



memory[®]-steel procédé de précontrainte

Pour renforcement ultérieur ou constructions neuves

Dr Julien Michels

Séance Lausanne, 28.9.2022



Le memory[®]-steel



Pré-déformation en usine



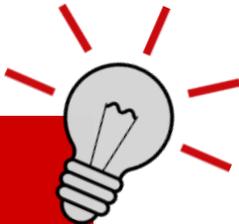
Transformation sur site par
chauffage



Retrécissement empêché:
Précontrainte

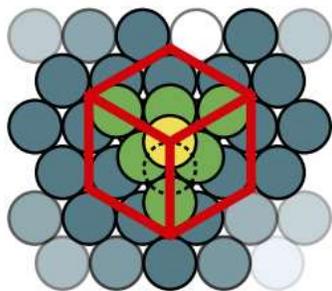
Alliage à mémoire de forme sur base de fer

Les alliages à mémoire de forme «AMF» se déforment après prédéformation dans leur état (forme) initial suite à un chauffage à des températures élevées (grâce à une transformation du réseau cristallin).



memory[®]-steel
est basé sur le fer

Austénite

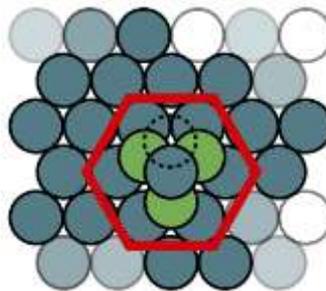


Alliage à l'état initial
dans le laminoir

Prédéformation
usine chez re-fer



Martensite

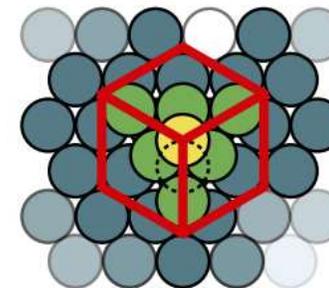


Livraison et installation
sur site

Activation
«Chauffage»



Austénite



Transformation sur site:
Précontrainte due au rétrécissement empêché

Sites re-fer, brevets, R&D



• Sites re-fer

• Collaborations avec universités

Distribution mondiale par Sika.



Protection par brevets dans
marchés cibles à travers le monde
(Procédé et alliage)

Renforcement passif/actif?

Matériaux composites PRFC



- Activation avec déformation additionnelle (passif)
- Résistance en traction élevée mais rupture fragile
- Rupture sur béton par délamination à approx. 6-8‰
- Redistribution de forces/création de rotules pas possible

memory®-steel



- Renforcement actif du à la précontrainte
- Résistance en traction élevée et très ductile
- Rupture en flexion par compression du béton
- Redistribution de forces/création de rotules possible

memory[®]-steel pour votre projet



Procédé re-plate pour constructions en béton

«chargement statique»



Procédé re-bar pour constructions en béton

«chargement statique et dynamique»



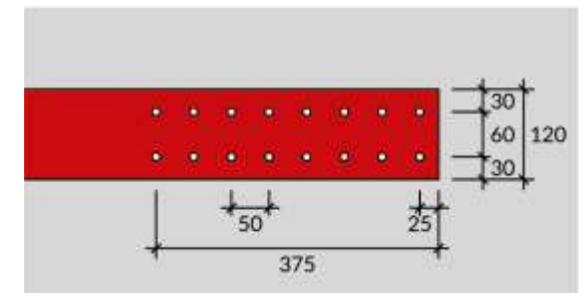
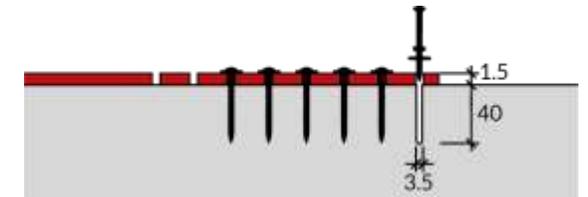
Procédé re-plate



Produit	Force de traction max.	Ancrage est déterminant
re-plate 120/1.5 mm	83.1 kN (Valeur de dim.)	
Activation / Chauffage	Température	Précontrainte
Solution chalumeau à gaz	300-350 °C	68.4 kN
Émetteur infrarouge	165 °C	54.0 kN



- Livraison sur site: prédéformé, prépercé
- Effet porteur immédiat après activation et refroidissement
- Bande externe sans adhérence
- Fixation directe Hilti X-CR 48 P8 S15



Application simple et rapide



Applications diverses

Changement du système statique, transformations:



Renforcement en flexion (moments positives)

Renforcement séisme:



Joints de dilatations



Renforcement murs (ex.: cage ascenseur)

Solutions spéciales:



Ancrages avec soudures
«memory®-steel peut être soudé»

Protection ignifuge très simple



SikaCem® Pyrocoat

«Enduit de protection ignifuge» appliqué à la machine

Résistance	R30	R60	R90
Épaisseur	12 mm	15 mm	23 mm



Protection contre la corrosion nécessaire?

memory[®]-steel est un acier inox
(comparable au 1.4003 selon DIN EN 10088)



Classe de résistance I

Une protection contre la corrosion pour des éléments exposés aux chlorures et/ou dans un environnement humide est recommandée!



SikaCor[®] EG-1

«Revêtement» appliquée en usine

memory[®]-steel pour votre projet



Procédé re-plate pour constructions en béton

«chargement statique»



Procédé re-bar pour constructions en béton

«chargement statique et dynamique»



Procédé re-bar



Produit	Force de traction max.	Déf. à la rupture
re-bar 10	46.7 kN (dimensionnement)	30 %
re-bar 16	109.8 kN (dimensionnement)	30 %

Chauffage	Température	Précontrainte
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



- Livraison sur site: pré-étirée, longueurs fixes ou avec coupleurs
- Effet porteur immédiat après chauffe, refroidissement et application mortier
- Précontrainte interne avec adhérence

En mortier de reprofilage ou projeté

**Sika MonoTop®
-452 N**

Mortier de
reprofilage

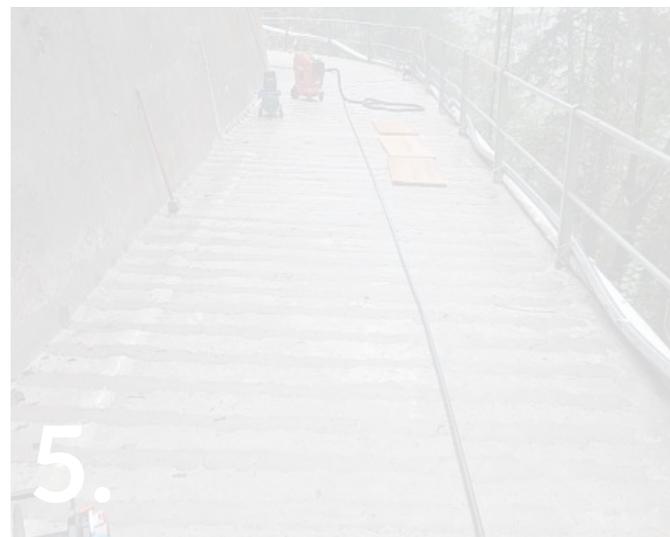
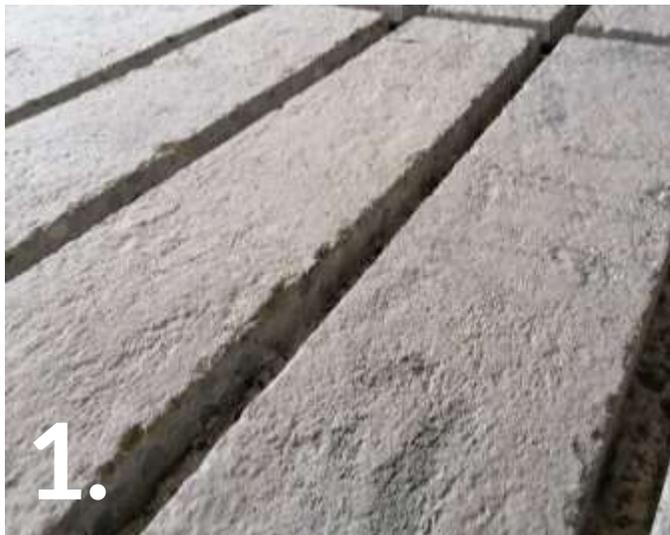


