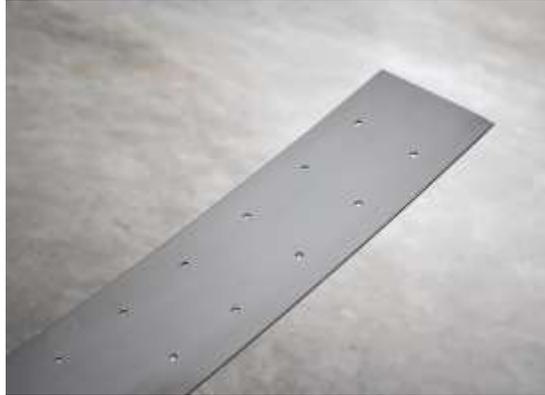
**re-plate Verfahren für Betonbauten**  
«statische Belastung»



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



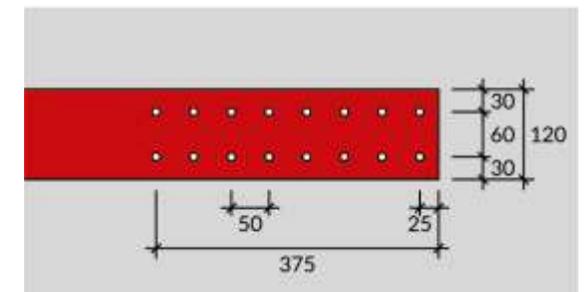
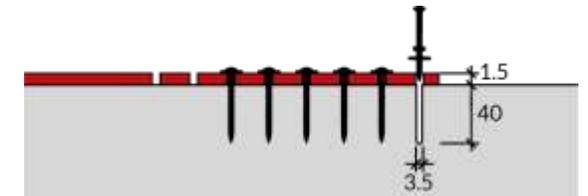
# re-plate Verfahren



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



- 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<sup>®</sup>-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<sup>®</sup> EG-1**

«Beschichtung» im Werk aufgetragen

# memory<sup>®</sup>-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

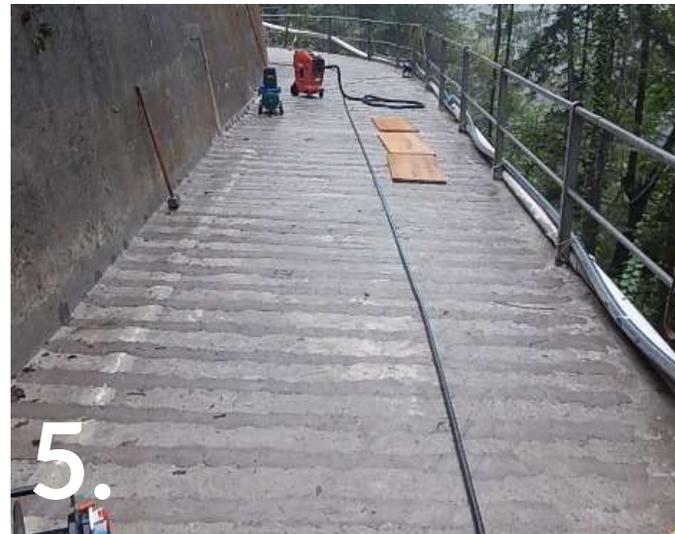


**Sika MonoTop®  
-412 Eco/-4012**

Spritzmörtel



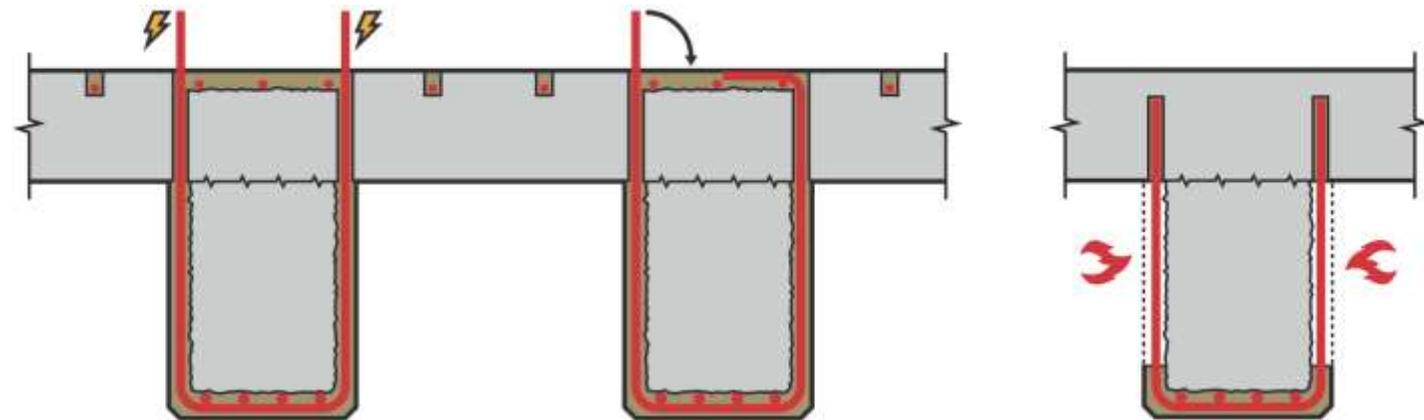
# Im Schlitz mit Vergussmörtel



**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:

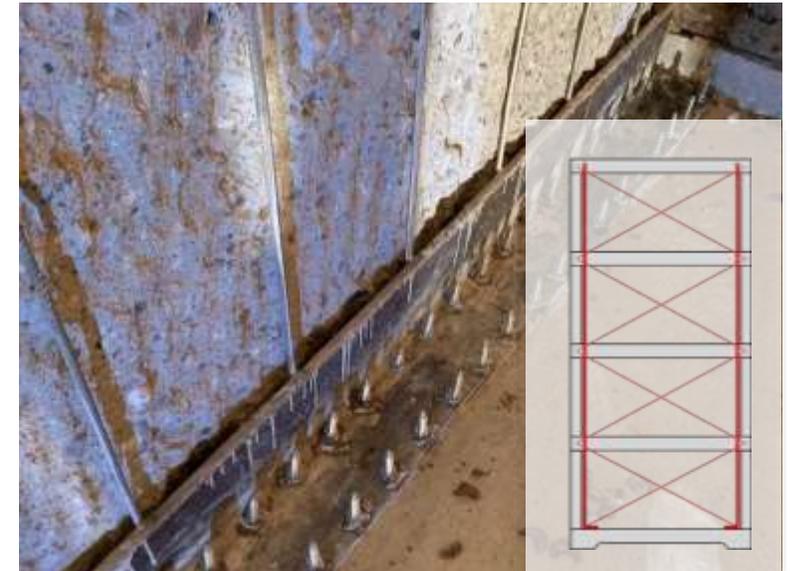


Biegebewehrung (positiv oder negativ)



