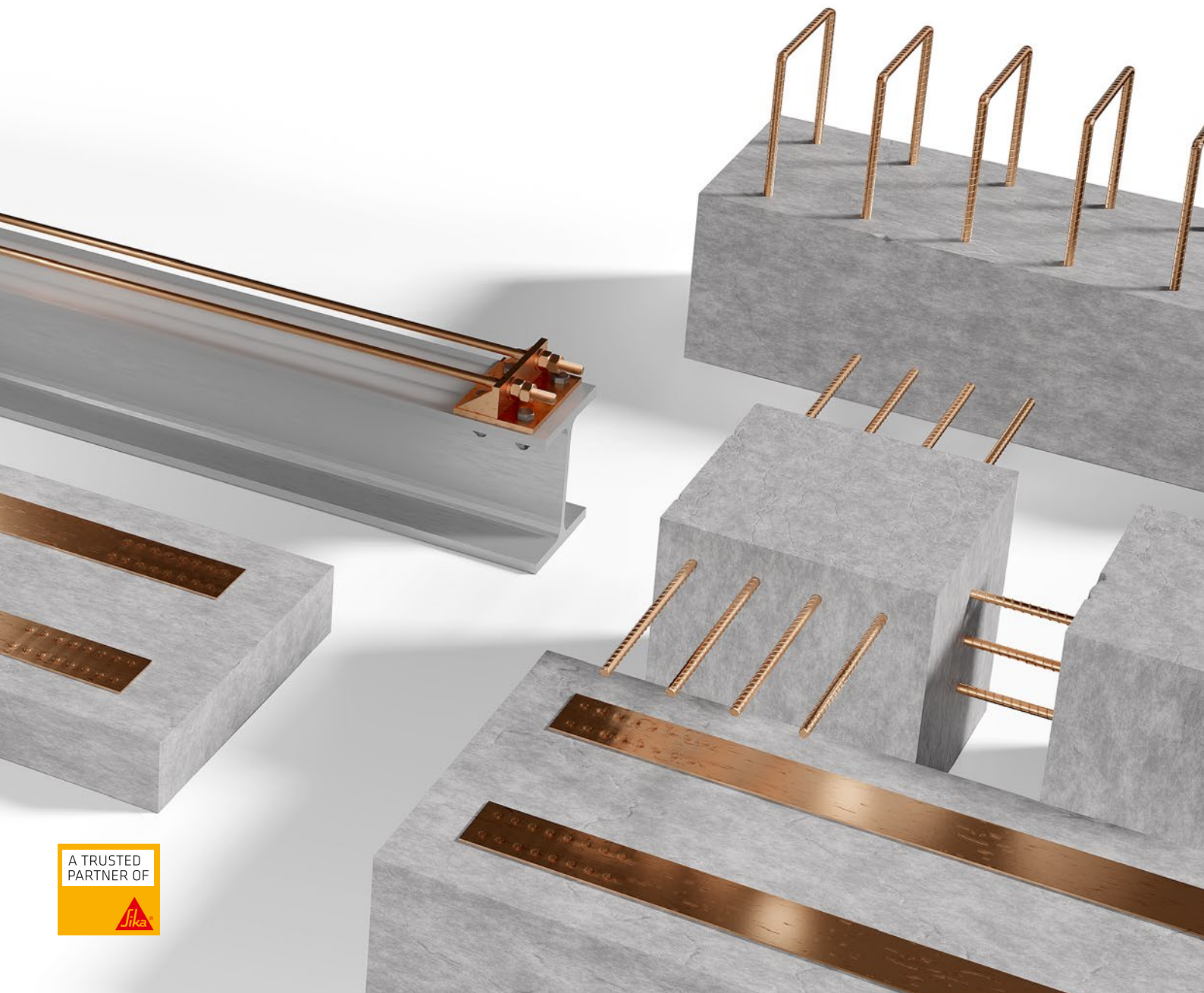


# memory<sup>®</sup>-steel Voorspan methodes

**Voor het versterken van bestaande  
constructies en te gebruiken in nieuwbouw.**  
«bij statische belasting en blijvend dynamische belasting»



## Onze visie

Met het voorspan proces van memory®-steel streven wij wereldwijd naar marktleiderschap. Dankzij de samenwerking met onze klanten en onze ervaring combineren we onderzoek en ontwikkeling met de dagelijkse bouwpraktijken. memory®-steel is 100% recyclebaar en voldoet aan onze hoge duurzaamheidseisen. We willen het concurrentievermogen op lange termijn van re-fer verzekeren door consistente verdere ontwikkeling en registratie van patenten.

## Onze missie

Door de levensduur te verlengen en de bestaande betonconstructies te versterken, creëren we toegevoegde waarde voor onze klanten. Het upgraden en verbouwen van gebouwen beschermt het milieu in vergelijking met nieuwbouw. Om de klimaatdoelen te halen, is het noodzakelijk om op lange termijn bestaande gebouwen blijven te gebruiken. re-fer wil hier een bijdrage aan leveren.



Smelten van memory®-steel

# Inhoud

<b>Innovation memory<sup>®</sup>-steel voorspan methodes</b>	<b>2</b>
<b>Op ijzer gebaseerde legering met vormgeheugen</b>	<b>3</b>
<b>re-plate methode voor betonbouw</b>	<b>4</b>
<b>re-bar Toepassing voor betonbouw</b>	<b>14</b>
<b>re-bar R18 Toepassing voor staalconstructies</b>	<b>32</b>
<b>Kwaliteitscontrole</b>	<b>37</b>
<b>Productoverzicht</b>	<b>38</b>
<b>Ontwerphulp voor memory<sup>®</sup>-steel</b>	<b>39</b>
Invoer	40
Theoretische belastinggrondslagen	40
re-plate	40
re-bar	42
Aanwijzingen	43
Ontwerpvoorbeelden	44
Eenvoudige buigversterking met re-plate	44
Versterking T-Balk met re-bar	49
<b>Ons wereldwijde onderzoek</b>	<b>55</b>
<b>Downloads &amp; Patenten</b>	<b>56</b>

Klik op de paginanummers om terug te keren naar de inhoudsopgave.

# Innovation memory®-steel voorspan methodes

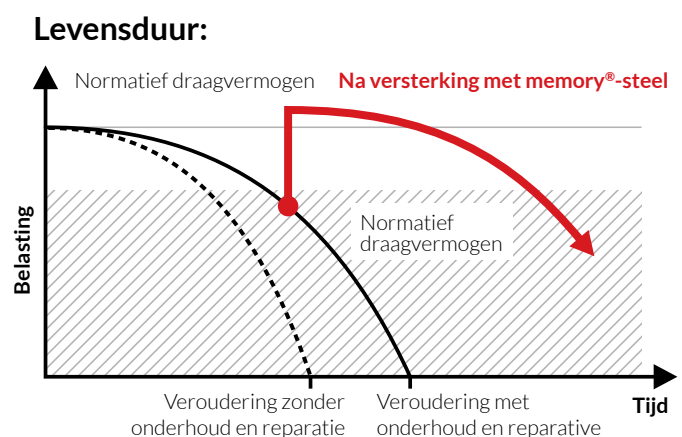
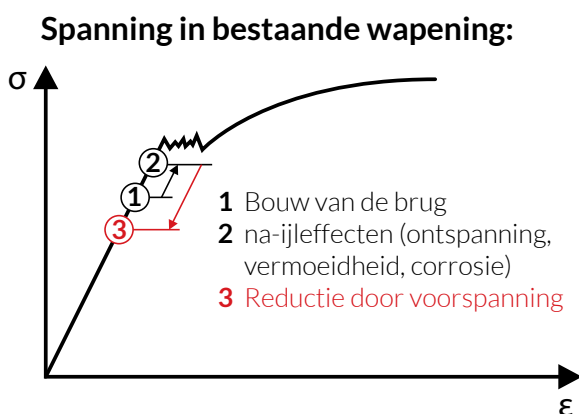
## Traditionele versterkingen

Bij de huidige stand van de techniek worden vaak lijmwapening van staal of CFRP-lamellen gebruikt als buigtrekversterking. De krachtoverdracht van lijmwapeningen in de betonondergrond is soms onvoldoende. Wanneer aanhechtsterkte niet voldoende is en doordat de krachtoverdracht via de lijm laag door de betondekking in het bouwdeel wordt overgedragen is er hier een aandachtspunt. In de betondekking bevinden zich buig en trek scheuren. Daarbij wordt de betondekking bij buitentoepassing voor herstelwerkzaamheden door omgevingsinvloeden als vorst, dooizouten, carbonatatie e.d., sterk belast. Onderzoeken tonen aan, dat de lijmverankeringen door vorst en/of invloeden door dooizout kunnen falen. CFRP-Lamellen zijn bestemd voor statisch belaste bouwdelen en alleen in uitzonderingsgevallen voor blijvend dynamisch belaste bouwdelen toegelaten.

## Innovation: Robuste versterking met memory®-steel

Bij wapening met memory®-steel "re-plate" wordt de voorspankracht via een mechanische eindverankering in het kernbeton gebracht. De zeer gemakkelijk te installeren versterkingmaatregel kan zonder veel voorbereiding op de betonnen ondergrond worden aangebracht en binnen enkele minuten worden voorgespannen.

De combinatie van "re-bar" geribbeld staal met geteste Sika betonreparatiemortel biedt een versterkingsmethode voor constructies die onderworpen zijn aan statische en dynamische permanente belastingen. De kracht wordt uitgeoefend op de gezonde kern van het beton via de nieuwe mortellaag, die de beschadigde betondekking vervangt. Bestaande scheuren in de dragende ondergrond worden aanzienlijk verminderd door de voorspanning van het memory®-steel. Dankzij de hoge ductiliteit van >20% is het bezwijken van beton in de drukzone doorslaggevend in geval van buigbelastingen. Met de wapening zijn herverdelingen van krachten mogelijk. memory®-steel is uitermate geschikt bij aardbeving schade mechanismes.



**De dynamische permanente belasting en de ontspanning van de interne wapening nemen na versterking plaats bij een lager spanningsniveau.**

**Sika spuit-, herprofilings- of gietmortels beschermen de inwendige wapening en de wapeningsstaven op lange termijn tegen corrosie.**

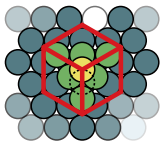
# Op ijzer gebaseerde legering met vormgeheugen

Legeringen met vormgeheugen, SMA, (Shape memory alloy) vervormen nadat ze voorgerektd zijn, terug door verhitting naar hun oorspronkelijke vorm. memory®-staal onthoudt de oorspronkelijke vorm als resultaat van een kristalroostertransformatie "austeniet in martensiet".

**memory®-staal is op staal gebaseerd en geschikt voor toepassing in de bouw**

## Atoomstructuur

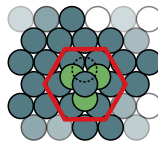
Austeniet



Uitgangslagering bij staalfabriek

Vervorming bij re-fer >

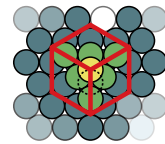
Martensiet



levering en plaatsen op de bouw

Activeren "verhitten" >

Austeniet



Omgekeerde conversie: **Voorspannen en voorkomen van vervorming**

**Gelijkmatige voorspanning zonder wrijvingsverlies.**

**De bestaande interne wapening wordt door de voorspanning ontlast, waardoor de levensduur van het bouwwerk wordt verlengd.**

## Drie methodes met memory®-staal zijn mogelijk

### re-plate methode voor betonbouw

Staalband met mechanische eindverankering in beton

Externe trekband zonder hechting

Voor statisch belaste bouwdelen

### re-bar methode voor betonbouw

Geribde wapeningsstaven in sleuf m.b.v. mortel of beton

Geribde wapeningsstaven voor plaatsing in mortel of beton

voor statisch belaste en/of blijvend dynamisch belaste bouwdelen

### re-bar R18 methode voor staalconstructies

Stalen staaf via eindverankering aan staalconstructie verbonden

Externe trekstaaf zonder hechting

# re-plate methode voor betonbouw

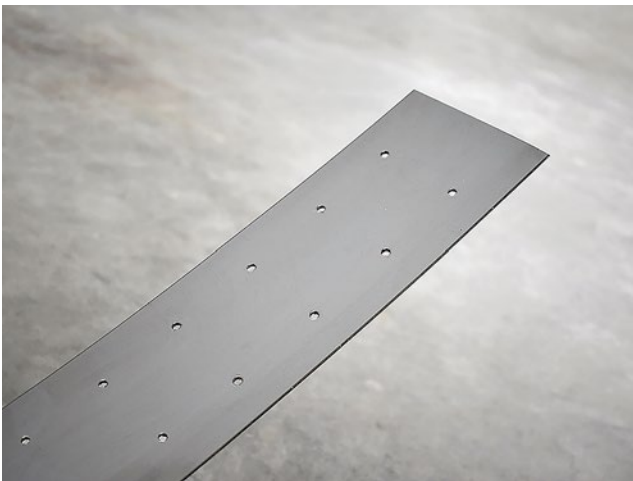
“Voor statisch belaste bouwdelen”

re-plate “band gemaakt van memory®-steel” wordt gebruikt om gebouwen te upgraden. re-plate fungeert als een externe spanband zonder hechting. re-plate is voorgerekend en wordt vanuit de fabriek voorgestanst aangeleverd. De mechanische eindverankering vindt plaats met een directe Hilti bevestiging. Om de “voorspanning” te activeren, wordt de band verwarmd met een gasbrander of een infraroodstraler.

Product	Dwarsdoorsnede	Max. Trekspanning*	Max. Trekkraft*	Relaxatie
re-plate 120/1.5 mm	180 mm <sup>2</sup>	460 N/mm <sup>2</sup>	<b>83.1 kN</b>	25 %

\* Ontwerpwaarde gebaseerd bij 12 Nagels bij een betonsterkte >20 N/mm<sup>2</sup> (met veiligheidsfactor 1.3)

Product	Temperatuur	Voorspanning	Voorspankracht	Relaxatie
re-plate - Standaardoplossing	Gas 300 - 350°C	380 N/mm <sup>2</sup>	<b>68.4 kN</b>	15 % t <sub>e</sub>
Corrosiecoating of brandgevaar	Infrarood 165°C	300 N/mm <sup>2</sup>	<b>54.0 kN</b>	15 % t <sub>e</sub>



re-plate kwaliteit vergelijkbaar met een materiaal 1.4003 volgens DIN EN 10088 (Corrosieweerstandklasse I)

## Basistesten met re-plate

### Mechanische eindverankering

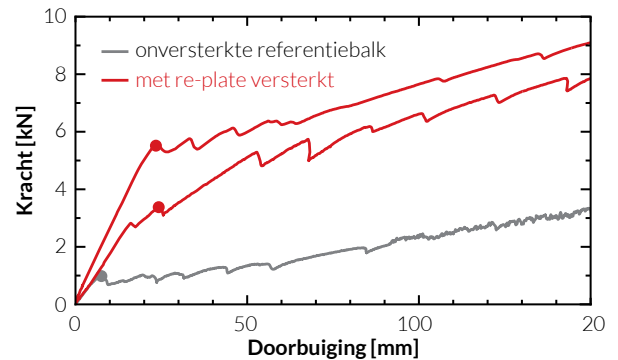
De mechanische eindverankering met de Hilti directe bevestiging in combinatie met re-plate is getest met uittrekproeven.

De verankering is niet bepalend voor het ontwerp als het beton een druksterkte  $>25 \text{ N/mm}^2$  heeft. Bij lagere betonkwaliteiten moet overleg met de constructeur c.q. re-fer plaatsvinden.

**Falen op de verkleinde doorsnede in de voorste rij gaten van re-plate.**



### Constructief gedrag



Het constructieve gedrag van de wapening werd getest op panelen met afmetingen ( $h = 150 \text{ mm}$ ,  $b = 500 \text{ mm}$ ,  $L = 4 \text{ m}$ ). Een referentieplaat werd vergeleken met twee versterkte platen

**In gebruikstoestand werd een 3-5 keer hogere scheurbelasting vastgesteld**

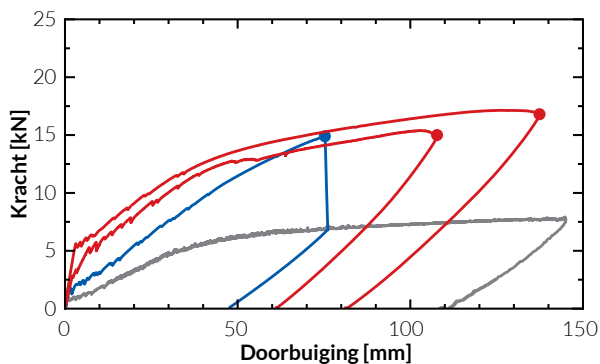
## Grootschalige test: Vergelijking van re-plate met CFRP-lamellen

Buigproeven bij Empa tonen re-plate- en CFRP-Lamellen met vergelijkbare axiale stijfheid EA. De versterkte betonplaten (hoog 150 mm, breedte 500 mm, spanbreedte 4 m) werden ook vergeleken met een niet versterkte referentiebaak en vertoonden significant hogere breukbelastingen. De re-plate versterking faalde als gevolg van betonstuik in de drukzone met hoge plastische vervormingen. De CFRP-upgrade is vroegtijdig bezweken vanwege de diepe breukrek. Dankzij de voorspanning met het ductiele re-plate systeem werd een aanzienlijk hogere scheurbelasting bereikt.



Betonplaat, test bij Empa Zwitserland

**70 - 170% verhoging van de scheurbelasting  
in vergelijking met CFRP/CFK-Lamellen**



	re-plate	CFK-Lamellen
Axiale stijfheid [kN]	$\sim 10 \cdot 10^3$	$\sim 11 \cdot 10^3$
Scheurbelasting [kN]	3.4 - 5.4	2.0

- Onversterkte referentiebaak
- Betonstuik
- Onthechten Lamellen



## Vaak zinvol: Combinatie re-plate en Sika®CarboDur®.

### re-plate

- Tegen doorbuiging en scheuren in het plafond en in het wanddeel erboven
  - Het ontlasten van de bestaande interne wapening
  - Om de gebruiksbelasting te verhogen
- “Voorbeeld afbeelding 3: Gebruik/brandbelasting wordt gedekt door re-plate – Brandwerende bepleistering is alleen lokaal nodig op de re-plate”



Film Versterking na Brand:  
[www.re-fer.eu/fire](http://www.re-fer.eu/fire)

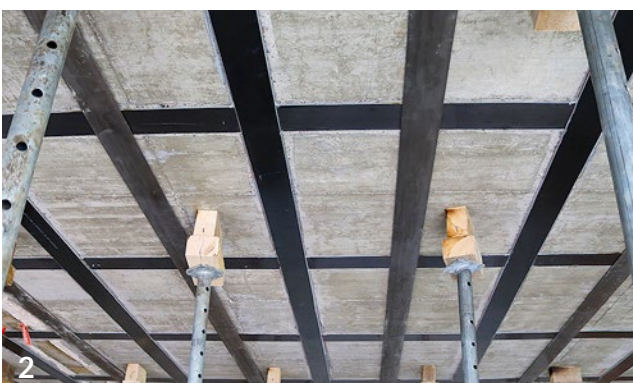
### Sika®CarboDur® CFK-Lamellen

- Als dekking van de overige draaglast

Na een brand worden de Gebruiks- en brand belasting opgevangen door het toepassen van re-plate. Sika® Carbo-Dur® wordt gebruikt voor de overige draaglast. De versterkmaatregel wordt beschermd met SikaCem® Pyrocoat brandwerende spuitpleister (zie p. 12).