**Sika MonoTop®
-412 Eco/-4012**

Mortier projeté



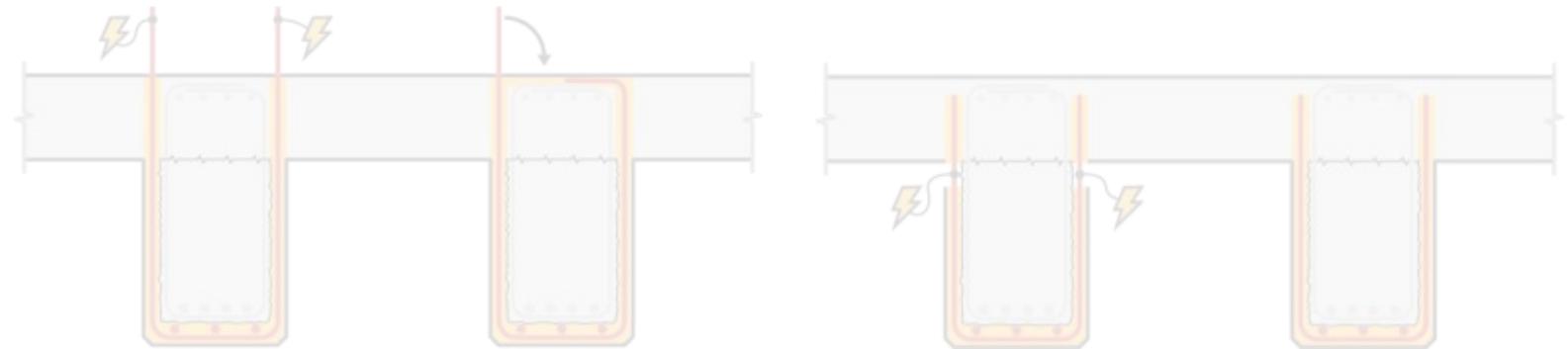
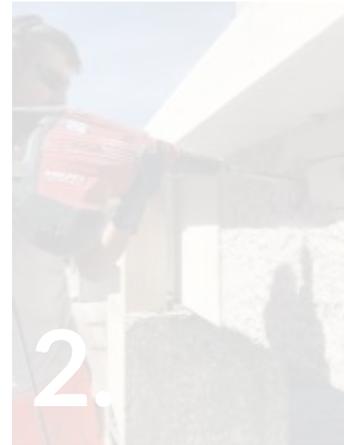
En rainure avec mortier de scellement



SikaGrout®-314 N

Mortier de scellement

Application d'étriers re-bar en U



Sika® FastFix-121

Fermeture en surface

Sika® InjectoCem-190

Injection de fissures

Applications dans le bâtiment

Changement du système statique, transformations:

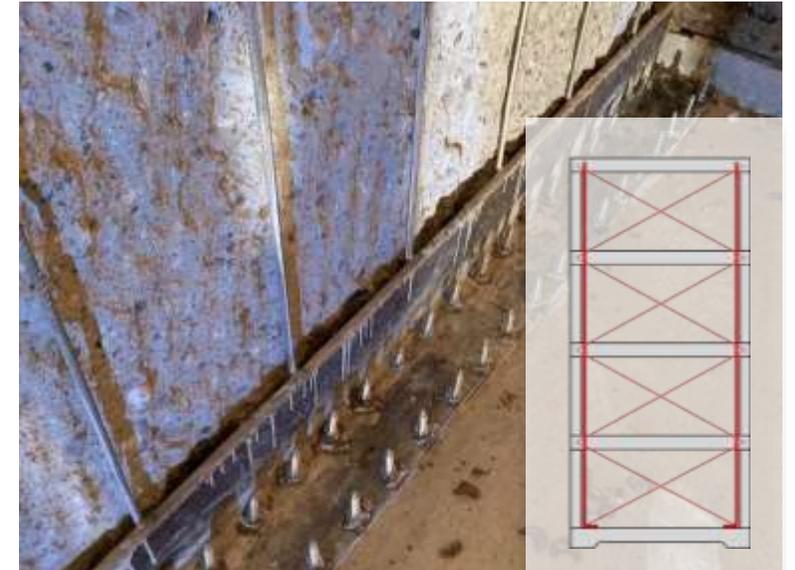


Renforcement en flexion (positive ou négative)



Renforcement à l'effort tranchant

Renforcement sismiques:



Renforcement de murs (horizontales, verticales, diagonales)

Applications pour les infrastructures

Renforcement en flexion, augmentation de la durée de vie:



