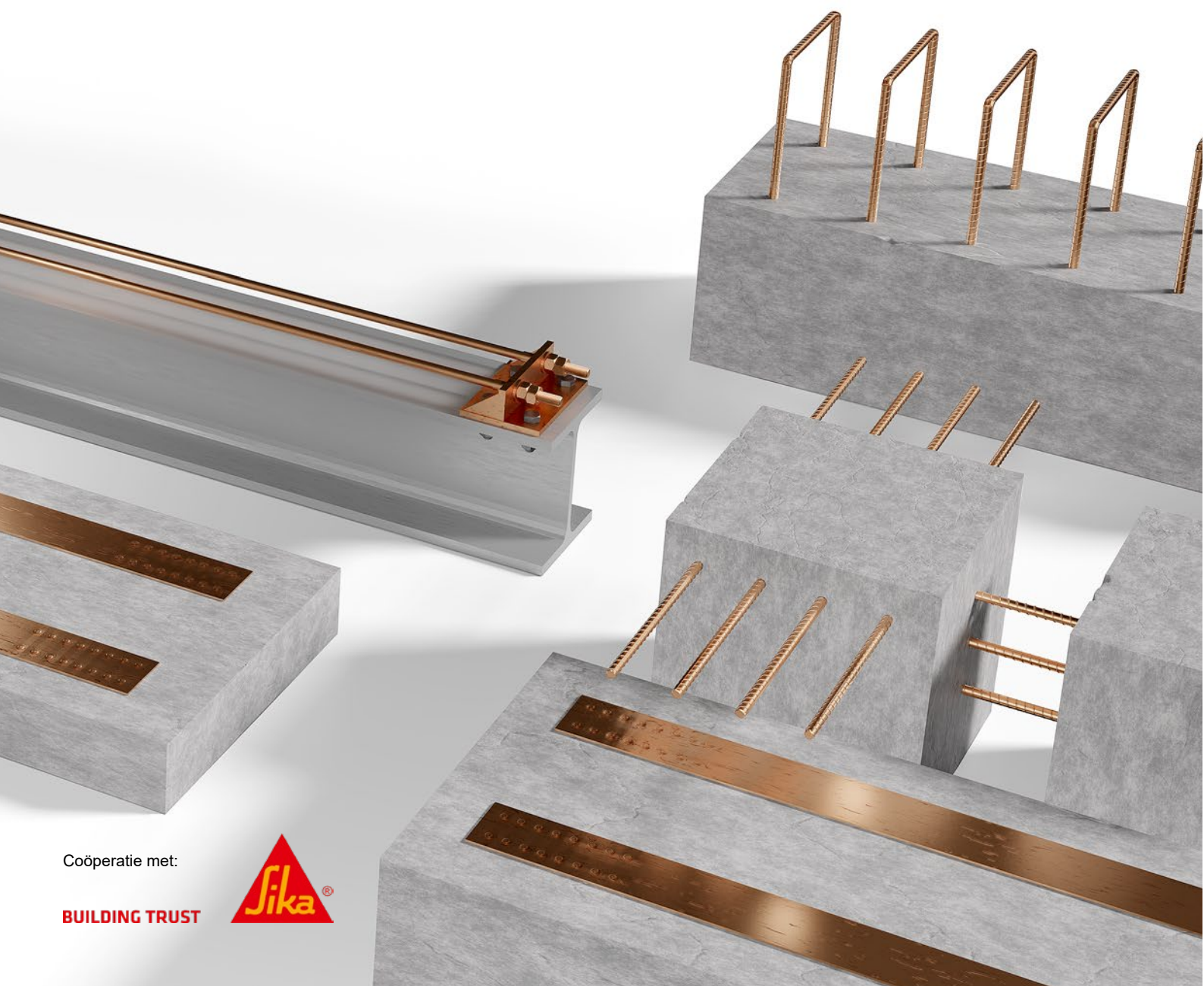


memory-steel[®]

Voorspanmethodes

**Voor het versterken van bestaande constructies
en te gebruiken in nieuwbouw.**

«Bij statische en blijvend dynamische belasting»



Coöperatie met:

BUILDING TRUST



Onze visie

Met het voorspanproces van memory®-steel streven wij wereldwijd naar marktleiderschap. Door samen te werken met de verwerkers, onderzoeken/ontwikkelingen via de Universiteiten en test Laboratoriums verhoogd de kwaliteit en kennis . 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 bouwstructuur 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 te gebruiken. re-fer wil hier een bijdrage aan leveren.



Smelten van memory®-steel

Innovatieve memory®-steel voorspanmethodes	2
Op ijzer gebaseerde legering met vormgeheugen	3
re-plate Toepassing voor betonbouw	4
re-bar Toepassing voor betonbouw	14
re-bar R18 Toepassing voor staalconstructies	30
Kwaliteitscontrole	33
Productoverzicht	34
Ontwerphulp voor memory®-steel	35
Invoer	36
Theoretische belastinggrondslagen	36
re-plate	36
re-bar	38
Aanwijzingen	39
Ontwerpvoorbeelden	40
Eenvoudige buigversterking met re-plate	40
Versterking T-Balk met re-bar	45
Ons wereldwijde onderzoek	51
Downloads & Patenten	52

innovatie memory®-steel voorspanmethodes

Traditionele versterkingen

Naar de nieuwste stand van techniek werden vaak lijmwapeningen uit staal of CFK-Lamellen als buig-trekversterking toegepast. De krachtoverdracht van lijmwapeningen in de betonondergrond is vaak onvoldoende. De hoofdoorzaak ligt er in, dat de krachtoverdracht via de lijmlaag door de betondekking in het bouwdeel wordt overgedragen. In de betondekking bevinden zich buig en trek scheuren. Daarbij wordt de betondekking bij buitentoepassing voor de herstelwerkzaamheden door omgevingsinvloeden als vorst, dooizouten, carbonatatie e.d , sterk belast. Onderzoeken (1) tonen aan, dat de lijmverankeringen door vorst en/of invloeden door dooizout kunnen falen. **CFK-Lamellen zijn bestemd voor in rust zijnde bouwdelen en alleen in uitzonderingsgevallen voor blijvend dynamisch belaste bouwdelen toegelaten.**

1 www.mdpi.com/journal/polymers

Article Behaviour of Prestressed CFRP Anchorages during and after Freeze-Thaw Cycle Exposure

Innovatie: Robuste versterking met memory®-steel

Bij versterking met memory®-steel «re-plate» wordt de hechtkracht via een mechanische eindverankering in de betonkern ingevoerd. De zeer eenvoudig aan te brengen versterkingsmaatregel laat zich zonder grote voorbereiding aan de betonondergrond bevestigen en binnen weinige minuten voorspannen.

Bij versterkingen met geribde staalstaven «re-bar» vindt de krachtoverdracht in de gezonde betonkern plaats via een nieuwe mortellaag, welke de beschadigde betondekking vervangt. Bestaande scheuren in de dragende ondergrond worden door de voorspanning van het memory®-steel aanzienlijk verminderd.

Brugdragers: Voorgespannen buig-trekversterking in de langs richting en voorgespannen schuif-versterking «overdrukken van de dwarsdoorsnede» geven een robuuste verankering in de drukzone.

Brugdekken: Voorgespannen buig-trekversterking met robuuste krachtoverdracht door het opruwen van de dragende ondergrond en vervanging van de beschadigde beton toplaag.

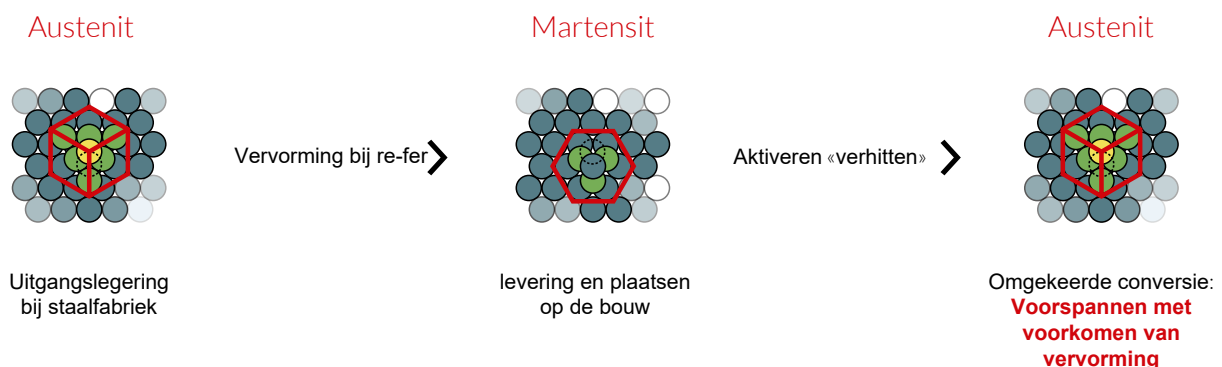
Door de combinatie van voorgespannen re-bar staven met geteste Sika betonreparatiemortel staat een versterkingsmethode voor in rust zijnde en blijvend dynamisch belaste draagconstructies ter beschikking.

Op ijzer gebaseerde legering met vormgeheugen

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

memory®-steel is op ijzer gebaseerd en geschikt voor toepassing in de bouw

Atoomstructuur



Gelijkmatige voorspanning zonder wrijvingsverlies.