Schubverstärkungen

## Erdbebenverstärkungen:



Wandverstärkungen (horizontal, vertikal, diagonal)

# Anwendungen Brückenbau

## Biegeverstärkung, Erhöhung der Lebensdauer:



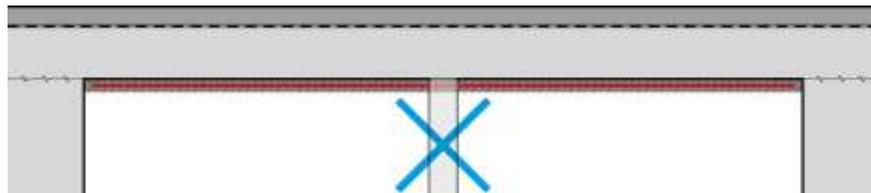
Hydromechanisch abtragen des Betons



re-bar versetzen und Verankerung einspritzen

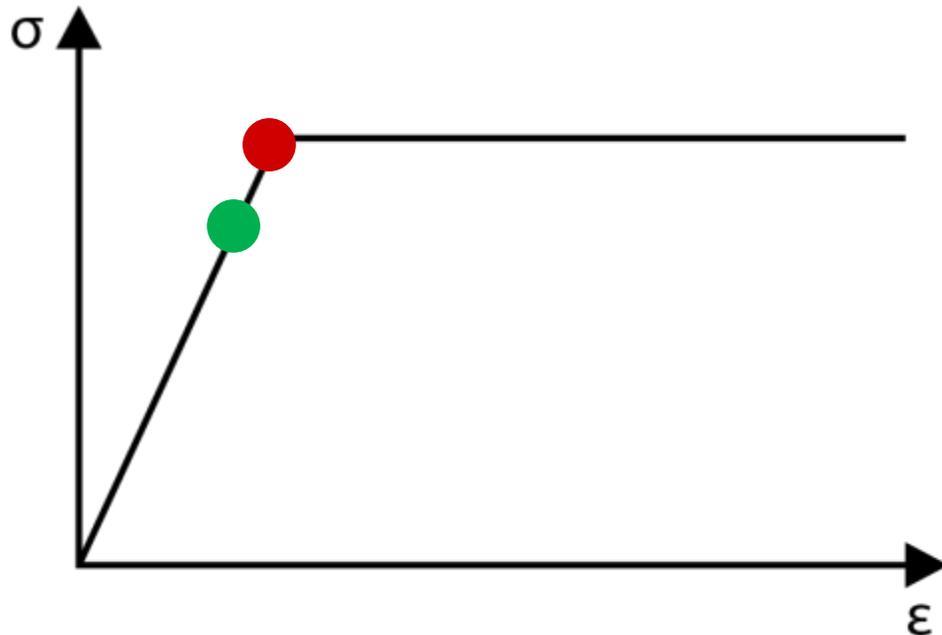


re-bar erhitzen, Mittelbereich ausspritzen, Oberflächen-Finish

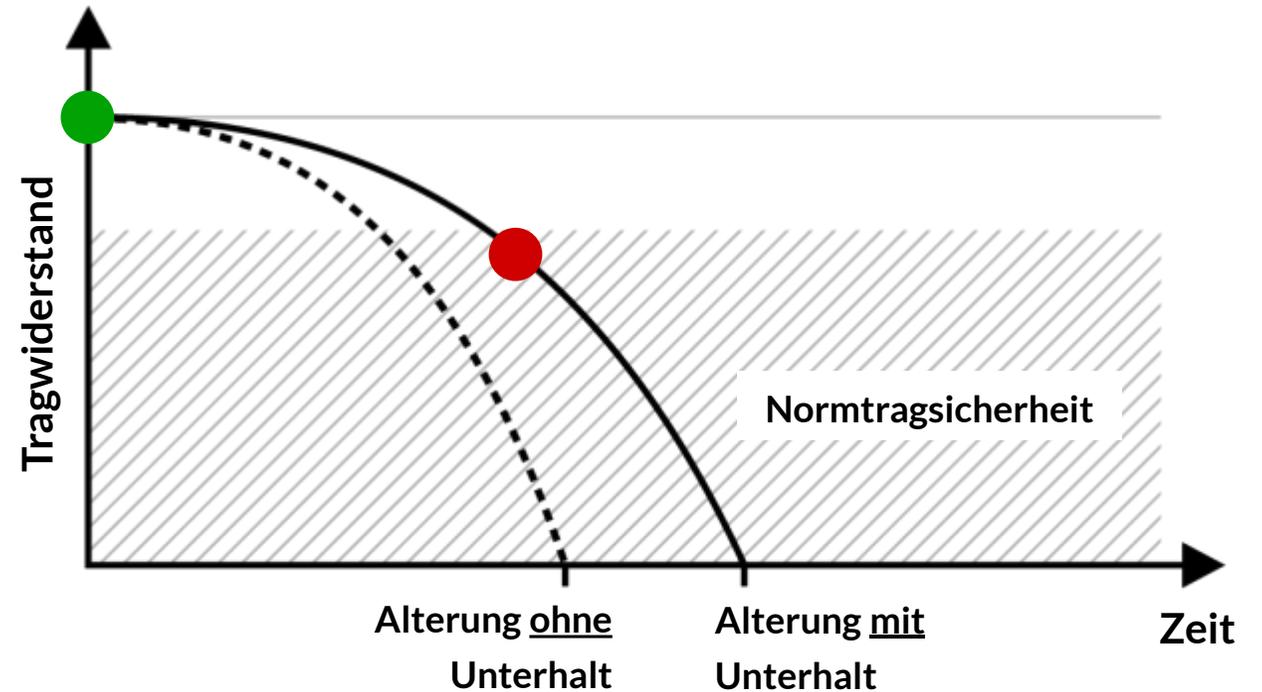


# Neue Epoche für die Baubranche

Spannung der Innenbewehrung:



Lebensdauer:

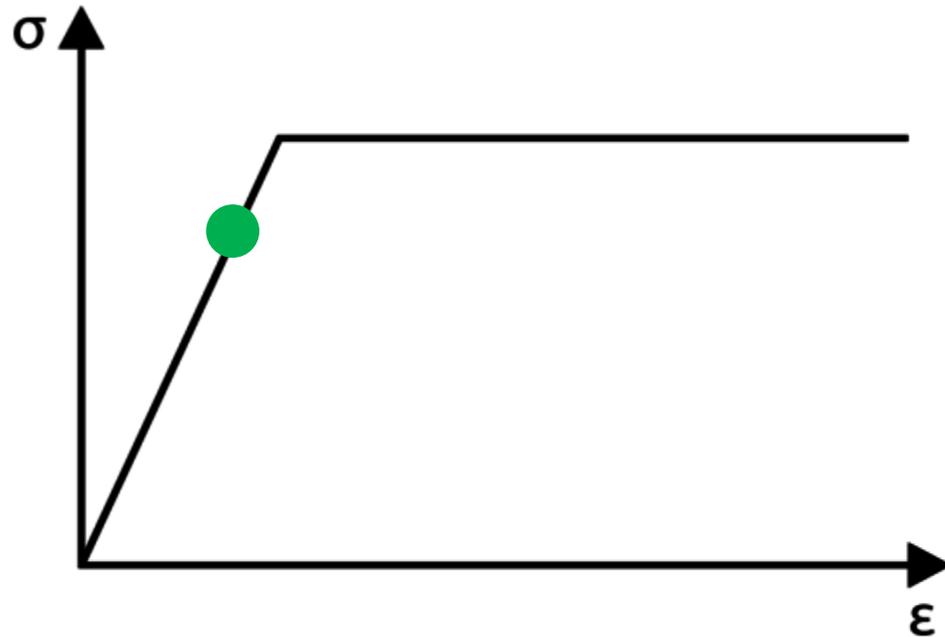


**1. Neubau einer Brücke**

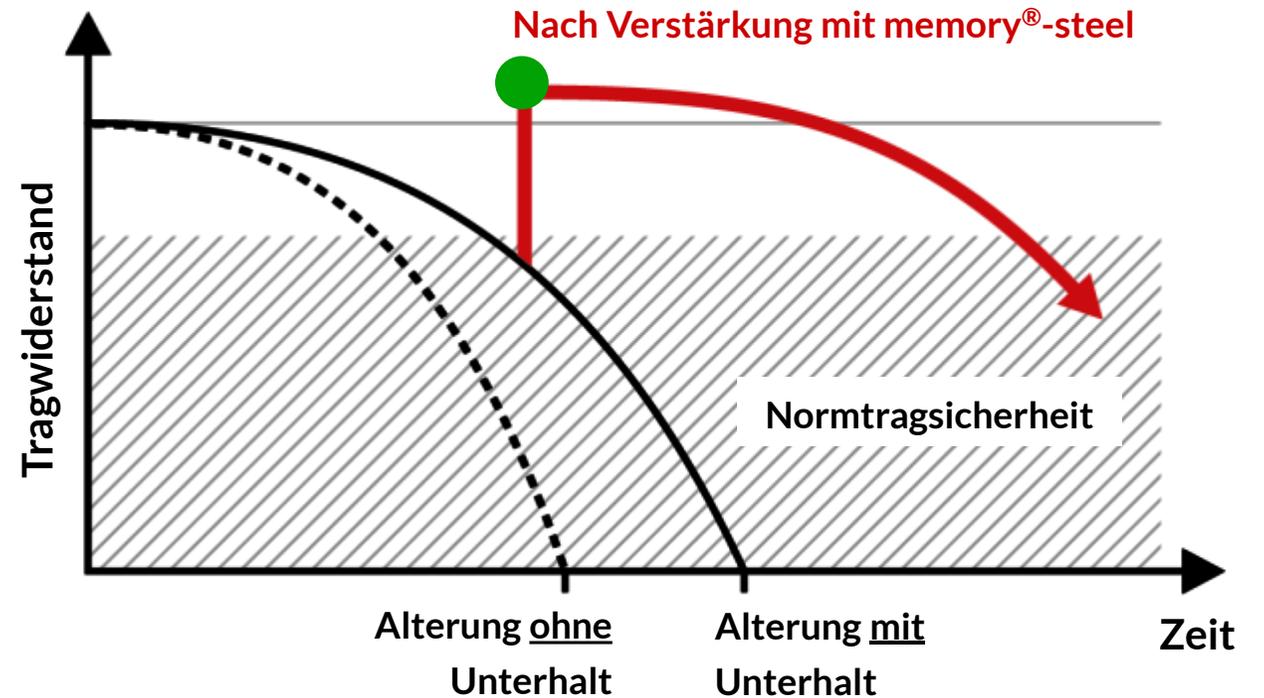
**2. Nach Alterung** (Relaxation, Ermüdung, Korrosion)

# 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<sup>®</sup>-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)



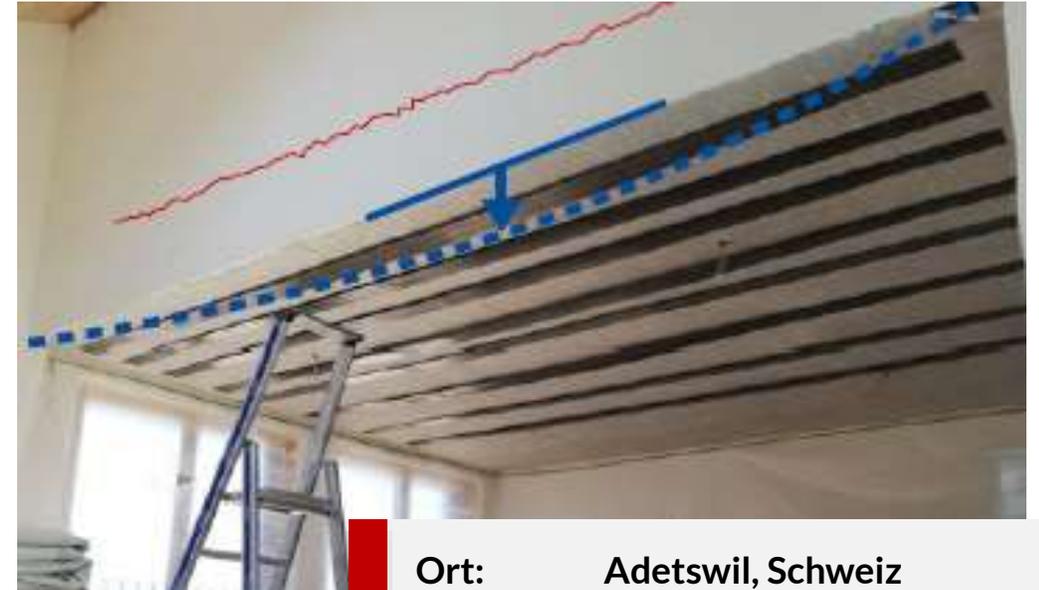
- ✓ Dank Überdrücken auch bei schlechter Betonqualität möglich!