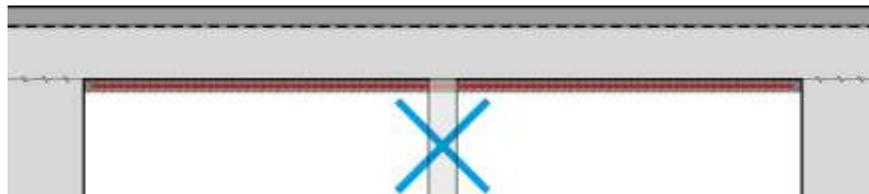
Abrasion hydromécanique du béton



Installation des re-bar et ancrage aux extrémités par mortier projeté

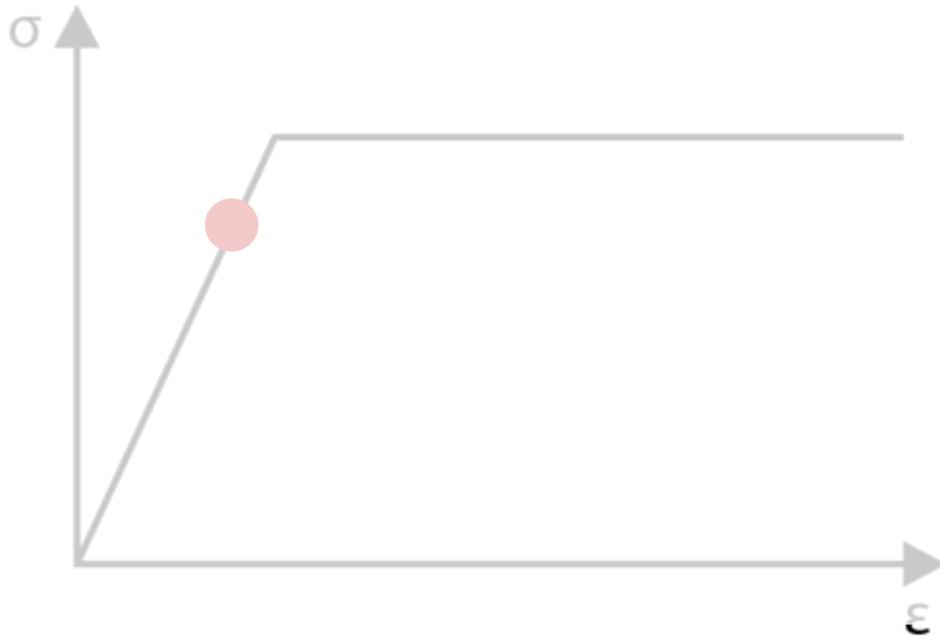


Chauffage re-bar, application du mortier projeté sur la longueur libre, finition de la surface

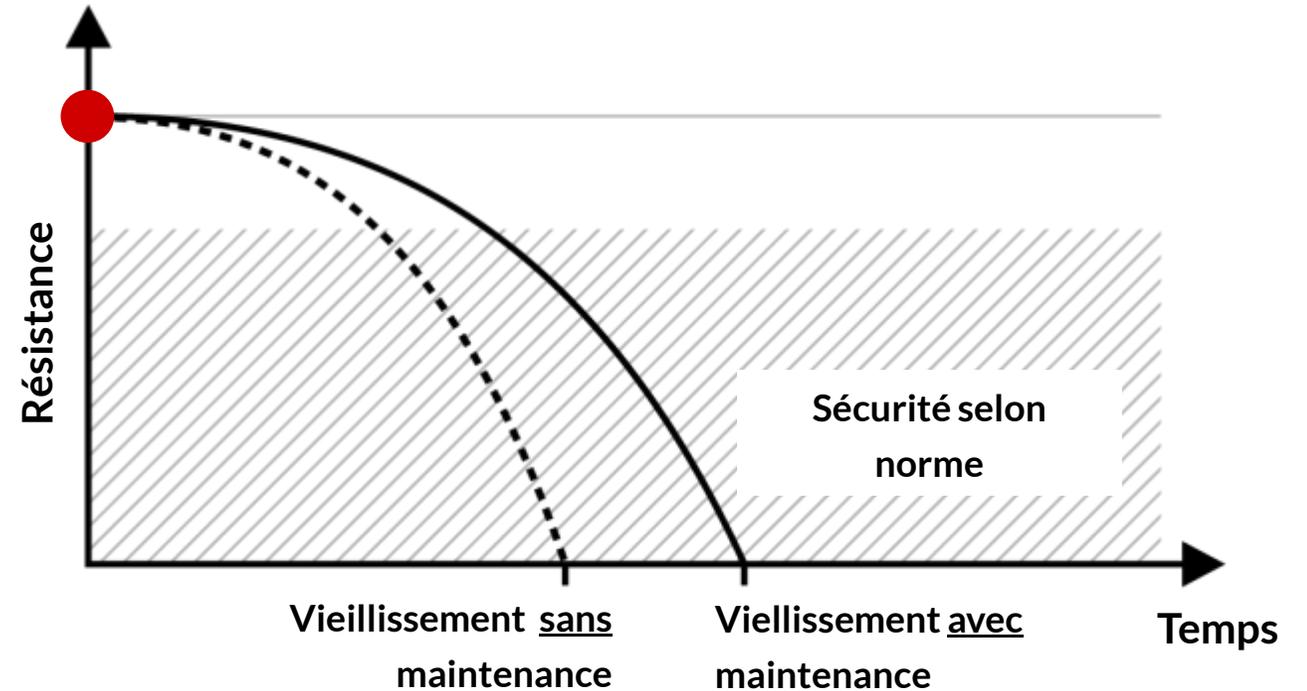


Nouvelle époque pour la construction

Contrainte dans l'armature interne:



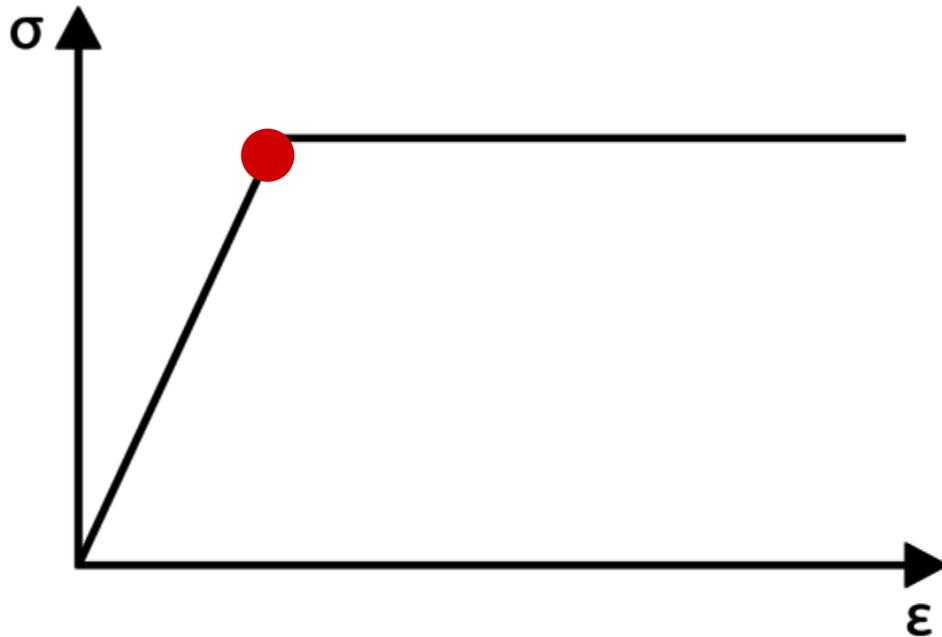
Durée de vie:



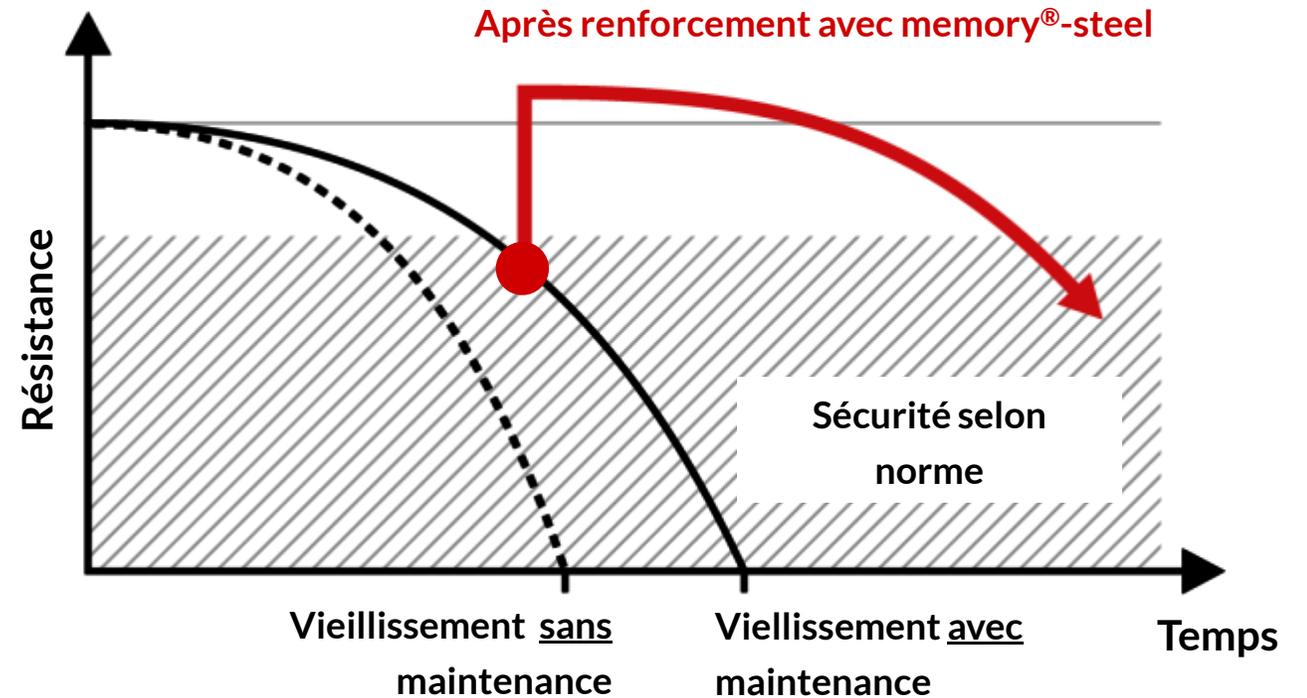
Après vieillissement (Relaxation, fatigue, corrosion)

Nouvelle époque pour la construction

Contrainte dans l'armature interne:



Durée de vie:



Due à la précontrainte (soulagement de l'armature interne)

Et ceci fonctionne?



**Renforcement
d'éléments porteurs
partiellement détruits
après un séisme est
possible**

En résumé:



Efficace. Simple. Rapide.



Robuste, solutions complètes et diverses avec produits de qualité



Renforcement durable de l'infrastructure existante, application ciblée des ressources

Matériau à 100% recyclable



Comparaison coûts/bénéfices

Systemes Sika avec matériaux composites PRFC



- ✓ Augmentation de la capacité portante

Prix x 1
«une mesure»

La combinaison des deux systèmes est la clé du succès.

memory®-steel en mortier Sika



- ✓ Charge ELS
- ✓ Charge ELU
- ✓ État d'incendie couvert
- ✓ Redistribution d'efforts (séisme)
- ✓ Augmentation de la durée de vie

Prix x 5
«cinq mesures»



Références



Quand est-ce qu'on utilise le memory[®]-steel?

Bâtiment

- Réduction de flèches



- Renforcement en flexion, si charge incendie peut être couvertes avec re-plate



- Renforcement au poinçonnement



- Renforcement parasismique



ou

- Solutions spéciales



Infrastructures

- Renforcement en flexion et/ou effort tranchant (cimentaire, ouverte à la diffusion)



- ✓ La compression verticale permet d'appliquer le système aussi en cas de béton de qualité médiocre!

- Augmentation de la durée de vie

- ✓ Due au soulagement de l'armature interne!

- ✓ Nouveau dépôt alcalin pour armatures!



Immeuble commercial



Lieu: Adetswil, Suisse
Année: 2020
Produit: re-plate



Flèche de la dalle, fissure dans la maçonnerie

- Renforcement en flexion (moment positif)
- Fermeture de la fissure (rouge) avec précontrainte

Renforcement après incendie

APARTMENT ON FIRE IN
BRUNNEN, SWITZERLAND



re-plate:

- Fissures et flèches (charge ELS)
- Charge incendie

Sika® CarboDur®:

- Charge ELU restante

SikaCem® Pyrocoat:

- Protection ignifuge nécessaire uniquement pour re-plate!

Lieu: Brunnen, Suisse
Année: 2020
Produit: re-plate

Bosshard-Farben extension de la production



Transformations et carottages

- Renforcement en flexion (moment positif)
- Combinaison avec bandes Sika® CarborDur®
- Renforcement poinçonnement avec re-bar en mortier de reprofilage (chauffage électrique)

Lieu: Rümlang, Suisse

Année: 2022

Produits: re-plate, Sika® CarborDur®, re-bar 16, Sika MonoTop®-452N

Bosshard-Farben extension de la production



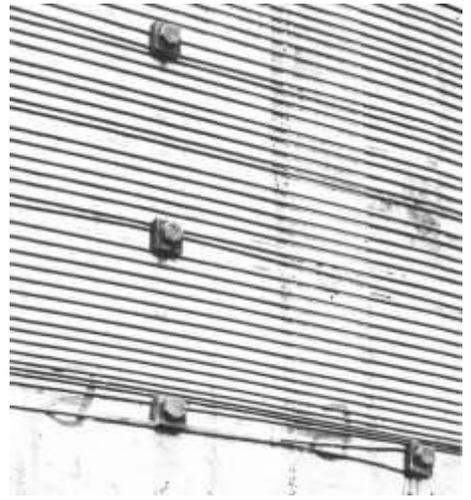
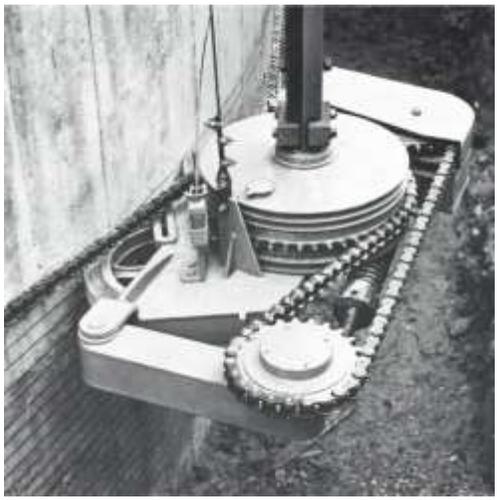
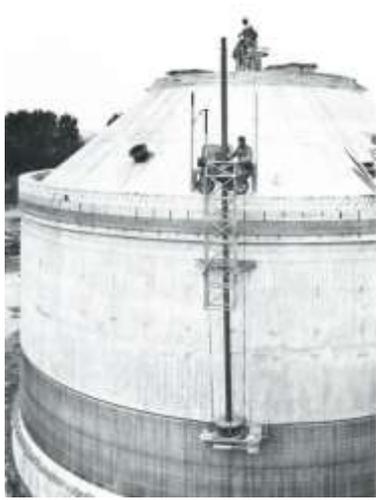
ARA Silo en béton