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

Drie methodes met memory®-steel zijn mogelijk

re-plate methode voor betonbouw	re-bar methode voor betonbouw	re-bar R18 methode voor Staalconstructies
Staalband mechanische eindverankering in beton	Geribde wapeningsstaven voor plaatsing in mortel of beton	Stalen staaf via eindverankering aan staalconstructie verbonden
Externe trekband zonder verbinding	Geribde wapeningsstaven voor plaatsing in mortel of beton	Externe trekstaaf zonder verbinding
Voor in rust zijnde bouwdelen	voor in rust zijnde en/of blijvend dynamisch belaste bouwdelen	

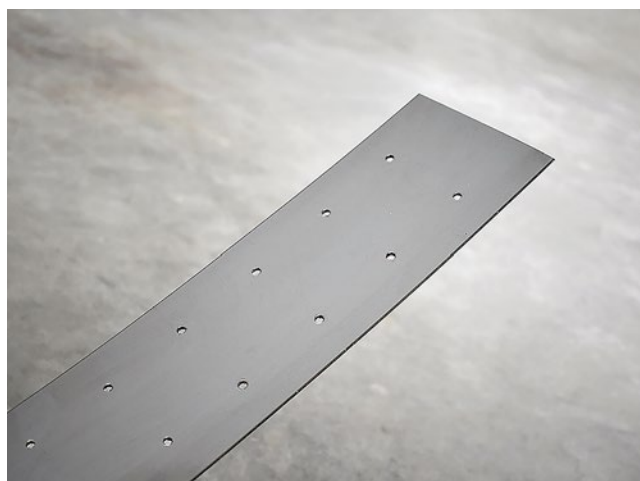
re-plate methode voor betonbouw «Voor rustend belaste bouwdelen»

re-plate "band gemaakt van memory®-staal" wordt gebruikt om gebouwen te upgraden. Verankering aan beide uiteinden, re-plate fungeert als een externe spanband zonder hechting. re-plate is voorgerekte en wordt vanuit de fabriek voorgestanst geleverd. De mechanische eindverankering vindt plaats met een directe bevestiging van Hilti. 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 ²	580 N/mm ²	105 kN	25 %

* Ontwerpwaarde gebaseerd op de verminderde doorsnede van de re-plate in de voorste rij gaten bij betonsterkte >35 N/mm²

Product	Temperatuur	Voorspanning	Voorspankracht	Relaxatie
re-plate – Standaardoplossing	Gas 300 – 350°C	380 N/mm ²	68.4 kN	15 % t ₀
Corrosiecoating of brandgevaar	Infrarood 165°C	300 N/mm ²	54.0 kN	15 % t ₀



Staalband 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 dit in overleg met de re-fer ingenieur plaatsvinden.

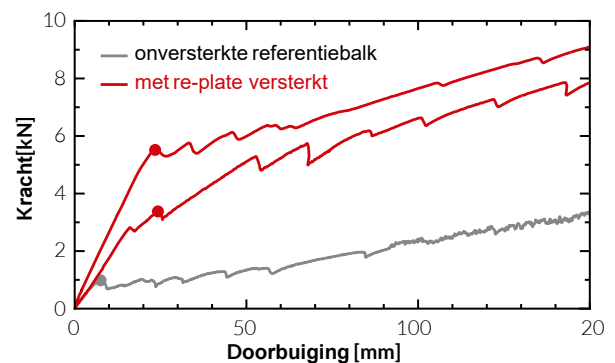
Falen op de verkleinde doorsnede in de voorste rij gaten van re-plate



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

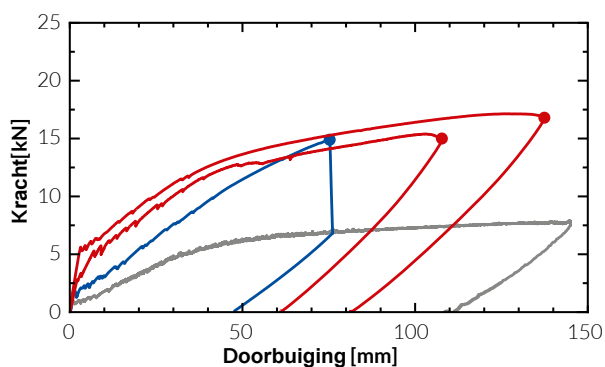
Grootschalige test: vergelijking van re-plate met CFK-lamellen

Buigproeven bij Empa tonen re-plate- en CFK--Lamellem met vergelijkbare axiale stijfheid EA. De versterkte betonplaten (hoog 150 mm, breedte 500 mm, spanbreedte 4,00 m) werden ook vergeleken met een ongewapende referentiebalk en vertoonden significant hogere breukbelastingen. De re-plate versterking faalde als gevolg van betonstuiking in de drukzone met hoge uitwijkingen. De CFK-upgrade is vroegtijdig mislukt vanwege de diepe breukrek. Dankzij de voorspanning met het ductiele re-plate-proces werd een aanzienlijk hogere scheurbelasting bereikt.



Betonplaat, test bij Empa Zwitserland

70 - 170% verhoging van de scheurbelasting in vergelijking met CFK-Lamellen.



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

— Onversterkte referentiebalk
● Betonstuiking
● Afspringen Lamellen

Toepassing: Combinatie re-plate en CFK Lamellen

re-plate

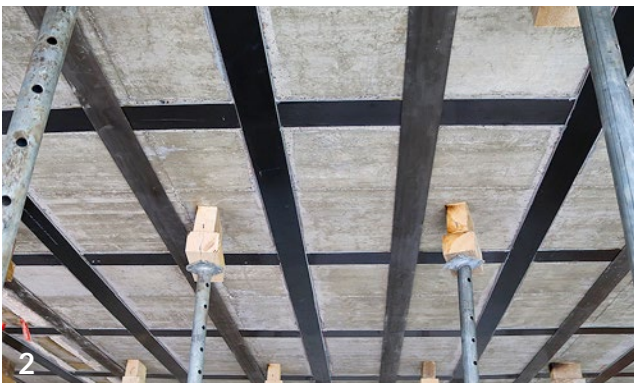
- Tegen doorbuiging en scheuren in het plafond en in het wanddeel erboven
 - Als ontlasting van de bestaande interne wapening
 - Om de gebruiksbelasting te verhogen
- «Voorbeeld afbeelding 3: Gebruik / brandbelasting wordt gedekt door re-plate - Brandwerende bepleistering is alleen lokaal nodig op de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

Sika®CarboDur® CFK-Lamellen

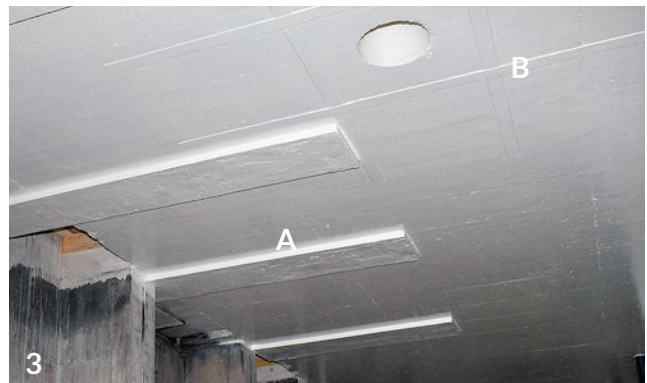
- Als dekking van de overige draaglast



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 de re-plate - en CFK-lamellen in dezelfde trekrichting dragen, 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

Toepassing van re-plate

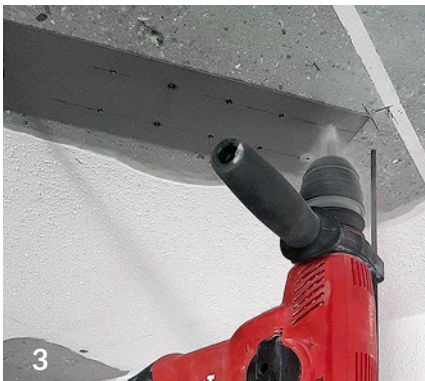
Buigversterking «verhoging van de gebruiks - en de draaglast»



Werkvoorbereiding

1 t.p.v. de versterking afwerkklagen en/of isolatie verwijderen.

2 re-plate provisorisch met T-Steunen fixeren



Tweezijdige eindverankering

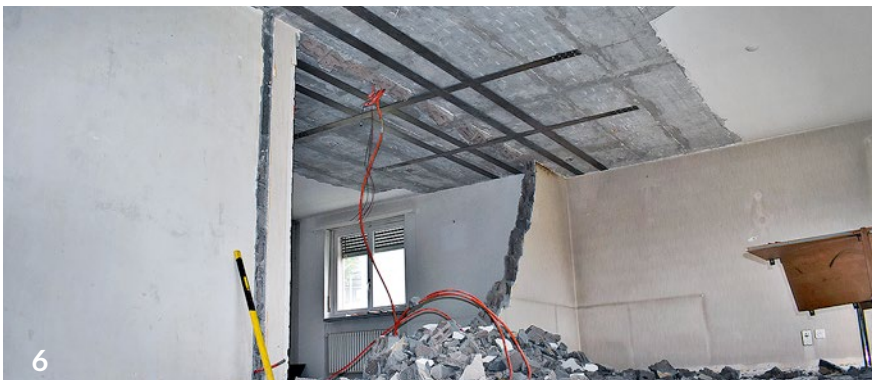
3 Ondergrond voorboren door de voorgeboorde gaten in re-plate

4 Mechanische eindverankering
Met Hilti schiethamer en systeem geteste, roestvrije nagels (X-CR 48 P8 S15)



Voorspanning activeren

5A/B Etappegewijs verwarmen met gasbrander of re-IR 3000 infrarood warmtestraler. 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 bestaande steunen 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 daardoor nieuwe indelingen van de ruimte mogelijk.