- 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

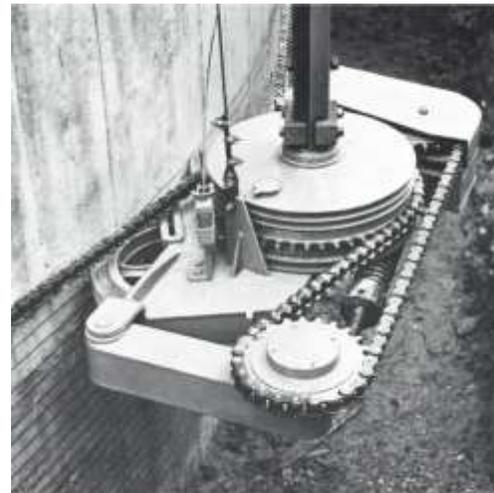
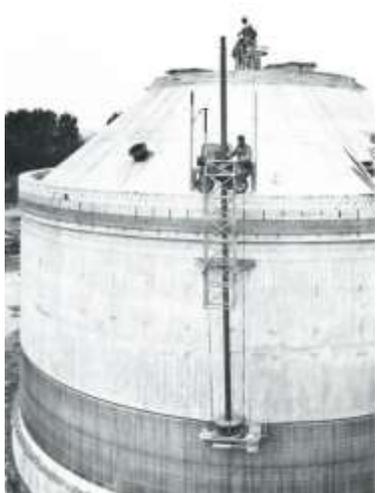
# ARA Silo



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

## Fassadenbohrungen

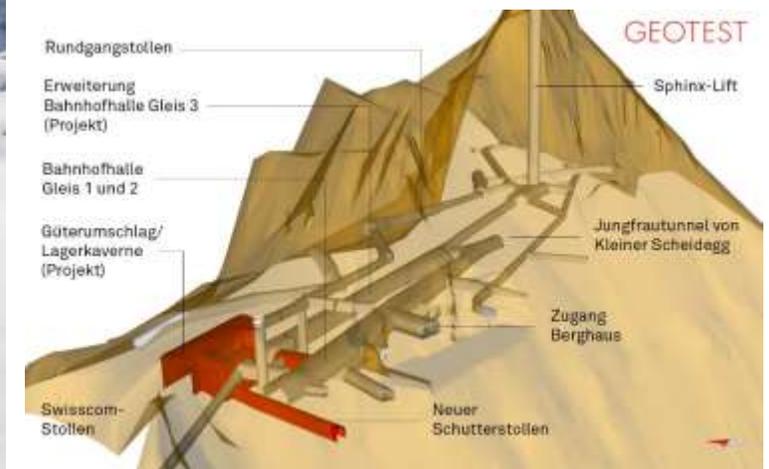
- Lokale Überbrückung von alten Spanndrähten, welche für die neue Fassade durchbohrt werden
- re-bar im Sika Reparaturmörtel



# 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

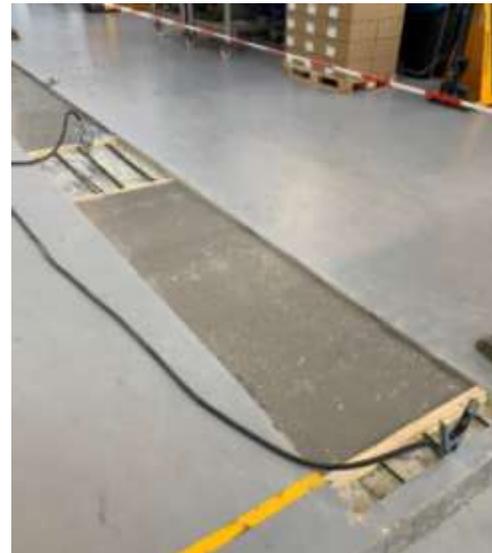
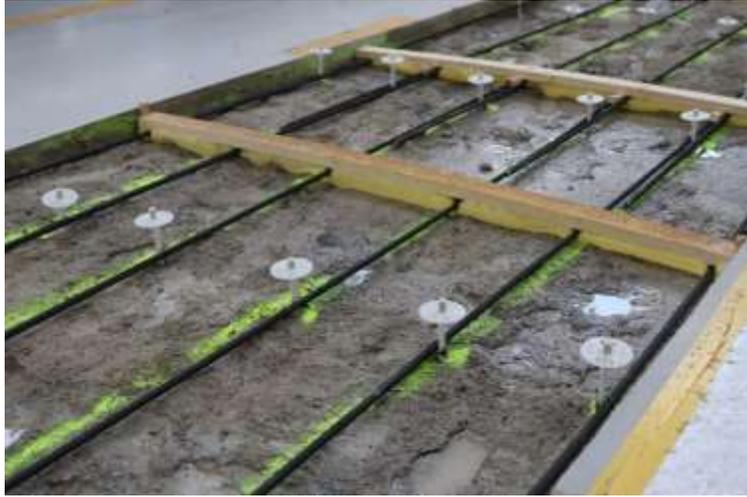