Typische Versterking van het positieve buigmoment met re-plate



Combinatie re-plate met CFK-Lamellen



Brandbescherming voor re-plate (A) in combinatie met CFK-Lamellen (B)

Als re-plate en CFK-lamellen in dezelfde trekrichting aangebracht dienen te worden, worden de CFK-lamellen altijd aangebracht na de voorgespannen re-plate. Als re-plate wordt aangebracht in de lengterichting over reeds geïnstalleerde CFK-lamellen (in transversale richting), moet een aluminiumfolie worden aangebracht als tussenlaag bij de re-plate/CFK-kruispunten. Dit voorkomt de hechting tussen de re-plate en de CFK lamel.

## Applicatie van re-plate

Buigversterking “verhoging van de gebruiksbelasting”



### Werkvoorbereiding

- 1 t.p.v. de versterking afwerkklagen en/of isolatie verwijderen
- 2 re-plate tijdelijk met T-Steunen fixeren



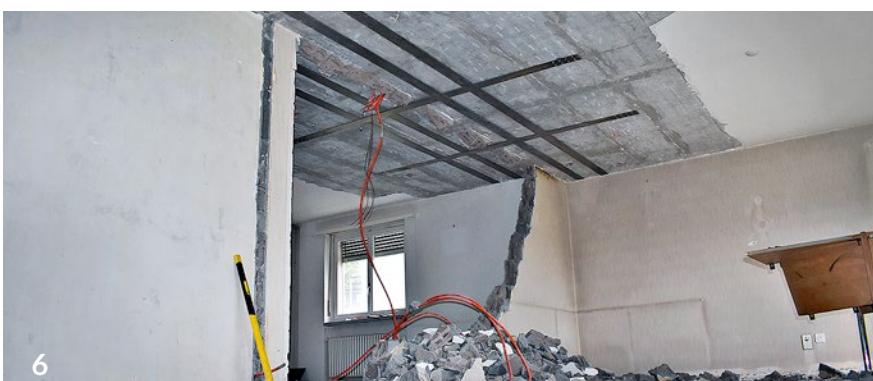
### Tweezijdige eindverankering

- 3 Ondergrond voorbereiden door de reeds aanwezige gaten in re-plate
- 4 Mechanische eindverankering met Hilti schiethamer en systeem geteste, roestvrij stalen nagels (X-CR 48 P8 S15)



### Voorspanning activeren

- 5A/B Etappegewijs verwarmen met gasbrander of re-IR 3000 infrarood warmtetraller. Temperatuur controle met sensor



### Voltooiing

- 6 re-plate heeft direct na activering en afkoeling zijn dragende werking. (In het beeld: verwijderen van een dragende wand.)

## Toepassingen van re-plate

### Verwijderen van een bestaande steun of draagbalk

Door de voorspanning van re-plate worden de statische eigenschappen van een plafond veranderd. Bestaande steunen of opleggingen kunnen verwijderd worden. In woning of industriegebouwen zijn daarvoor nieuwe indelingen van de ruimte mogelijk.

### Versterken positieve moment

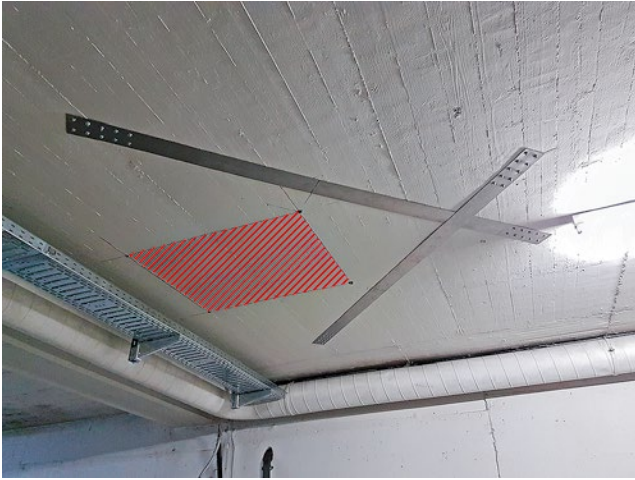


De overspanning in de hoofd-trekrichting wordt verlengd door een dilatatievoeg te overdrukken en de onderliggende ondersteuning te verwijderen. Het hogere positieve buigmoment en de overdruk van de verbinding worden afgedekt door re-plate.

### Versterken negatieve moment

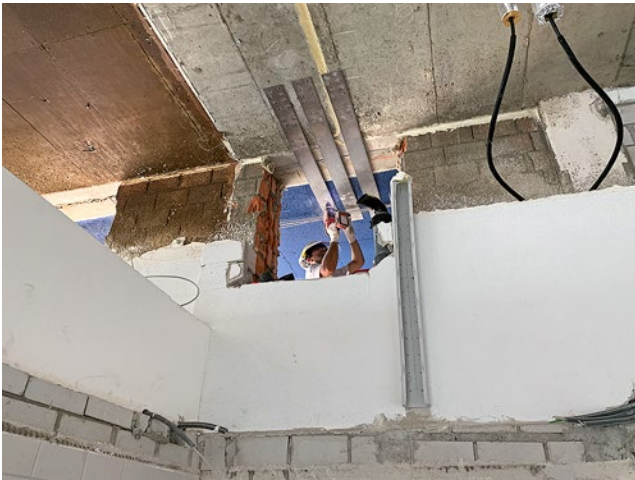


Aan de bovenzijde van het balkon boven een bestaande externe ondersteuning wordt het negatieve moment versterkt zodat een externe ondersteuning eronder kan worden verwijderd.



### Lokale versterking bij een doorbraak in het plafond

De ontbrekende trekwapening door een volgende uitsparing in het plafond wordt met re-plate overdrukt. De krachten worden omgeleid naar het draagsysteem van het bestaande plafond. Het aanbrengen van re-plate vindt plaats direct op de beton en is in enkele minuten aangebracht. De versterking aanbrengen voor het maken van de sparing in het plafond.



### Overdrukken van koppelvoegen

Met korte re-plate banden kunnen dilatatievoegen worden samengedrukt/overspannen om bouwdeelen met elkaar te verbinden. De applicatie is interessant voor aanpassingen bij mogelijkheid van aardbevingen bij hoogbouw. Toepassingen in de bruggenbouw zijn ook zinvol.



### Lokale versterking van een brug-ligger

Een brug-ligger werd plaatselijk beschadigd door het wegverkeer. Interne spankabels waren aangetast. Versterking met re-plate vond plaats binnen twee uur. De verkeersstroom werd tijdelijk omgeleid naar de tweede rijstrook. Dit is mogelijk met re-plate, omdat het systeem zeer snel en efficiënt kan worden aangebracht. Doordat in de winter zout tegen ijsvorming op de snelweg wordt gestrooid, is er een verhoogde chloridebelasting. Om deze reden werd een corrosiebescherming aangebracht op de re-plate. De activering werd uitgevoerd met een infraroodstraler. De verwarmingstemperatuur was beperkt tot 165 ° C.

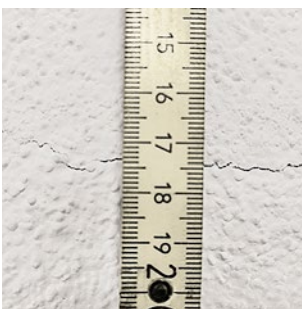


## Versterking tegen ponsbelasting

Met het aanbrengen van re-plate op de bovenzijde van het brugdek kan het negatieve buigmoment versterkt of tegen doorponsen voorgespannen worden. Door ongelijkheden in het betonoppervlak kunnen holtes onder de replate ontstaan. Deze worden plaatselijk met een reprofileermortel gevuld om vibratie in de banden te voorkomen. Daarna wordt re-plate met reprofileermortel of een toplaag afgedekt. Op de versterkings wordt dan de gewenste vloeropbouw aangebracht.

## Doorbuigingen verminderen en scheuren sluiten

Na een renovatie en verhoogde belastingen werd duidelijk dat het bestaande betonnen plafond onvoldoende was versterkt. De ontstane ontoelaatbare doorbuiging (blauw) leiden tot scheuren in de aanwezige pleisterlaag (rood). Acht re-plate versterkingsbanden werden voor verhoging van de gebruiks en draaglast aangebracht en geactiveerd. De zichtbare scheuren in het pleisterwerk konden daarmee weer gesloten worden.



Zichtbare scheur voor de versterking



Na versterking is de scheur gesloten



Film Activering van re-plate:  
[www.re-fer.eu/mov01](http://www.re-fer.eu/mov01)

## Brandbescherming met replate

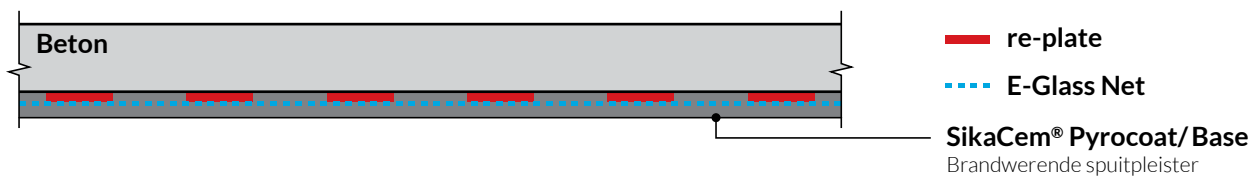
### Brandgedrag van re-plate

re-plate vertoont een brandgedrag vergelijkbaar met dat van conventioneel staal en verliest zijn sterkte aanzienlijk bij ongeveer 400°C, of vermindert zijn voorspanning bij ongeveer 350° C tot nul. Het zelfde geldt voor verankering met Hiltidirectbevestigingen; Hiervoor zijn aparte testen van de fabrikant op brandgedrag beschikbaar. Brandbescherming van de wapeningsmaatregelen is altijd nodig als de standaard en land-specifieke vuurbelasting niet zonder wapening kan worden afgedekt. De dimensioneringshulp (p. 43) toont een vergelijkingsvoorbeeld.



### Brandbeschermingmaatregelen

De betonnen ondergrond en de wapeningsstrips worden gereinigd en voorzien van de hechtprimer SikaCem® Pyrocoat Base. Daarna wordt een dunne laag SikaCem® Pyrocoat Spuitpleister aangebracht over het gehele oppervlak van de versterking. De spuitpleister dient ook om eventuele oneffenheden uit te vlakken. Een alkalibestendig glasvezel wapeningnet wordt over het volledige oppervlak in de spuitpleister geplaatst. Om te voorkomen dat de re-plate gaan trillen, worden de strippen aan de zijkanten opgevuld met spuitpleister.



#### SikaCem® Pyrocoat "Brandwerende spuitpleister" maschinaal aangebracht

Laagdikte 25 mm	<b>R120</b>
Resultaten in afwachting. De huidige waarden zijn te vinden op de re-fer website.	<b>R90</b>
	<b>R60</b>
	<b>R30</b>

Het Brandbeschermingssysteem tegen brand werd getest in het MFPA Leipzig, Duitsland. De testrapporten zijn te vinden in de downloadzone van onze website of kunnen worden aangevraagd bij re-fer.

Voor buitentoepassingen of in de tunnelbouw zijn andere geteste mortels uit het Sika MonoTop® gamma beschikbaar. Brandbeveiligingsmaatregelen, resp. de aangegeven laagdiktes zijn richtwaarden en dienen te worden afgestemd op de plaatselijk geldende officiële voorschriften en de geldende normen.

## Corrosiebescherming van re-plate

### Corrosiegedrag van memory<sup>®</sup>-steel

De legering van memory<sup>®</sup>-steel bevat ongeveer 10 massaprocent chroom en is vergelijkbaar met een materiaal 1.4003 volgens DIN EN 10088 (corrosiebestendigheidsklasse I). Een bekend risico van voorspannen van staal is spanningscorrosie. In de aangepaste FIB-test voor spanningscorrosie-scheuren haalde memory<sup>®</sup>-steel een levensduur van meer dan 250 uur. Voor zwaar belaste objecten met een hoge chloorconcentratie – bijvoorbeeld in binnenzwembaden of in het spatwatergedeelte van wegen – dient extra corrosiebescherming te worden aangebracht. Het SikaCor<sup>®</sup> EG1-systeem is geschikt voor de extern aangebrachte versterkingsbanden van re-plate.

Opmerking: re-bar wordt in een cementeuse matrix geplaatst, deze dient als alkalidepot voor de interne versterking en als beschermlaag tegen penetrerende chloride-ionen.

**Corrosiebescherming wordt aanbevolen voor  
bouwdelen die zijn blootgesteld aan chloride**



re-plate voorgeboord



Stralen met Korund in het werk



Corrosiebescherming met  
SikaCor<sup>®</sup> EG-1 in het werk

### Applicatie van de corrosiebescherming op memory<sup>®</sup>-steel

Het oppervlak van re-plate wordt door stralen met Korund licht opgeruwd en daarna met Sika-Cor<sup>®</sup> EG-1 bestreken. Mogelijke transportschades van de bekleding worden op de bouw met Sika-Cor<sup>®</sup> EG-1 hersteld. Door deze beschermende coating “kortstondige thermische bestendigheid van ca. 180°C” wordt de verwarmingstemperatuur van het voorspanproces beperkt tot 165°C. Een maximale voorspankracht van 54 kN/re-plate is dienovereenkomstig van toepassing. Na het aanbrengen en activeren wordt de re-plate ook aan beide zijden afgevoegd met Sikaflex<sup>®</sup> PRO-3 om te voorkomen dat water tussen de betonnen ondergrond en de wapeningsband kan binnendringen.

#### **SikaCor<sup>®</sup> EG-1 “Coating”**

In het werk aangebracht

Coatings op basis van epoxyhars worden vóór levering in de fabriek aan beide zijden van de replate aangebracht. Na activering van re-plate voegen met Sikaflex<sup>®</sup> PRO-3.

\*Let op: verlaagde verwarmingstemperatuur 165°C “voorspankracht 54 kN/re-plate”

## re-bar methodes voor betonbouw

“voor statisch en dynamisch continue belaste bouwdelen”

### Naderhand versterken van bouwwerken

Het geribde staal Ø10 of Ø16 mm wordt in Sika Reparatiemortel eindverankerd en met de een gasbrander geactiveerd. Na uitharding van de eindverankering wordt het tussengebied gevuld met mortel. re-bar fungeert als een interne hechtende voorspanning. re-bar 10 U-profielen worden in de Sika reparatiemortel geplaatst en geactiveerd met EL-stroom.

Product	Doorsnede	Max. Trekspanning	Max. Trekkracht	Relaxatie
re-bar 10	89.9 mm <sup>2</sup>	520 N/mm <sup>2</sup>	<b>46.7 kN</b>	30%
re-bar 16	211.2 mm <sup>2</sup>	520 N/mm <sup>2</sup>	<b>109.8 kN</b>	30%

\*Ontwerpwaarde verminderd met veiligheidsfactoren

Product	Temperatuur	Voorspanning	Voorspankracht	Relaxatie
re-bar 10 – Staven	Gas 300 – 350°C	400 N/mm <sup>2</sup>	<b>36.0 kN</b>	15% t <sub>r</sub>
re-bar 10 – U-Profilen	met stroom 200°C	350 N/mm <sup>2</sup>	<b>2 x 31.5 kN = 63 kN</b>	15% t <sub>r</sub>
re-bar 16 – Staven	Gas 300 – 350°C	320 N/mm <sup>2</sup>	<b>67.6 kN</b>	15% t <sub>r</sub>

### Nieuwbouw-inzet in beton (verborgen balk)

Het geribde staal re-bar 16 wordt in de nieuwe beton gelegd. Activering vind plaats voor het ontkisten met EL-stroom.

Product	Temperatuur	Voorspanning	Voorspankracht	Relaxatie
re-bar 16 – met eindhaken voor EL-aansluiting	met stroom 200°C	250 N/mm <sup>2</sup>	<b>52.8 kN</b>	15% t <sub>r</sub>



Geribdt staal vergelijkbaar met een materiaal 1.4003 volgens DIN EN 10088 (corrosieweerstandstandklasse 1)



## Basistest met re-bar

### Hechttesten

Met uittrekproeven werd de eindverankering met verschillende Sika mortels onderzocht. De verankeringslengte met de geteste mortels op een beton met druksterkte  $>25 \text{ N/mm}^2$  werd als volgt vastgesteld:

In Sika Reprofilerings- resp. Spuitmortel

Verankeringslengte:  $>500 \text{ mm}$   
(afhankelijk van de situatie)

Ingeslepen in sleuf in Sika gietmortel

Verankeringslengte:  
re-bar 10:  $\geq 400 \text{ mm}$   
re-bar 16:  $\geq 600 \text{ mm}$

Afstand tussen de sleuven:  $\geq 100 \text{ mm}$

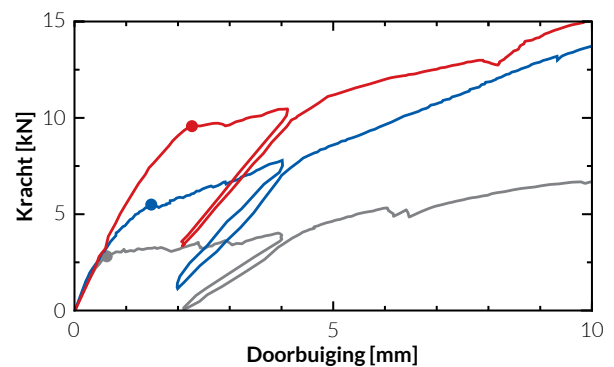


Bij hogere betonkwaliteiten is het mogelijk de verankeringslengtes te verkorten. Verdere verankeringsmogelijkheden zie blz 27.

### Constructief gedrag



Het constructieve gedrag van de wapening met re-bar op de balk met de afmetingen hoogte 160mm, breedte 250mm, overspanning 2m werd gecontroleerd. re-bar geactiveerd en niet geactiveerd zijn vergeleken.