Lieu: Cham, Suisse
Année: 2022
Produits: re-bar 16, Sika MonoTop®-452N

Carottage en surface

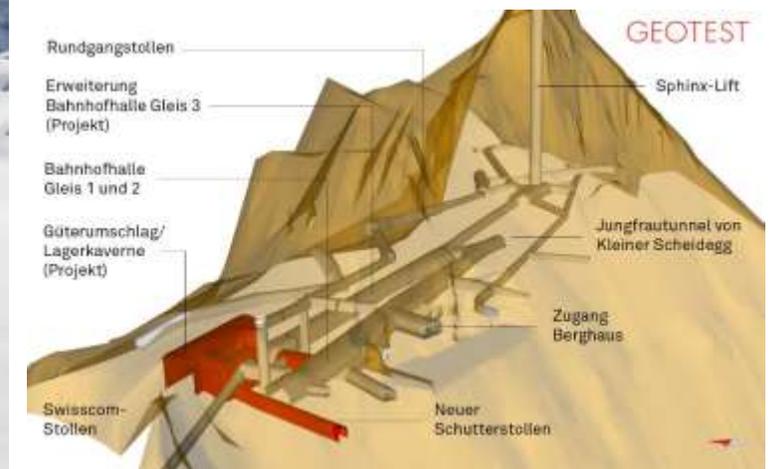
- Remplacement local de torons/fils précontraints détruits lors des carottage
- re-bar en mortier de réparation Sika



Renforcement d'une voûte gare souterraine



Lieu: Jungfrauoch BE, Suisse
Année: 2019
Produits: re-bar 10, Sika® Rock Gunit BE-8
Ingénieur: B+S Ingenieure, Berne



Renforcement d'une voûte gare souterraine



Nouvelle connection d'une galérie

- Renforcement local avec re-bar en béton projeté
- Gunite pour application en tunnel par voie sèche



Transformation production Delica

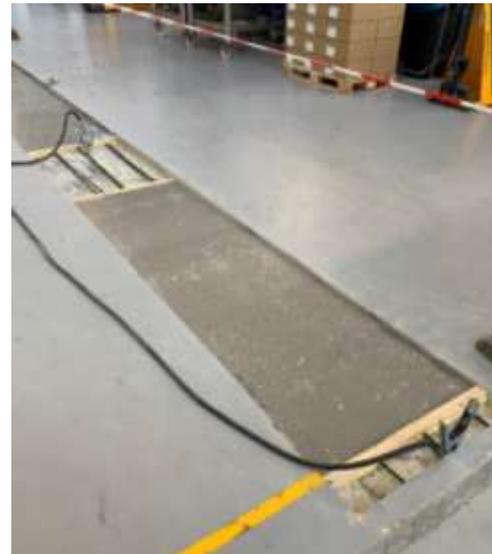
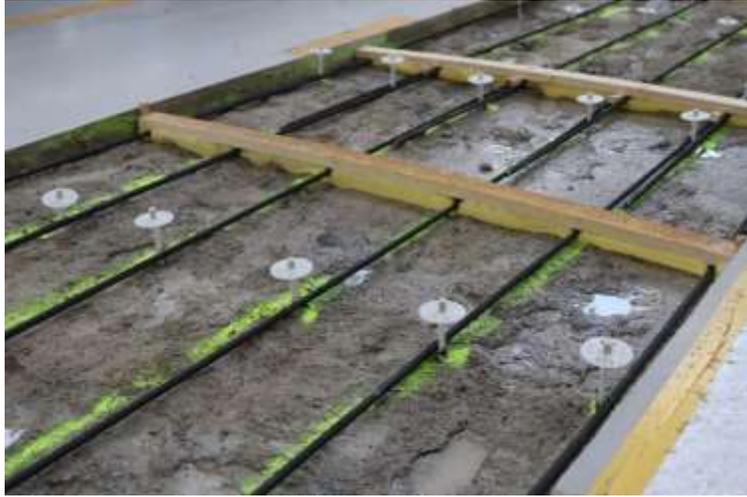


Augmentation de la capacité portante d'une dalle en béton

- Renforcement flexion négative avec re-bar en mortier de scellement Sika
- Renforcement flexion positive avec bandes PRFC Sika® CarboDur®

Lieu: Birsfelden BS, Suisse
Année: 2021
Produits: re-bar 16, SikaGrout®-314 N, Sika® CarborDur®

Transformation production Delica



Solution robuste pour poutres en béton (pont)



Vieillessement d'un pont

- Renforcement robuste en flexion de deux poutres en béton
- Renforcement effort tranchant et compression de la zone d'ancrage
- Augmentation de la durée de vie

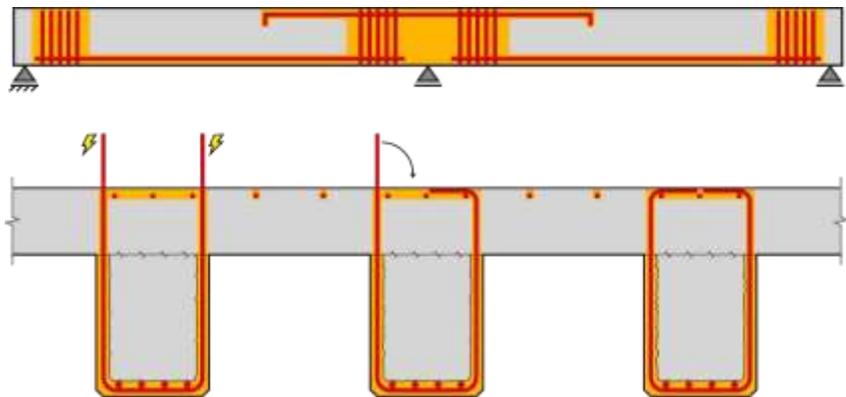
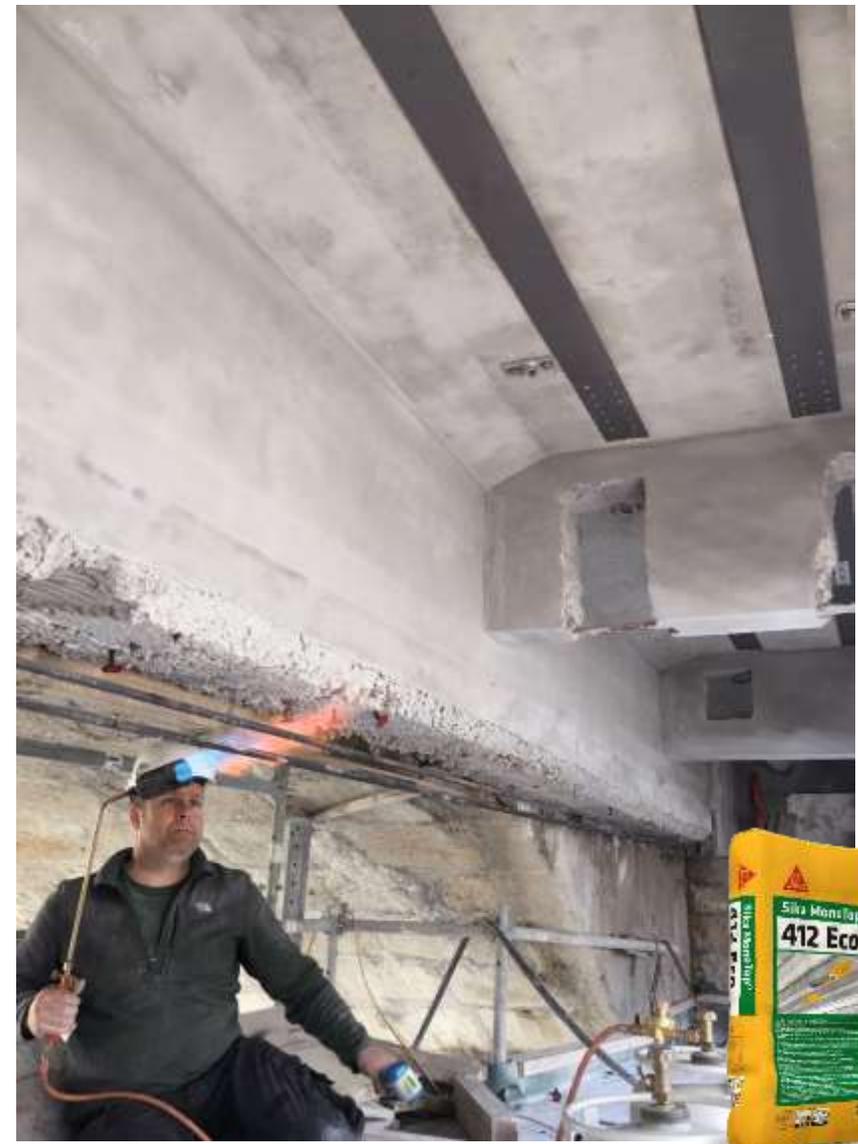
Lieu: Courendlin JU, Suisse