## Lasterhöhung auf Decke

- 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



**Normalkraft auf Mauerwerk**



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



# Robuste Komplettlösung Brückenträger



## Alterung der Betonbrücke

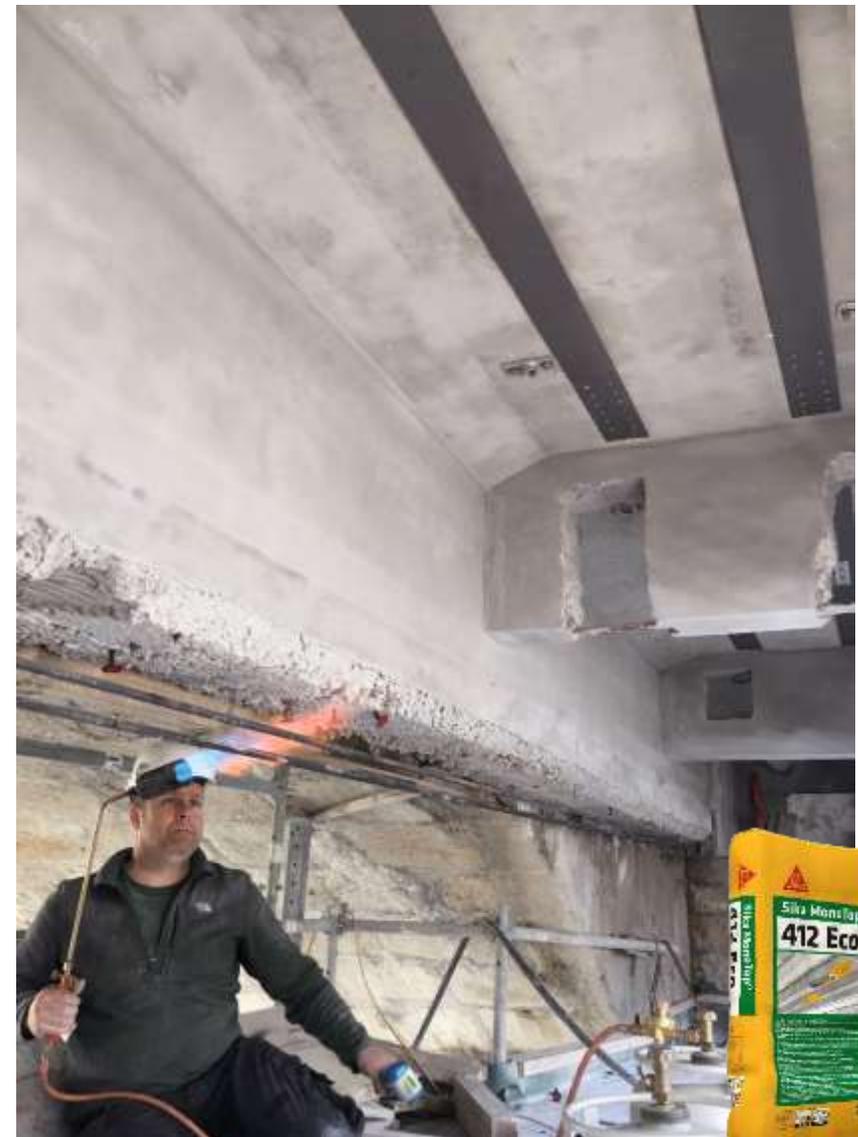
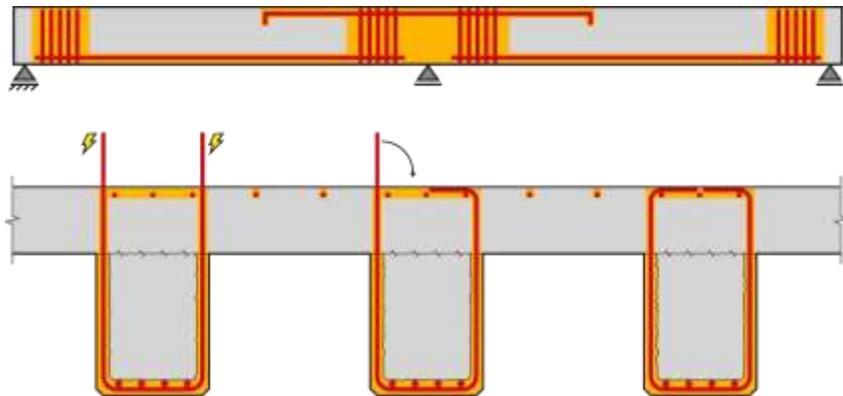
- Robuste Biegeverstärkung Brückenträger
- Schubverstärkung und Überdrückung der Endverankerung
- Erhöhung der Lebensdauer

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

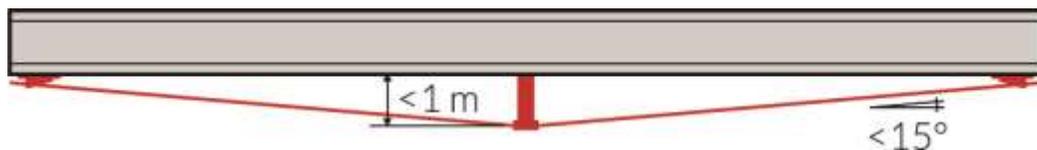


R18 Umlenkstütze, an  
Stahlträger geklemmt

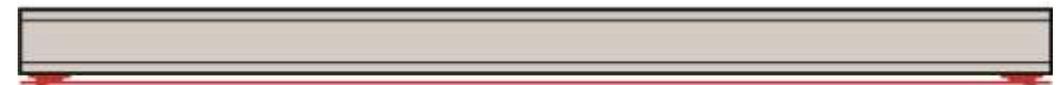


R18 Muttern/U-Scheiben

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<sup>®</sup>-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
<b>Vorgespannte Verstärkungsschicht mit memory-steel</b>	<b>~ 15</b>
Engineering / Planung / Diverses	~ 20
<b>Total</b>	<b>100</b>



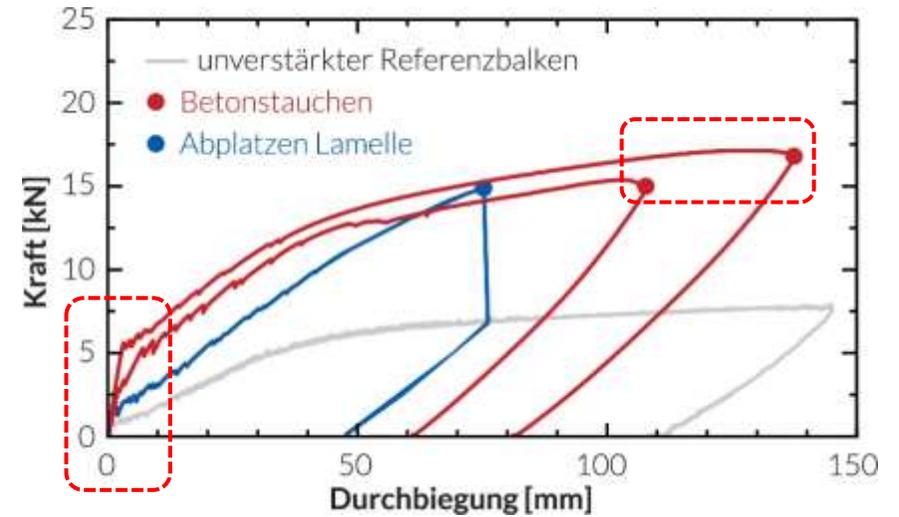
**Robuste Gesamtlösung mit ca. 15 % Kosten**