— onversterkte referentiebalk  
— re-bar geactiveerd  
— re-bar niet geactiveerd

**De scheurbelasting kan door de activering verdubbeld worden.**

## Grootschalige test: Versterking negatief-moment op een brugplaat

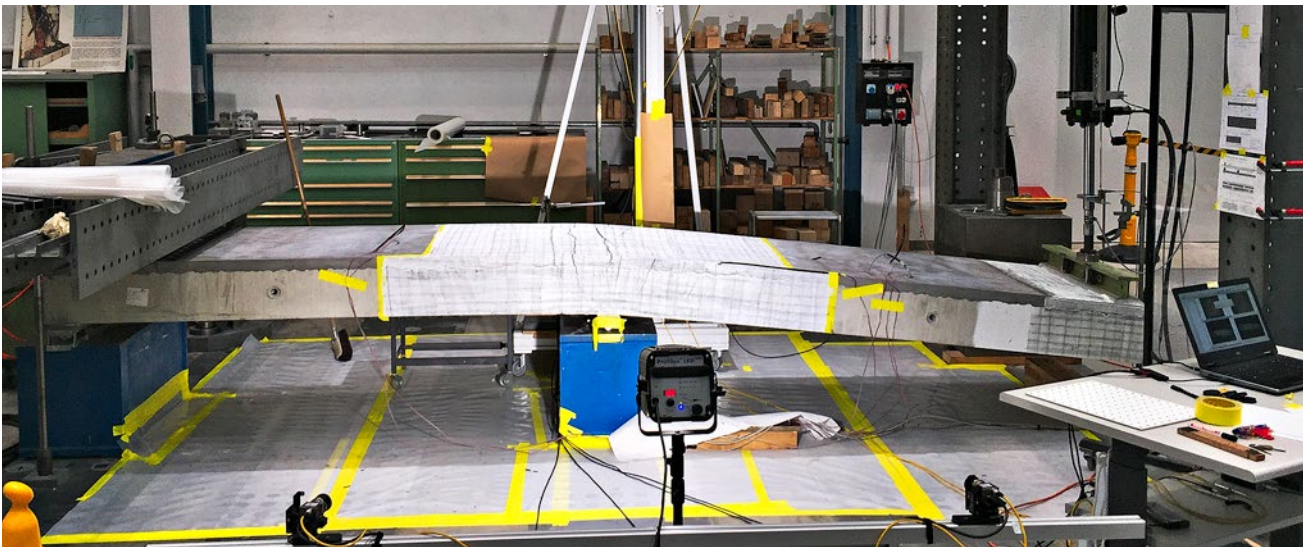
Empa Zwitserland onderzocht het buigbelastingvermogen van versterkte brugliggers met re-bar staven. De staven werden in een betonsleuf in de bovenzijde van de plaat geplaatst en gevuld met SikaGrout®-314 N. In een tweede serie werd re-bar in de reprofileringsmortel Sika MonoTop®-452 N op het oppervlak aan gebracht. In een grootschalige test wordt een brugplaat gesimuleerd die in dwarsrichting is versterkt met 5 voorgespannen re-bar wapeningsstaven.



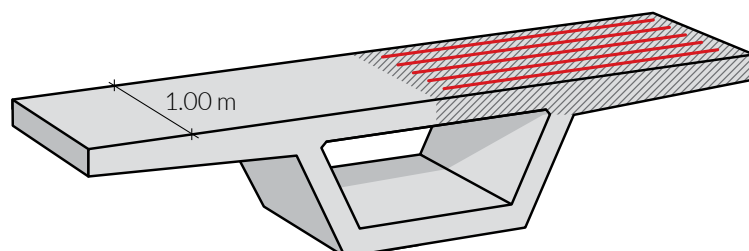
Versterking in sleuf



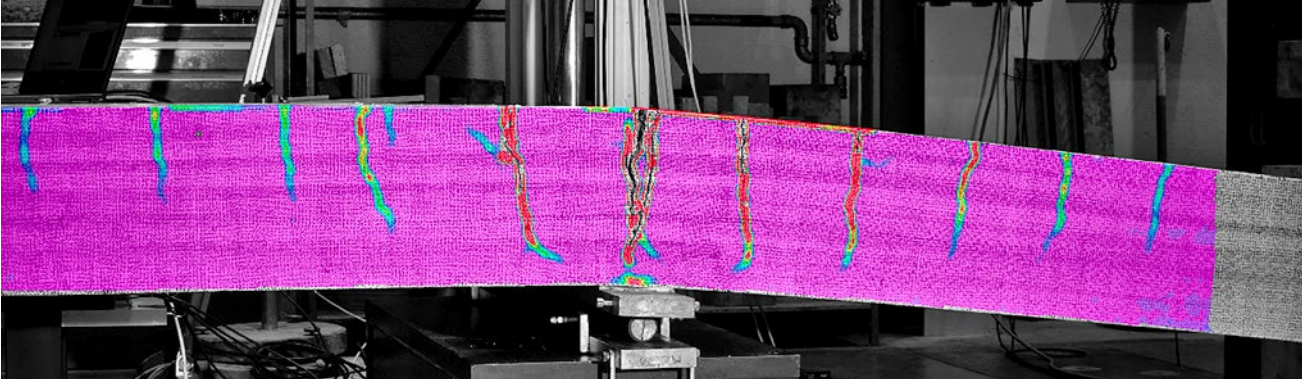
Versterking in reprofileermortel



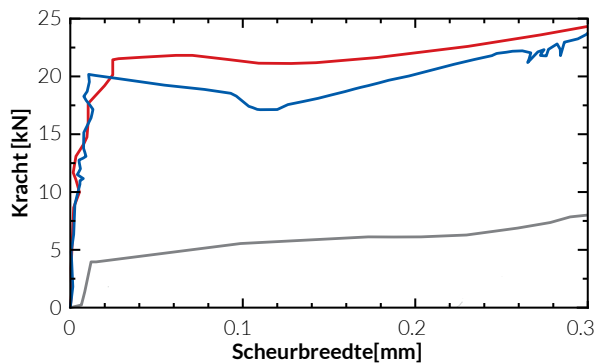
Test betonplaat bij Empa



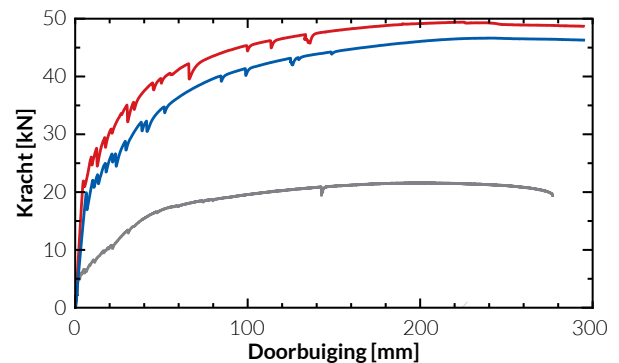
## Testresultaat: Versterking negatief moment



	Referentiebalken	re-bar in betonsleuf	re-bar in reprofileermortel
Scheurbelasting [kN]	5.9	20.0	21.9
Breuklast [kN]	21.6	46.6	49.4



- onversterkte Referentiebalk
- re-bar in Reparatiemortel
- re-bar in Betonsleuf



De gemeten scheurbreedtes konden bij gelijke belasting aanzienlijk worden verminderd. De constructie blijft langer in nietgescheurde toestand. Door dat de internewapening door de voorspanning ontlast werd, heeft dit ook een positief effect op het vermoeingsgedrag en dus op de levensduur van de constructie

**Ontlasten van de internewapening.**  
**Verhoogde levensduur.**

**Scheurbelasting werd verdrievoudigd.**  
**Breuklast werd verdubbeld.**

# Applikatie van re-bar bij Naversterking

## Naversterking positief/negatief moment



### Werkvoorbereiding

- 1 Opruwen van de betonnen ondergrond tot gewenste ruwheid bereikt is.
- 2 Fixeren van re-bar met elektrische isolatoren **re-clip** op de internewapening of **re-bolt** op de bestaande ondergrond.



### Tweezijdige eindverankering

Op de vloer

- 3 tweezijdig inbedden in **Sika MonoTop®-452N** "reprofiileer-mortel" als eindverankering

Boven het hoofd

- 4 tweezijdig inbedden in **Sika MonoTop®-412 Eco/-4012** "spuit-mortel" als eindverankering



Activeren van re-bar zodra een druksterkte  $>35 \text{ N/mm}^2$  in de mortel bereikt is.



### Activeren van de voorspanning

- 5 verhitten van re-bar met gas-brander. Protocol activeringstemperatuur volgen.



### Voltoeien

Op de vloer

- 6 **Sika MonoTop®-452N** "reprofiileer-mortel" tussen de eindverankeringen aanbrengen

Boven het hoofd

- 7 **Sika MonoTop®-412 Eco/-4012** "spuitmortel" tussen de eindverankeringen aanbrengen

## Naversterking van negatief buigmoment in sleuf



### werkvoorbereiding

- 1 Inslijpen sleuf in de betonondergrond  
re-bar 10: breed 2.5 cm/diep 3.0 cm  
re-bar 16: breed 2.5 cm/diep 3.0 cm
- 2 re-bar centraal in de betonsleuf fixeren



Activeren van re-bar zodra  
een druksterkte  $>35 \text{ N/mm}^2$   
 $>200 \text{ mm}$  in mortel bereikt is.

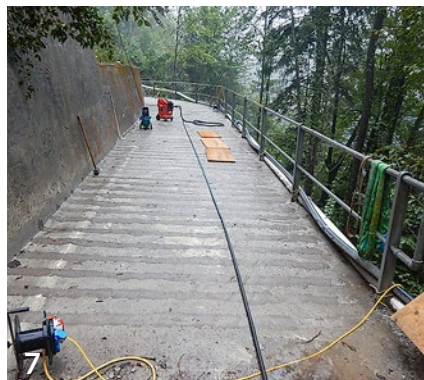
### Tweezijdige eindverankering

- 3 Tweezijdig inbedden in  
**SikaGrout®-314N** "gietmortel"



### Activeren van de Voorspanning

- 4 Activeren/verhitten van re-bar met  
gas-brander
- 5 Protocol Activeringstemperatuur  
volgen

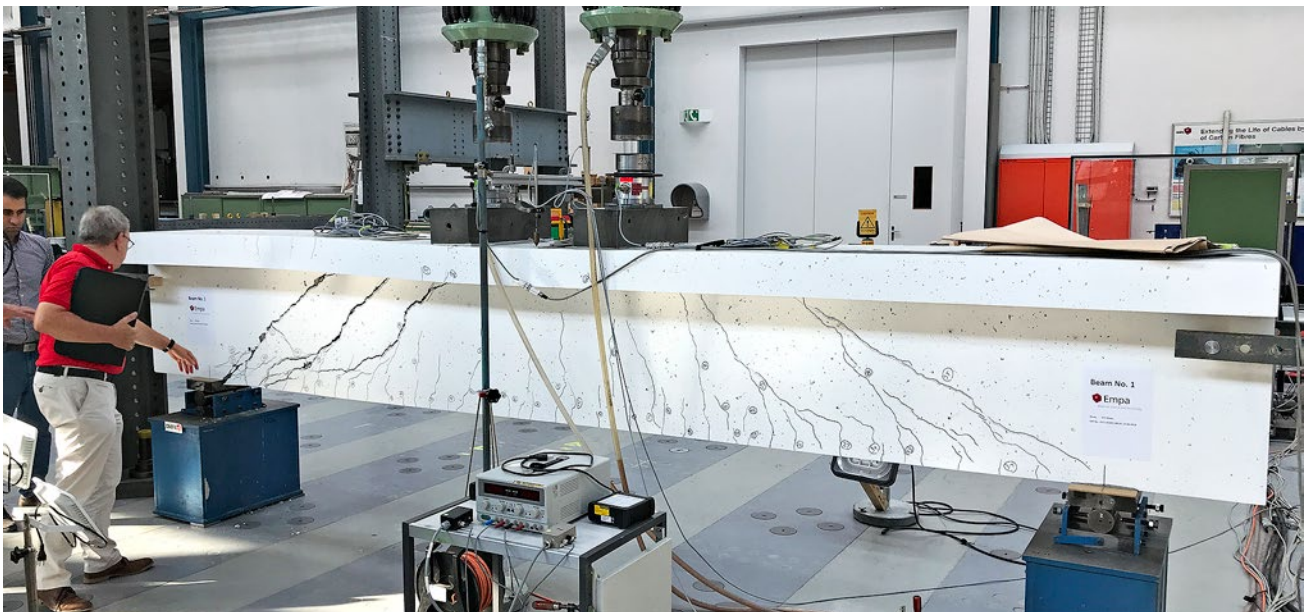


### Voltooiën

- 6 Afgieten van de re-bar met  
**SikaGrout®-314N** tussen de tweezij-  
dige eindverankeringen.
- 7 Aanbrengen van afdichtingen en/of  
asfaltafwerking

## Draaglasttest: Dwarskracht versterking aan T-balken

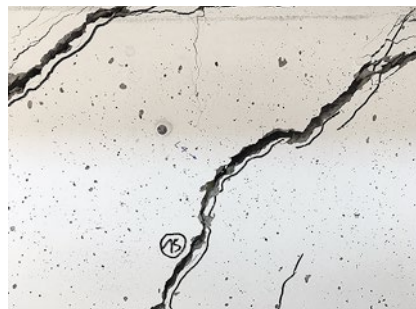
Bij Empa Zwitserland zijn verschillende belastingtesten uitgevoerd en zo ontworpen dat falen bij afschuiving optrad. Een eerste referentieopgave zonder extra re-bar U-beugel versterking werd tot breuk belast. Deze zwaar beschadigde referentiebalk met gescheurde dwarskrachtwapening en gapende scheuren werd geïnjecteerd en versterkt. Daarnaast zijn vier andere onbeschadigde T-balken verstevigd met re-bar U-beugel en getest.



Testbalk bij Empa



Verlijming van rekstrookjes op de internewapening

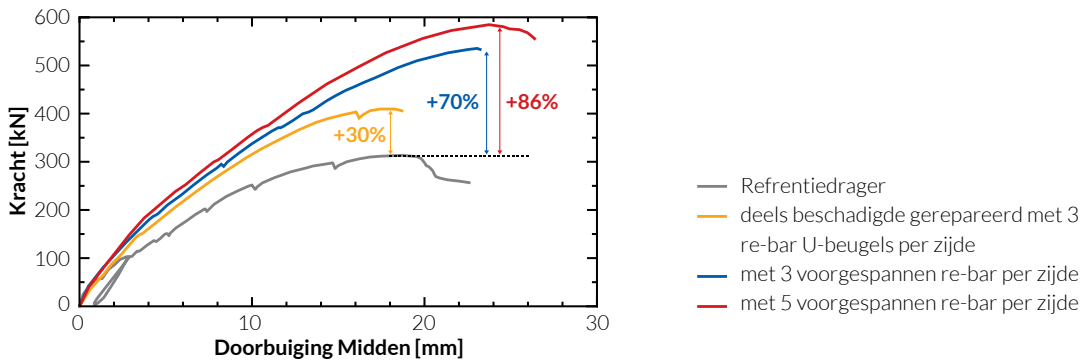


Gapende scheuren in de beschadigde referentiedrager



Warmtebeeld van de geactiveerde/verwarmde re-bar beugel

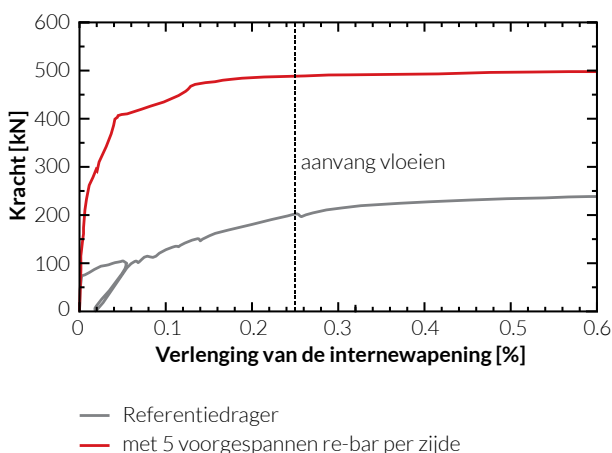
De testen toonde duidelijke trek winst op de draaglast. Tevens geeft de voorspanning kleinere scheuropeningen bij gelijke last als zonder voorspanning



**Versterking van deels beschadigde gebouwen na een aardbeving is mogelijk.**

**Dankzij de voorgespannen re-bar U-beugel kon een stijging van de gebruikslast van de deels beschadigde referentiedrager met 30% bereikt worden.**

**Dankzij activering/voorspanning van de re-bar U-beugel treedt de scheurvorming pas bij 50% hogere draaglast in.**



Door de voorspanning wordt de trekspanning in de binnenste dwarskrachtwapening ontlast. Rekstrookjes op de internewapening tonen aan dat deze in de referentiebaalk bij ~200kN begint te vloeien. Na het plaatsen van 5 voorgespannen re-bars, start het vloeien van de internewapening pas bij ~500 kN.

**Ontlasting interne dwarskracht U-beugel.**

**Verbeterde vermoeiingsverhouding**

# Applicatie van re-bar U beugels



1



2

## Scheurinjectie indien nodig

- 1 oppervlakafdichting van de scheur **Sika® FastFix-121** aof injecteren met **Sika® InjectoCem-190**

## Werkvoorbereiding

- 2 Hydromechanisch of mechanisch opruwen tot vereisde ruwheid (zandstralen indien mechanisch opgeruwd wordt)



3



4

- 3 re-bar U-beugel met re-bolt kunststof-pluggen fixeren (elektrische isolering van de interne wapening)

## Mortel aanbrengen

- 4 **Sika MonoTop®-412 Eco/-4012** d.m.v. natte spuitmethode opspuiten, gaten met **SikaGrout®-314 N** gietmortel vullen. Alternatief: bekisting stellen, vullen met gietmortel **SikaGrout®-314 N**



Activeren van re-bar zodra een druksterkte  $>35 \text{ N/mm}^2$  in mortel bereikt is.



5

## Activeren van de voorspanning

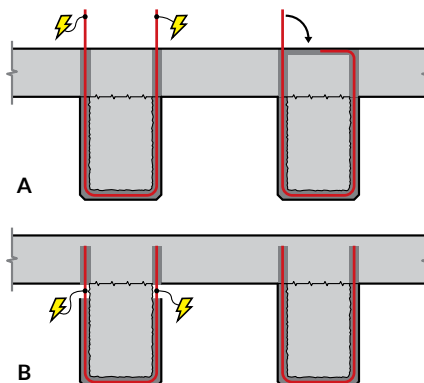
- 5 Activering/EL-weerstandverwarming, daarna beugel ombuigen en afgieten.

Voorspankracht:  
 $2 \times 31.5 \text{ kN} = 63 \text{ kN}$  elk tweedelig U-profiel

Stroomaansluiting op de bouw: 400V, 2x 56 A (63A CEE Stekker) in omgeving van 20 m



6



## Voltoeien

- 6 Aanzicht van versterkte object na aanbrengen mortel

## Verankering in drukzone

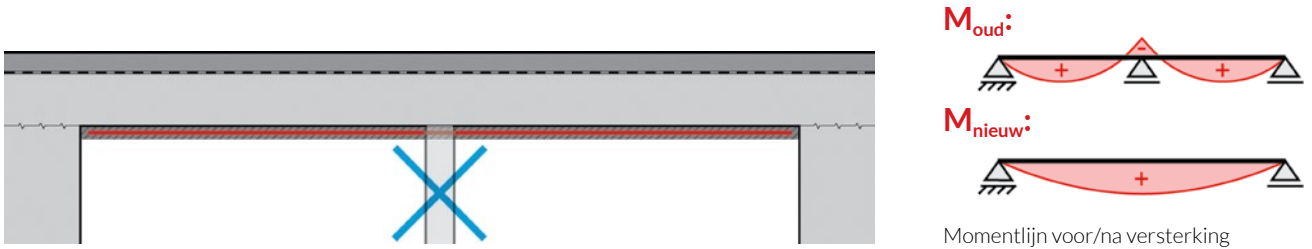
- A U-Profiel gesloten
- B U-Profiel in beton verankert



## Toepassing van re-bar als Naversterking

### Buigversterking van een brugplaat

Ter verbetering van het doorstroomprofiel onder een brug werd de middenpijler (op de schets blauw) verwijderd. Provisorische steunen werden als waarborg voor de bouwtoestand aangebracht. Daarna kon de middenpijler verwijderd worden. Het te versterkende nieuwe positieve moment  $M_{\text{nieuw}}$  als gevolg van de nieuwe spanwijdte wordt door de voorgespannen re-bar overgenomen. re-bar ligt in Sika MonoTop® spuitmortel. Om de verbindende hechting te waarborgen, moet de dragende ondergrond hydromechanisch worden opgeruwd.