Versterken positieve moment

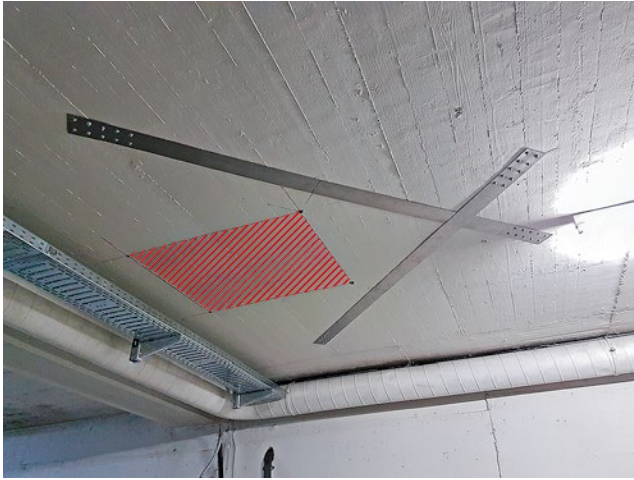


De overspanning in de hoofd-trekrichting wordt verlengd door een dilatatievoeg te overdrukken en de onderliggende ondersteuning te verwijderen. Het hogere positieve buigmoment en de overdruk van de verbinding worden afgedekt door re-plate.

Versterken negatieve moment

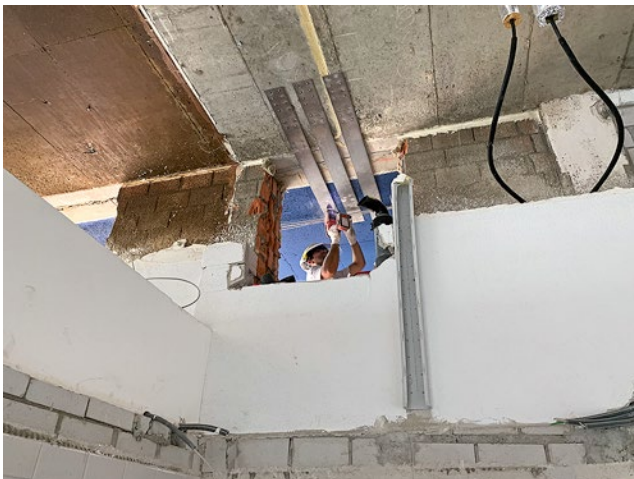


Aan de bovenzijde van het balkon boven een bestaande externe ondersteuning wordt het negatieve moment versterkt zodat een externe ondersteuning eronder kan worden verwijderd.



Lokale versterking bij een doorbraak in het plafond

De ontbrekende trekwapening door een gemaakte 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 voor de plafonduitsparing.



Overdrukken van koppelvoegen

Met korte re-plate banden kunnen dilatatie-koppelvoegen overdruk / overspannen worden om bouwdelen met elkaar te verbinden. De applicatie is interessant voor het aanpassen bij mogelijke aardbevingen in de bouw. 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.

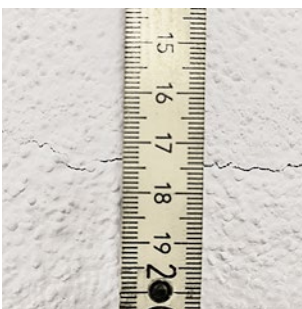


Versterking tegen ponsbelasting

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 re-plate 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 versterkmaatregel 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) leidde 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 Aktivierung von re-plate:
www.re-fer.eu/mov01

Brandbescherming re-plate

Brandgedrag van re-plate

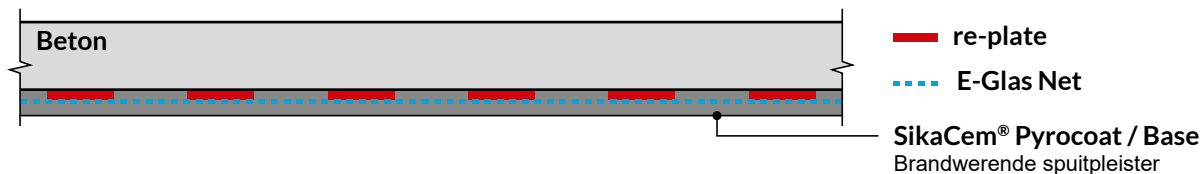
re-plate vertoont een brandgedrag vergelijkbaar met dat van conventioneel staal en verliest zijn sterkte aanzienlijk bij ongeveer 400°C, of vermindert zijn voorspanning bij ongeveer 350°C. Hetzelfde geldt voor verankering met Hilti-directbevestigingen; Hiervoor zijn aparte testen van de fabrikant op brandgedrag beschikbaar.

Brandbescherming van de wapeningsmaatregelen is altijd nodig als de standaard en landspecifieke vuurbelasting niet zonder wapening kan worden afgedekt. De dimensioneringshulp (p. 39) toont een vergelijkingsvoorbeeld.



Brandbeschermende maatregelen

Bij MFPA Leipzig worden brandproeven uitgevoerd met een plaat van gewapend beton van 3 m breed en 140-150 mm dik met een overspanning van 4 m. Deze standaard buigplaat is versterkt met re-plate en vervolgens over het gehele oppervlak behandeld met SikaCem® Pyrocoat. Tijdens de brandtest wordt de temperatuur gemeten op de re-plate en op de binnenwapening. Zo zijn de basisprincipes beschikbaar om dimensioneringsconcepten voor de brandbeschermende maatregelen uit te voeren.



De betonnen ondergrond en de versterkingsbanden worden gereinigd en over het gehele oppervlak gecoat met de SikaCem® Pyrocoat Base primer. vervolgens wordt een fijne laag Sika-Cem® spuitmortel volvlakig aangebracht. De spuitmortel dient ook als uitvlaklaag. een E-Glas Net wordt volvlakig over de re-plate in de spuitmortel gelegd. Om vibratie van de re-plate te voorkomen worden de banden aan de buitenzijdes met spuitpleister gevuld.

In de zomer van 2021 zullen geldige testresultaten beschikbaar zijn. De re-fer engineer-ondersteuning helpt u bij uw project. Laagdiktes volgens landspecifieke normen of richtlijnen moeten in acht genomen worden.

Andere geteste mortels uit het Sika MonoTop®-assortiment zijn beschikbaar voor buitentoepassingen of in tunnelconstructies. Brandbeschermingsmaatregelen, resp. de opgegeven laagdiktes zijn richtwaarden en dienen afgestemd te zijn op de plaatselijk geldende officiële voorschriften en de geldende normen.

Corrosiebescherming van re-plate

Corrosiegedrag van memory®-staal

De legering van memory®-staal 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®-staal een levensduur van meer dan 250 uur. Voor zwaar belichte objecten met een hoge chloorconcentratie - bijvoorbeeld in binnenzwembaden of in het spatwatergedeelte van wegen - dient extra corrosiebescherming te worden aangebracht. Het SikaCor® 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 bescherm laag 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® EG-1 in het werk

Applicatie van de corrosiebescherming op memory®-staal

Het oppervlak van re-plate wordt door Stralen met Korund licht opgeruwd en daarna met Sika-Cor® EG-1 bestreken. Mogelijke transportschades van de bekleding worden op de bouw met Sika-Cor® 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 gevoegd met Sikaflex® PRO-3 om te voorkomen dat water tussen de betonnen basis en de wapeningsband kan binnendringen.

SikaCor® EG-1 «Coating» in In
het werk aangebracht

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

* Let op: verlaagde verwarmingstemperatuur 165 ° C «voorspankracht 54 kN / re-plate»

re-bar methodes voor betonbouw

«voor rustende en dynamisch continue belaste bouwdelen»

Naderhand versterken van bouwerken

Het geribde staal Ø10 of Ø16 mm word 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. Trekkkracht	Relaxatie
re-bar 10	89.9 mm ²	800 N/mm ²	71.9 kN	30 %
re-bar 16	211.2 mm ²	750 N/mm ²	158.4 kN	30 %

Product	Temperatuur	Voorspanning	Voorspankracht	Relaxatie
re-bar 10 – Staven	Gas 300 – 350°C	400 N/mm ²	36.0 kN	15 % t ₀
re-bar 10 – U-Profilen	met stroom 200°C	350 N/mm ²	2 x 31.5 kN = 63 kN	15 % t ₀
re-bar 16 – Staven	Gas 300 – 350°C	320 N/mm ²	67.6 kN	15 % t ₀

Nieuwbouwinzet 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 ²	52.8 kN	15 % t ₀



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 N/mm² werd als volgt vastgesteld:

In Sika Reprofilerings- resp. Spuitmortel

Verankeringslengte: > 500 mm
(afhankelijk van de situatie)

Ingeslepen in sleuf in Sika gietmortel

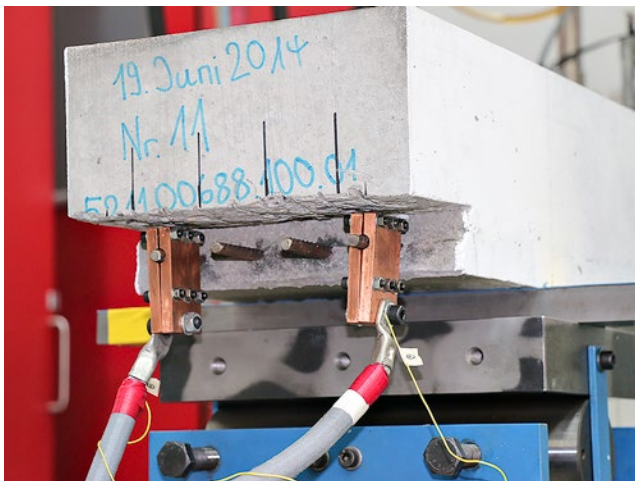
Verankeringslengte
re-bar 10: > 600 mm
re-bar 16: $> 1'000$ mm

Afstand tussen de sleuven: > 200 mm

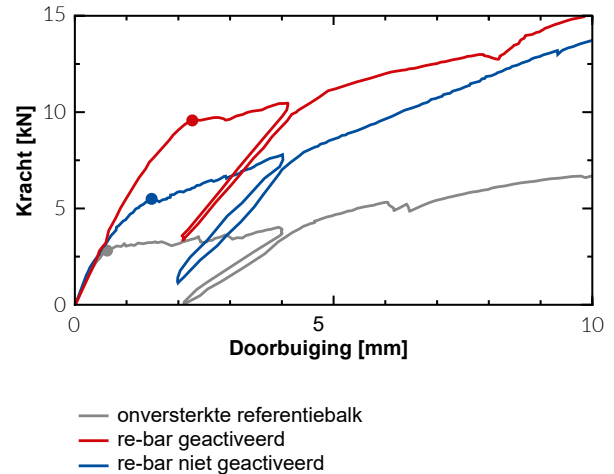
Bij hogere betonkwaliteiten is het mogelijk om de verankeringslengtes te verkleinen. Zie pagina 25 voor meer verankeringsopties.



