

# Renforcement de structures avec memory®-steel

Exemples des dimensionnement

Daniel Schmidig & Julien Michels, re-fer AG

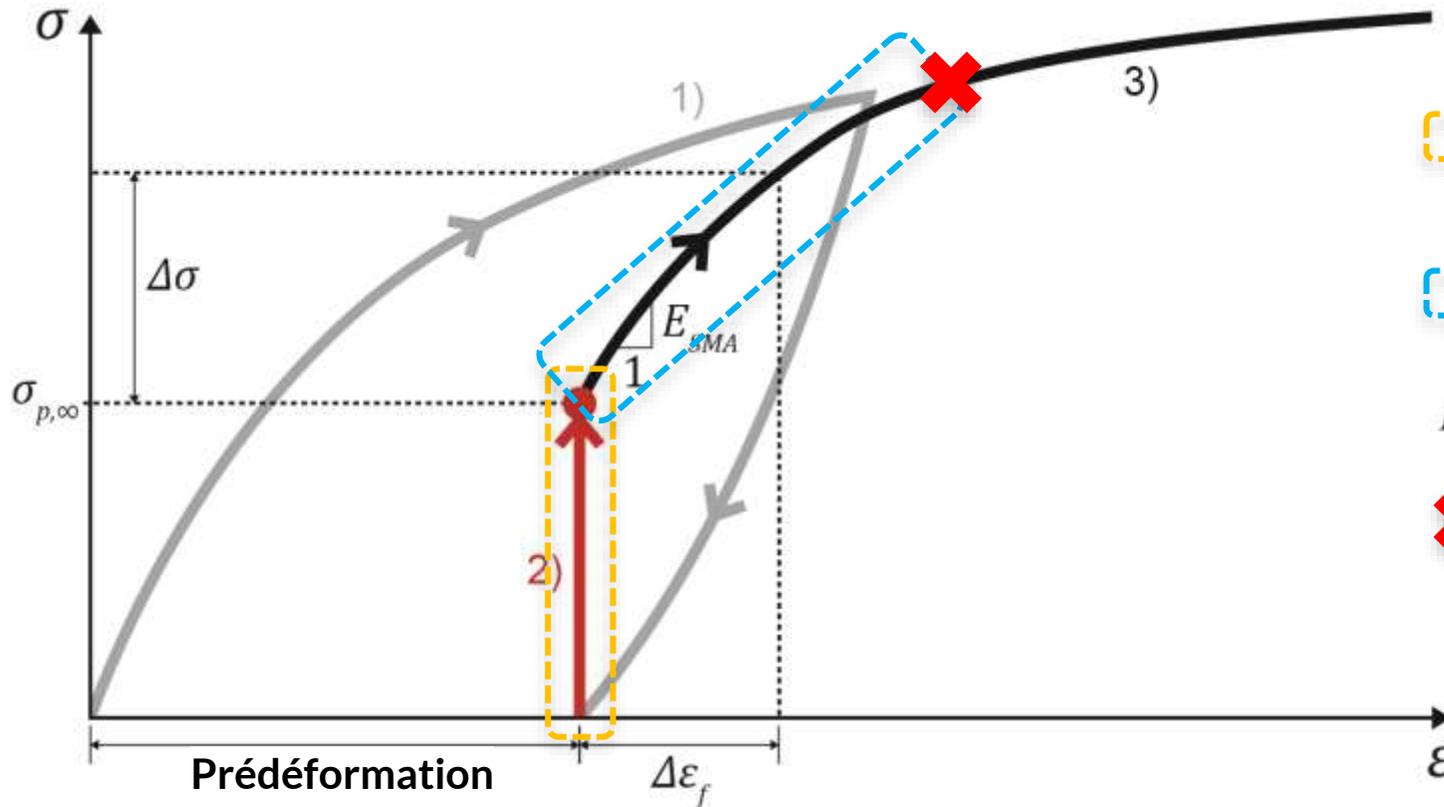


# Sommaire

1. Comportement du matériau
2. Comportement structural
  - re-plate «bande»
  - re-bar «barre nervurée»
  - re-bar R18 «barre ronde»
3. Exemples de dimensionnement
  - Renforcement en flexion d'une dalle en BA avec re-plate
  - Renforcement d'une poutre pont en BA avec re-bar



# Comportement du matériau



**Installation et chauffage**  $F_{p,\infty}$   
Relaxation 15% à  $t_\infty$

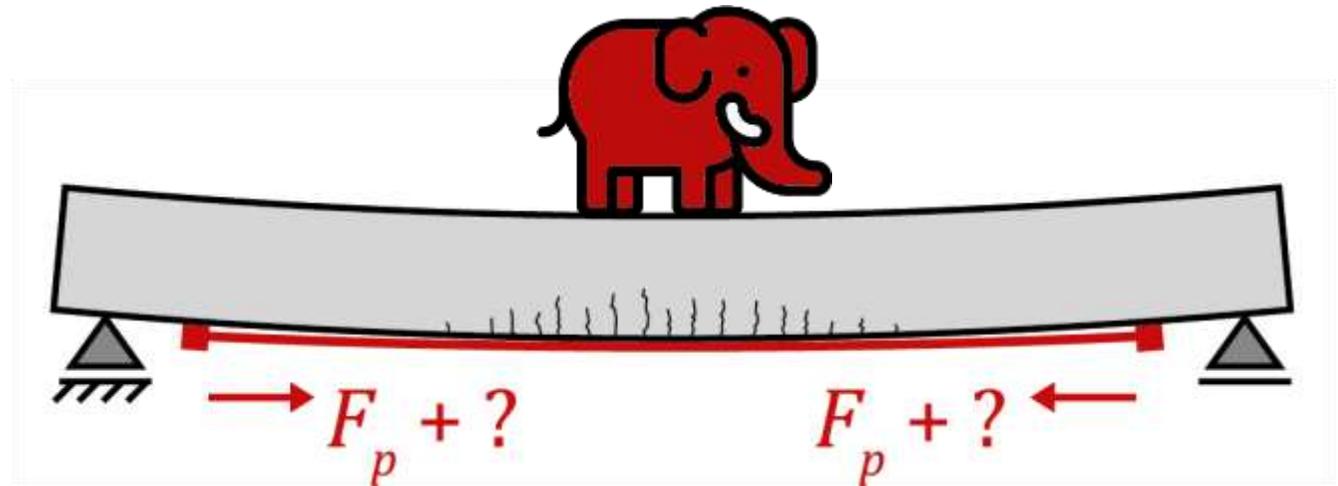
**Chargement additionnel dû à la déformation de l'ouvrage** ( $E_{SMA} = 70 \text{ kN/mm}^2$ )

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

**Bemessungswert**

- re-plate:  $460 \text{ N/mm}^2$  (Verankerung + Sicherheitsbeiwert 1.3)
- re-bar:  $520 \text{ N/mm}^2$  (bei etwa  $\Delta\epsilon_f = 10\%$  / effektiv:  $f_{tk} \geq 750 \text{ N/mm}^2$  bei  $\geq 20\%$  Bruchdehnung)

# re-plate | Comportement structural



- Bande ancrée mécaniquement contre le béton
- Bande externe sans adhérence
- Pas de compatibilité des déformations (analyse en section)
- Principe de *Kordina & Hegger*

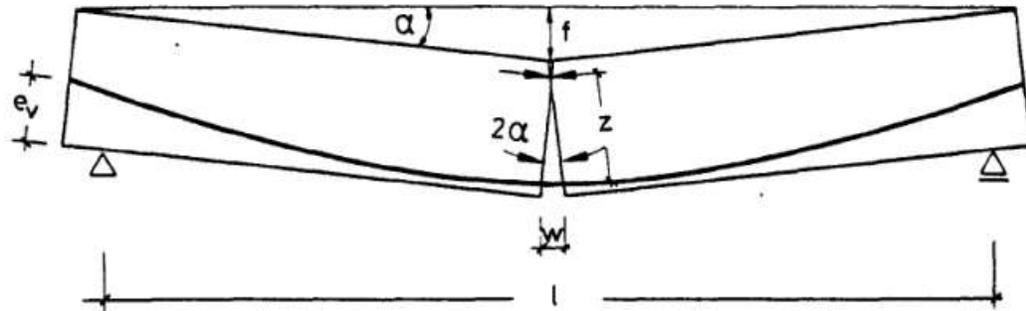


Bild 3.2 Bruchmechanismus nach Bruggeling /6/

- Formulation empirique dans *Kordina & Hegger* développée suite à des essais avec torons précontraints sans adhérence
- Principe de calcul basé sur la théorie de plasticité, déformation concentrée à mi-travée