Na verwijderen van de middenwand, provisorisch ondersteunen en hydromechanisch opruwen.



Fixeren van re-bar aan internewapening (re-clip) en aan dragende ondergrond (re-bolt)

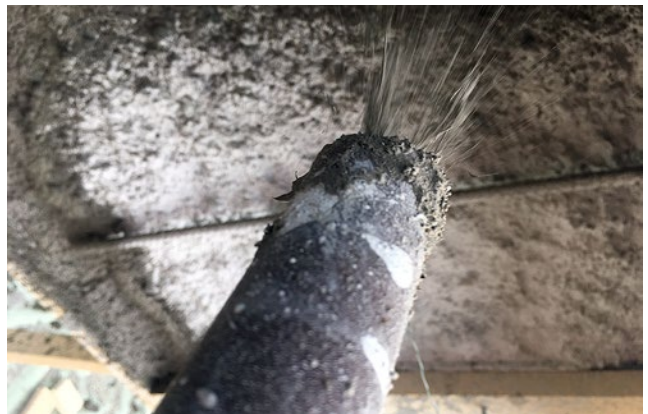


Tweezijdige eindverankering van de 600 mm re-bar staven met Sika MonoTop® nattespuitmortel



Activering van re-bar met gasvlam en temperatuurcontrole

Met uittrektesten werd de hechting van de eindverankering in cementgebonden Sika MonoTop® bij Empa getest. De tweezijdige verankeringslengte >600 mm gebaseerd op een drukvastheid van de oude beton >25 N/mm<sup>2</sup>. De drukvastheid van het object moet met een testhamer of uitname van boorcilinders continue gecontroleerd worden.



Spuiten van het middengebied met Sika MonoTop®



Film Activering van re-bar:  
[www.re-fer.eu/mov02](http://www.re-fer.eu/mov02)



Doorlaatruimte na versterking

## Buigversterking van brugliggers

Het draagvermogen van een brug hangt niet alleen af van de maximale belasting, maar ook van het spanningsniveau waarbij de dynamische permanente belasting optreedt. Afhankelijk van de staat van de constructie zijn ook constructieve vervangingsmaatregelen nodig om de duurzaamheid te waarborgen. Het beton aan het oppervlak van de brugliggers en de plaat is sterk gecarboniseerd en de inwendige wapening vertoont gedeeltelijke corrosieschade. Het beschadigde overtollige beton wordt hydromechanisch verwijderd en de te versterken zones worden opgeruwd.



Beschadigd Beton voor Versterking



Gecorrodeerde Interne wapening

re-bar kan specifiek worden gebruikt als buigwapening onder de brugliggers. Dankzij de voorspanning wordt ook de bestaande trekwapening ontlast. De verankeringspunten op de liggerbalken zijn extra versterkt met U-beugels van normaal constructiestaal. De voorspankracht van een re-bar 16 kan in de beton-compressiezone worden gebracht met een  $\varnothing 12$  mm U-beugel. Als de afschuifwapening in de bestaande constructie gebrekkig of onvoldoende is, kunnen ook U-profielen met voorgespannen Ubalken worden gebruikt.



Tijdelijke steigers voor versterking werkzaamheden

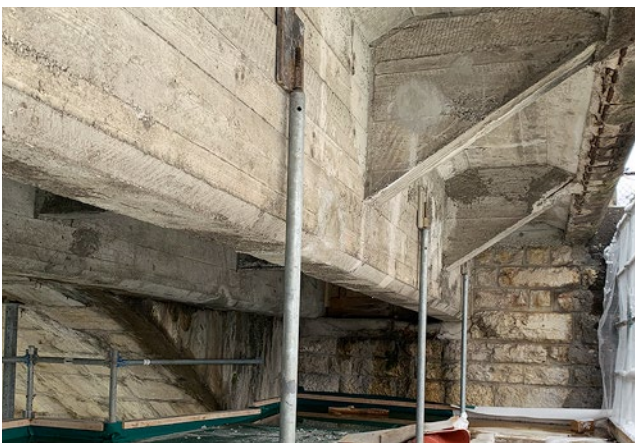


Verankeringszone van drie voorgespannen re-bar 16 met drie beugels Ø12 van constructiestaal in Sika spuitmortel.

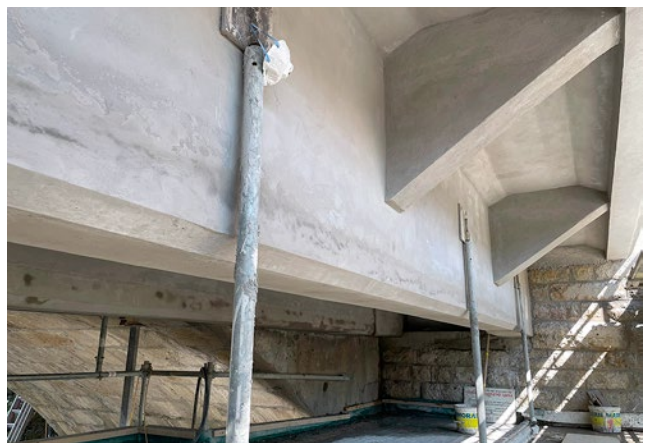


Inbedden van re-bar met Sika Spuitmortel

Dankzij de inbedding met Sika MonoTop® spuitmortel ontstaat een nieuwe alkalische laag en wordt de inwendige wapening beschermd tegen corrosie. De robuuste en duurzame versterkingsoplossing verlengt specifiek de levensduur van de constructie.



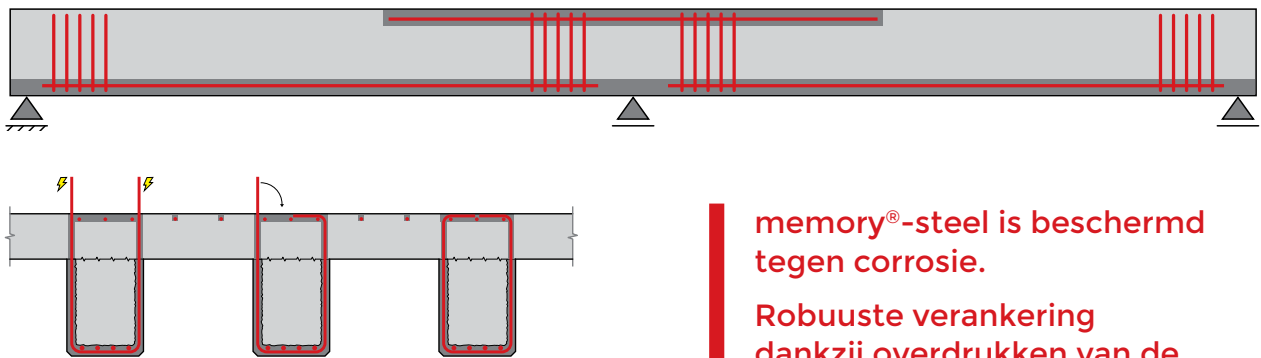
Voor de Versterking:  
gecarboniseerd Beton en gecorrodeerde interne wapening



Na de Versterking:  
Volledig oppervlak met een fijnsachtel laag uit de Sika MonoTop reeks

## Gecombineerde re-bar toepassing Buigtrek/Schuif bij bruggenbouw

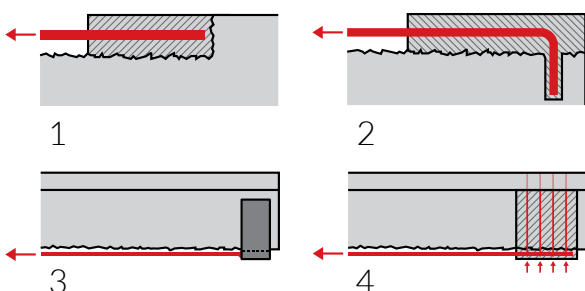
re-bar is geschikt voor de gedeeltelijke en complete renovatie van een brugligger of massieve dek ondersteuning. Bij hergebruik of reparatie van oude, gecarbonateerde betondoorsneden, wordt memory®-steel als buig- of afschuifwapening in een nieuwe mortellaag ingebracht. De cementeuse mortellaag dient als een nieuw alkalisch depot voor de stalen wapening. Het wapeningswerk creëert een permanent ondersteuningssysteem met corrosiebescherming voor memory®-steel en bestaande interne wapening.



### Flexibele verankeringsmogelijkheden

In principe wordt re-bar bij buigversterking achter of op de moment-nullijn verankerd. Bij dwarskracht versterking wordt re-bar in de drukzone verankerd. Inleiding van de voorspankracht wordt normalerwijs door de mortel verbinding bereikt. (1). Alternatief kan een verankerings plaatsvinden. Daardoor wordt verbinding tussen mortel en ondergrond verhoogd.(2). Ook zijn speciale oplossingen als verlijmd of geschroefd hoekstaal aan de buitentzijde met aangelaste re-bar staven mogelijk (3).

Voorgespannen re-bar U-beugels zijn speciaal geschikt om de dwarskracht verbinding tussen mortel en dragende ondergrond te overdrukken (4).



**memory®-steel is beschermd tegen corrosie.**

**Robuuste verankerung dankzij overdrukken van de dwarsdoorsnede.**

**Tegen vermoeiing.**

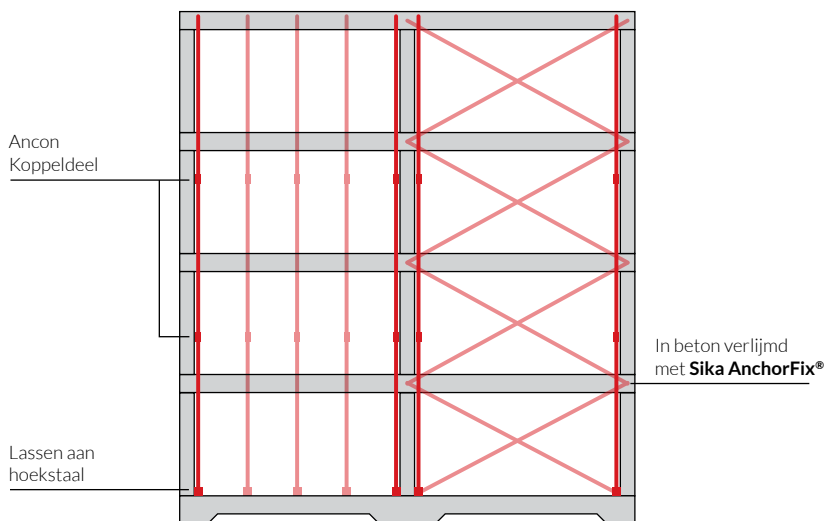
**Ontlasten van de interne wapening.**

**Hoger draagvermogen/minder doorbuiging.**



## Versterking tegen aardbevingen

Dankzij de mogelijkheid om het memory®-steel te kunnen lassen is een eenvoudige verankering van re-bar mogelijk. re-bar wordt bijvoorbeeld op een stalen L-profiel gelast en in het betonnen plafond of vloerplaat verankerd. Ten slotte wordt re-bar ingebed in Sika MonoTop®-412 ECO/-4012 spuitmortel. Lassen moeten door een gecertificeerde lasser worden uitgevoerd. (Wolfram punt, edelgas, lasmetaal "Böhler A7 CN-IG" 1,6 mm draad).



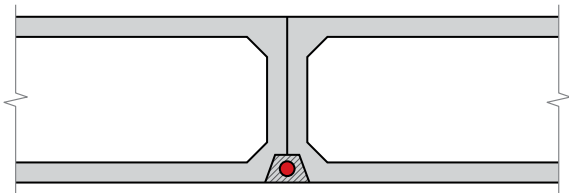
## Versterking in tunnelconstructies

Voor versterking van gewelven in de tunnelbouw, of bij overbrugging van koppelvoegen b.v. in rioolbouw wordt re-bar met droge-spuitmortel Sika® Rock Gunit BE-8 afgedekt.



## Versterking van een kanaalplaat

re-bar wordt in de beton tussen de holle kanalen in een sleuf gelegd, eindverankerd en geactiveerd. De activeringstemperatuur wordt afhankelijk van de gewenste voorspankracht aangepast.



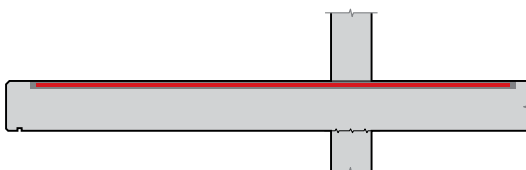
## Versterking tegen opdrijven/pons

De onvoldoende gewapende vloerplaat vertoont aan de bovenzijde uitstulpingen en scheuren. Versterking tegen opstuwend grondwater kan in beide draagrichtingen plaatsvinden. Een combinatie van rebar "ingeslepen" in één richting en rebar "in reprofileringsmortel" in de tweede richting is mogelijk.



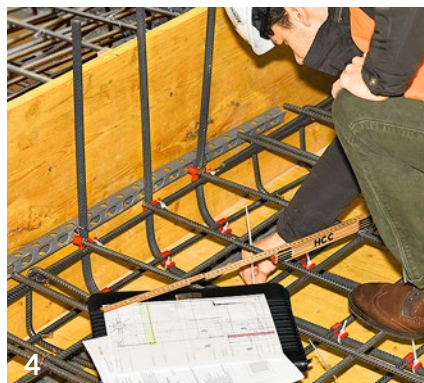
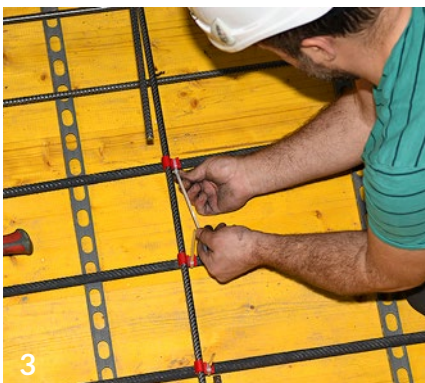
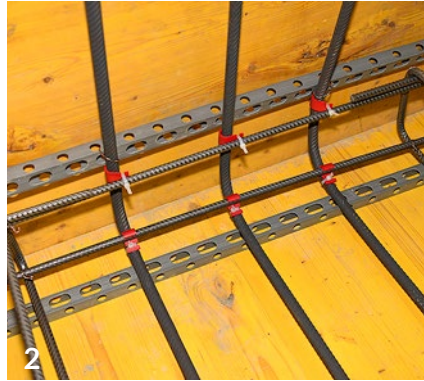
## Versterking balkonaansluitingen

Op het object wordt de bovenzijde van het plafond en het dek met re-bar "ingeslepen" versterkt. Daardoor wordt de doorbuiging verminderd en kunnen hogere lasten op het balkon worden toegepast.



# Applicatie van re-bar in nieuwbouw betonconstructies

## Creëren van verborgen, voorgespannen liggers



### Aanbrengen van de wapening

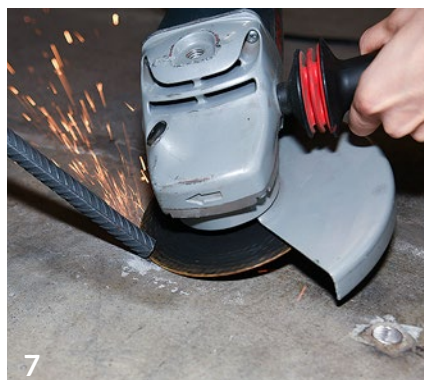
- 1 Bekisting maken, plaatsen vanafstandhouders en 1. laag van de traditionele internewapening
- 2 Aanbrengen re-bar t.p.v. de verborgen balk tussen de internewapening
- 3 Aanbrengen van de dwarswapening (2. Laag)/contact met re-bar door elektrische Isolatoren re-clip gescheiden
- 4 Controle van de re-bar door bouwingenieur (el. contact, lagen, el. aansluitpunten)



Activeren van re-bar zodra een druksterkte  $>25 \text{ N/mm}^2$  in beton bereikt is.

### Beton storten

- 5 Beton storten na vrijgave door bouwingenieur.



### Activeren van de Voorspanning

- 6 Activeren/EL-verwarmen (voor het ontkisten). Meting voorspankracht met kracht-meetcel mogelijk.

Stroomaansluiting op de bouw: 400V, 2x 56A (63A CEE Stekker) in omgeving van 20m

- 7 verwijderen re-bar aansluitingen en afwerken plafond

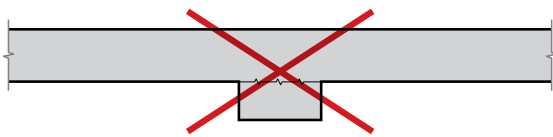


## Toepassingen van re-bar in nieuwbouw betonconstructies

### Verborgen, voorgespannen ligger in een flatgebouw

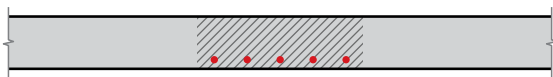
Door het gerichte gebruik van memory®-steel in nieuwbouw kan de plafond dikte worden verminderd en biedt daarmee een alternatief voor conventionele ondersteuningssystemen zoals onder/bovenbedekkingen of aanvullende ondersteuningselementen. re-bar wordt vooral gebruikt voor betonnen balken of filigrane betonnen plafonds met overspanningen tot ca. 15 m en plafonddiktes tot ca. 30 cm. Dankzij de eenvoudige handhaving en het optimale gebruik van de binnenste hefboomarm zijn er verschillende voordelen ten opzichte van conventionele draadvoorspanning.

Gepland:



**Door architect/opdrachtgever niet gewenst.**

Variant re-bar:



Om te voorkomen dat de kamerhoogte zou worden beperkt, wilden zowel de opdrachtgever als de architect een verborgen ligger. Om de doorbuiging volgens de norm in dit gebied te behouden, werden tussen de onderste wapeningslaag re-bar staven aangebracht. De elektrische activering van re-bar vindt plaats na uitharding, maar voordat de plafondbekisting wordt verwijderd. De verstevigungsstrip die in het filigraan betonnen plafond is gemaakt, voldoet aan dezelfde statische eisen als de aanvankelijk voorgestelde variant.



Levering van re-bar 16 vindt plaats in standaard lengtes, die geschikt zijn voor transport. De re-bar staven kunnen op de bouwplaats worden verlengd met Ancon koppelingen.