Structueel gedrag



Het constructieve gedrag van de wapening met re-bar op de balk (met de afmetingen hoogte 160 mm, breedte 250 mm, overspanning 2,00 m) werd gecontroleerd. De doorbuiging is vergeleken tussen de re-bar geactiveerd en niet geactiveerd.



De scheurbelasting kan door de activering verdubbeld worden.

Grootschalige test: Versterking negatief-moment op een brugplaat

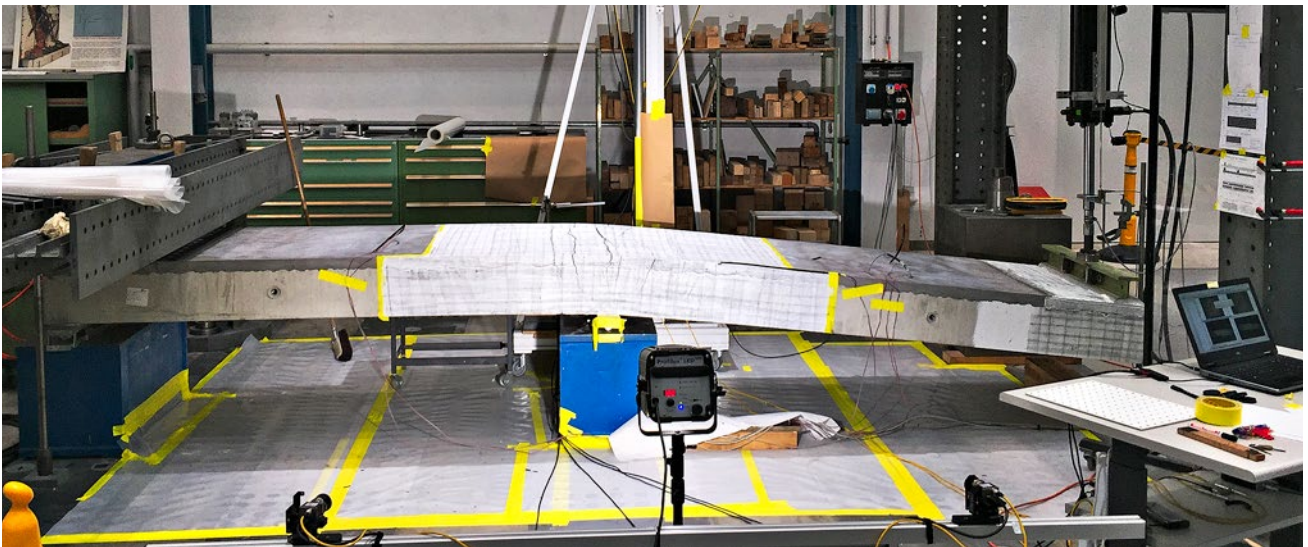
Empa Zwitserland onderzocht het buigbelastingvermogen van versterkte brugliggers met re-bar staven. De staven werden in een betonsleuf in de bovenzijde van de plaat geplaatst en gevuld met SikaGrout®-314 N. In een tweede serie werd re-bar in de reprofileringsmortel Sika MonoTop®-452 N op het oppervlak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



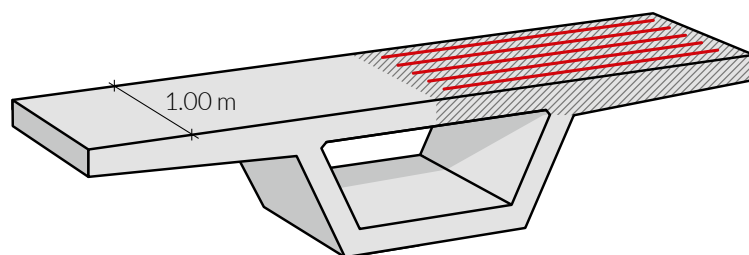
Versterking in sleuf



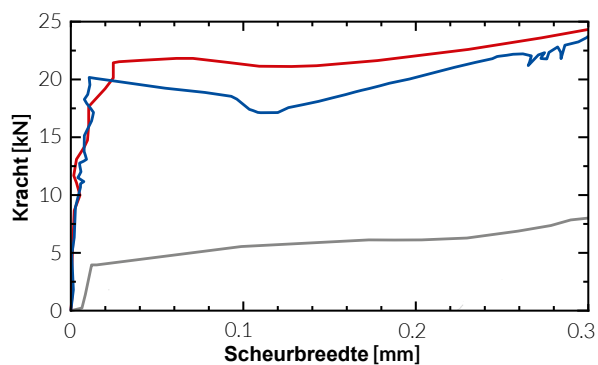
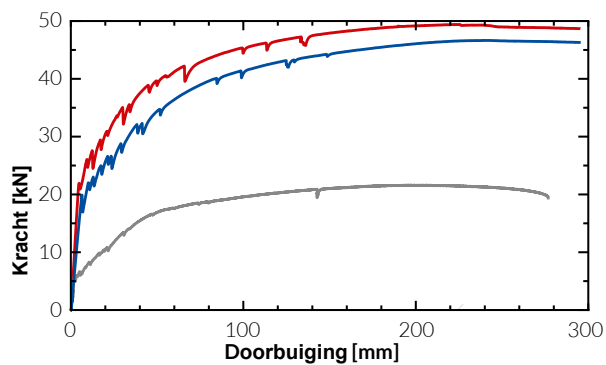
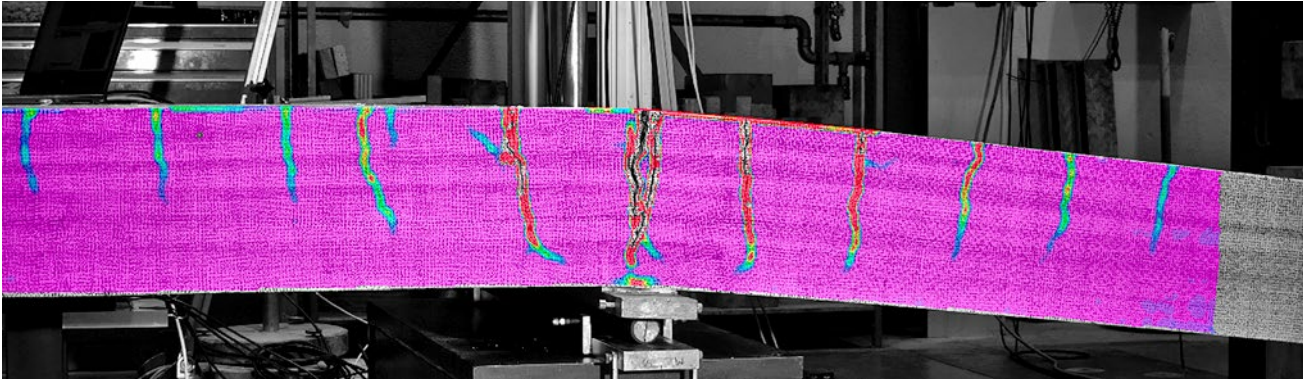
versterking in reprofileermortel



Test betonplaat bij Empa



Testresultaat: Versterking negatief moment



— onversterkte referentiebalk
— re-bar in reprofileringsmortel
— re-bar in betonsleuf

	Referentie- balken	re-bar in betonsleuf	re-bar in re- profileermortel
Scheurbelasting [kN]	5.9	20.0	21.9
Breuklast [kN]	21.6	46.6	49.4

Scheurbelasting

werd verdrievoudigd .

Breuklast werd verdubbeld .

De gemeten scheurbreedtes konden bij gelijke belasting aanzienlijk worden verminderd. De constructie blijft langer in niet gescheurde 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.

Applicatie van re-bar bij Naversterking

Naversterking positief / negatief moment



Werkvoorbereiding

- 1 Opruwen van de betonenondergrond tot gewenste ruwheid bereikt is.
- 2 Fixeren van re-bar met elektrische isolatoren **re-clip** op de internewapeningl of **re-bolt** op de draaggrond



Tweezijdige eindverankering

Op de vloer

- 3 tweezijdig inbedden in **Sika MonoTop®-452 N** «reprofileermortel» als eindverankering

Boven het hoofd

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

Verankeringslengte: >500 mm



Activeren van re-bar zodra een druksterkte >35 N/mm² in de mortel bereikt is.