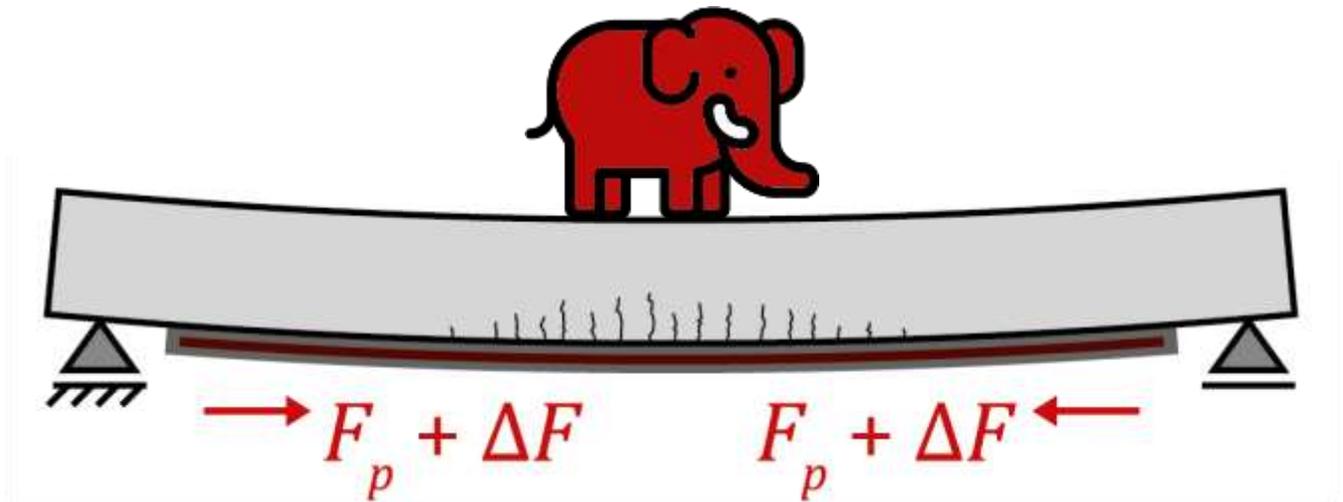
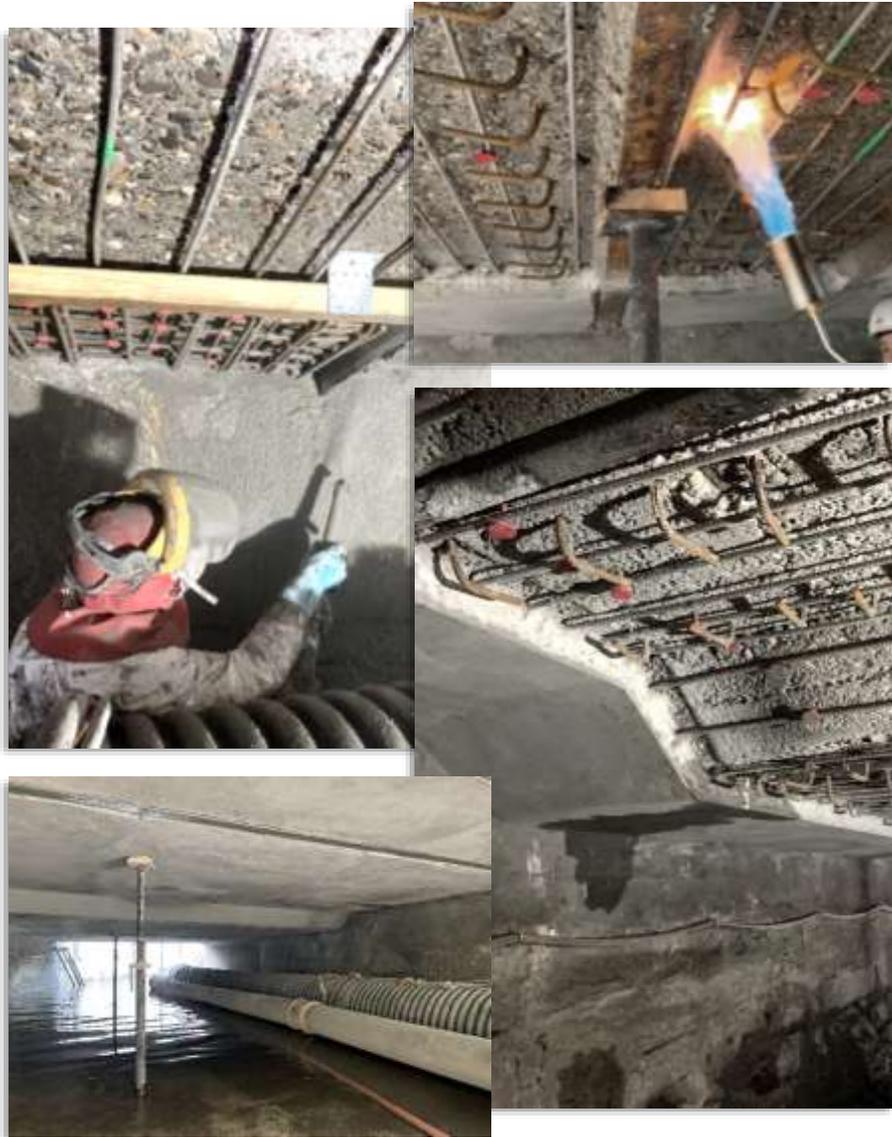
$$\Delta l = \frac{4f \cdot z}{l}$$