## re-bar R18 systeem voor staalconstructies

“voor statische en blijvend dynamisch belaste draagconstructies”

De Ø18mm ronde staaf re-bar R18 wordt via een schroefverbinding verankerd aan het bestaande stalen onderdeel. In uitzonderlijke gevallen is lokaal lassen van de eindverankering mogelijk. De activering/voorspanning vindt plaats volgens het productdatablad van de verwijzing met een gasbrander. Bij het opwarmen wordt een hitteschild tussen de re-bar R18 en de bestaande staalconstructie geplaatst.

Product	Dwarsdoorsnede	Max. Treksterkte	Max. Trekkraft	Breukverlenging
re-bar R18	254.5 mm <sup>2</sup>	750 N/mm <sup>2</sup>	<b>190.8 kN</b>	15%

Product	Temperatuur	Voorspanning	Voorspankracht	Relaxatie
re-bar R18	Gas 300 - 350°C	380 N/mm <sup>2</sup>	<b>96.7 kN</b>	15% t <sub>0</sub>

re-bar R18 wordt op de bouwplaats geleverd in een maximale staaf lengte van 5,2 m. Op beide zijden van de staven is een speciale M19.5-schroefdraad gerold. De R18 C koppeling wordt gebruikt om voorgemonteerde staven voor de bijbehorende afmetingen op de bouwplaats te koppelen.

De corrosiebescherming van de staalconstructie en de versterkingsmaatregel worden uitgevoerd met SikaCor® EG-1.



Rondstaaf vergelijkbaar met materiaal 1.4003 volgens DIN EN 10088 (corrosieweerstandsklasse I)



Koppelstukken R18 C met binnendraad M19,5

## Aanvullende producten voor het re-bar R18 systeem

Versterking met re-bar R18 kan worden gedaan met één, twee of vier staven. De stangen kunnen parallel aan de stalen ligger worden aangebracht of met een centraal geplaatste camber.

Versterkingstype	"Enkelvoudig"	"Dubbel"	"Viervoudig"
Aantal re-bar R18	1	2	4
Voorspankracht	<b>96.7kN</b>	<b>193.4kN</b>	<b>386.8kN</b>
Trekkracht	190.8kN	381.6kN	763.2kN

### R18 Eindverankering

De basisplaat van de eindverankering wordt afhankelijk van het object aangepast en op het bestaande stalen profiel geschroefd. Speciale toepassingen of opbouw op speciale profielen zijn mogelijk. Er worden R18 moeren met speciale ringen meegeleverd voor het bevestigen van re-bar R18. De ringen (sferische ring + conische mof) laten een hoek van maximaal 3° toe.



Eindankers R18 "enkel, dubbel en viervoudig" geschroefd



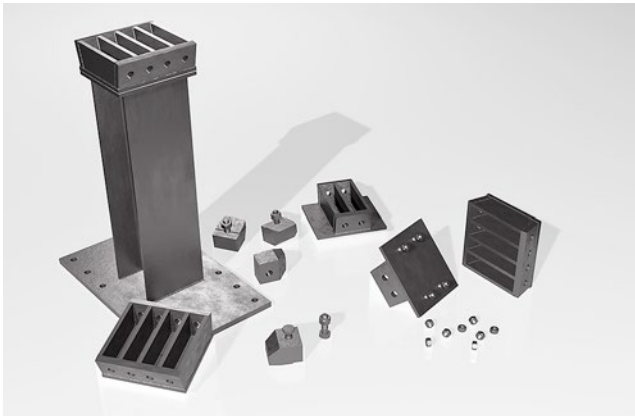
R18 moeren en ringen met een hoek tot 3°

De standaard eindankers zijn ontworpen voor de volgende staalprofielen:

Staalprofiel	IPE	PEA	INP	HEA	HEB	HEM
"Enkelvoudig"	270 - 750	270 - 600	300 - 550	140 - 1000	140 - 1000	140 - 1000
"Dubbel"	350 - 750	300 - 600	360 - 550	140 - 1000	140 - 1000	140 - 1000
"Viervoudig"	750			260 - 1000	260 - 1000	260 - 1000

## R18 doorbuiging ondersteuning

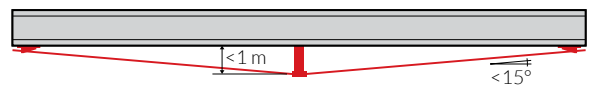
Om het moment van de voorbelasting te vergroten, kan in het midden van de ligger een afbuigsteun worden aangebracht. De R18 ondersteuning wordt geklemd zodat er op dit punt geen verzwakking van de dwarsdoorsnede van de stalen ligger optreedt. De ondersteuning is ontworpen tot een maximale verkanting van 1 m. Een hoek van 15° is mogelijk met de ringen en de basisafschuiving van de console.



R18 afbuigsteun "dubbel en viervoudig" geklemd

Installatie-instructies zijn te vinden in het productdatablad. Het re-fer-team biedt zijn ondersteuning voor speciale toepassingen (bijv. Bevestigen van re-bar R18 in het bargedeelte, enz.). Bevestiging van versterkingsribben op de punten waarop de kracht wordt uitgeoefend, moet door de ingenieur worden gecontroleerd. De toepassing en voorspanning moeten worden uitgevoerd op de ontlaste constructie.

Versterking verhoogd t.o.v. de stalen balk:



Doorbuigsteun geklemd

Versterking parallel aan de stalen balk



Eindanker geschroefd op stalen liggerflens

## Testen bij dynamisch blijvende belasting

Voorgespannen re-bar R18-staven zijn onderworpen aan dynamische langdurige belastingstests met 2 miljoen laadcycli met een lasnaad en een spanningsamplitude van 60 N/mm<sup>2</sup>, ook met een koppeling M19.5 en een spanningsamplitude van 50 N/mm<sup>2</sup>.



**Geschikt voor toepassingen met permanente belasting.**

## Toepassingen met re-bar R18

### Buigversterking van een staal-beton-composiet brug

Aanpassingen van de bouwnormen resulteren in hogere belastingseisen. De staal-beton-composiet brug vertoont statische tekortkomingen. Om de buig- en vermoeiingsweerstand te verbeteren, worden de stalen hoofdliggers nageversterkt volgens de re-bar R18-methode.



Versterking van een Staal-Beton composiet Brug

Op het object worden de bestaande stalen onderdelen gezandstraald en beschermd met de corrosiebescherming SikaCor® EG-1. Het re-bar R18 systeem wordt aangebracht. De ronde staven zijn aan beide zijden verankerd. De eindankers worden vastgeschroefd aan de bestaande stalen balk. Vervolgens wordt re-bar R18 over de gehele lengte met een gasbrander geactiveerd.



Bestaande stalen liggers met corrosie coating



Geïnstalleerde re-bar R18 met eindverankeringen

re-bar R18 wordt parallel aan de lastrichting over het voorwerp geleid. Aangezien de bestaande brug grote doorbuigingen heeft, worden in het midden van de overspanning tussensteunpunten gebruikt. Via deze steunen worden gericht afbuigkrachten ingebracht. In verband met de vochtige omgeving en schadelijke zouten (dooizout als wintermaatregel) wordt de gehele wapening uiteindelijk met SikaCor® EG-1 gecoat.



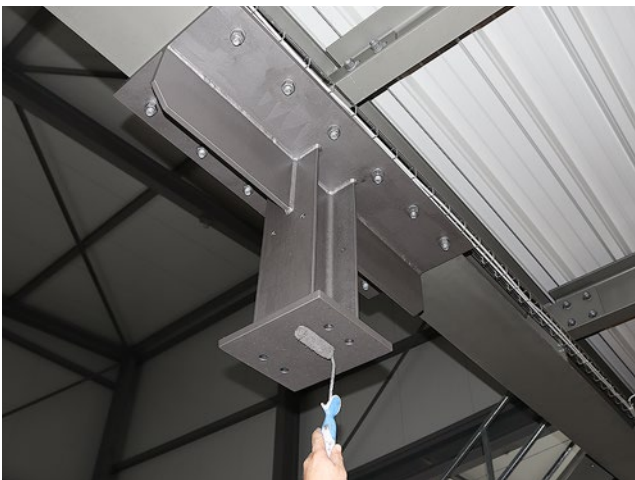
Bestaande stalen liggers met corrosie coating



Steunblokken in het midden van de stalen liggers

## Ondersteunen van een geconcentreerde belasting op een stalen balk

Verhoogde dakbelasting op een stalen hal wordt opgevangen met een nieuwe steun. De nieuwe geconcentreerde belasting op de bestaande stalen ligger wordt ondersteund met de re-bar R18 methode. In het midden is een afbuigende steun R18 geïnstalleerd. Dankzij deze steun wordt een hefboomarm gecreëerd die het buigmoment onmiddellijk opvangt. Het systeem is geschikt waar de plaatselijke omstandigheden (vrijkomende ruimte, veiligheidsafstanden, enz.) het toelaten.



Bevestiging van de R18 afbuigsteun en aanbrengen van corrosiebescherming



Vastschroeven van de eindverankering

# Kwaliteitscontrole

## In de fabriek

In overeenstemming met het referentie ISO kwaliteitsborgingsconcept wordt de herstelspanning (voorspankracht) geregeld in de temperatuurkamer (1). Daarnaast controleert een gecertificeerd instituut de treksterkte van elke afleverbatch. Dit zorgt voor de kwaliteit van het eindproduct.

## Op het beton

De kwaliteit van het beton wordt bepaald met de betontesthamer (2). Bij versterking met re-plate is een druksterkte  $>25 \text{ N/mm}^2$  vereist. Bij lagere betonkwaliteiten moet de re-fer ingenieur worden geraadpleegd over de verankeringsweerstand.

## Temperatuurcontrole bij activering

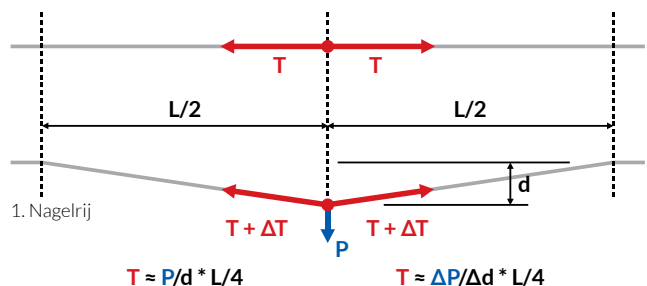
Tijdens het verhitten wordt de temperatuur gemeten op het memory<sup>®</sup>-steel. Dit gebeurt met een apart hand meetapparaat bij activering met gas.

## Controle van de voorspankracht

Voor de voorspankracht op het object is een speciaal testapparaat (4) ontwikkeld. De procedure is gebaseerd op het "kruisboogprincipe" voor het spannen van strengen en maakt het mogelijk de voorspankracht van re-plate en re-bar direct na activering snel en eenvoudig te controleren.



De gemeten verticale kracht  $P$  en het uitzettingspad  $d$  worden vergeleken met behulp van trigonometrische verhoudingen van de resulterende trekkrachten in de kabel  $T + \Delta T$ .



# Productoverzicht

## Productcatalogus re-fer



memory®-steel Producten

<b>re-plate 120/1.5</b>	Versterkingsband voor voorspanning
<b>re-bar 10</b>	Voorspan-geribdtstaal, dwarsdoorsnede 89.9 mm <sup>2</sup>
<b>re-bar 16</b>	Voorspan-geribdtstaal, dwarsdoorsnede 211.2 mm <sup>2</sup>
<b>re-bar R18</b>	Voorspan-Rondstaal, dwarsdoorsnede 254.2 mm <sup>2</sup>

Applicatie-gereedschap en componenten

<b>re-bolt</b>	Kunststof pluggen voor het bevestigen van re-bar in de betonnen ondergrond
<b>re-clip</b>	Kunststof clip om re-bar op de internewapening te bevestigen
<b>re-IR 3000</b>	Infraroodstraler met regelmodule en temperatuursensor
<b>re-EL</b>	elektrische verwarmers met regelmodule voor weerstandsverwarming
<b>T-support</b>	Hand-overheadpers met T-steunen voor tijdelijke fixatie van re-plate

Eindverankering van re-plate

<b>universele nagel X-CR 48 P8 S15</b>	Hilti Universeelnagel voor de Eindverankering
<b>DX Cartouche 6.8/11M10 STD (rood)</b>	Koker
<b>DX 5 of DX 6</b>	Hilti schiethamer

## Geteste Sika-Producten



In combinatie met re-plate

<b>SikaCem® Pyrocoat</b>	Brandwerende spuitpleister
<b>SikaCem® Pyrocoat Base</b>	Hechtmortel voor brandwerende spuitpleister
<b>SikaCor® EG-1</b>	Anti-Corrosiecoating: 2-componenten Epoxyhars op basis van ijzeroxide-metalic
<b>Sikaflex® PRO-3</b>	Voegkit voor het vullen van re-plate aan beide zijden

In combinatie met re-bar

<b>Sika® FastFix-121</b>	Cementmortel voor het dichten van scheuren
<b>SikaGrout®-314 N</b>	Krimprijke R4-precisievoegmortel in bekisting of sleuf
<b>Sika® InjectoCem-190</b>	Fijn-cement injecteren van scheuren
<b>Sika MonoTop®-412 N/DE, Eco, -4012</b>	Krimp gecompenseerde R4-natte-spuitmortel
<b>Sika MonoTop®-422 PCC</b>	Krimp gecompenseerde R4-reprofileermortel
<b>Sika MonoTop®-452 N</b>	Krimp gecompenseerde R4-reprofileermortel voor horizontale vlakken
<b>Sika MonoTop®-910 N/ECO, -1010</b>	Wapeningscorrosiebescherming en hechtbrug
<b>Sika® Rock Gunit BE-8</b>	Droodspuutmortel (cementgebonden, alkalivrij)
<b>Sika® AnchorFix®-3030</b>	Epoxylijm voor verankering "patroon"

**memory®-steel is getest met Sika spuit-, reparatie- en voegmortels, evenals brand- en corrosiebescherming in het systeem. Indien andere mortelproducten worden toegepast in combinatie met memory®-steel, aanvaardt re-fer geen enkele aansprakelijkheid.**



# Ontwerpgids voor memory<sup>®</sup>-steel

## Alfabetische woordenlijst

### Latijnse letters

$A_f$	doorsnede van de re-plate of re-bar
$A_s$	totale dwarsdoorsnede van de wapening
$a_s$	wapeningsoppervlak per meter
$b$	breedte van betondwarsdoorsnede
$d$	effectieve diepte van de wapening
$d_f$	effectieve diepte van re-plate of re-bar
$E_c$	elasticiteitsmodulus van beton
$E_{SMA}$	gereduceerde elasticiteitsmodulus van memory <sup>®</sup> -steel na activering
$F_c$	optredende drukkracht in beton
$f_{cd}$	rekenwaarde druksterkte beton
$F_{ms,u}$	trekkracht van memory <sup>®</sup> -steel voor dwarsdoorsnede-analyse
$F_{p,i}$	voorspankracht van memory <sup>®</sup> -steel direct na activering op $t = 0$
$F_{p,\infty}$	voorspankracht van memory <sup>®</sup> -steel na ontspanning bij $t = \infty$
$F_s$	trekkracht in de dwarsdoorsnede van de wapening
$f$	geschatte maximale doorbuiging van betonplaten en -balken volgens Kordina en Hegger
$h_c$	dikte van betonplaat
$I$	traagheidsmoment
$l$	betonnen plaat/ligger overspanning
$l_b$	verankeringslengte
$L$	vrije lengte van de re-plate tussen de verankeringen
$\Delta L$	lengteverandering van de re-plate tot aan de breuk volgens Kordina en Hegger
$M_{Ed}$	rekenwaarde optredend buigend moment
$M_{p,BZ}$	voorspanmoment van het geheugenstaal in constructietoestand
$M_{p,GZ}$	voorspanmoment van het geheugenstaal na relaxatie (voor berekening van de grenstoestand)
$M_{Rd}$	rekenwaarde buigweerstand
$m_{Rd}$	ontwerpwaarde buigweerstand van een betonplaat
$P_0$	voorspankracht van een streng op $t = 0$
$P_\infty$	voorspankracht van een streng op $t = \infty$
$V_{Ed}$	rekenwaarde dwarskracht
$V_{Rd}$	rekenwaarde dwarskrachtweerstand
$V_{Rd,s}$	rekenwaarde dwarskrachtweerstand van re-plate eindverankering met Hilti X-CR nagels
$w_{eff}$	bestaande doorbuiging
$w_{zul}$	toelaatbare doorbuiging
$x$	hoogte van de buigcompressiezone
$z$	hefboomarm

### Griekse letters

$\varepsilon_0$	voorspanning van een streng
$\varepsilon_c$	betonspanning
$\varepsilon_s$	rek in wapeningsstaal
$\varepsilon_f$	rek in memory <sup>®</sup> -steel
$\Delta\varepsilon_f$	rektoename memory <sup>®</sup> -steel als gevolg van lengteverandering
$\Delta\sigma_f$	spanningsverhoging in memory <sup>®</sup> -steel
$\Delta\sigma_{p,r}$	voorspanverlies na relaxatie (na 50 jaar)
$\sigma_c$	optredende betonspanning
$\sigma_{p,i}$	oorspronkelijke memory <sup>®</sup> -steel voorspanning direct na activering
$\sigma_{p,\infty}$	lange termijn geheugen <sup>®</sup> -steel voorspanning na ontspanning

## Inleiding

Het ontwerpen met memory®-steel producten volgt de gebruikelijke constructieve ontwerpregels voor gewapende en voorgespannen betonconstructies. De “re-plate” versterkingsplaat wordt beschouwd als een niet-gebonden externe strip met voorspanning. Voor het “re-bar” systeem kan worden uitgegaan van een starre verbinding tussen het initieel aanwezige geribde staal en het omringende mortel/gespoten beton. Ontwerpprincipes voor de buigversterking van constructies, in hun bruikbaarheidsgrens- en uiterste grenstoestand, worden hierna toegelicht. Voor een goed begrip worden vervolgens ook enkele voorbeelden getoond.

## Theoretische ontwerpprincipes

### re-plate

#### Constructieve toestand:

Het is belangrijk te controleren op mogelijke scheurvorming aan de bovenzijde van de plaat ten gevolge van de voorspanning. Hierbij wordt de initiële memory®-steel voorspanning  $\sigma_{p,i}$  in rekening gebracht. De voorspanning levert een constant buigend moment  $M_{p,BZ}$  tussen de verankeringen, te vergelijken met het scheurmoment.