Année: 2021

Produits: re-bar 16, Sika MonoTop®-412 Eco, re-plate

Ingénieur: GVH-BP Jura SA

Solution robuste pour poutres en béton (pont)



Retour complet en zone de compression et ancré dans le béton «Analogie bielles et tirants»

Renforcement sismique de murs en maçonnerie



Lieu: Sembracher VS, Suisse
Année: 2022
Products: re-bar 16, Sika MonoTop®-412 Eco, Sika AnchorFix, Sika Grout 311
Ingénieur: THETAZ Ingénieurs Civils SA par M. Ronald Troillet



Effort normal sur mur en maçonnerie



Procédé re-bar R18 pour constructions métalliques



Procédé re-bar R18



Produit	Force de traction max.
re-bar R18	190.8 kN

Chauffage	Température	Précontrainte
Chalumeau à gaz	300-350 °C	96.7 kN



- **Livraison sur site: vorgedehnt, avec fils aux extrémités, avec coupleurs**

SikaCor® protection corrosion

Selon fiche technique re-fer

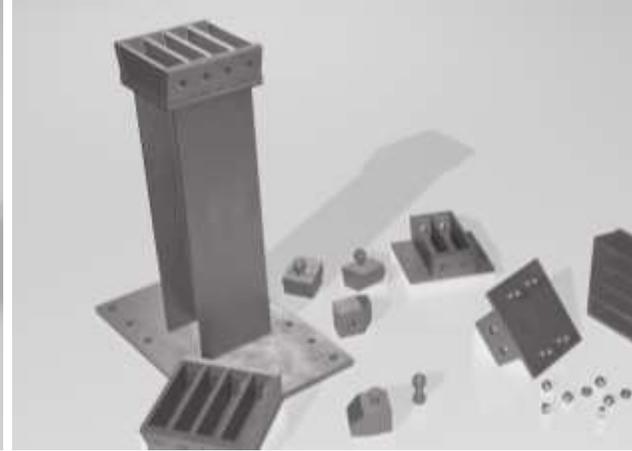
Composants



Coupleurs R18 C



R18 ancrages d'extrémité,
boulonnés au profilé en acier

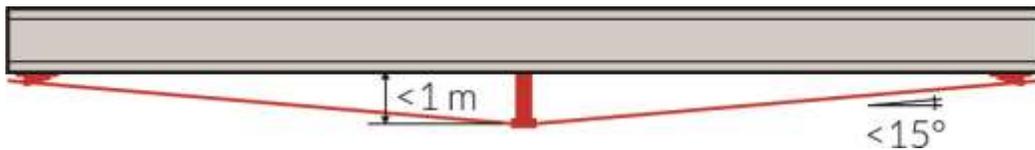


R18 déviateur, fixé au profilé
en acier



R18 écrous/rondelles en U

Renforcement avec déviation:



Renforcement en parallèle:



Pont routier Capitaine Jaroš



Nouvelle norme, viellissement

- Renforcement en flexion d'un pont routier mixte acier/béton avec re-bar R18
- Réduction de la flèche
- Augmentation de la durée de vie (fatigue)

Lieu: Karlovy Vary, Rép. Tchèque
Année: 2020
Produits: re-bar R18, SikaCor® System

Pont routier Capitaine Jaroš





memory[®]-steel... votre tour!



Contrôle de qualité

En usine



Essais matériaux en usine

Sur site



Qualité béton avec marteau

Application



Contrôle température lors du chauffage

Contrôle final



Contrôle de la force de précontrainte avec «arbalète»

Produits de qualité Sika

memory®-steel est testé en système avec des produits Sika tels que mortier projeté, mortier de réparation, mortier de scellement ainsi que protection contre l'incendie et corrosion. En cas d'utilisation d'autres produits, re-fer ne peut garantir aucune responsabilité.

Coûts/bénéfice en cas de renforcement

Estimation coûts cas pont autoroutier:

Travail	Coûts (%)
Déviation trafic / échaffaudage / autres installations / etc.	~ 20
Remplacement couche bitume	~ 15
Étanchéité dalle / évac. eaux usées	~ 15
Déconstruction / remplacement béton / etc.	~ 15
Couche précontrainte avec memory-steel	~ 15
Engineering / planification / Divers	~ 20
Total	100



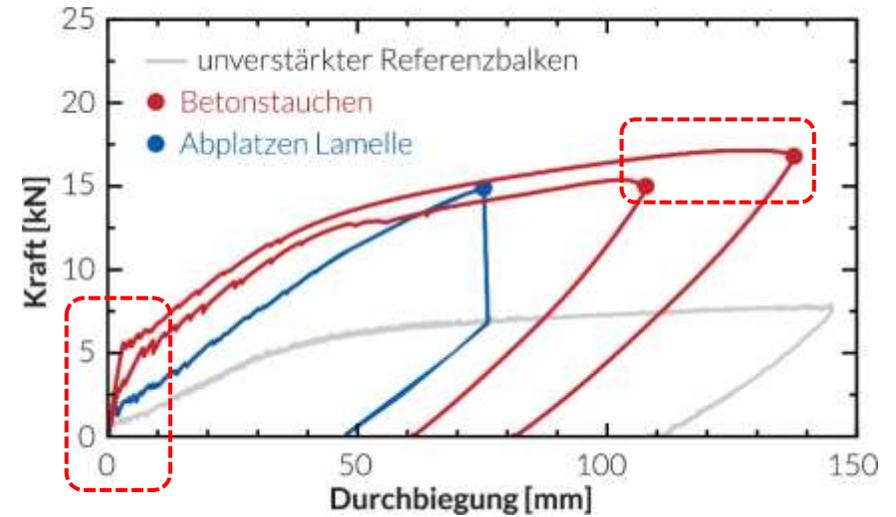
Solution robuste avec ca. 15 % coûts



Payback: coûts peuvent être amortisés au cours de la durée de vie!