$$f = 0,9 h_v - e_v$$

$$f \leq 0,02 l$$

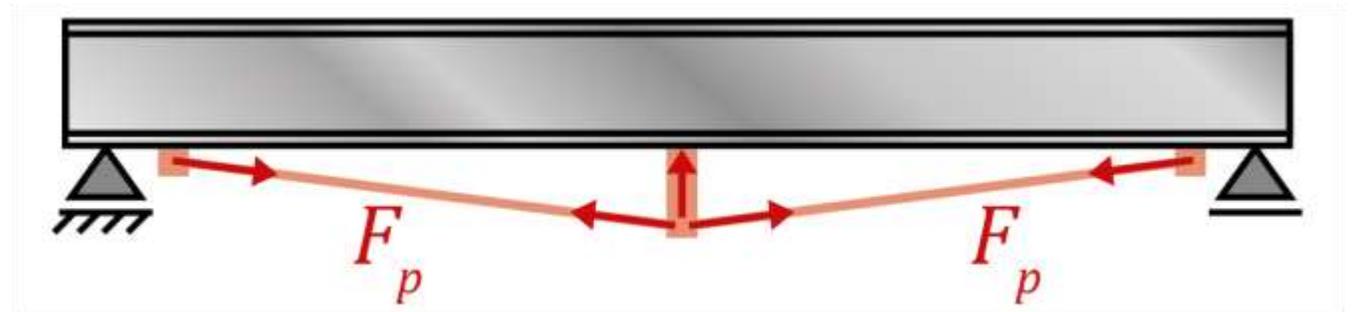
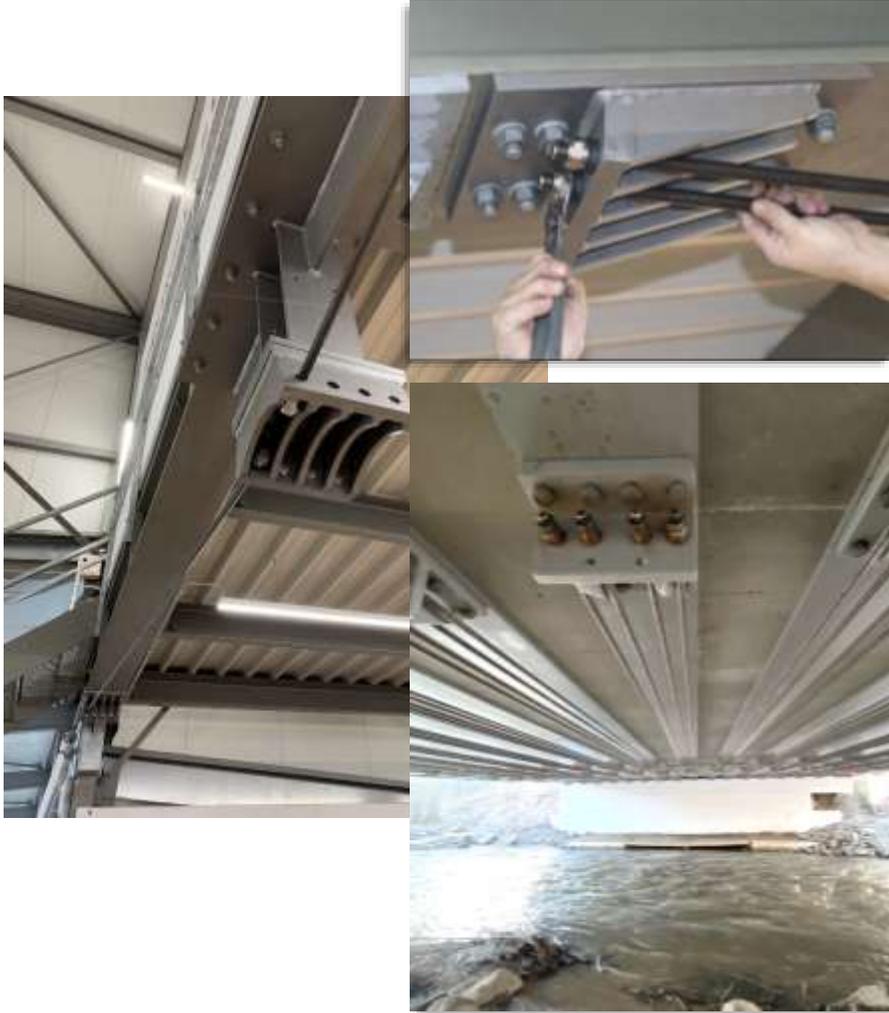
Bruggeling / 6/ stellt für die Berechnung des Spannungszuwachses eine **Beziehung zwischen Gelenkrotation und Durchbiegung** her. Er nimmt an, daß sich z. B. bei einem Einfeldträger (vergl. Bild 3.2) die **gesamten Verformungen in einem Rißquerschnitt in Feldmitte konzentrieren**. Aus den Beziehungen für die Rißöffnung  $w$  und die Durchbiegung  $f$

# re-bar | Comportement structural

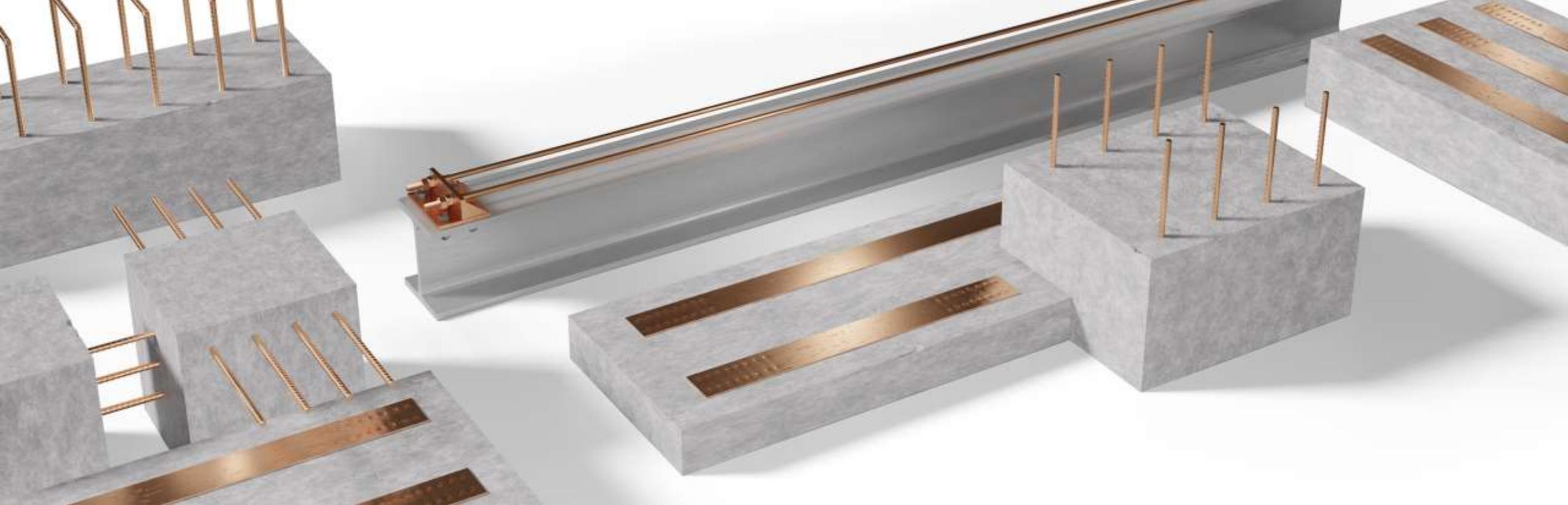


- Acier nervuré en mortier de réparation Sika
- Renforcement interne avec adhérence
- Analyse en section ou p.ex. CUBUS FAGUS

# re-bar R18 | Comportement structural



- Acier rond/lisste avec ancrage aux extrémités fixé contre le profilé en acier
- Barre externe sans adhérence
- Recommandation: calcul avec précontrainte sans adhérence



## Exemples de dimensionnement

# Renforcement en flexion d'une dalle BA avec re-plate



## Flèches et fissures dans maçonnerie

- Renforcement en flexion (moment positif)
- Fermeture fissure (rouge) due à la précontrainte

Produits utilisés:





# Renforcement en flexion d'une dalle BA avec re-plate

## Renforcement en flexion re-plate

«charges statiques»

### Données projet

Projet: \_\_\_\_\_ Position: \_\_\_\_\_  
 Remarques: \_\_\_\_\_ No.: \_\_\_\_\_  
 re-plate est une bande de fixation externe sans adhésif à ancrage mécanique aux extrémités. Le guide de dimensionnement s'applique aux dalles et éléments en flexion pure, à géométrie simple et élancés (sans tronçon de précontrainte interne) en flexion positive/négative et de section rectangulaire. Notes de calcul dans la feuille de calcul "Oln\_re-plate".

### Paramètre matériaux état actuel

<b>Béton:</b>	Choix type de béton:	C25/30	<b>Armature:</b>	$f_{yk}$	435 N/mm <sup>2</sup>	Valeur de dimensionnement de la limite d'élasticité
	$f_{ctd}$	16.5 N/mm <sup>2</sup>		$\sigma_{st}$	5.00 %	Déformation maximale (ratio de dimensionnement)
	$f_{ctm}$	2.6 N/mm <sup>2</sup>		$E_s$	205'000 N/mm <sup>2</sup>	Module d'élasticité de l'acier
	$f_{ctk}$	33 N/mm <sup>2</sup>		$A_s$	524 mm <sup>2</sup>	Surface d'acier par la largeur de la section béton
	$E_c$	32'075 N/mm <sup>2</sup>		$d$	35 mm	Distance fibre tendue externe à l'axe de la fibre d'armature

**Géométrie:**  $A_c$  / 300 mm (largeur de la section)  
 $b_c$  / 1000 mm (largeur de la section pour 1000 mm pour dalle)  
 $l$  / 5.00 m (Portée)

### Données re-plate 120/1.5

re-plate: Choix mode de chauffage: Gaz 300-350 C

$\sigma_{yk}$	390 N/mm <sup>2</sup>	Précontrainte dans re-plate
$F_{yk}$	60.4 kN	Force de précontrainte par re-plate
$F_{yk}$	58.1 kN	Force de précontrainte par re-plate après relaxation à t =
$E_{steel}$	70'000 N/mm <sup>2</sup>	Module d'élasticité de re-plate après activation

**Géométrie:**  $A_r$  / 300 mm (largeur re-plate)  
 $R_1$  / 50 mm (distance re-plate à l'appui "GAUCHE")  
 $R_2$  / 50 mm (distance re-plate à l'appui "DROITE")  
 $L_p$  / 4.90 m (longueur re-plate)

Le chauffage de re-plate se caractérise à cet effet le schéma standard. Il y a un renforcement de corrosion sur re-plate ou si l'armement présente un risque d'incendie. Il est possible de travailler avec un appareil de chauffage à ultrasons (attention: température et précontrainte résiduelle).