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

( $A_f$ = re-plate oppervlak,  $z$ = hefboomarm)

#### Bruikbaarheidsgrenstoestand:

Voor de bruikbaarheidsgrenstoestand over een lange periode moet de initiële voorspanning  $\sigma_{p,i}$  worden verminderd ten gevolge van relaxatie. Over een periode van 50 jaar bedraagt deze maximaal 15%. De volgende vergelijking is van toepassing:

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

Het optredende voorspanmoment  $M_{p,GZ}$  tussen de verankeringen kan daarom worden beschreven als:

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

#### Uiterste grenstoestand:

Bij het re-plate systeem worden de krachten via de twee eindankers op de constructie overgebracht; in de vrije lengte is er geen verbinding/hechting aanwezig met de betonconstructie. Dit betekent dat een conventionele dwarsdoorsnede-analyse met rekcompatibiliteit niet mogelijk is. Twee alternatieven zijn mogelijk:

##### a) Berekening zonder spanningsverhoging in de re-plate:

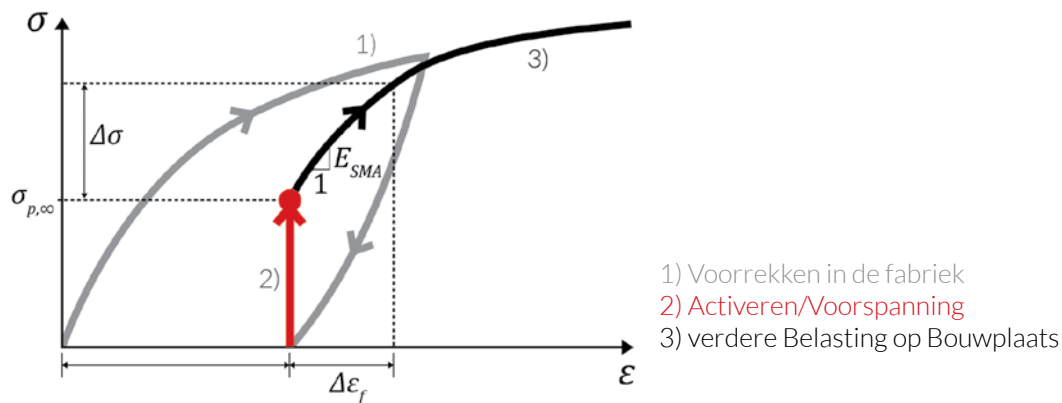
Bij deze vereenvoudigde berekeningsmethode wordt aangenomen dat de trekkracht  $F_{ms,u}$  in de re-plate constant is naarmate de vervorming van de constructie toeneemt. Deze aanname betekent dat het krachterevenwicht in de dwarsdoorsnede wordt verkregen door conventionele dwarsdoorsnede-analyse en dat de belastbaarheid kan worden afgeleid. Deze berekening kan handmatig worden uitgevoerd, door gegevensverwerking, b.v. Excel, of met computersoftware. Deze vereenvoudiging wordt ook gebruikt in standaard ontwerpsoftware met dwarsdoorsnede-analyses.

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

Deze conservatieve aanname onderschat de werkelijke capaciteit. Het concept is geschikt voor situaties waarin de bruikbaarheidsgrenstoestand van kritiek belang is voor het constructieontwerp

### b) Berekening met spanningsverhoging in de re-plate

Een tweede methode is gebaseerd op de schatting van de extra verandering in de plaatlengte naarmate de belasting of doorbuiging van het constructieonderdeel toeneemt. De basis is een empirische ontwerpbenadering, verkregen uit belastingsproeven op betonnen balken met voorgespannen ongebonden strengten [1]. Kort samengevat wordt op basis van de doorsnedeafmetingen een extra maximale doorbuiging  $f$  geschat die een lengteverandering  $\Delta L$  in de re-plate veroorzaakt. De methode gaat ervan uit dat alle vervorming in een ligger met één overspanning geconcentreerd is in een scheur in het midden van de ligger [2]. Deze lengteverandering kan worden omgerekend naar een extra rek  $\Delta \epsilon_f$  in de re-plate, die dan de spanningstoestand  $\sigma_{p,\infty} + \Delta \sigma$  in de re-plate doorsnede oplevert uit de bekende spanning-rek kromme na activering. Om dit te vereenvoudigen kan hier een gereduceerde elasticiteitsmodulus  $E_{SMA}$  van 70 GPa worden toegepast om de definitieve rek te berekenen.



Figuur 1: re-plate spanning-rek diagram met voorspanning, activering, en daaropvolgende belasting

Het volgende is van toepassing:

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

( $d$ =effectieve diepte,  $e_v=0$  in het geval van rechte lamellen,  $L$ =vrije lengte van de re-plate tussen de verankeringen)

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

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

Op basis van de bekende extra rek en dus extra spanning is ook de trekkracht in de re-plate bekend en kan een krachterevenwicht in de doorsnede worden berekend. Zo wordt de maximale capaciteit bepaald. De specifieke nationale ontwerpregels voor betonconstructies (betondruk en trekbreuk van de wapening) zijn van toepassing, met de van toepassing zijnde materiaalparameters.

## Verankering

Bovendien moet, voor het ontwerp van de constructieve veiligheid, de extra trekkracht in de re-plate worden gecontroleerd voor de verankerweerstand.

$$F_{ms,u} = (\sigma_{p,\infty} + \Delta\sigma_f) * A_f \leq V_{Rd,s} = \frac{108kN}{1.3} = 83.1kN \quad (8)$$

**Opmerking:** Voor veel voorkomende constructiegeometrieën wordt de verankeringsweerstand het doorslaggevende criterium voor de bezwijktoestand. Een expliciete verificatie kan in de meeste gevallen achterwege blijven.

De verankeringsweerstand van 108 kN geldt voor een aantal van 12 Hilti X-CR nagels en wordt vermindert met een veiligheidsfactor van 1,3 (aanbeveling re-fer). De gegevens zijn van toepassing op beton met een gemeten druksterkte (kubus) van >20 N/mm<sup>2</sup>. Voor beton met lagere sterktes, gelieve de afdeling re-fer engineering te contacteren.

## re-bar

### Constructieve toepassing

Gewoonlijk wordt de re-plate aan beide uiteinden bilateraal verankerd in de verankeringsgebieden door middel van een Sika-mortellaag op de dragende ondergrond en worden de tussenliggende gebieden voorgespannen. Het draagvermogen is hetzelfde voor de re-plate, aangezien het blootgestelde gebied als een externe trekstaaf fungeert. Naar analogie kan vergelijking (1) worden toegepast op de re-plate met een overeenkomstige doorsnede.

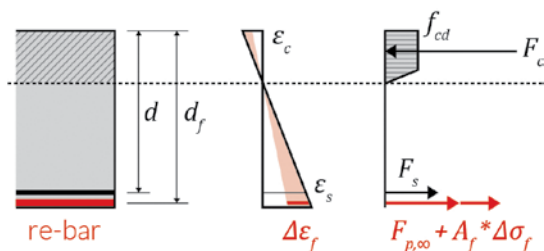
### Bruikbaarheidgrenstoestand:

Na de initiële activering/opspanning van de re-bar worden de gebieden tussen de verankeringen met mortel bekleed, waardoor een stevige verbinding met de dragende constructie ontstaat. De berekening kan worden uitgevoerd door middel van conventionele dwarsdoorsnede-analyse met afgeleide rekcompatibiliteit en krachten evenwicht. De initiële voorspanning  $\sigma_{p,i}$  moet worden verlaagd voor de bruikbaarheidsgrenstoestand, ten gevolge van de optredende relaxatie volgens vergelijking (2).

Voor dimensionering op doorbuigingsreductie ten gevolge van voorspanning kan weer worden uitgegaan van een homogeen buigend moment (zie vergelijking (3)).

### Uiterste grenstoestand:

Principes overeenkomstig die van de dwarsdoorsnede-analyse zijn van toepassing op de berekening van de constructieve veiligheid. Afhankelijk van de situatie wordt nu bij de re-bar extra rek/spanning toegevoegd aan de initiële voorspanning. De spanningsverandering in de re-bar bestaat uit de extra spanning tussen de toepassings-/aanspanningsdatum en de bezwijktoestand ( $\Delta\epsilon_f$ ).



Figuur 2: Schematische voorstelling van de dwarsdoorsnede-analyse van de uiterste grenstoestand

Het krachtenevenwicht wordt dan berekend met een equivalente kracht in de re-bar is samengesteld. Voor de eenvoud kan weer een gereduceerde elasticiteitsmodulus  $E_{SMA}$  van 70 GPa worden toegepast. De uiteindelijke kracht moet kleiner zijn dan de maximaal toelaatbare trekkracht van de re-bar.

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

### Verankering:

De re-fer richtlijnen stellen waarden voor de verankeringslengte van re-bar voor. De lengte van de verankeringsgebieden zijn afhankelijk van de te verwachten trekkrachten, de staafdiameters en de toepassing (in sleuven, dekking of spuitbeton). Ook moet worden voldaan aan standaard eisen voor de hechtsterkte, ruwheid etc. Voor bestaande betonnen dragende ondergronden worden klasse R3 en R4 mortels van Sika volgens de EN-voorschriften voor betonreparaties gebruikt. Een minimale hechtsterkte van de betonnen ondergrond van 1,5 N/mm<sup>2</sup> wordt aanbevolen.

Versterking op buigend moment moet worden verankerd achter het momenten nulpunt. De overdracht van de voorspankracht op het constructieve beton wordt gewoonlijk bereikt door de mortelverbinding. Als alternatief kunnen goedgekeurde deuvelsystemen of andere speciale oplossingen worden gebruikt..

## Opmerkingen

Specifieke productparameters moeten worden overgenomen uit de laatste versies van de nationale productinformatiebladen. De in de ontwerpvoorbeelden gebruikte waarden kunnen afwijken van de huidige materiaalparameters als gevolg van product- en normupdates en dienen altijd te worden gecontroleerd. De technische ondersteuning van re-fer helpt u als er iets onduidelijk is en/of bij specifieke ontwerpsituaties. Voor meer informatie kunt u terecht op onze website: [www.re-fer.eu](http://www.re-fer.eu) (bijv. met betrekking tot onze technologieën, referenties, technische gegevensbladen, aanbestedingsteksten, testrapporten enz.) U kunt ook rechtstreeks contact opnemen met ons re-fer engineering support team voor specifiek advies en bijstand.

### Corrosie

Op locaties met blootstelling aan chloride en verontreiniging moeten passende maatregelen worden genomen, ondanks de goede corrosiebestendigheid van memory<sup>®</sup>-steel (risico van spanningsscheurcorrosie). De mortelbedekking op de re-plate moet op deskundige wijze worden beoordeeld en zo nodig worden verhoogd. Voor re-plate producten kan een speciale coating aangebracht worden in de productiefaciliteit (SikaCor<sup>®</sup> EG-1), die vervolgens de maximaal toegestane warmtetemperatuur beperkt tot 165°C en dus ook de maximale voorspankracht.

### Brandbeveiliging

Brandbeveiliging is altijd vereist voor versterkingsmaatregelen indien zonder versterking niet aan de nationale standaardbrandbelasting kan worden voldaan. De onderstaande tabel is een eenvoudig vergelijkend voorbeeld van de resterende veiligheidsmarges voor brandbeveiliging op een dragende constructie met “lage” en alternatief “hoge” versterkingsniveaus.

Voorbeelden laden [kN/m <sup>2</sup> ]	Vóór de versterking	Na versterking	
		“laag” versterkingsniveau +3.0	“hoog” versterkingsniveau +5.0
<b>Dode belasting/toegepaste belasting</b>	5.0	5.0	5.0
<b>Belasting onder spanning</b>	3.0	3.0 + 3.0 = 6.0	3.0 + 5.0 = 8.0
<b>gebruiksbelasting</b>	<b>8.0</b>	<b>11.0</b>	<b>13.0</b>
Voorbeeld met globale veiligheidsfactor	8.0 * 1.5 = 12.0	11.0 * 1.5 = 16.5	13.0 * 1.5 = 19.5
<b>Te overbruggen laadvermogen</b>	<b>12.0</b>	16.5	19.5
<b>Brandbeveiliging</b> Criterium: nieuwe werklust moet <12,0 zijn (bestaand draagvermogen)	-	<b>11.0 &lt; 12.0</b> Niet vereist	<b>13.0 &gt; 12.0</b> Vereist

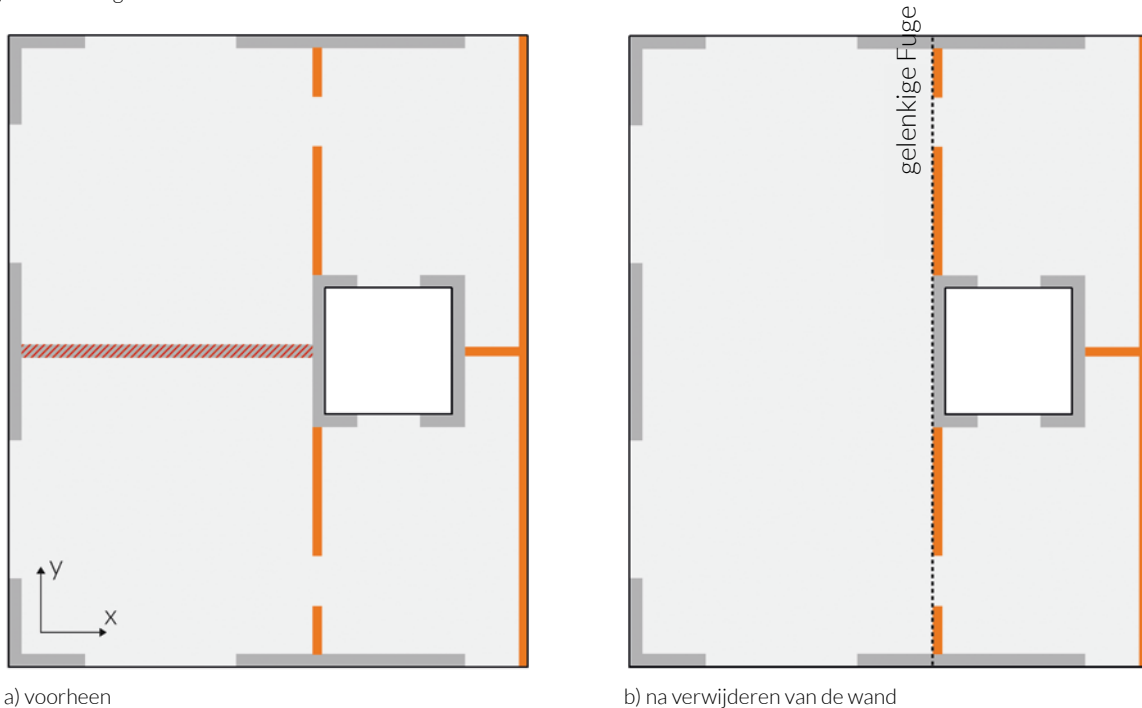
Indien een “hoog” versterkingsniveau moet worden bereikt, moet de versterkingsmaatregel ook belasting dragen in een brandscenario; een brandbeveiliging is dan noodzakelijk voor het versterkingsproduct. Voor memory®-steel aangebracht/toegepast in beton of cementmortel gelden voorschriften en normen overeenkomstig conventionele staalwapening. Voor re-plate wordt normaliter een gespoten brandwerende mortel op cementbasis gebruikt (SikaCem® Pyrocoat).

## Rekenvoorbeeld

### Buigversterking met re-plate

Op verzoek van de opdrachtgever moeten de constructieve wanden (rood gemarkeerd) worden verwijderd om twee bestaande kamers samen te voegen tot één grote woonkamer. Deze verandering in het statische systeem van de draagconstructie zou onvermijdelijk problemen veroorzaken in de vloerplaat t.a.v. het buigend moment. Het onderstaande voorbeeld toont de maatregel voor de buigversterking van de betonnen vloerplaat. Andere verificaties, zoals de belastingoverdracht naar de wanden en lager gelegen vloeren, dwarskrachten, ponsproblemen enz. worden niet beschouwd. De constructieve staat van de betonconstructie wordt niet onderzocht.

Figuur 3: Plattegrond Kubus-Model



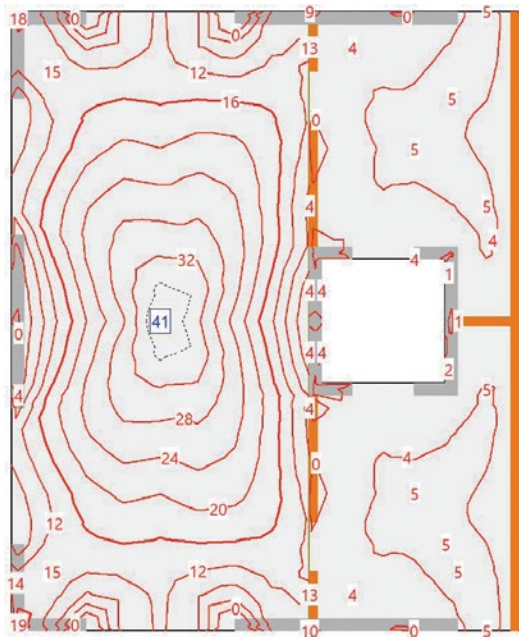
In de bestaande vloerplaat is wapening van  $\text{Ø}10@150$  ( $a_s = 524 \text{ mm}^2/\text{m}'$ ) toegepast en geplaatst als onder- en bovenwapening. De dikte van de vloerplaat is  $h_c = 200 \text{ mm}$ , de betonkwaliteit bedraagt C30/37 en de dekking op de wapening bedraagt 30 mm. Voor de dragende constructie elementen is een brandwerendheid R60 vereist.

Met deze ontwerpgegevens wordt een buigweerstand van  $m_{Rd} = 36 \text{ kNm/m}'$  verkregen voor de bestaande 1ste/4de lagen (x-richting). In de 2e/3e laag is de buigweerstand 32 kNm/m'. Met de nieuwe plattegrond zal de bestaande bovenwapening (4e laag) bezwijken onder de nieuwe permanente belasting. Daarom wordt in deze gebieden een scharnierpunt gemodelleerd om dat moment op de overspanning over te brengen (zie figuur 3 b).

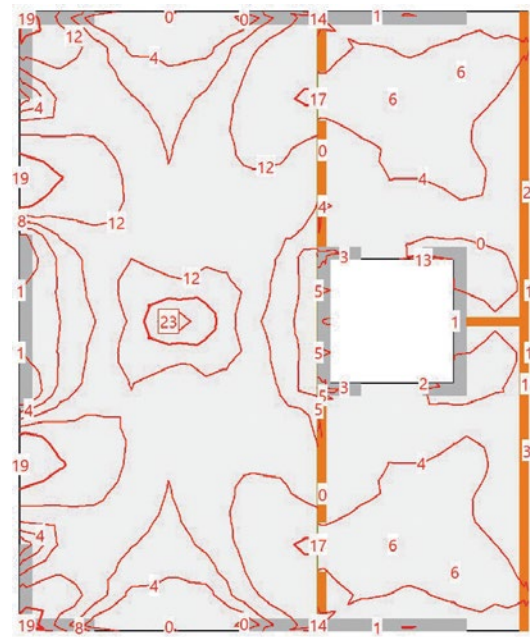
## Verificatie van de bruikbaarheidsgrenstoestand

In de bruikbaarheidsgrenstoestand treden in de nieuwe plattegrond de volgende buigmomenten in x- en y-richting op. Ter hoogte van de middenoverspanning in de hoofddraagricting wordt de buigweerstand van de bestaande wapening licht overschreden. Het versterkingsstelsel moet daarom tegen brand worden beschermd. Dit wordt beschreven in het gedeelte brandbeveiliging dat volgt.