Comparaison re-plate avec bandes PRFC

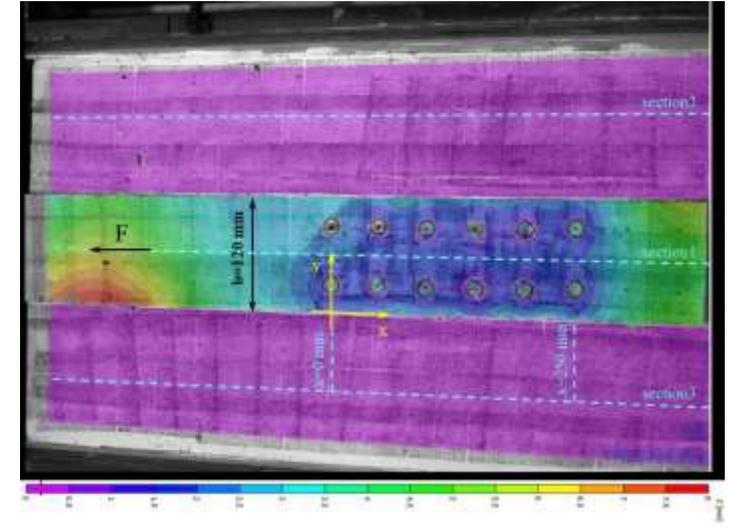
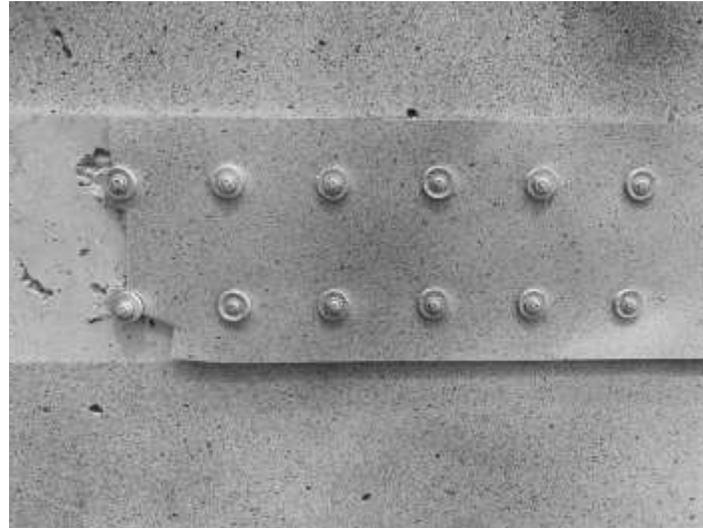


70 - 170% augmentation de la charge de fissuration comparé aux lamelles carbone

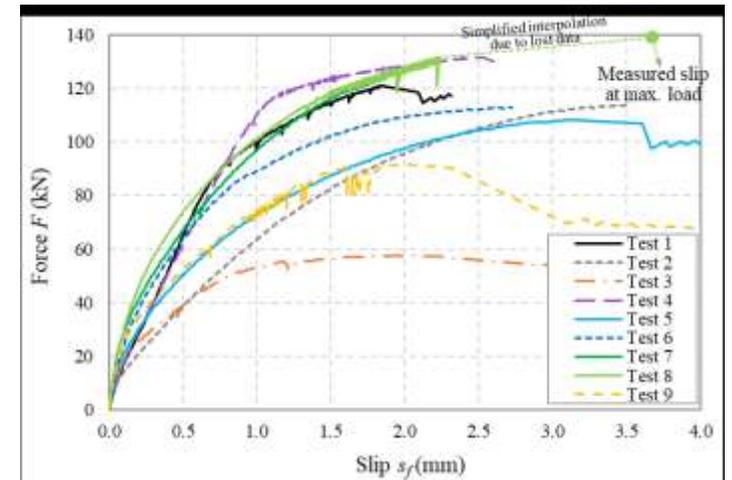
Augmentation de la capacité portante

	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

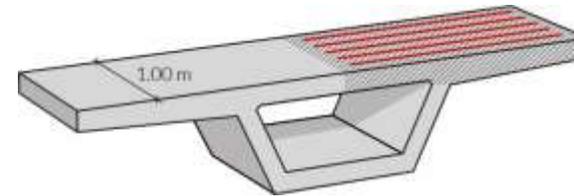
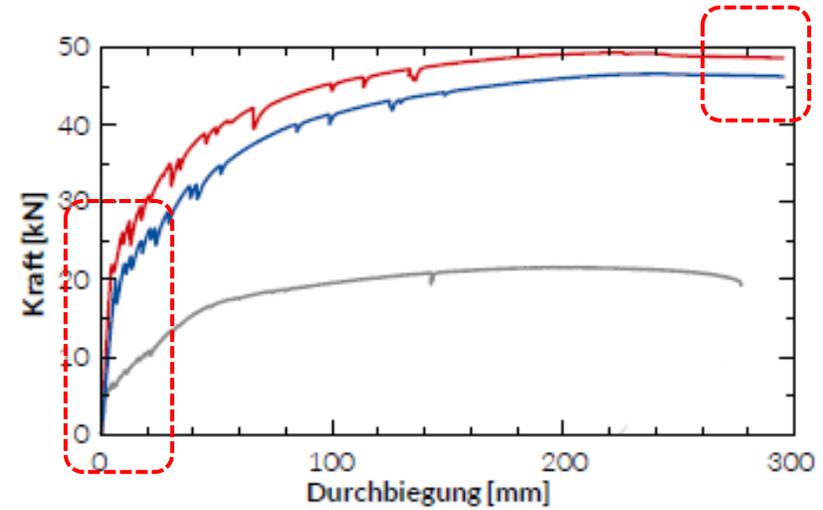
Essais ancrages fixation directe



- Rupture par cisaillement des fixation directes (clous) ou par traction de re-plate dans la première rangée des clous pour $f_{cm,cube} > 20 \text{ N/mm}^2$



Essai grande échelle: Renforcement dalle pont



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

Charge de fissuration triplée, de rupture doublée!