**Payback: Kosten können über erhöhte Lebensdauer amortisiert werden!**



# Vergleich re-plate mit CFK-Lamellen

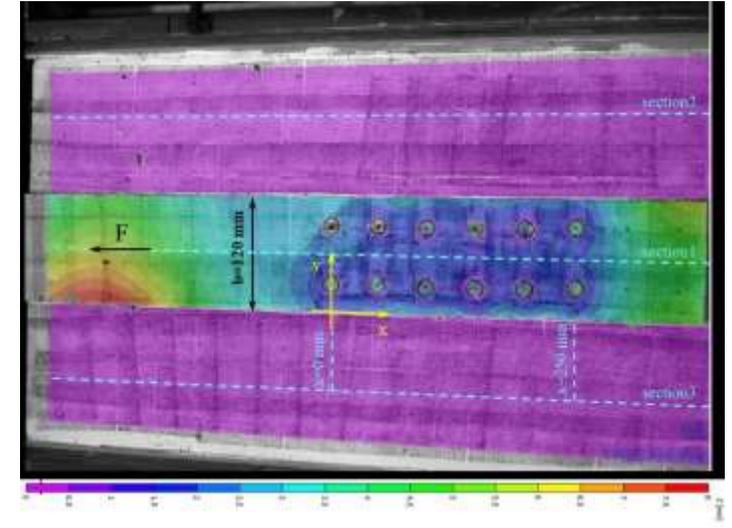
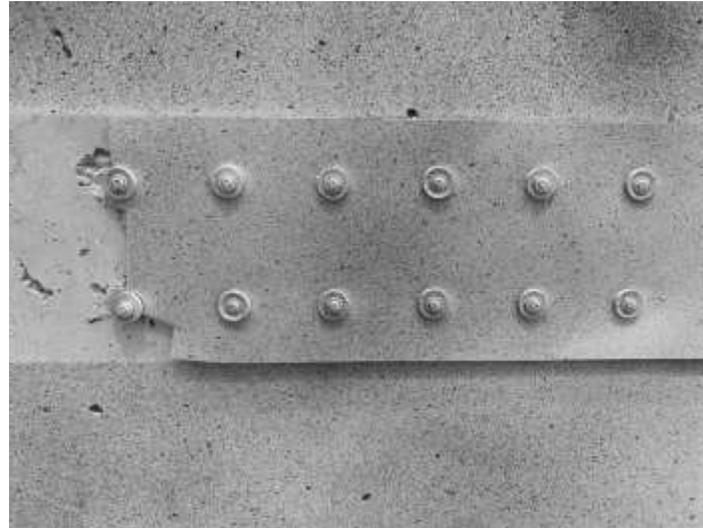
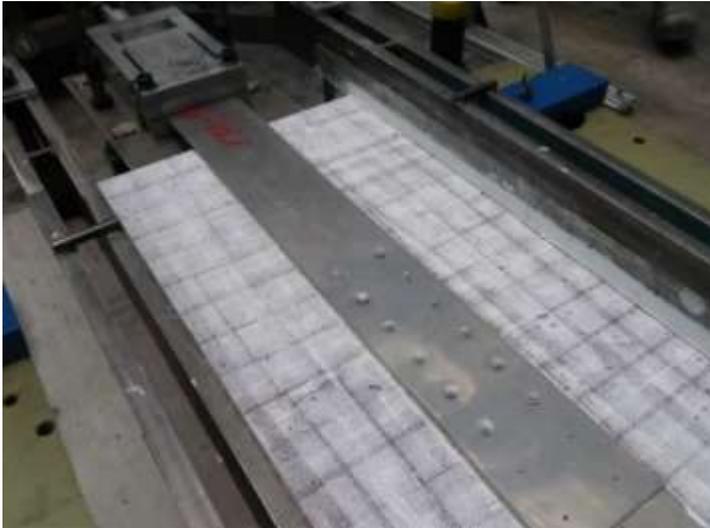


	re-plate	CFK-Lamelle
Axiale Steifigkeit EA [kN]	$\sim 10 \cdot 10^3$	$\sim 11 \cdot 10^3$
Risslast [kN]	3.4 - 5.4	2.0

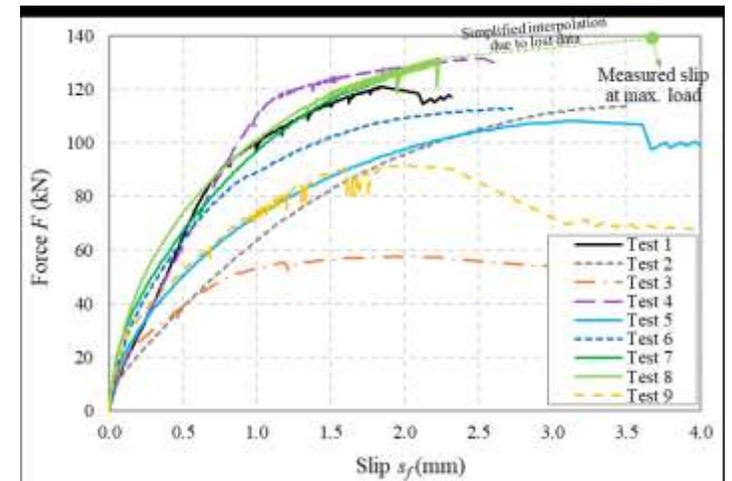
**70 - 170% Erhöhung der Risslast im Vergleich zu CFK-Lamellen**