Schéma:

### Introduction des charges

**Moment de flexion au moment de l'installation de re-plate (état de construction):**  
 $M_{Ed}$  / 0.0 kNm

**Moment de flexion ELU (Type Z):**  
 $M_{Ed}$  / 1.0 kNm

**Moment de flexion ELS:**  
 $M_{Ed}$  / 1.0 kNm

**Moment de flexion incendie (selon SIA normalement =  $M_{Ed,incendie}$ ):**  
 $M_{Ed}$  / 0.0 kNm

### Sélection

Sélection nombre de re-plate par largeur de l'élément en béton (1000 mm):

Attention: respecter les distances minimales selon fiche technique. Solutions alternatives pour ancrages sont possible (ex. élément en acier).

### Résultats

#### Etat existant

Résistance à la flexion sans renforcement:  $M_{Rk,ex}$  / 315 kNm

Moment de fissuration élément non-renforcé:  $M_{cr}$  / 14.0 kNm

Contrainte résistante dans l'armature interne sous nouvelle charge de service:  $\sigma_s$  / 14 N/mm<sup>2</sup> (valeur négative pour une flexion)

#### Etat de construction

Calcul avec section en béton fissurée? **NON** (Attention: le bras de levier augmente la valeur de la flexion)

Àxe neutre (bras de levier de re-plate):  $x_{neut}$  / 126 mm

Moment de précontrainte total de re-plate (avant relaxation):  $M_{pr}$  / 9.3 kNm

Moment résistant à l'état de contrainte:  $M_{Rk,ex}$  / -3.3 kNm

#### Etat de service

La précontrainte entraîne une réduction de la flexion lorsqu'elle est correctement disposée. L'outil de dimensionnement calcule cette réduction à l'aide de la formule ci-dessus. Il est également déterminé de savoir s'il y a des parties de béton en compression comme dans l'exemple. (Si l'on suppose que la section est fissurée,  $E_s \cdot I$  est réduit à  $E_s \cdot I_{eff}$ )

$W = \frac{M \cdot F}{8 \cdot E \cdot I}$

Calcul avec section en béton fissurée? **NON**

Force par re-plate (hypothèse force de précontrainte avec relaxation):  $F_{Rk,pr}$  / 55.1 kN

Àxe neutre (bras de levier de re-plate):  $x_{neut}$  / 90 mm

re-plate moment de précontrainte sous charge de service:  $M_{s,pr}$  / 3.5 kNm

Réduction de la flèche due à la précontrainte:  $eg_{pr}$  / 1.9 mm

Contrainte résistante dans l'acier d'armature interne:  $\sigma_s$  / -97 N/mm<sup>2</sup> (Grâce à la précontrainte la contrainte dans l'acier d'armature n'a pu être réduite d'environ 70%).

#### Etat limite ultime

Déformation résultante de re-plate à (ELU):  $\Delta s_r$  / 2.8 ‰

Force résultante dans re-plate à (ELU):  $F_{Rk,pr}$  / 63.1 kN

Àxe neutre (bras de levier de re-plate):  $x_{neut}$  / 83 mm

Moment résistant de l'élément renforcé:  $M_{Rk,ex}$  / 44.7 kNm

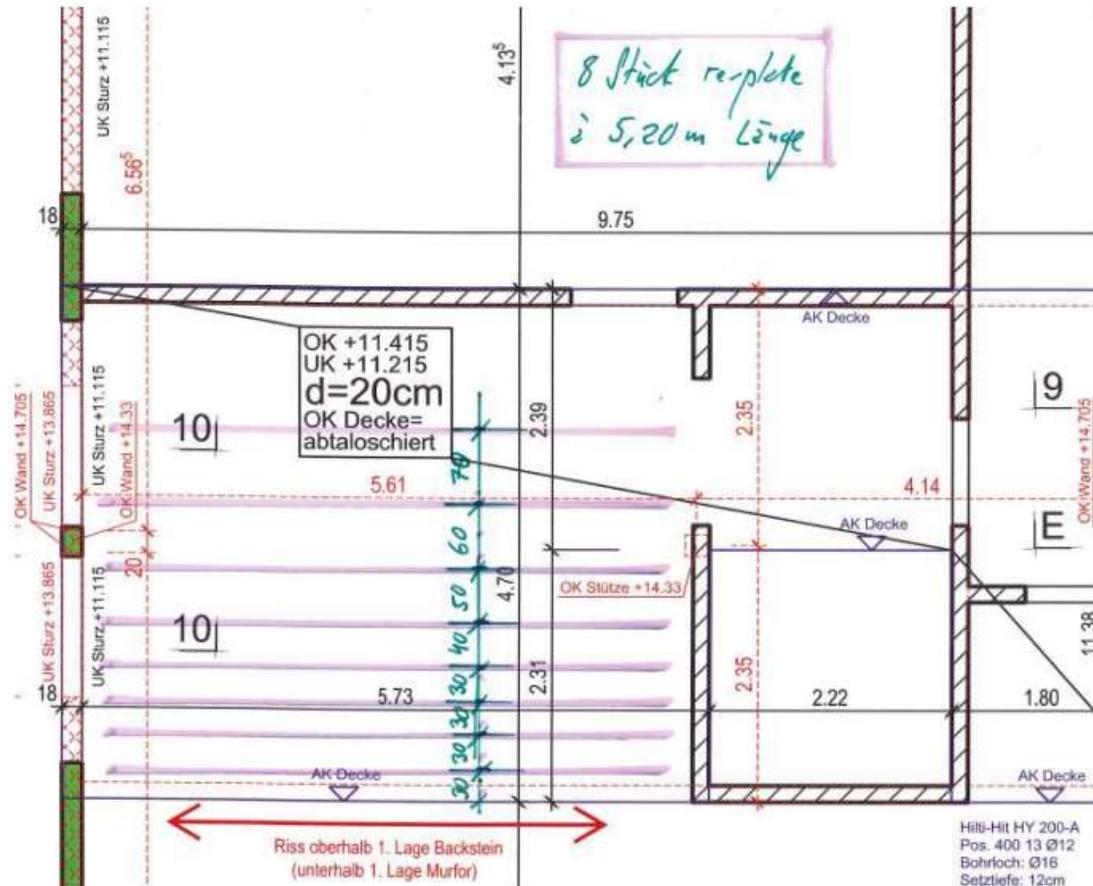
Participation de re-plate au moment résistant:  $M_{s,pr}$  / 11.1 kNm

Designachweis an Grenzwertangefraglichkeit ist nicht erfüllt.

Das Designmoment ist über dem Tragmoment.

# Renforcement en flexion d'une dalle BA avec re-plate

Concept proposé:



Exécution:



**Riss vor/nach Verstärkung**



# Renforcement en flexion d'une dalle BA avec re-plate

Plus rarement:

Etat limite ultime	
Déformation résultante de re-plate à l'ELU:	
$\Delta \varepsilon_f$ :	2.8 ‰
Force résultante dans re-plate à l'ELU:	Axe neutre (bras de levier de re-plate):
$F_{ms,u}$ :	83.1 kN
	$z_{GZ}$ :
	169 mm
<b>Moment résistant de l'élément renforcé:</b>	Participation de re-plate au moment résistant:
$M_{Rd,GZ}$ :	$M_{p,GZ}$ :
44.7 kNm	14.1 kNm
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Biegenachweis im Grenzzustand Tragsicherheit ist nicht erfüllt.</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Das Biegemoment im Brandfall ist abgedeckt.</b>	
Option 1: Anzahl re-plate erhöhen. Option 2: Übrige Traglast mit Sika® CarboDur® CFK-Lamellen abdecken. Für die Berechnung mit der Sika Software kann das einwirkende Moment um das Vorspannmoment von re-plate reduziert werden (7.9 kNm).	
Etat d'incendie	
Si la résistance à la flexion de la poutre en béton non renforcée peut couvrir le moment de flexion en cas d'incendie, la mesure de renforcement ne doit pas être p	
$M_{Rd, Best}$ :	$M_{Ed}$ :
31.5 N/mm <sup>2</sup>	0.0 N/mm <sup>2</sup>
<input checked="" type="checkbox"/> <b>Kein Brandschutz für re-plate notwendig.</b>	