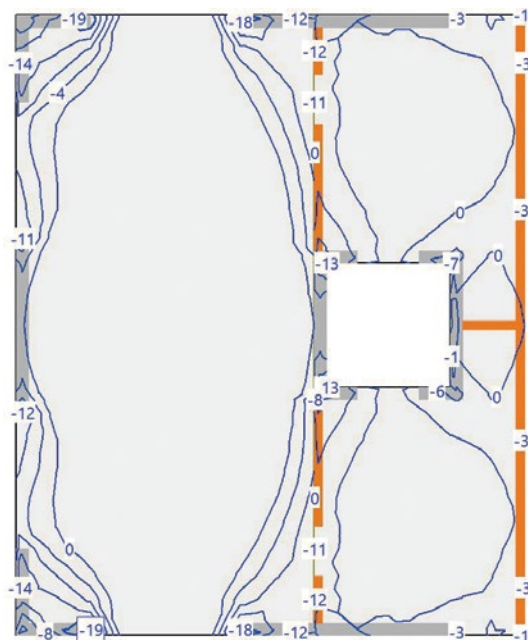
Figuur 4: Kubus-grafieken van de buigmomenten onder werkbelasting ("quasi-constant")



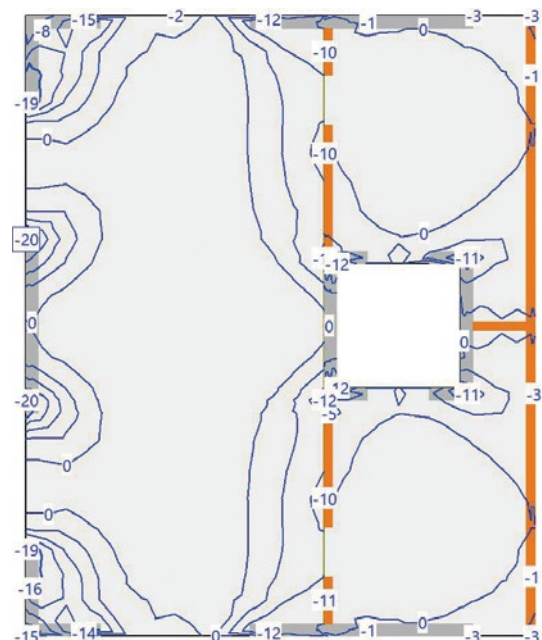
a) x-Richting onder (1. Laag)



b) y-Richting onder (2. Laag)



c) x-Richting boven (4e. Laag)



d) y-Richting boven (3e. Laag)

Een andere factor in bruikbaarheidsgrenstoestand is de doorbuiging. Hier heeft de gescheurde betonde doorsnede in het voorbeeld een doorbuiging van 16,6 mm. De toelaatbare waarde:

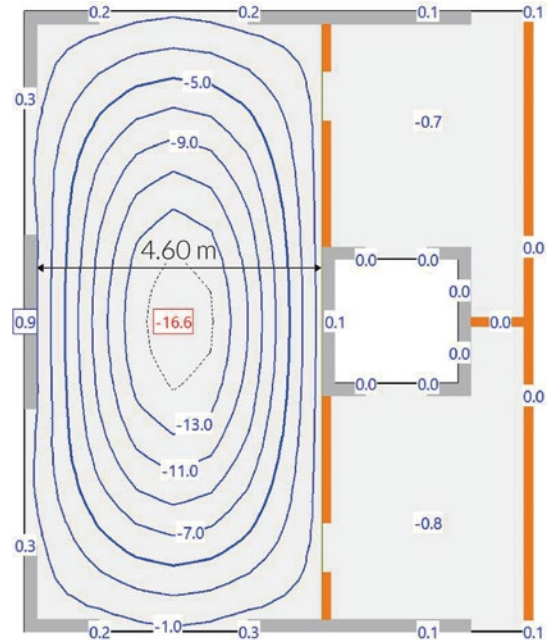
$$w_{zul} \leq l/300 = 4'600\text{mm}/300 = 15.3\text{mm}$$

Dor de voorspanning kan een constant moment over de 3.0m brede strook midden in het veld worden uitgeoefend. Hier wordt de huidige formule uit de literatuur voor een constant moment op een simpele balk gebruikt. Voor meer speciale gevallen (bijv. doorlopende balken) kan het ontwerp worden uitgevoerd met behulp van de werkvergelijking.

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

Daarnaast wordt er vereenvoudigd van uitgegaan dat de gehele betonde doorsnede gescheurd is, waarbij afneemt  $E_c I$  zu  $E_c I/3$ . D effectieve formule is nu:

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



Figuur 5: doorbuiging van de vloerplaat

De vergelijking wordt opgelost aan de hand van n (het aantal re-plate strippen per meter):

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

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

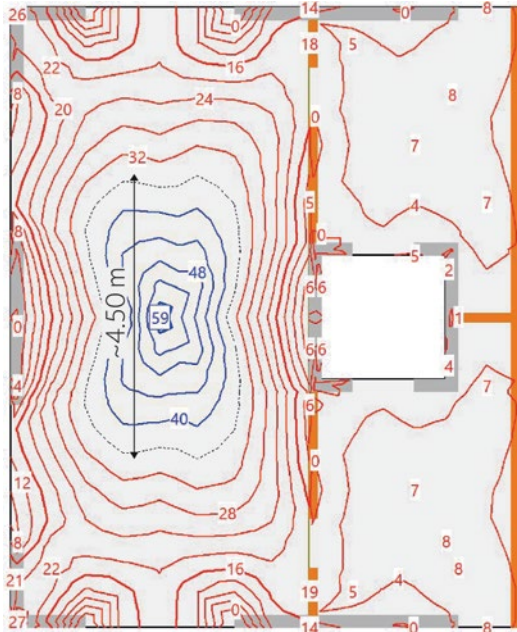
Minstens 0,63 re-plate strippen per strekkende meter zijn vereist bij de middenoverspanning. Tenzij de constructieve veiligheidscontrole een hoger cijfer aangeeft, worden de versterkingsplaten daarom om de ca. 1,6 m toegepast.



## Bewijs van de Constructieve veiligheid

Bewijs van de constructieve veiligheid wordt geleverd met de methode “Berekening met spanningsverhoging in de re-plate”. De af te dekken buigmomenten worden hieronder weergegeven:

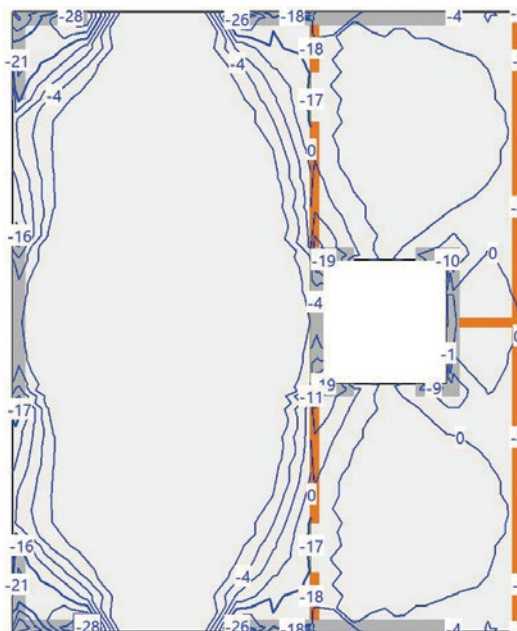
Figuur 6: Kubus-grafieken van de buigmomenten in de grenstoestand van constructieve veiligheid



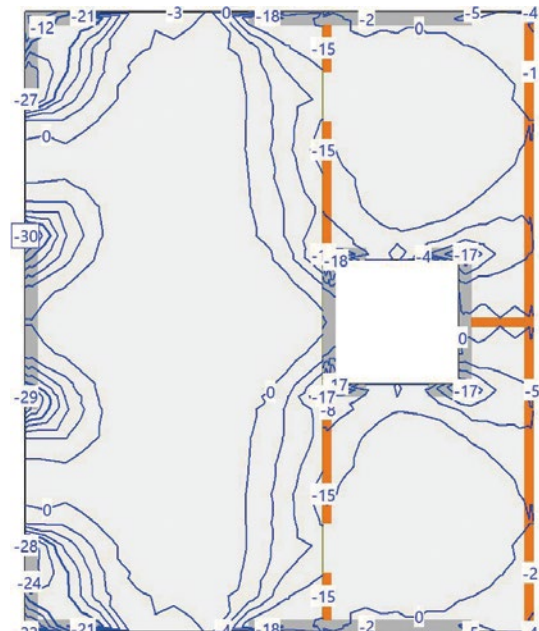
a) x-Richting onder (1. Lage)



b) y-Richting onder (2. Lage)



c) x-Richting boven (4. Lage)



d) y-Richting boven (3. Lage)

Hiervoor wordt de verlengingsrek in de re-plate berekend. De waarde voor  $L$  (vrije lengte van re-plate tussen de verankeringslengte aan beide zijden (40 cm) en een veiligheidsafstand (10 cm) te reduceren:

$$L = 4.6m - 2 * (400mm + 100mm) = 3.6m$$

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

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

Het buigend moment voor versterking wordt dus afgeleid met de eindkracht  $F_{ms,u}$  in  $n$  door een inwendige hefboomarm  $z$  van ongeveer  $0.9 * h_c$ :

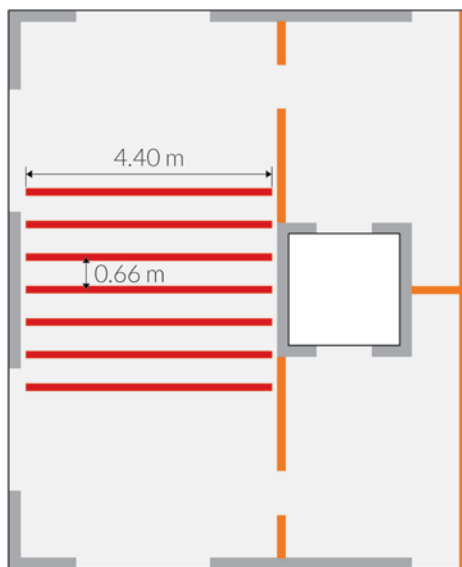
$$F_{ms,u} = (\sigma_{p,\infty} + \Delta\sigma) * A_f = (\sigma_{p,i} * 0.85 + \Delta\varepsilon_f * E_{SMA}) * A_f =$$

$$\left( 380 \frac{N}{mm^2} * 0.85 + 0.004 * 70GPa \right) * 120mm * 1.5 = 108.5kN < 83.1kN$$

$$M_{p,GZ} = n * F_{ms,u} * z = n * 83.1kN * 0.9 * 200mm \geq 58.6kNm - 36.0kNm = 22.6kNm$$

$$\rightarrow n = \frac{M_{p,GZ}}{F_{ms,u} * z} = \frac{22.6kNm}{83.1kN * 0.9 * 200mm} = 1.5$$

Om de dragende veiligheid af te dekken, zijn in de overbelaste zones (circa 4.5 m) 1.5 Stuks re-plate band per strekkende meter nodig – d.w.z. elke 0.66 m één Band (totaal 7 Stuks).



Figuur 7: Positie van de re-plate versterking

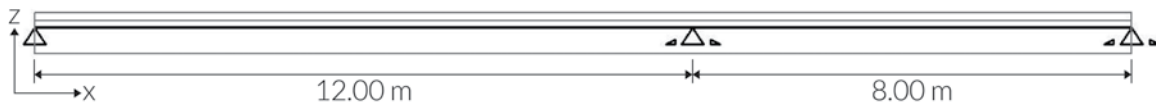
**7 x re-plate**  
 $l=4.40m$ , alle 80cm  
 met brandbescherming

## Brandsbescherming

In geval van brand moeten de quasi-permanente effecten worden afgedekt. Omdat het bestaande buigvermogen hiervoor niet voldoende is, moeten de wapeningsmaatregelen voor R60 worden aangehouden. Voor deze binnen toepassing wordt de brandwerende spuitpleister SikaCem® Pyrocoat aangebracht met een laagdikte overeenkomstig het thans geldende product gegevensblad van re-plate.

## Versterking van een T-balk met wapeningsstaven

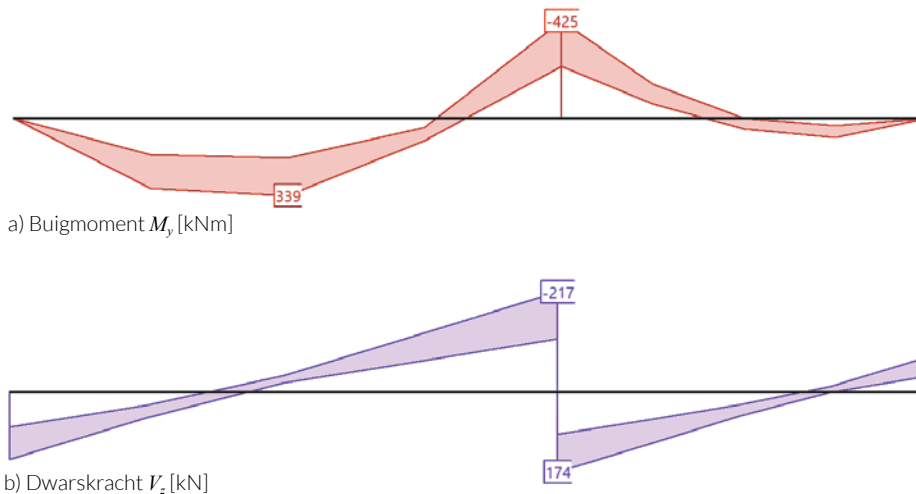
Als gevolg van een wijziging van gebruik en extra belastingen moeten verschillende T-balken in een fabrieksgebouw constructief worden versterkt. Dit rekenvoorbeeld illustreert de methode voor overmatige doorbuiging in de hoofdoverspanning en versterking voor buig- en dwarskrachtproblemen in een dergelijke individuele balk. Aanvullende verificaties zijn in dit voorbeeld achterwege gelaten. De liggers bestrijken twee overspanningen van 12,00 en 8,00 m en worden eenvoudig ondersteund.



Figuur 8: Balk met twee overspanningen in het fabrieksgebouw

De statische krachten (buigmomenten en dwarskrachten) zijn hieronder weergegeven; er zijn geen bijkomende normaal- of torsiekrachten.

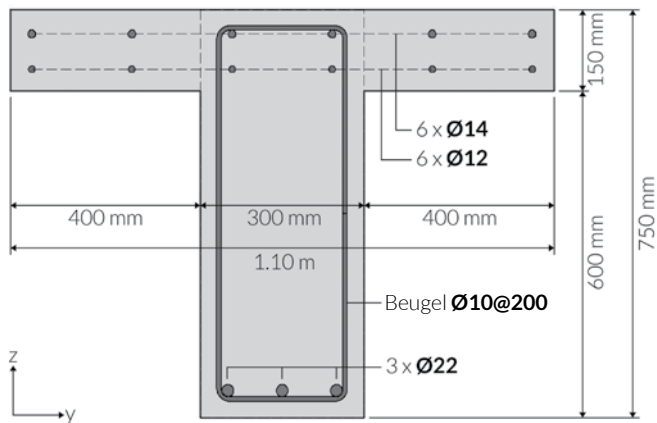
Figuur 9: Snijkrachten beperken de grenstoestand van de constructieve veiligheid



In overeenstemming met de oorspronkelijke belastingen werden de balken ontworpen en gewapend zoals aangegeven in afbeelding 10. De resulterende doorbuiging in de gescheurde betonddoorsnede voldeed aan de vereiste standaardspecificaties ( $w_{eff} = 32 \text{ mm}/w_{zul} = 34 \text{ mm}$ ).

Als gevolg van de nieuwe eisen van de opdrachtgever zijn de op te nemen belastingen verhoogd. Een hogere permanente belasting moet ook worden ondersteund als gevolg van de extra mortellaag die moet worden toegevoegd. De resulterende statische krachten in de uiterste grenstoestand zijn als volgt:

	Vorige interne krachten	Vorige weerstanden	Nieuwe interne krachten
<b>Buigmoment [kNm]</b>	$M_{Ed}$ +339 -425	$M_{Rd}$ +355 -440	$M_{Ed}$ +449 -550
<b>dwarskracht [kN]</b>	$V_{Ed}$ 217	$V_{Rd}$ 230	$V_{Ed}$ 285

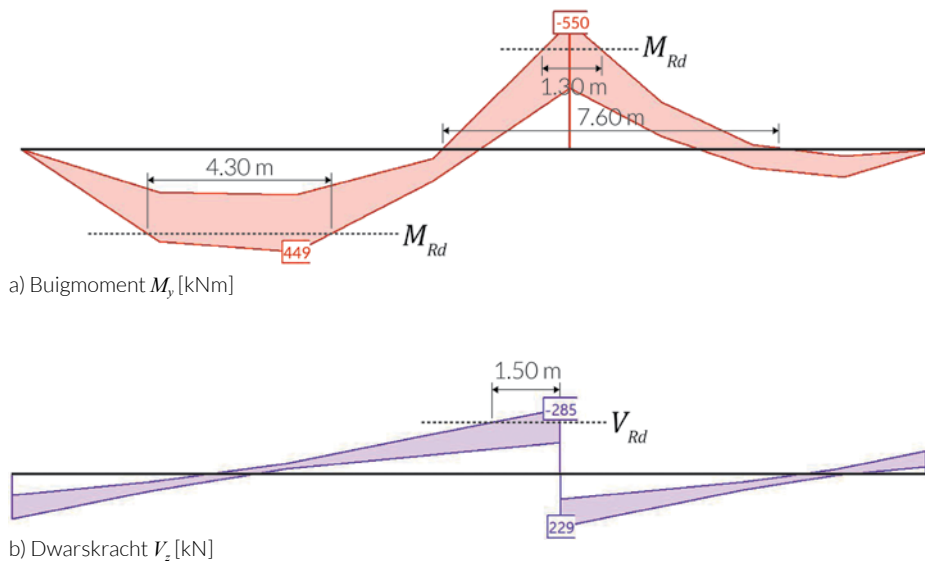


Figuur 10: Bestaande doorsnede van T-balken

### Controle van de constructieve veiligheid in de uiterste grenstoestand:

In de eerste plaats wordt de constructieve veiligheid in de uiterste grenstoestand van de onderzocht. De nieuwe interne krachten worden hieronder in detail weergegeven.

Figuur 11: Nieuwe Snijkrachten draagzekerheid grenstoestand



a) Buigmoment  $M_y$  [kNm]

b) Dwarskracht  $V_z$  [kN]

Als gevolg van de extra belastingen ontstaat er een dwarskrachtprobleem in een gebied van ongeveer 1,5 m breed naast het centrale steunpunt. De ontbrekende dwarskrachtsterkte van ca. 55 kN/m' wordt opgevangen met behulp van U-profielen. Eenvoudigheidshalve wordt alleen uitgegaan van de voorspankracht (geen spanningstoename tot dwarskracht bezwijken) op de dubbele afschuifbeugels.