**Erhöhung der Tragsicherheit**

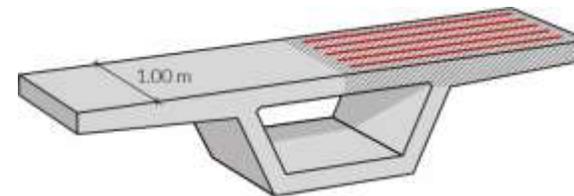
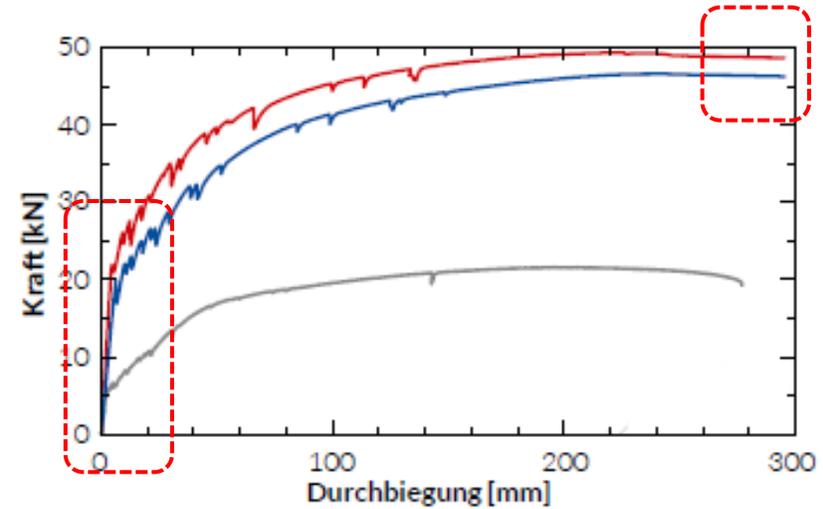
# Verankerungsversuche Direktbefestigung



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



# 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**

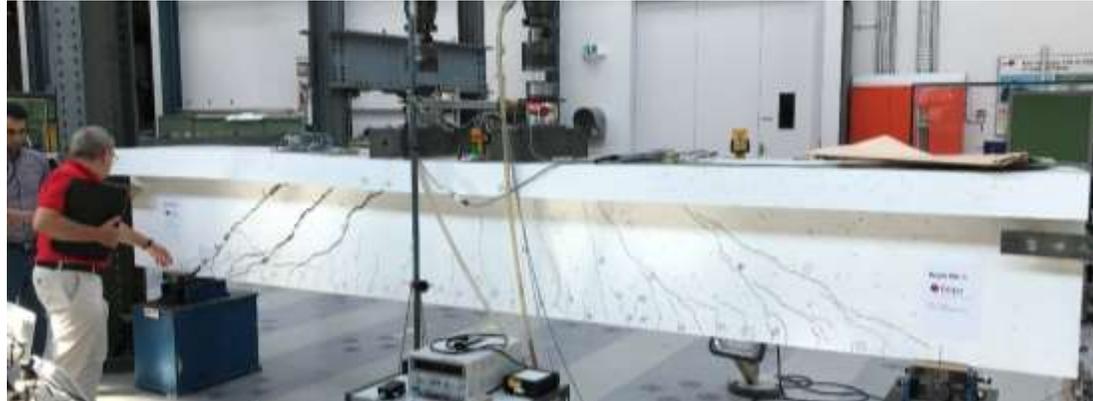


**Höhere Lebenserwartung des Bauwerks**

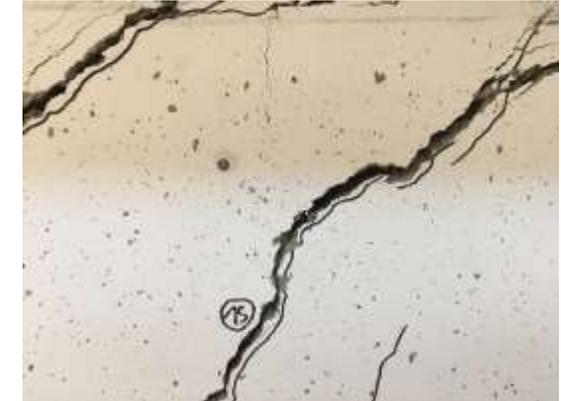
# Grossversuch: Schubverstärkung an T-Träger



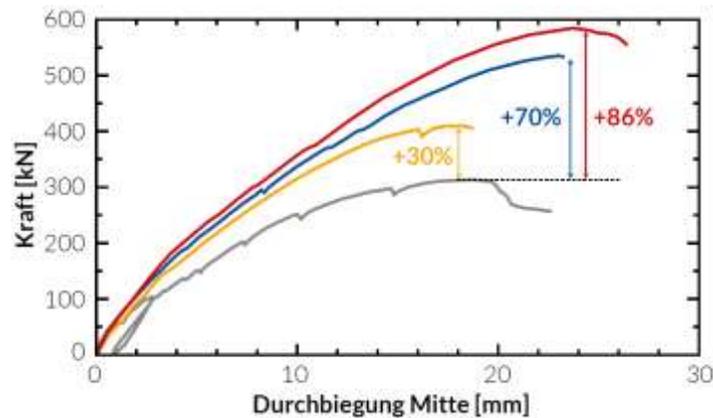
Dehnmessstreifen fixieren



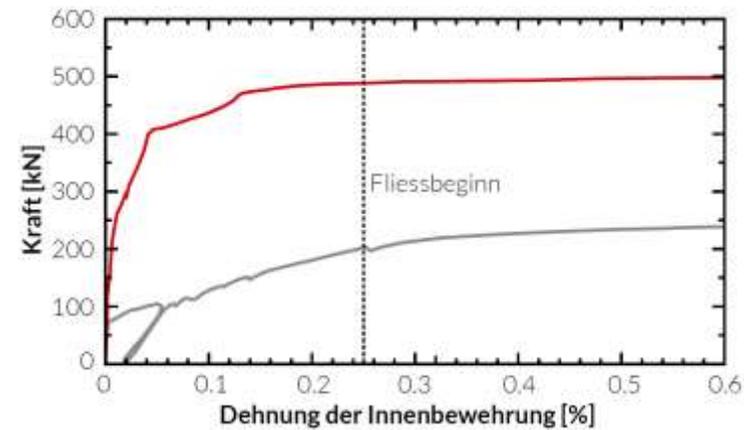
Traglastversuch bis zum Bruch der innenliegenden Schubbügel