- re-plate: SikaCem® Pyrocoat enduit cimentaire projeté
- re-bar: dimensions minimales des sections et enrobage selon norme (ex. SIA262 Tab. 16)
- Info: SikaCem® Pyrocoat aussi pour protection du béton (équivalence enrobage)



# Renforcement en flexion d'une poutre d'un pont avec re-bar



## Vieillessement du pont

- Renforcement en flexion robuste des poutres
- Protection des armatures internes partiellement corrodées
- Augmentation de la durée de vie

Produits utilisés:

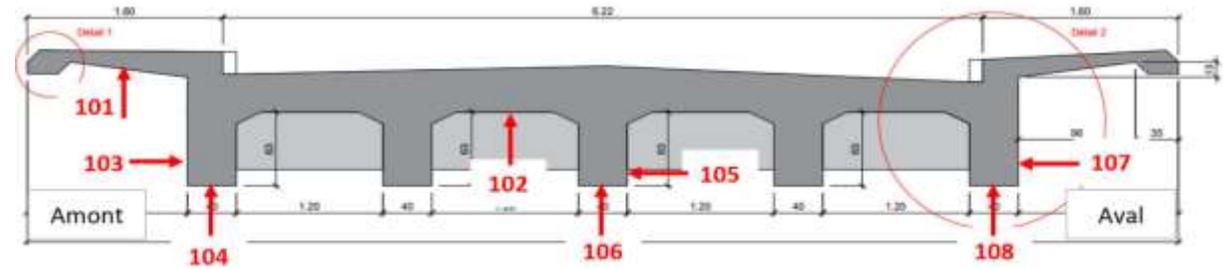


# Renforcement en flexion d'une poutre d'un pont avec re-bar

Examens préliminaires:



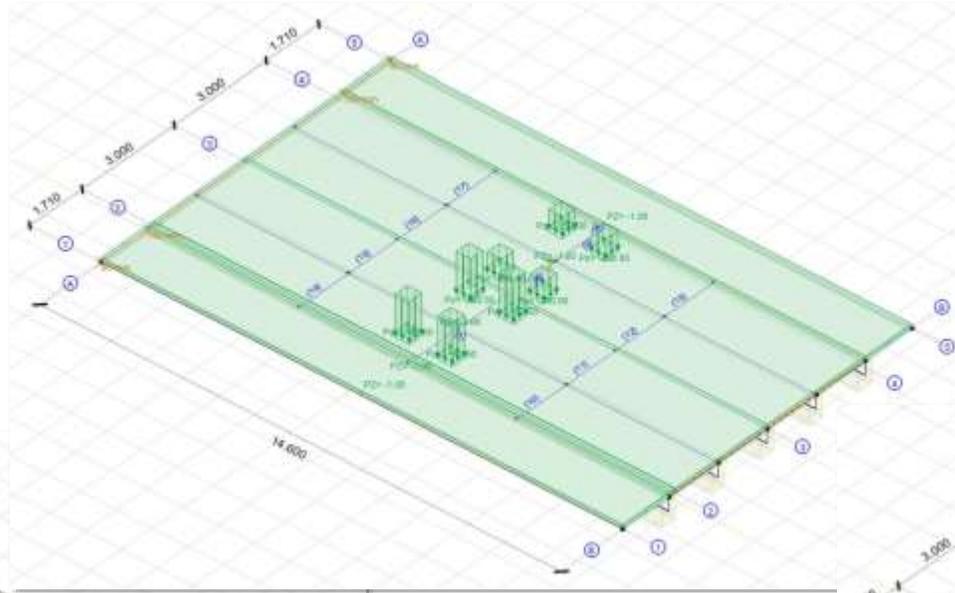
Examens préliminaires:



$$M_{Rd} = 1'348 \text{ kNm}$$

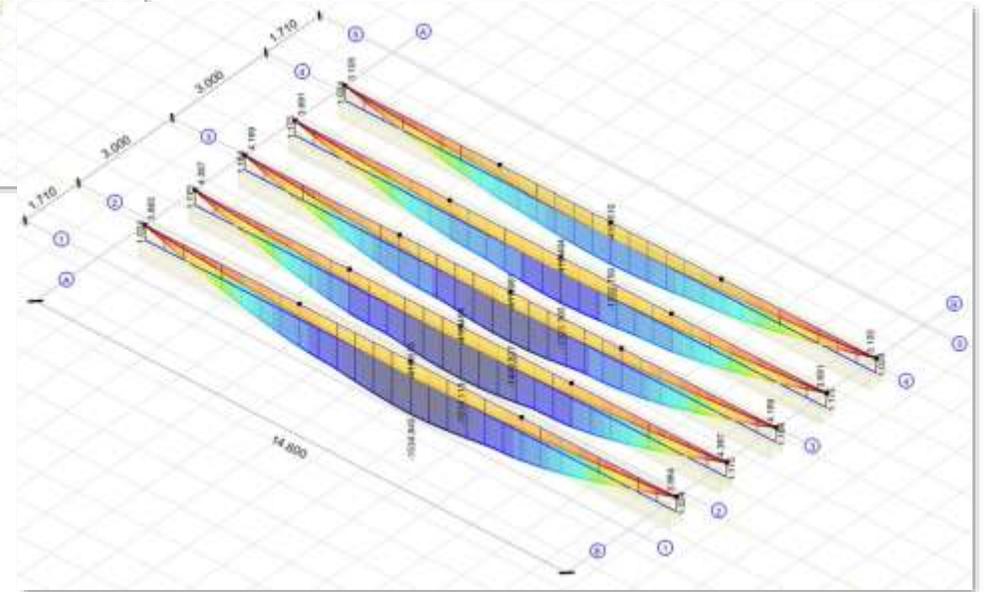
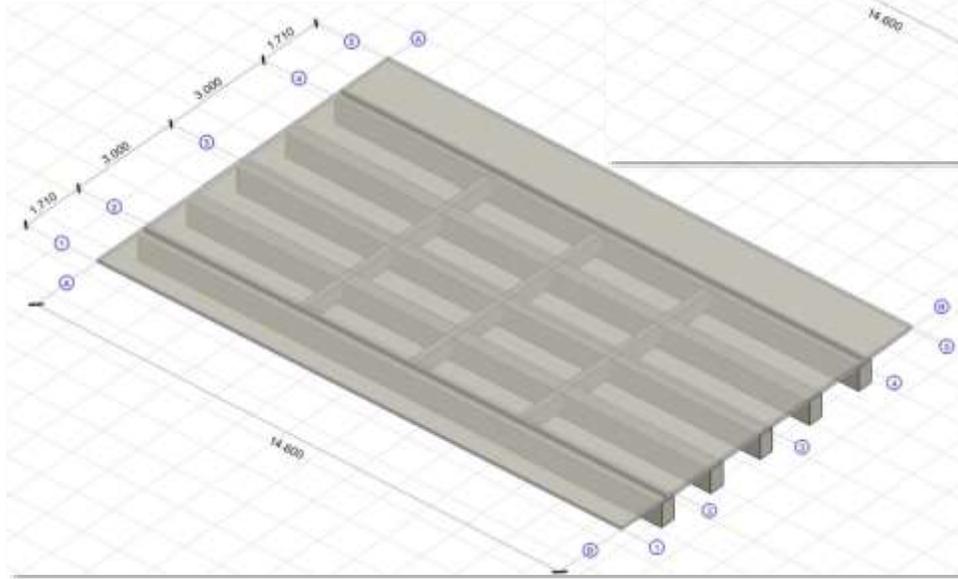
$$V_{Rd} = 404 \text{ kN}$$