Réduction de la contrainte pour l'armature interne

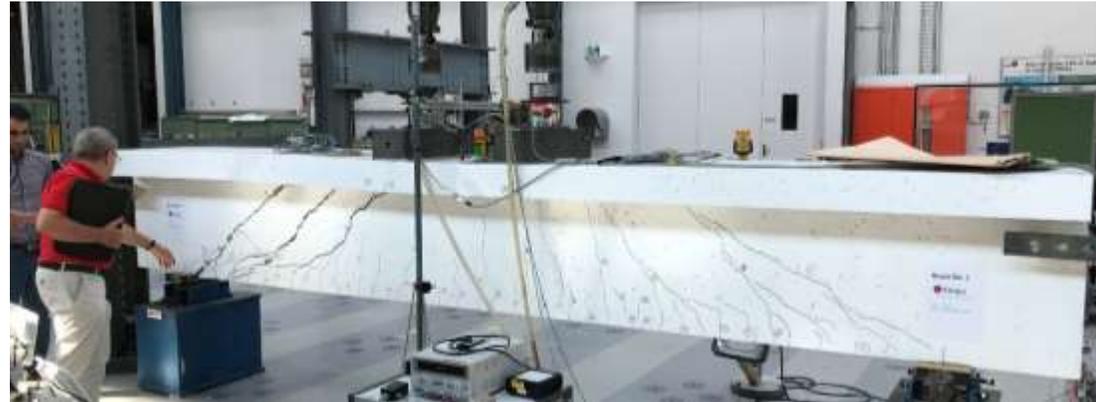


Augmentation de la durée de vie

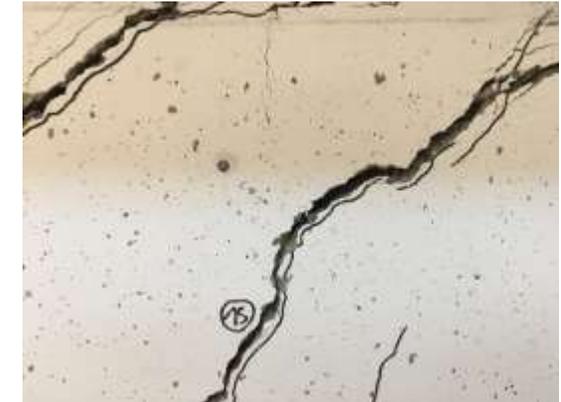
Essai grande échelle: effort tranchant poutre en T



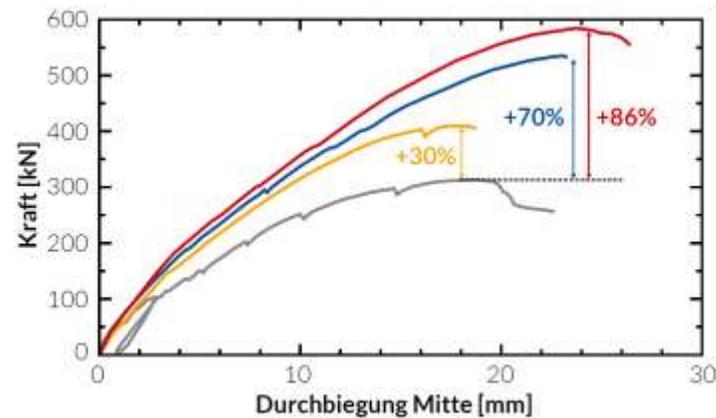
Capteurs de déformation



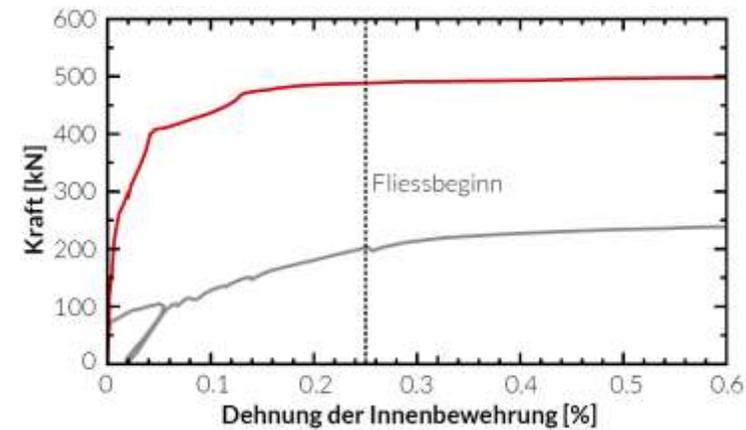
Essai de chargement jusqu'à la rupture des étriers



Fissures largement ouvertes > 1cm

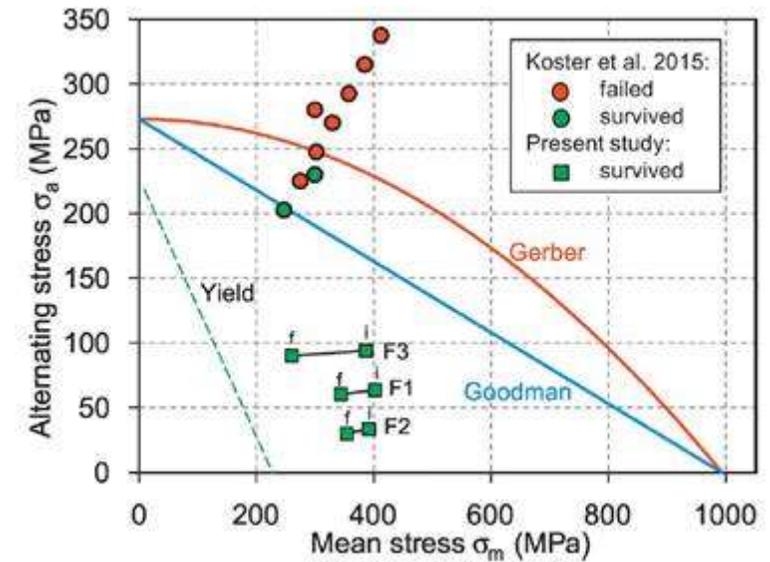


Augmentation de la capacité portante de la poutre de référence de 30 %



Soulagement des étriers internes, comportement vis-à-vis de la fatigue amélioré

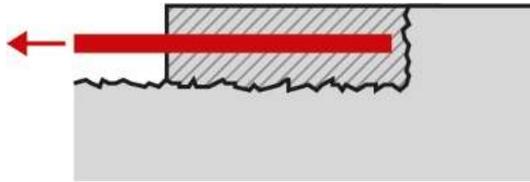
Essais fatigue



Due à la précontrainte, la contrainte moyenne de l'armature interne et l'amplitude peuvent être réduites et ainsi la durée de vie prolongée.

Divers essais de fatigue avec re-bar et re-bar R18 avec soudures, fils et couleurs

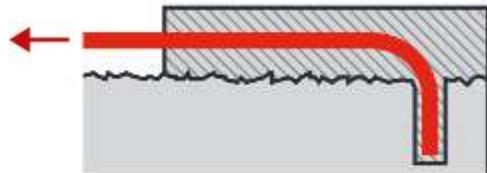
Possibilité d'ancrage pour re-bar



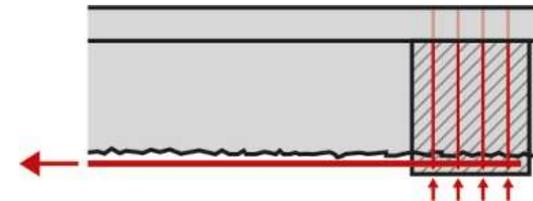
Standard avec mortier



Avec soudure contre élément
métallique



Avec crochets ancrés dans le béton



Avec étriers en zone d'ancrage
(normalement sans, en cs de renforcement à l'effort
tranchant avec précontrainte)

re-fer milestones

Depuis 2000	R&D à l'Empa
2012	Fondation de re-fer AG – R&D cibé dans le domaine du memory-steel pour la construction
2014	Première production industrielle de l'alliage memory [®] -steel
2016	Site de production et bureaux à Müllheim DE
2017	Projet pilote avec re-plate
2018	Projet pilote avec re-bar
2019	Nouveau site de production à Seewen CH
Depuis 2020	Premières franchises à l'étranger et collaboration avec Sika