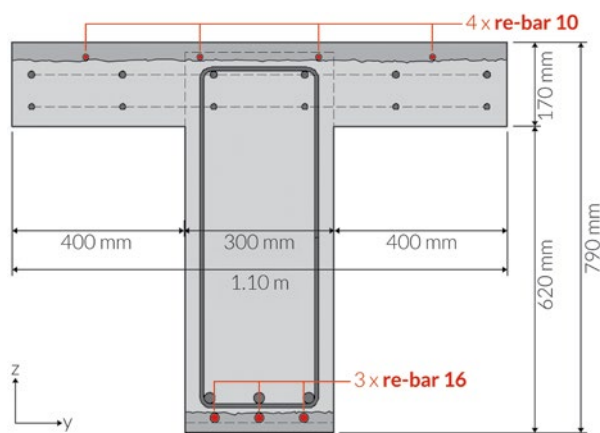
$$V_{Rd,s} = \frac{2 * \sigma_{p,\infty} * A_f}{s} * z * \cot(45^\circ) = \frac{2 * 350 \frac{N}{mm^2} * 0.85 * 89.9 mm^2}{0.5 m} * \sim 0.7 m * \cot(45^\circ) = 75 kN / m'$$

Dienovereenkomstig zijn in totaal drie U-profielen met een tussenafstand van 0,5 m nodig om het gebied te versterken. De stijlen worden rond het bestaande, geruwde betonoppervlak en over de extra langsligger geleid. Vervolgens worden ze ingebed in spuitmortel/gevoegd in de flens (verankering over de neutrale as). De ophangbeugels worden van bovenaf elektrisch verwarmd/geactiveerd.

Afstandhouders worden aangebracht om ervoor te zorgen dat er geen contact is met de bestaande wapening (elektrisch spanningsverlies tijdens het opwarmingsproces).

In de grootste deeloverspanning overtreft het nieuwe buigend moment het initiële moment met ongeveer 94 kNm. Over de gehele overspanning zijn aan de onderzijde van de ligger drie re-bar Ø16 aangebracht en ingebed in spuitmortel. Ter plaatse van het middensteunpunt overschrijdt het negatieve buigmoment het voor de originele wapening toelaatbare buigend moment over een lengte van ca. 1,3 met ca. 110 kNm. In die zone worden vier re-bar Ø 10 in verse betondekking gelegd (Opmerking: verankering van de versterking achter het momenten nulpunt). De re-bar worden in de verankeringszone bevestigd en na verharding verwarmd, bijv. met een gasbrander. Tenslotte worden ook de overige zones verankerd (d.m.v het overlagen met spuitmortel).

De verificatie doorsnedecontrole van de nieuwe doorsnede kan worden uitgevoerd met standaard ontwerpsoftware. De nieuwe weerstandsniveaus zijn vermeld in de onderstaande tabel.



Afbeelding 12: nieuwe dwarsdoorsnede van T-balk met versterking door re-bar

	oorspronkelijke interne krachten		initiële weerstand		Nieuwe interne krachten		Nieuwe weerstand	
<b>Buigmoment [kNm]</b>	$M_{Ed}$	+339	$M_{Rd}$	+355	$M_{Ed}$	+449	$M_{Rd}$	+569
		-425		-440		-550		-553
<b>dwarskracht [kN]</b>	$V_{Ed}$	217	$V_{Rd}$	230	$V_{Ed}$	285	$V_{Rd}$	315

Voor de dimensionering worden onder meer de volgende invoerparameters gebruikt:

#### re-bar invoerparameters::

- Voorspanning  $\epsilon_0 = 0.57\%$  pvoor re-bar Ø10 en  $0.46\%$  voor re-bar Ø16 (wat een theoretische voorspanning geeft van : Elastische modulus \*  $\epsilon_0 = 400 \text{ N/mm}^2$ , en respectievelijk  $320 \text{ N/mm}^2$ )
- Voorspannen met hechting
- Verliesfactor  $P_\infty/P_0 = 0.85$  (relaxatie)

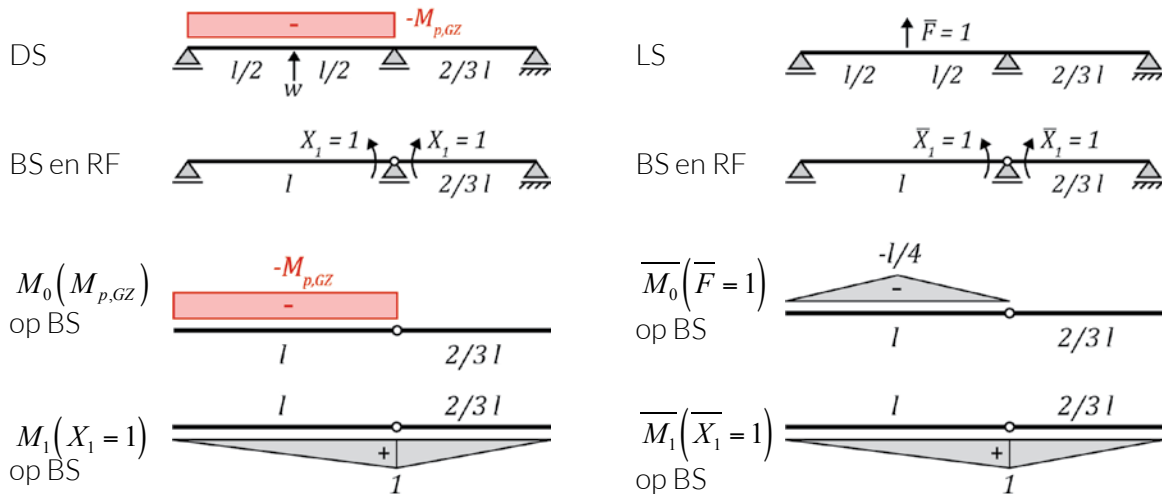
#### Materiaaleigenschappen:

- Elastische modulus =  $70 \text{ kN/mm}^2$  (elasticiteitsmodulus van de re-bar na activering)
- $f_{p0.1k} = 520 \text{ N/mm}^2$  (Ontwerpwaarde verminderd met veiligheidscoëfficiënt)
- $\epsilon_{ud} = 30\%$

### Verificatie op het niveau van de gebruiksgrenstoestand:

Door het aanbrengen van in mortel ingebedde voorgespannen re-bars worden scheurwijdtes aan het oppervlak beperkt, en wordt de belasting van de bestaande wapening afgevoerd. Naast de verbeterde duurzaamheid wordt in dit voorbeeld ook de doorbuiging onderzocht. Als gevolg van de nieuwe belastingen wordt de verticale doorbuiging in de grote overspanning bepaald op ongeveer 39 mm. Flexibele versterking met drie wapeningsstaven re-bar Ø16 impliceert een constant buigend moment dat de doorbuiging tegengaat. De resulterende 5 mm ( $w_{eff} = 39 \text{ mm}/w_{zul} = 34 \text{ mm}$ ) zou met deze maatregel moeten worden geëlimineerd.

De vervorming van het statisch onbepaalde systeem ten gevolge van de voorspanning kan op verschillende manieren worden berekend. Hier wordt het principe van virtuele arbeid voor het statisch onbepaalde systeem toegepast. Als basissysteem (BS) wordt bij de centrale steun een scharnierende verbinding ingevoerd. Omwille van de eenvoud wordt de voorspanning in het negatieve buiggebied niet meegerekend, hoewel deze ook een positief effect zou hebben



Figuur 13: Vereenvoudiging van het statisch onbepaalde systeem en het principe van virtuele arbeid

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

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

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

De vervorming  $w$  kan hieruit als volgt worden afgeleid:

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

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

Het constante buigmoment  $M_{p,GZ}$  over een overspanning van 12.00 m resulteert uit Formule(3):

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

Bovendien wordt een gereduceerde, gescheurde buigstijfheid van de betondoorsnede geschat ( $E_c J_{Eclerac-ked} = E_c I / 3$ ) en in de vergelijking opgenomen.

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

De drie nieuwe re-bar die zijn aangebracht om de constructieve veiligheid te verhogen, dragen bij tot een vermindering van de doorbuiging met ongeveer 5 mm.

### Verificatie van de verankeringsgebieden:

De negatieve en positieve buigweerstand werd bepaald door dwarsdoorsnede-analyse. Voor de negatieve buigversterking worden vier re-bar  $\varnothing 10$  gebruikt. In dit voorbeeld worden de maximale trekkrachten van de re-bars over de nieuwe mortelbedekking (1,10m breedte) bepaald. Voor het ontwerp van de verankeringslengte  $l_b$  uitgegaan van een hechtsterkte van 1,5 N/mm<sup>2</sup> (hechtsterkte). De weerstand wordt tenslotte verminderd met een veiligheidsfactor van 1,5:

$$F_{p,i}(\text{negativ}) = 4 * \sigma_{p,i} * A_f = 4 * 520 \frac{N}{mm^2} * 89.9 mm^2 = 187 kN$$

$$F_{p,i} \leq \frac{l_b * 1.10 m * 1.5 \frac{N}{mm^2}}{1.5} \rightarrow l_b = 170 mm$$

Het gebied van de verankering is ontworpen met een volledige laag mortel over een lengte van ongeveer 300 mm en een breedte van 1,10 m

In geval van positieve buigversterking moeten drie stuks re-bar 16 aan de onderzijde van de baan worden bevestigd (breedte 30 cm). De maximale trekkracht moet ook gelijk worden verankerd.

$$F_{p,i}(\text{positiv}) = 3 * \sigma_{p,i} * A_f = 3 * 520 \frac{N}{mm^2} * 211.2 mm^2 = 329.5 kN$$

$$F_{p,i} \leq \frac{l_b * 300 mm * 1.5 \frac{N}{mm^2}}{1.5} \rightarrow l_b = 1'098 mm$$

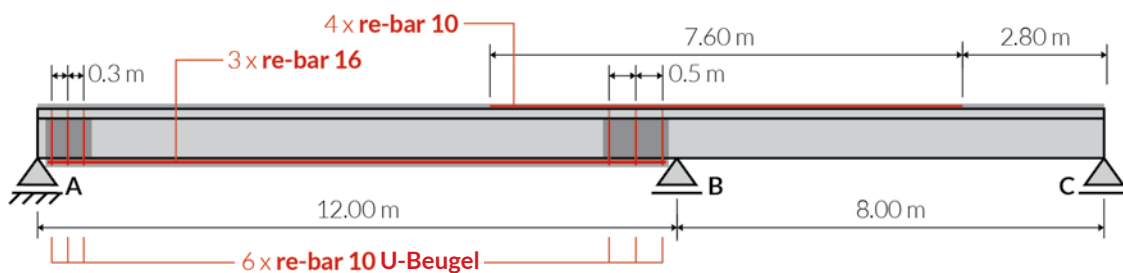
Deze waarde kan worden verlaagd met verschillende verankeringsoplossingen. Als voorbeeld wordt het positieve effect van extra drukspanning op de deklaag door drie voorgespannen  $\varnothing 10$  U-profielen genoemd omdat er een voorgespannen dwarskrachtversterking wordt toegepast. De trekweerstand tussen beton en mortel (1,5 N/mm<sup>2</sup>) neemt toe door de voorgespannen dubbel-dwarskrachtbeugels (Ontspanning van voorspanning 0,85/veiligheidsfactor 1,5).

$$F_{p,i} = 329.5kN \leq \frac{l_b * b * \left( 1.5 \frac{N}{mm^2} + \frac{3 * 2 * \sigma_{p,\infty} * A_f}{l_b * b} \right)}{1.5} =$$

$$\frac{l_b * 300mm * \left( 1.5 \frac{N}{mm^2} + \frac{3 * 2 * 0.85 * 350N / mm^2 * 89.9mm^2}{l_b * 300mm} \right)}{1.5} \rightarrow l_b = 742mm$$

Voor de verankering aan de linkerzijde (steun A) worden drie U-profielen van re-bar Ø10 toegepast, analoog aan de middelste steun B. De lengte van de verankering bedraagt 750 mm.

### Schematische weergave van de versterkingsmaatregelen van de balken



Afbeelding 14: Schets van de versterkingsmaatregelen met staven in de langsrichting en staven in de dwarsrichting

Conventionele maatregelen met dwarskrachtbeugels ingebed in spuitbeton (staal B500B) kunnen eveneens worden gebruikt. Aangezien het een meer kosteneffectief alternatief welke voorkomt dat de verankeringslaag loslaat

**Actuele ontwerpvoorbeelden en een ontwerptool zijn online te vinden op [www.re-fer.eu/bemessung](http://www.re-fer.eu/bemessung)**

### Referenties

[1] Bruggeling, A.S.G., Voorspanning zonder aanhechting, enkelstrengsystemen. 1976, TU Delft: Delft, The Netherlands



# Ons wereldwijde onderzoek

## Onderzoekspartners

Zwitserland



België



Duitsland



Oostenrijk



Tsjechië



Griekenland



Spanje



Texas USA



Nevada USA



Calgary Canada



Melbourne Australië



Cheongju Zuid Korea



Shanghai China



Teheran Iran



Publicaties, vakartikelen,  
conferenties en testrapporten in  
samenhang met memory®-steel.



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

# Downloads & Patenten

De momenteel geldige documenten zijn altijd beschikbaar op de website van re-fer (www.re-fer.eu). In het downloadgedeelte vindt u aanbestedingsteksten, productgegevensbladen en andere documenten.

## Bestekteksten

1. a) re-plate 120/1.5 staalband buig of trekwapening mechanisch verankerd in het beton (voor gebruik, brand en dragende belastingen)  
b) Sika®CarboDur® CFRP lamellenbuigwapening (voor dragende belastingen)
2. Buig- of trekversterking met re-bar 10/16 in reprofileer-, spuit of gietmortel
3. Buig- of trekversterking met re-bar 10/16 in ingefreesde sleuf met gietmortel
4. Schuifversterking met re-bar 10 U-Profielen/eindverankering van re-bar
5. Buig- of trekversterking in tunnelbouw in spuitbeton
6. Buigversterking in Nieuwebeton “lokale versterkte liggers”
7. re-bar R18 rondstaal buig of trekversterking bij staalbouwconstructies

## Productgegevensbladen

- re-plate “externe trekband”
- re-bar “binnenliggende voorspanning”
- re-bar R18 “externe trekstaaf”

Directedownload onder:  
[www.re-fer.eu/nl/downloads/](http://www.re-fer.eu/nl/downloads/)



## Patenten

Het memory®-steel voorspanproces is gepatenteerd door re-fer in belangrijke doelmarkten.

## memory<sup>®</sup>-steel trainingen voor ingenieurs en voorschrijvers

Onze re-fer ingenieurs geven trainingen over memory<sup>®</sup>-steel (online of ter plaatse) gerelateerd aan verschillende onderwerpen:

### **Statische maatvoering Aanbestedingen Uitvoering**

De training via videoconferentie duurt 30 – 45 minuten, afhankelijk van uw behoeften en is op elk moment mogelijk. Neem dan contact met ons op via e-mail of via het contactformulier op onze website. Advies is beschikbaar in het Nederlands en Engels.

Wij ondersteunen u graag telefonisch bij object specifieke vragen.

We verheugen ons op uw contact.



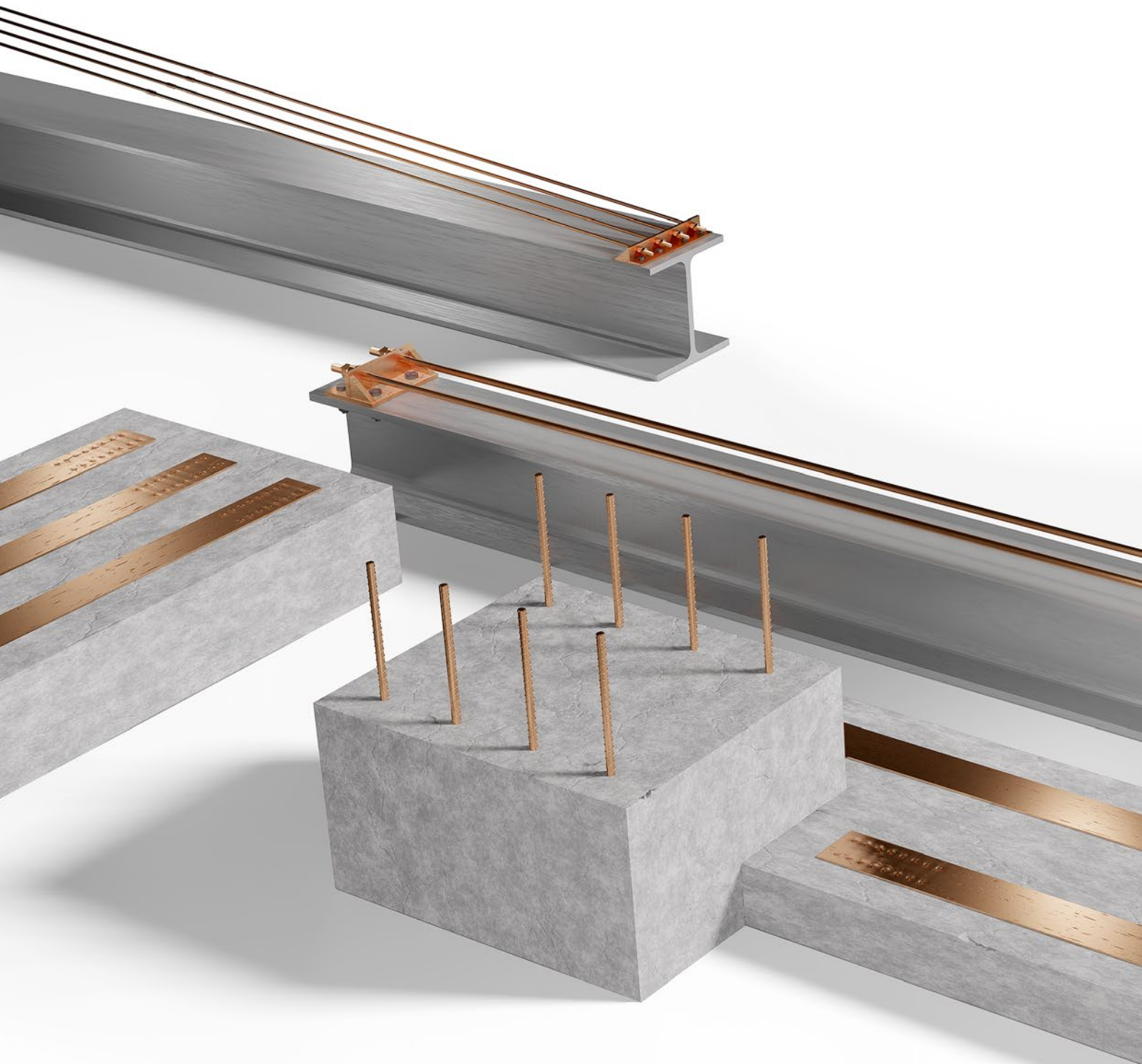
Michel van Beek  
mvanbeek@re-fer.eu





strengthening solutions

A TRUSTED  
PARTNER OF



**Hoofdvestiging Zwitserland**

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

**Nederland/België**

**re-fer Benelux BV**  
Aalsmeerderweg 249-N  
NL-1432 CM Aalsmeer  
Phone +31 646 310 624

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