# Renforcement en flexion d'une poutre d'un pont avec re-bar



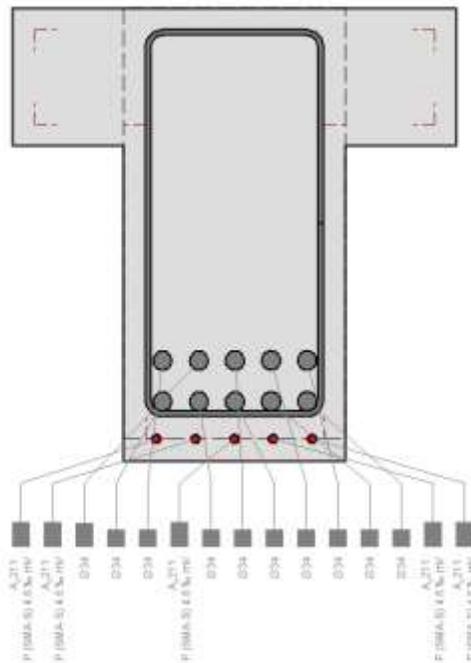
$M_{Ed} = 1'534 \text{ kNm}$  ❌

$V_{Ed} = 320 \text{ kN}$  ✅

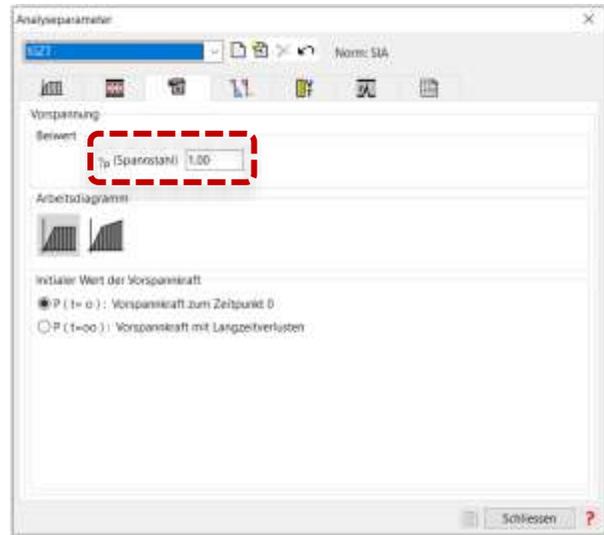


# Renforcement en flexion d'une poutre d'un pont avec re-bar

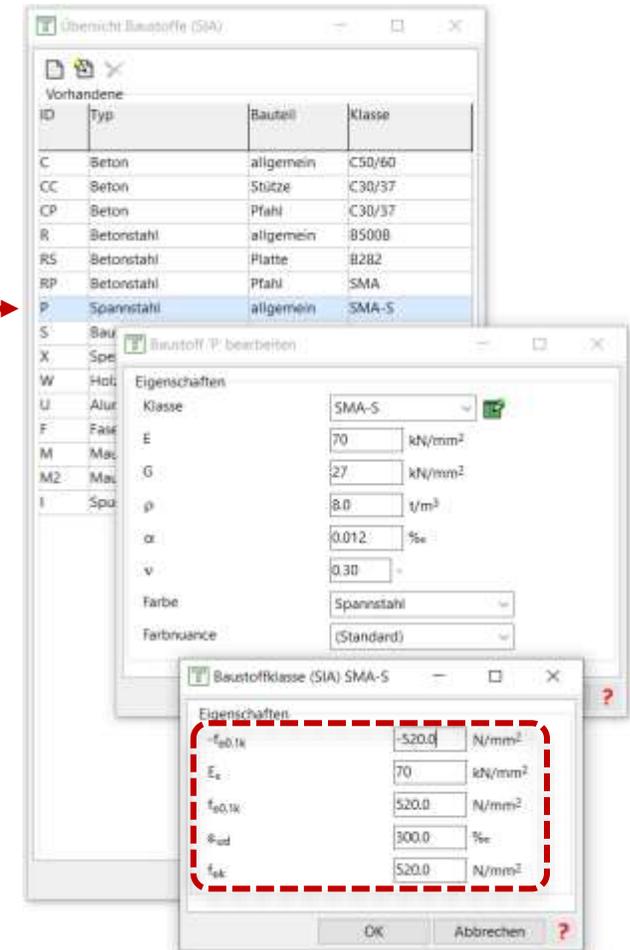
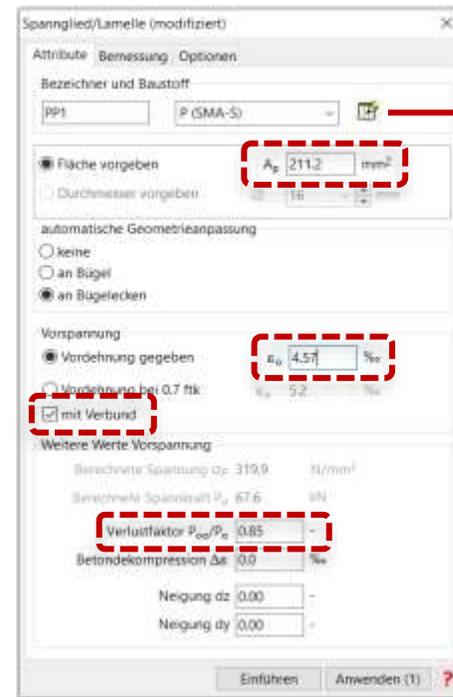
Sélectionner le torin et définir un nouveau matériau



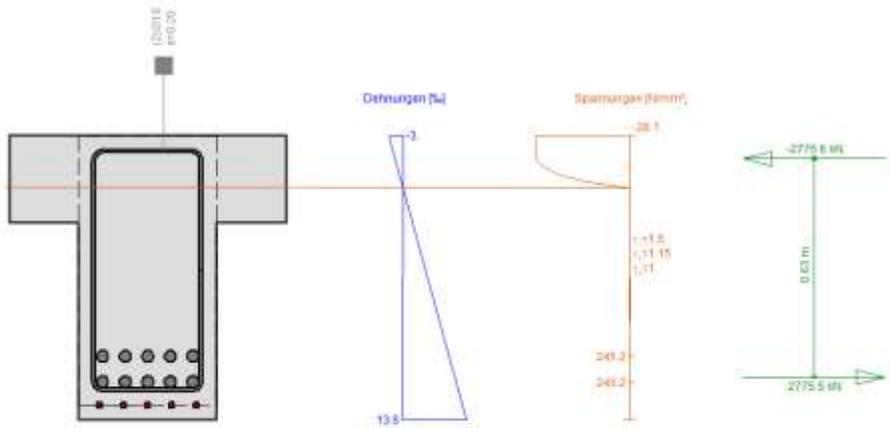
Facteur de sécurité peut être mis à 1.00



Introduction des paramètres selon documentation ou tool Excel



# Renforcement en flexion d'une poutre d'un pont avec re-bar



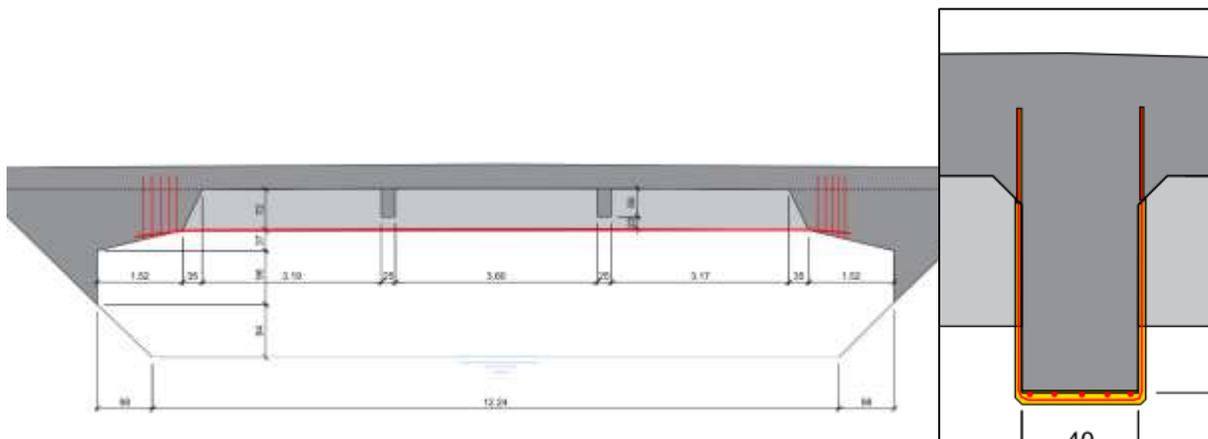
$M_{Ed} = 1'690 \text{ kNm}$  ✓

$\sigma_{d,s} = 174 \text{ N/mm}^2$  ✓

- ✓ **ELS**
  - ✓ Réduction de la flèche théorique de 6 mm
  - ✓ Contrainte dans l'armature interne maintenue dans le domaine élastique
  - ✓ Réduction des ouvertures de fissures