Klaffende Risse beim teilzerstörten Referenzträger

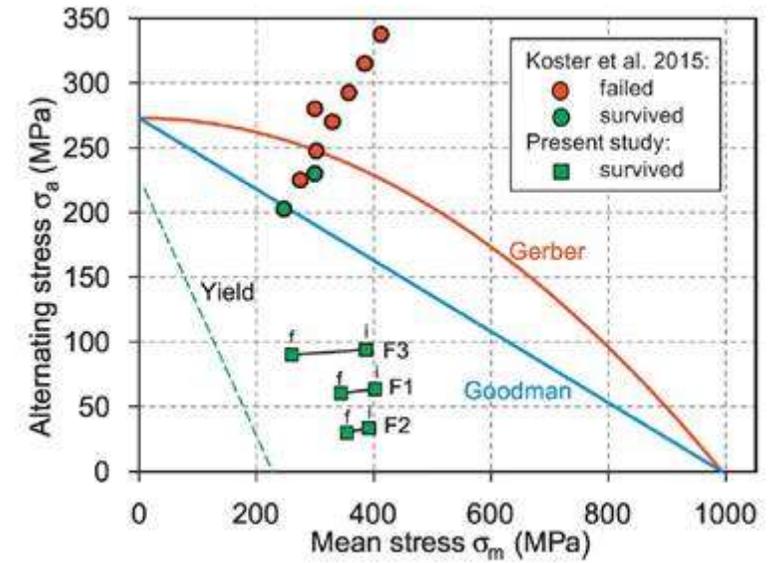


Steigerung Traglast des teilzerstörten Referenzträgers um 30 %



Entlastung der inneren Schubbügel, verbessertes Ermüdungsverhalten

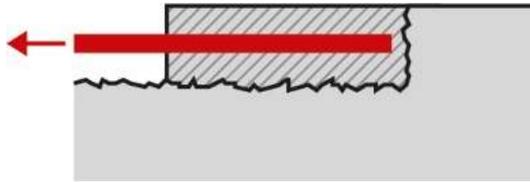
# Ermüdungsversuche



**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



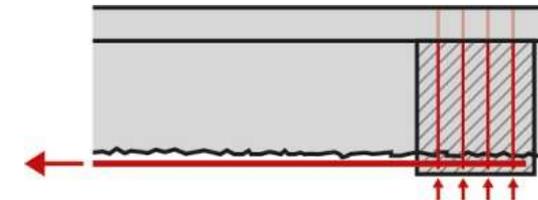
Standard über Mörtelverbund



über angeschweisste Endverankerung

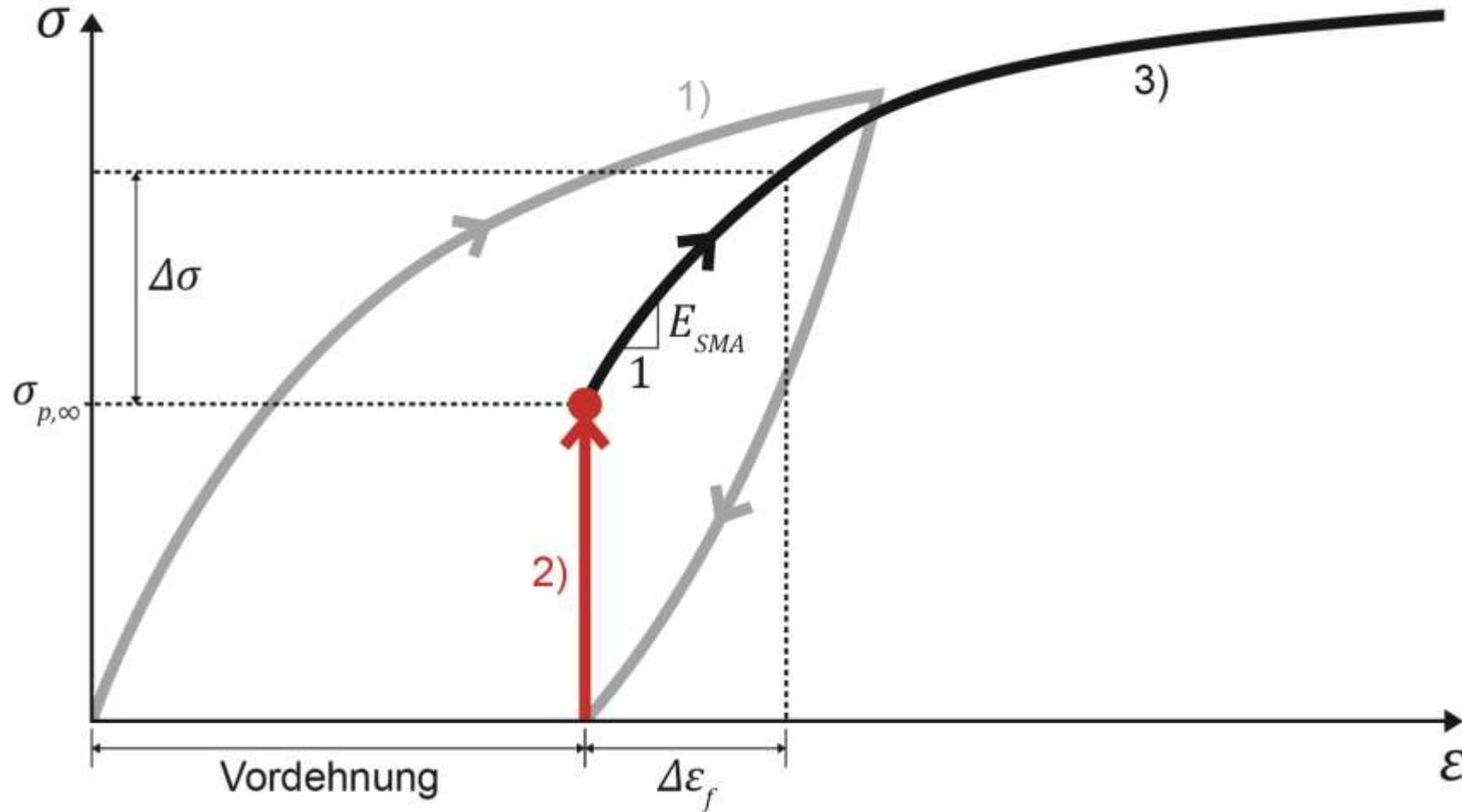


mit Endhaken im Beton tiefenverankert



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<sup>®</sup>-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