Activeren van de voorspanning

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



Voltooiing

Op de vloer

- 6 **Sika MonoTop®-452 N** «reprofileermortel» tussen de eindverankeringen aanbrengen

Boven het hoofd

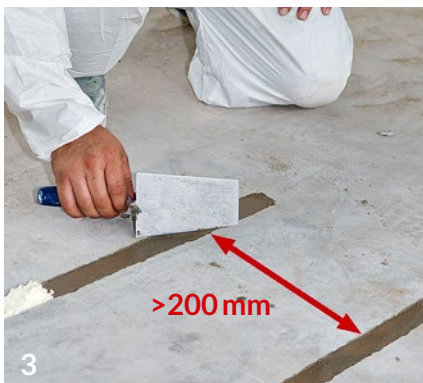
- 7 **Sika MonoTop®-412 Eco/-4012** «spuitmortel» tussen de eindversterkingen aanbrengen

Na-versterking van negatief buigmoment in sleuf



werkvoorbereiding

- 1 Inslijpen sleuf in de betonondergrond
re-bar 10: breed 2.5cm / diep 3.0cm
re-bar 16: breed 2.5cm / diep 4.0cm
- 2 re-bar centraal in de betonsleuf fixeren



Activeren van re-bar
zodra een druksterkte >35
N/mm² in mortel bereikt
is.

Tweezijdige eindverankering

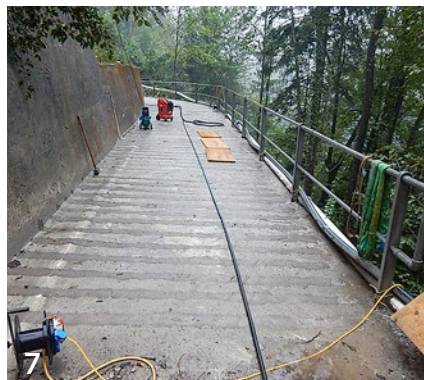
- 3 Tweezijdig inbedden in
SikaGrout®-314 N «gietmortel»

Verankeringslengte:
re-bar 10: >600mm
re-bar 16: >1'000 mm



Activeren van de Voorspanning

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

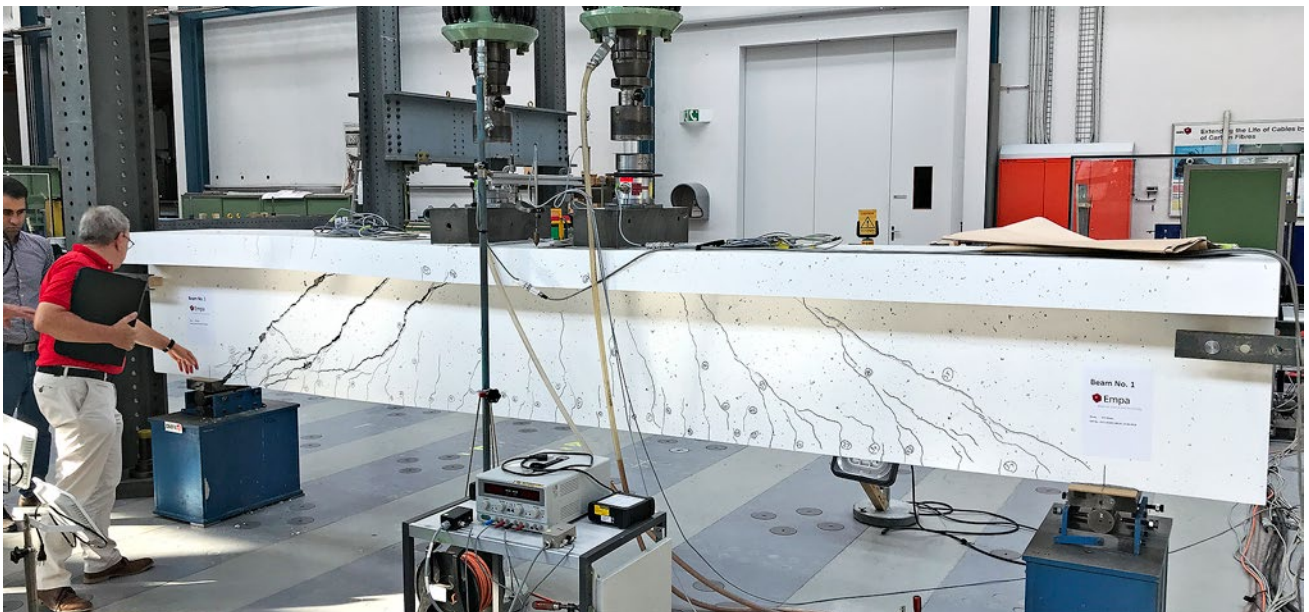


Voltooiing

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

Draaglasttest: Dwarskracht versterking aan T-drager

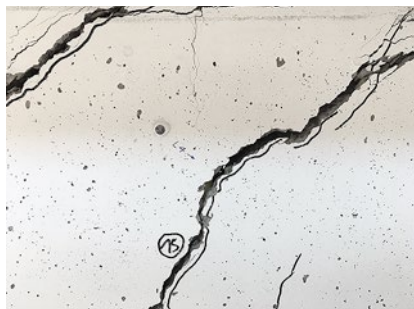
Bij Empa Zwitserland zijn verschillende belastingtesten uitgevoerd en zo ontworpen dat falen bij afschuiving optrad. Een eerste referentieopgave zonder extra re-bar schuifbeugelversterking werd tot breuk belast. Deze zwaar beschadigde referentiebalk met gescheurde dwarskrachtwapening en gapende scheuren 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

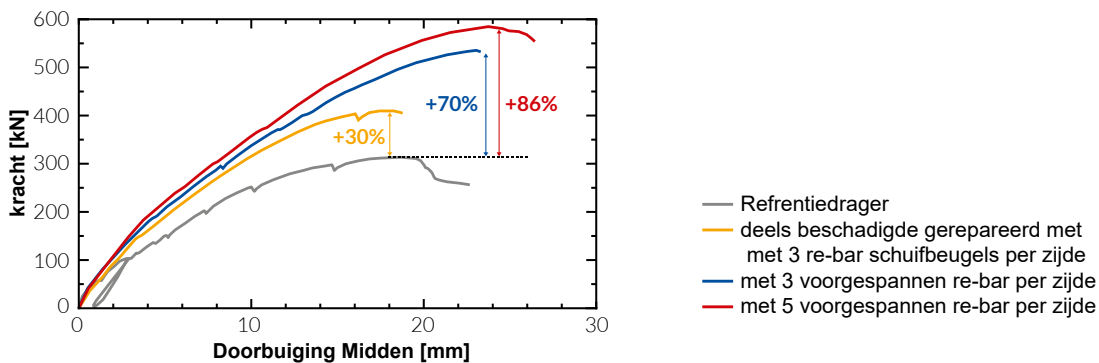


Gapende scheuren in de beschadigde referentiedrager



Warmtebeeld van de geactiveerde / verwarmde re-bar beugel

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

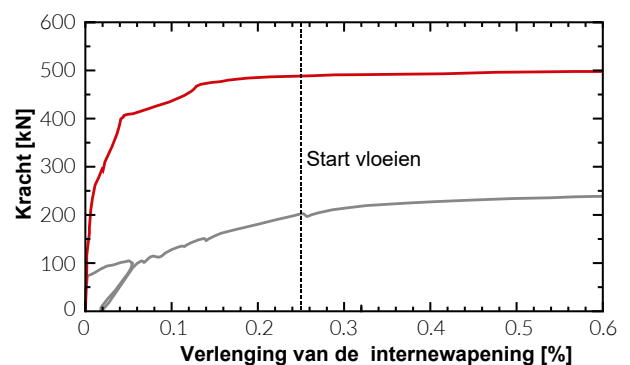


Versterking van deels beschadigde gebouwen na een aardbeving is mogelijk.

Dankzij de voorgespannen re-bar schuifbeugel kon een stijging van de draaglast van de deels beschadigde referentiedrager met 30% bereikt worden.

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

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



Ontlasten interne dwarskracht beugel

Verbeterde vermoeiingsverhouding

Applicatie van re-bar U beugels



1



2

Scheurinjectie indien nodig

- 1 oppervlakafdichting van de scheur
Sika® FastFix-121 of 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 kunststofpluggen 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

Aktiveren Voorspanning

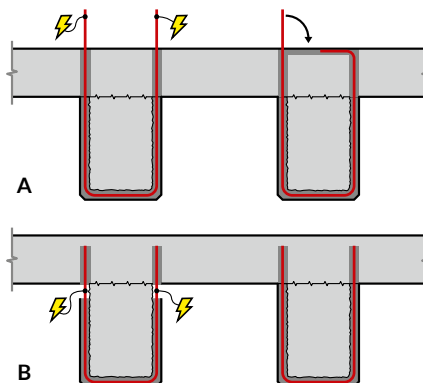
- 5 Activering/EL-weerstand verwarming, daarna beugel ombuigen en afgieten.

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

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



6



A

B

Voltooiing

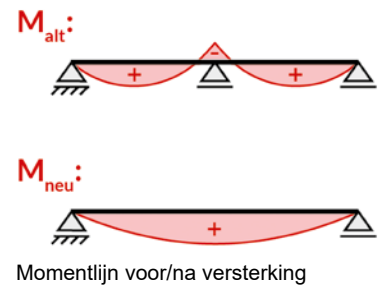
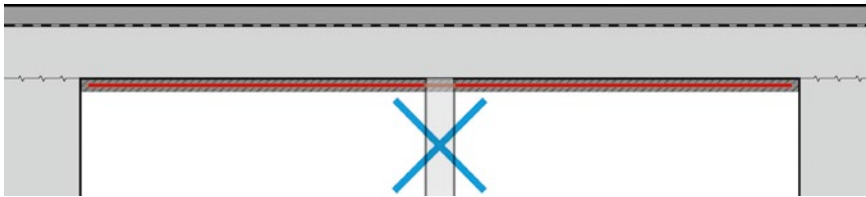
- 6 Aanzicht van versterkte object na aanbrengen mortel

Verankering in drukzone

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

Toepassing van re-bar als na-versterking

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 als versterkende nieuwe positieve moment M_{neu} 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

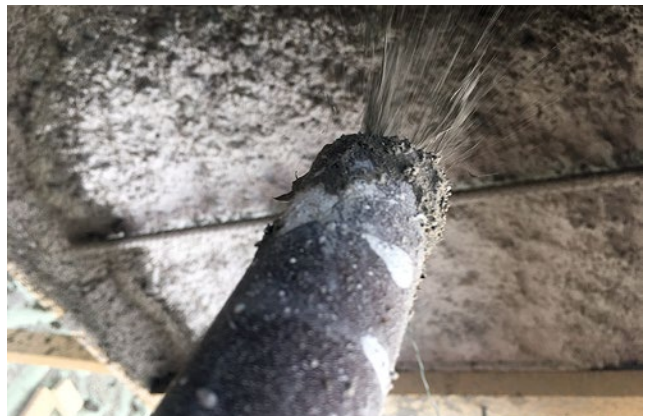


Aktivering van re-bar met gasvlam en temperatuurcontrole

Met uittrekttesten 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/mm². De drukvastheid van het object moet met een testhamer of uitname van boorcylinders continue gecontroleerd worden.