- ✓ **ELU**
  - ✓ Augmentation de la résistance à la flexion

- ✓ **Durée de vie augmentée**
  - ✓ Réduction de la contrainte pour l'armature existante
  - ✓ Ouverture de fissure à un niveau de chargement plus élevé
  - ✓ Nouvelle couche de mortier, dépôt alcalin
  - ✓ Protection contre la corrosion additionnelle avec SikaTop® Armatec®-110 EpoCem



# Notre support



## Services



- Expérience solide dans les domaines R&D ainsi que planification et exécution de projets de maintenance
- Dimensionnement, développement de concepts
- Estimation des coûts
- Soumissions
- Contact avec les entreprises exécutantes



Dr. Julien Michels



Daniel Schmidig



Dr. Bernhard Schranz

[www.re-fer.eu/bemessung](http://www.re-fer.eu/bemessung)

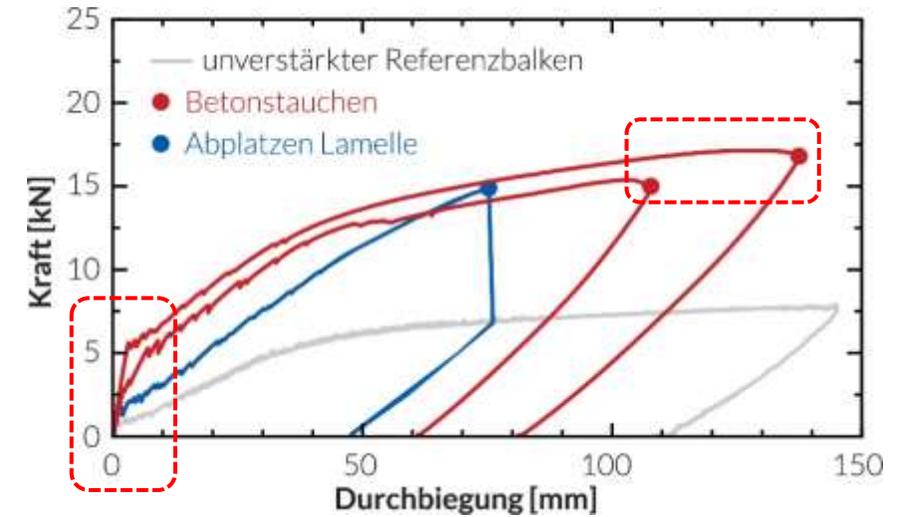




**Merci pour votre attention!**



# Comparaison re-plate avec PRFC

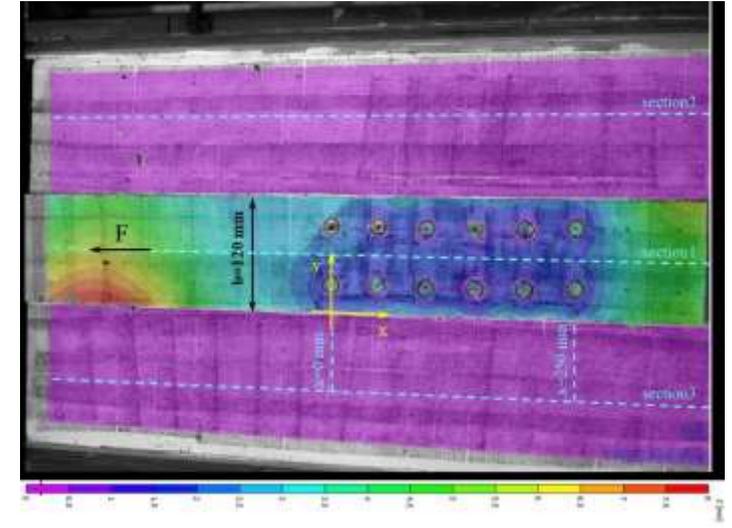
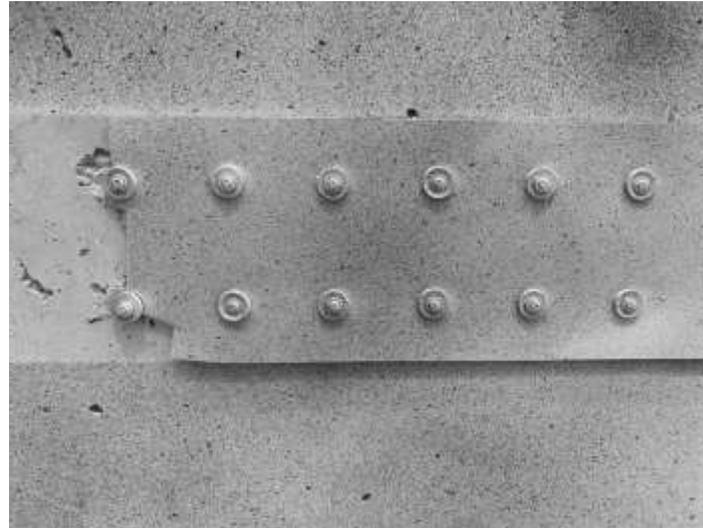


	re-plate	CFK-Lamelle
Axiale Steifigkeit EA [kN]	$\sim 10 \cdot 10^3$	$\sim 11 \cdot 10^3$
Risslast [kN]	3.4 - 5.4	2.0

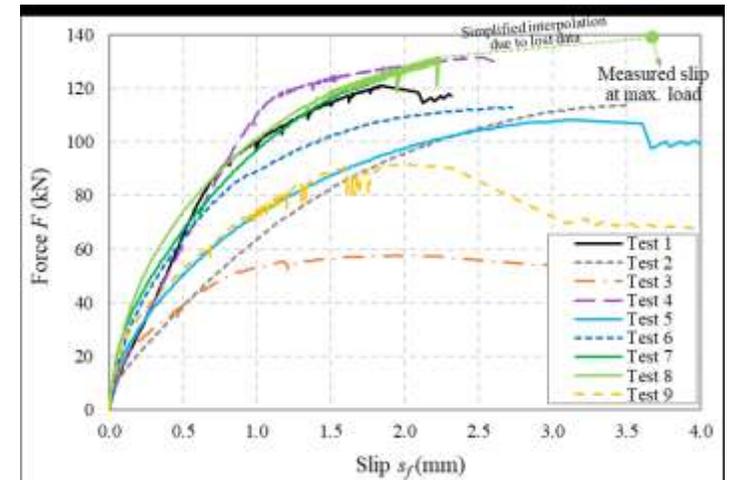
**70 - 170% augmentation de la charge de fissuration**

**Augmentation de la charge maximale, rupture par compression du béton en case de re-plate**

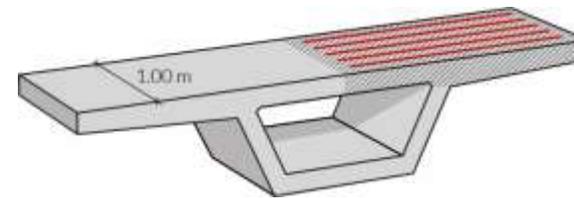
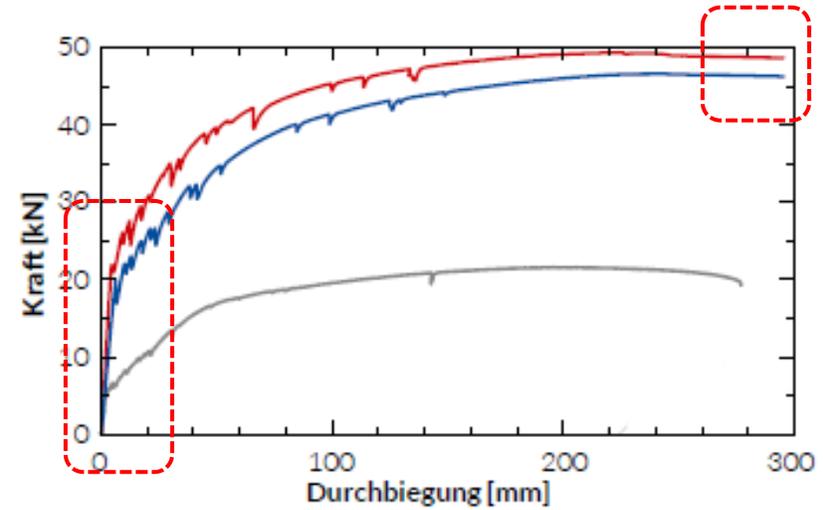
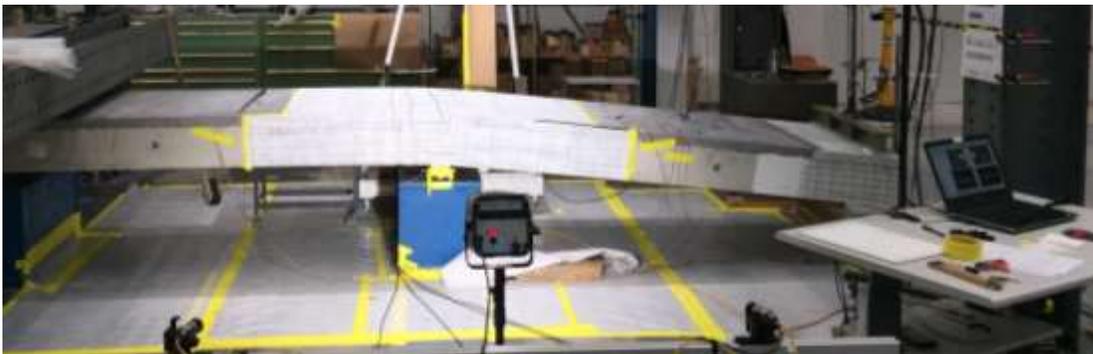
# Ancrage avec fixation directe