Film Aktivering van re-bar: www.re-fer.eu/mov02



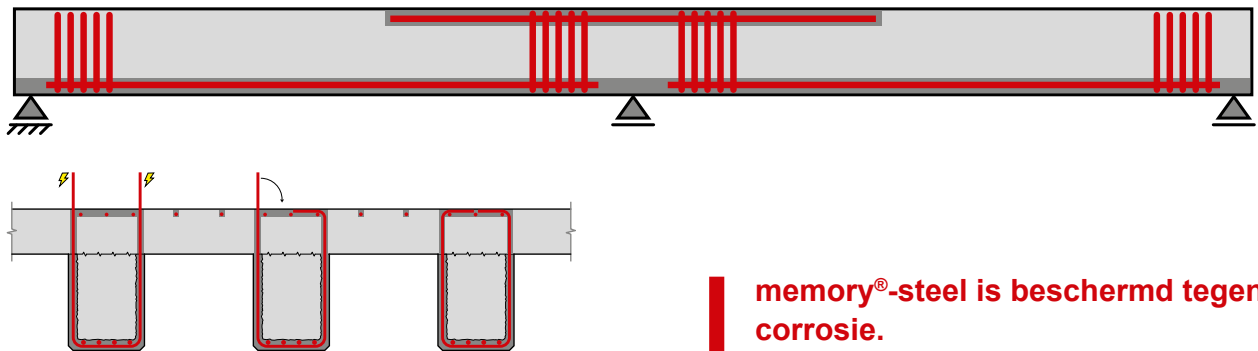
Spuiten van het middengebiet met Sika MonoTop®



Doorlaatruimte na versterking

Gecombineerde re-bar toepassing Buigtrek/ Schuif bij bruggenbouw

re-bar is geschikt voor de gedeeltelijke en complete renovatie van een brugligger of massieve dekondersteuning. Bij hergebruik of reparatie van oude, gecarbonateerde betondoorsneden, wordt memory®-staal 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®-staal en bestaande internewapening.

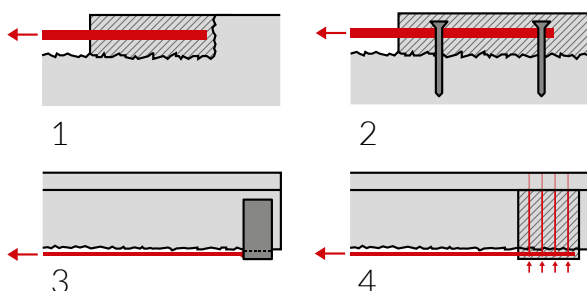


Flexibele verankeringsmogelijkheden

In principe wordt re-bar bij buigversterking achter of aan de moment-nulllijn verankerd. Bij schuifversterking wordt re-bar in de drukzone verankerd. Inleiding van de voorspankracht wordt normalerwijs door de mortelverbinding 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 buitenzijde met aangelaste re-bar staven mogelijk (3).

Voorgespannen re-bar Schuifbeugels zijn speciaal geschikt om de schuifverbinding tussen mortel en dragende ondergrond te overdrukken.

(4).



memory®-staal is beschermd tegen corrosie.

Robuste verankering dankzij overdrukken van de dwarsdoorsnede

Tegen vermoeiing.

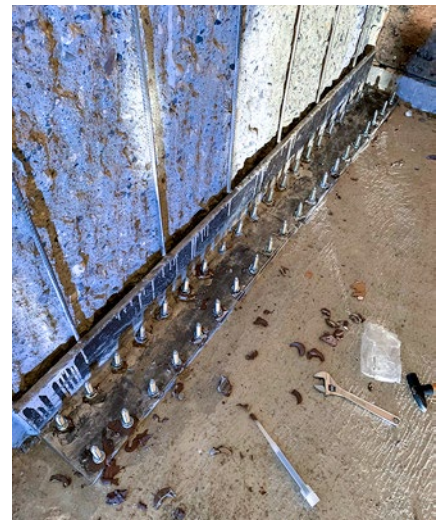
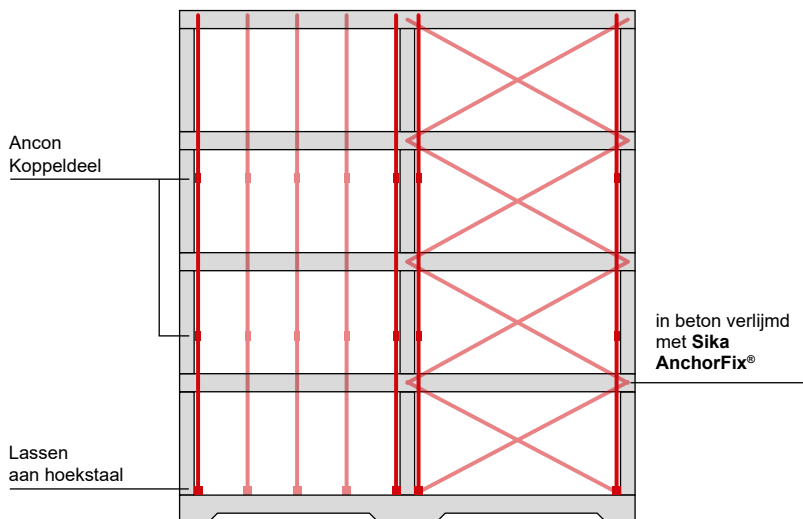
Ontlasting van de interne wapening.

Hoger draagvermogen/ minder doorbuiging.



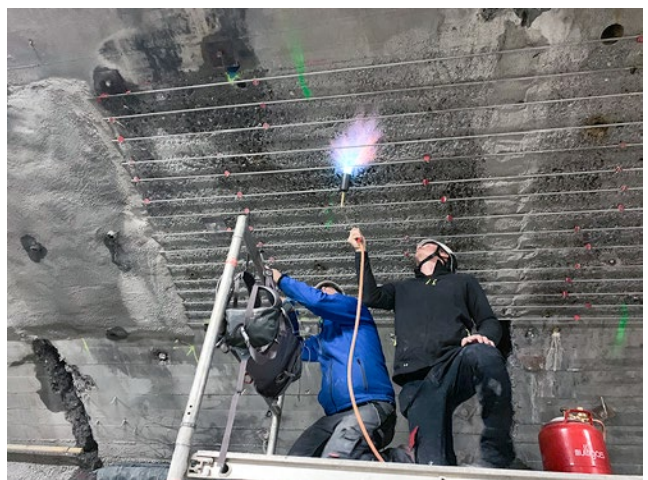
Versterking tegen aardbevingen.

Dankzij de mogelijkheid om het memory®-staal 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. (Wolfraam punt, edelgas, lasmetaal "Böhler A7 CN-IG" 1,6 mm draad).



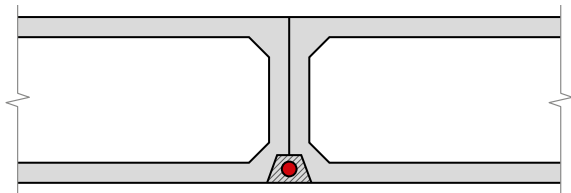
Versterking in tunnelconstructies

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.



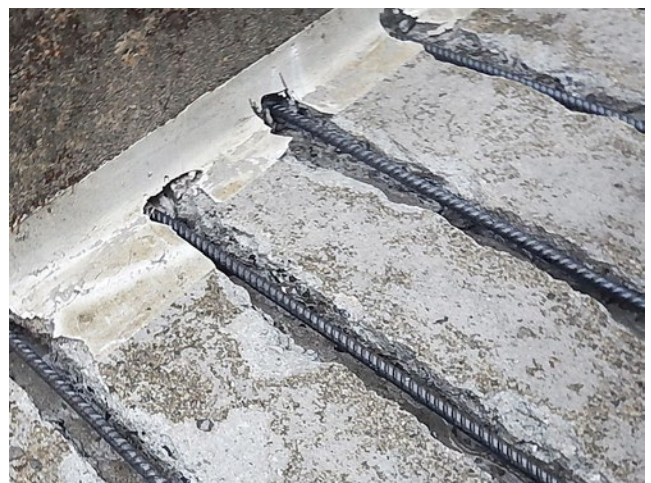
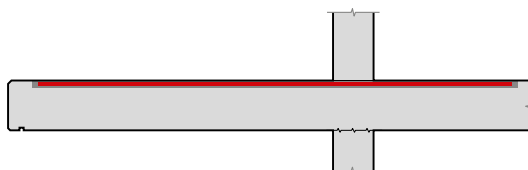
Versterking tegen opdrijven

De onvoldoende gewapende bvloerplaat vertoont aan de bovenzijde uitstulpingen en scheuren. Versterking tegen opstuwend grondwater kan in beide draagrichtingen plaatsvinden. Een combinatie van re-bar «ingeslepen» in een richting en re-bar «in reprofileringsmortel» in de tweede richting is mogelijk.



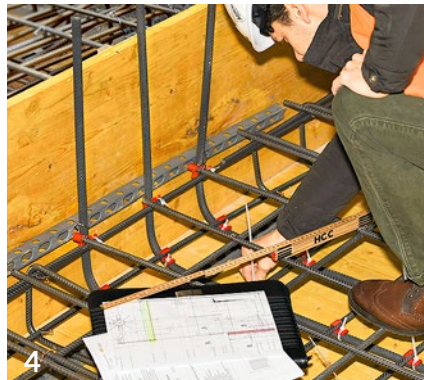
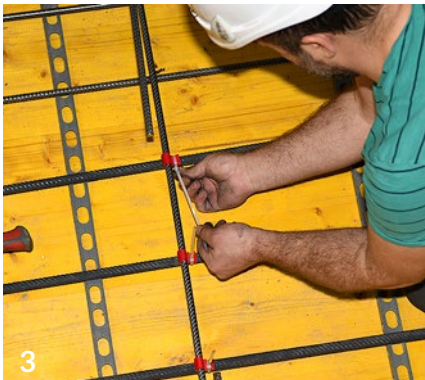
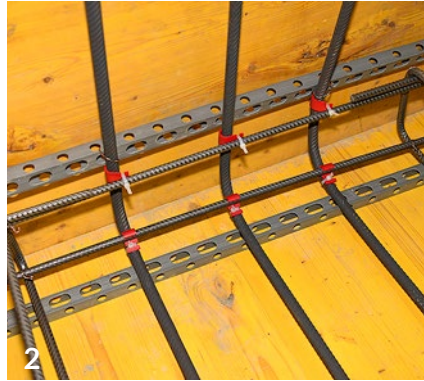
Versterking balkonaansluitingen

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.

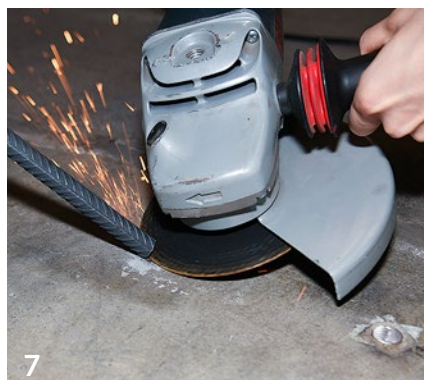


Applicatie van re-bar in nieuwbouw

Creëren van verborgen, voorgespannen liggers



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



Aanbrengen van de wapening

- 1 Bekisting maken, plaatsen van afstandhouders 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)

Beton storten

- 5 Beton storten na vrijgave door bouwingenieur.

Activeren van de Voorspanning

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

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

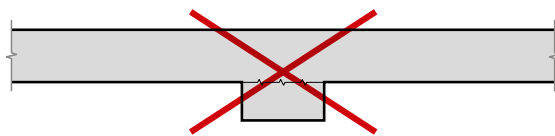
- 7 verwijderen re-bar aansluitingen en afwerken plafond

Toepassingen van re-bar in een flatgebouw

Verborgen, voorgespannen ligger in een flatgebouw

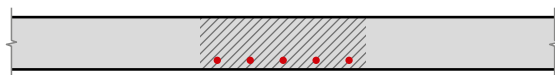
Door het gerichte gebruik van memory®-staal in nieuwbouw kan de plafonddikte worden verminderd en biedt daarmee een alternatief voor conventionele ondersteuningssystemen zoals onder / bedekkingen of aanvullende ondersteuningselementen. re-bar wordt vooral gebruikt voor betonnen balken of filigrane betonnen 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-proces voor staalconstructies

«voor in rust zijnde en blijvend dynamisch belaste draagconstructies»

De Ø18 mm 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. Trekkracht	Breukverlenging
re-bar R18	254.5 mm ²	750 N/mm ²	190.8 kN	15 %

Produkt	Temperatuur	Voorspanning	Voorspannkracht	Relaxatie
re-bar R18	Gas 300 – 350°C	380 N/mm ²	96.7 kN	15 % t _e

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 wapeningsmaatregel 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-proces

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	96.7 kN	193.4 kN	386.8 kN
Trekkracht	190.8 kN	381.6 kN	763.2 kN

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



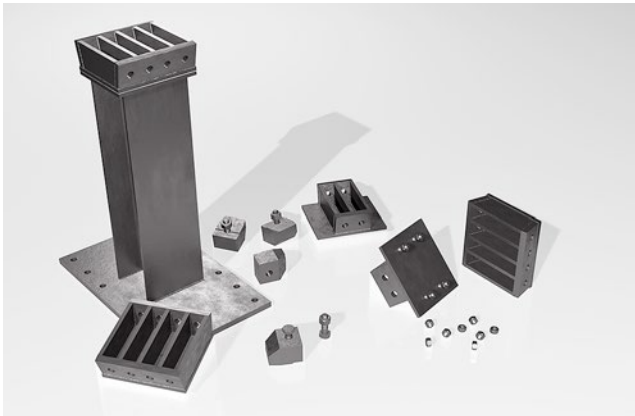
R18 moeren en ringen met een hoek tot 3 °

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 ondersteuning bij doorbuiging

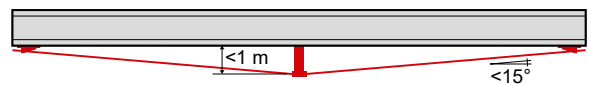
Om het moment van de voorbelasting te vergroten, kan in het midden van de ligger een afbuigsteun worden aangebracht. De R18 ondersteuning wordt geklemd zodat er op dit punt geen verzwakking van de dwarsdoorsnede van de stalen ligger optreedt. De ondersteuning is ontworpen tot een maximale verkanting van 1 m. Een hoek van 15 ° is mogelijk met de ringen en de basisafschuining 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 verstevigingsribben 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 dynamische 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 / mm², alsook met een koppeling M19.5 en een spanningsamplitude van 50 N / mm².



**Geschikt voor toepassingen met
permanente belasting.**

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 de basis

De kwaliteit van de basis wordt bepaald met de betontestthamer (2). Bij versterking met re-plate is een druksterkte $>35 \text{ N/mm}^2$ vereist. Bij lagere betonkwaliteiten moet de re-fer ingenieur worden geraadpleegd over de verankeringsweerstand.

Temperatuurcontrole bij activering

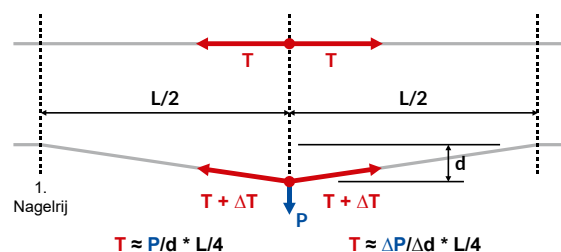
Tijdens het verhitten wordt de temperatuur gemeten op het memory®-staal. Dit gebeurt met geïntegreerde temperatuursensoren en een display (3) in de infraroodstraler of met een apart handmeetapparaat bij activering met gas.

Scheur en deformatiecontrole

Het sluiten van de bestaande scheuren kan tijdens het spanproces worden gecontroleerd. De scheurbreedte wordt gemeten met een meetunit (4). De vervorming van het plafond kan worden gecontroleerd met een laserapparaat.

Controle van de voorspankracht

Voor de voorspankracht op het object is een speciaal testapparaat (5) 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

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

Applicatie-gereedschap en componenten

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

Eindverankering van re-plate

Universeelnagel X-CR 48 P8 S15	Hilti Universeelnagel voor eindverankering
DX Karton 6.8/11 M10 STD (Rood)	Koker
DX 5	Hilti schiethamer

Geteste Sika-Producten



In combinatie met re-plate

SikaCem® Pyrocoat	Brandwerende spuitpleister
SikaCem® Pyrocoat Base	Hechtmortel voor brandwerende spuitpleister
SikaCor® EG-1	Anti-Corrosiecoating: tussencoating met ijzerglimmer op basis van epoxyhars
Sikaflex® PRO-3	Voegkit voor het vullen van re-plate aan beide zijden

In combinatie met re-bar

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

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

Letterbetekenis

Latijn

A_f	Dwarsdoorsnede re-plate of re-bar
A_s	Totale dwarsdoorsnede van de wapening
a_s	Wapeningsinhoud per lopende meter
b	Breedte van de betonddoorsnede
d	Statische hoogte
d_f	Statische hoogte van re-plate of re-bar
E_c	E-Module beton
E_{SMA}	Vereenvoudigde E-Module re-plate na activering
F_c	Kracht in de betondrukzone
f_{cd}	Ontwerpwaarde van de betonspanning
$F_{ms,u}$	Trekkracht re-plate voor analyse van de dwarsdoorsnede
$F_{p,i}$	Voorspannkraft re-plate, direkt nach Aktivierung
$F_{p,\infty}$	Voorspankracht re-plate, na relaxatie
F_s	Kracht in dwarsdoorsnede van de wapening
f	Inschatting maximale doorbuiging betonplaat / -drager volgens Kordina und Hegger
h_c	Dikte betonplaat
I	Traagheidsmoment
l	Spanwijdte Betonplaat / -drager
L	Vrije lengte Lenge van re-plate tussen de verankeringen
ΔL	Lengteverandering van re-plate bij tot breuk volgens Kordina und Hegger
M_{Ed}	Meetwaarde buigmoment
$M_{p,BZ}$	Buigmoment re-plate tijdens de bouw
$M_{p,GZ}$	Buigmoment re-plate na relaxatie (voor berekening grenswaarde)
M_{Rd}	Buigweerstand
m_{Rd}	Buigweerstand van een betonplaat
P_∞	Voorspankracht van een kabel volgens $t = \infty$
P_0	Voorspankracht van een kabel volgens $t = 0$
V_{Ed}	Ontwerpwaarde van de dwarskracht
V_{Rd}	Nominale waarde van de dwarskrachtweerstand
$V_{Rd,s}$	Schuifweerstand re-plate eindverankering met Hilti X-CR Nagels
w_{eff}	Aanwezige doorbuiging
w_{zul}	Toelaatbare doorbuiging
x	Hoogte buigdrukzone
z	Hefboom