- Rupture par cisaillement des clous ou traction de la bande en première rangée à partir  $f_{cm,cube} > 20 \text{ N/mm}^2$



# Essai à grande échelle: renforcement dalle pont



	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

**Charge de fissuration x 3, charge maximale x 2!**

**Réduction de la contrainte de l'armature interne**

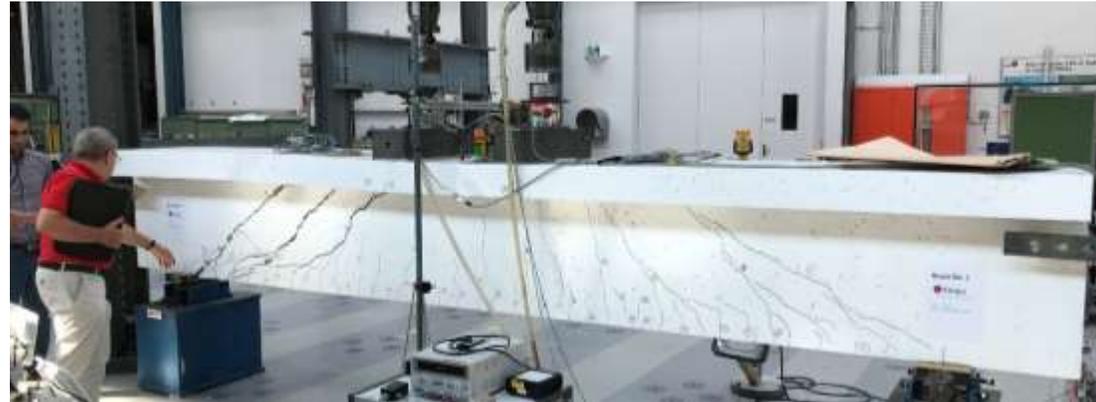


**Durée de vie plus élevée**

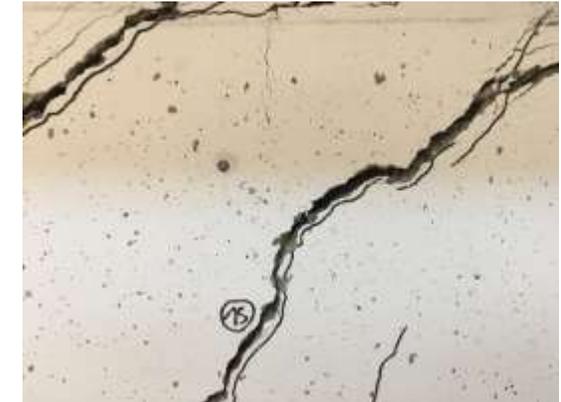
# Essai à grande échelle: Renforcement à l'effort tranchant d'une poutre T



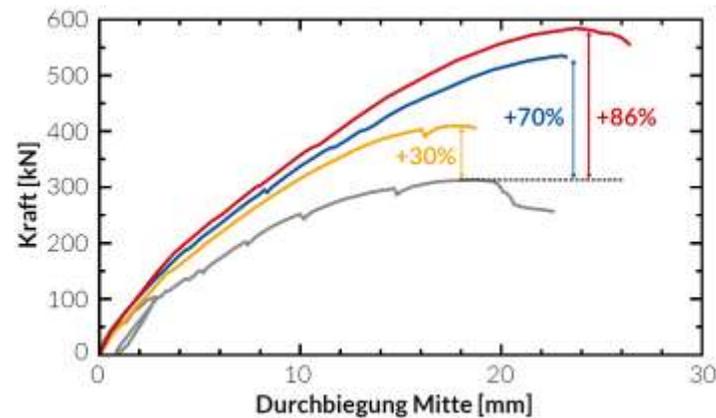
Jauges de déformation



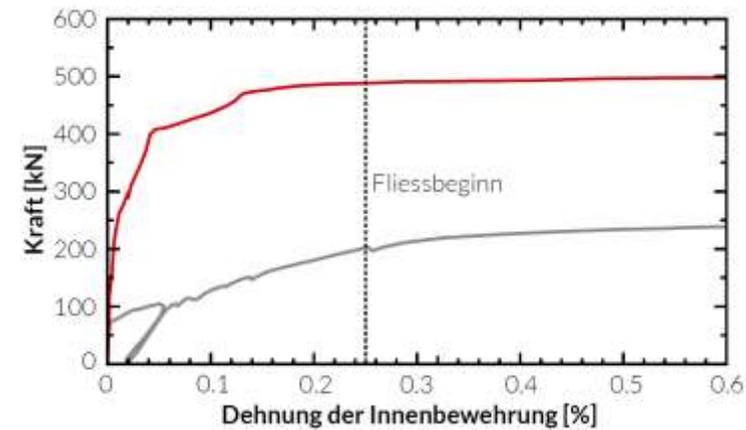
Essai à la rupture des étriers internes



Fissures avec grande ouverture pour poutre de référence

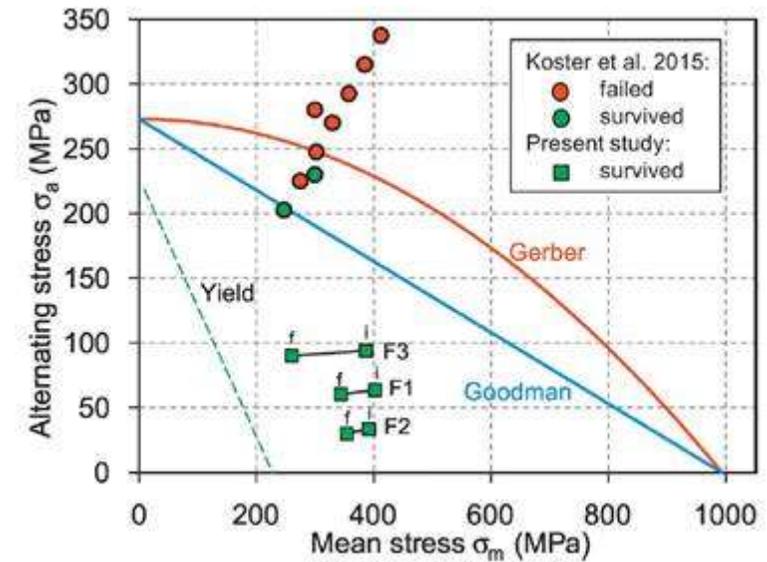


**Augmentation de la capacité portante de la poutre de référence de 30 %**



**Réduction de la contrainte pour les étriers internes, comportement à la fatigue amélioré**

# Essais fatigue



**Avec la précontrainte, la contrainte moyenne dans la structure/armature interne peut être réduite et ainsi la durée de vie prolongée.**

Essais divers avec re-bar de re-bar R18 avec coupleurs et soudures