Grieks

ε_0	Voorspanning van een spankabel
ε_c	Uitzetting beton
ε_s	Uitzetting wapening
ε_f	Uitzetting van re-plate of re-bar
$\Delta\varepsilon_f$	Uitzettingstoename van re-plate door lengteverandering
$\Delta\sigma_f$	Spanningsverandering in re-plate
$\Delta\sigma_{p,r}$	Voorspanning na relaxatie (na 50 Jaar)
σ_c	Betonspanning
$\sigma_{p,i}$	Aanvangsvoorspanning re-plate, direct na activering
$\sigma_{p,\infty}$	Voorspanning re-plate na relaxatie

Inleiding

De dimensionering met memory®-steel producten wordt uitgevoerd volgens de huidige regels van structurele dimensionering voor staal en voorgespannen betonconstructies. De "re-plate" verstevigingsband wordt gezien als een externe spanband met voorspanning zonder hechting. Met het "re-bar" -systeem kan worden uitgegaan van een zeer sterke verbinding tussen het geribde staal en de omringende mortel / spuitbeton. Hierna worden ontwerpvoorstellen voor het buigen van wapeningen in de constructiefase, in de grenstoestand van bruikbaarheid en draagvermogen toegelicht. Ontwerpvoorbeelden worden getoond voor een beter begrip.

Theoretische beoordelingsgrondslagen

re-plate

Staat van de constructie:

Voor de staat van de constructie is het van belang rekening te houden met mogelijke scheurvorming aan de bovenzijde van de plaat als gevolg van voorspanning, dit te verifiëren. Hiervoor moet de initiële voorspanning $\sigma_{p,i}$ worden toegepast. De voorspanning kan worden ingesteld als een constant buigmoment, tussen de verankeringen, om dit te vergelijken met het scheurmoment.

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

(A_f = oppervlak re-plate, z =hefboom)

Grenswaarde gebruiksmogelijkheid

Voor de bruikbaarheidsgrenstoestand over een langere periode, kan de aanvangsvoorspanning $\sigma_{p,i}$ verminderd worden van wege de relaxatie. Over een periode van 50 jaar kan dit geschat worden op 15%. Hierop 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 constante buigmoment $M_{p,GZ}$ tussen de verankeringen kan dus worden omschreven als:

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

Grenstoestand van het draagvermogen

Bij het re-plate systeem worden de krachten via de twee eindankers in de constructie gebracht; er is geen verbinding met de betonnen ondergrond in de vrije lengte. Dienovereenkomstig is een conventionele dwarsdoorsnede-analyse met afgeleide uitbreidingscompatibiliteit niet mogelijk. In principe zijn er twee varianten mogelijk:

a) Berekening zonder toenemende spanning in de re-plate

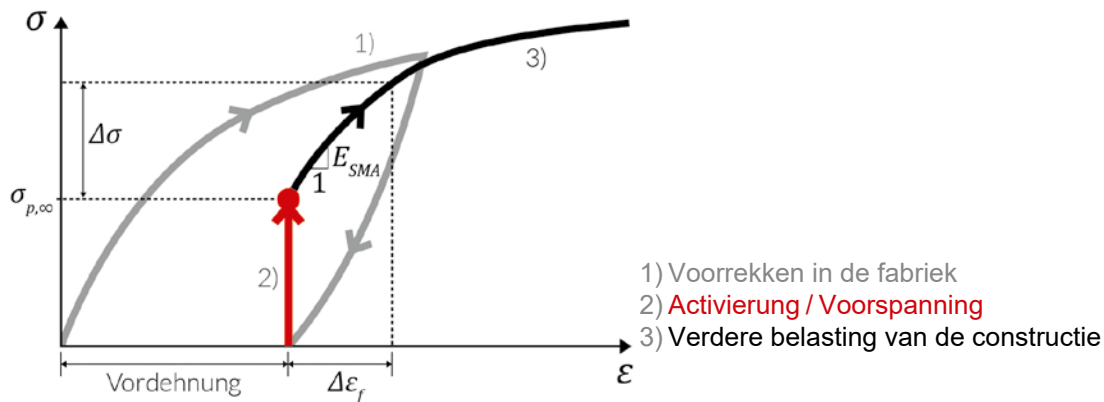
Met deze vereenvoudigde berekeningsmethode wordt aangenomen dat de trekkracht $F_{ms,u}$ in de re-plate constant is bij toenemende structurele vervorming. Deze aanname leidt ertoe dat het krachtenevenwicht in de dwarsdoorsnede door middel van conventionele dwarsdoorsnede analyse kan worden gerealiseerd en daarmee het draagvermogen kan worden afgeleid. Een dergelijke berekening kan handmatig worden uitgevoerd, via gegevensverwerking, b.v. Excel, of met computersoftware. Gebruikelijke dimensioneringssoftware met doorsnede-analyses maakt ook gebruik van deze vereenvoudiging.

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

Deze conservatieve aanname leidt tot een onderschatting van het werkelijke draagvermogen. Het concept is bruikbaar in gevallen waarin de bruikbaarheids-grenstoestand bepalend is voor de constructieve maatvoering.

b) Berekening met spanningsverhoging in re-plate

Een tweede benadering is gebaseerd op de schatting van de extra verandering in lengte van de re-plate met toenemende belasting of plaatdoorbuiging. Empirische ontwerpbenaderingen dienen als basis, die zijn afgeleid van belastingtests op betonnen liggers met daaropvolgende strengvoorspanning zonder binding [1]. Samenvattend wordt op basis van de afmetingen van de dwarsdoorsnede een extra maximale doorbuiging f geschat, die een verandering in lengte ΔL in de re-plate veroorzaakt. De procedure is gebaseerd op de aanname dat in een ligger met enkele overspanning alle vervormingen geconcentreerd zijn in een scheurdoorsnede in het midden van de ligger [2]. Deze lengteverandering kan worden omgerekend in een extra uitzetting $\Delta \varepsilon_f$, welke aan de hand van de bekend zijnde spannings-uitzettingscurve na het activeren een spanningstoestand $\sigma_{p,\infty} + \Delta \sigma$ in de lamellen-dwarsdoorsnede weergeeft. Vereenvoudigd kan hier een gereduceerde E-Modul E_{SMA} van 70 GPa worden toegepast, om de definitieve spanning te berekenen via de verandering in de rek.



Afbeelding 1: Spannings-rekdiagram re-plate met voorrekken, activeren en daaropvolgende belasting

Geldend is:

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

(d =statische hoogte, $e_v=0$ in geval van rechte Lamellen, L =vrije lengte van re-plate tussen de verankeringen)

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

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

Op basis van de bekende extra rek is de trekkracht in de re-plate bekend en daarmee kan extra spanning en een krachtevenwicht in de doorsnede worden berekend en kan hieruit het maximale draagvermogen worden bepaald. De landspecifieke beoordelingsgrondslagen voor betonconstructies (betonverstoring en trekbreuk van de wapening (en)) met aangepaste materiaalparameters zijn van toepassing.

Verankering

Als extra moet mogelijk de trekkracht in de re-plate op verankeringsweerstand worden gecontroleerd om de constructieve veiligheid te meten:

$$F_{ms,u} = (\sigma_{p,\infty} + \Delta\sigma_f) * A_f \leq V_{Rd,s} = 105kN \quad (8)$$

De verankeringsweerstand van 105 kN is van toepassing op een aantal van 12 Hilti X-CR-nagels, uitgaande van een trekbreuk van de re-plate in de verzwakte doorsnede van de voorste rij nagels. De informatie geldt voor beton met een gemeten druksterkte van > 25 N / mm². Voor beton met lagere sterktes kunt u contact opnemen met de re-fer engineering afdeling.

re-bar

Staat van de constructie

Standaard wordt in de verankeringszones aan beide zijden een re-bar met een laag mortel aan de ondergrond bevestigd en worden de tussenliggende zones voorgespannen. Het dragende effect is hetzelfde als bij re-plate omdat het blootgestelde gebied werkt als een externe spanband. De formule (1) met het corresponderende dwarsdoorsnedegebied voor re-bar kan worden toegepast.

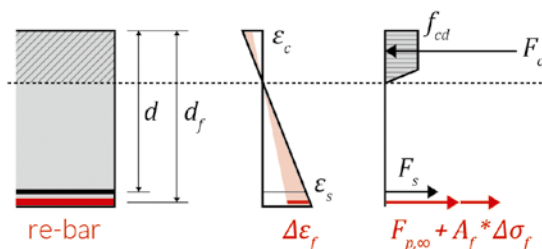
Gebruiks-grenstoestand

Na de eerste initiële activering / voorspanning van re-bar worden de gebieden tussen de ankers volgegoten en ontstaat er een stevige verbinding met de draagconstructie. Voor de berekening kan een conventionele dwarsdoorsnede-analyse met afgeleide rekcompatibiliteit en krachtevenwicht worden gebruikt. Voor de bruikbaarheidsgrenstoestand moet de initiële voorspanning $\sigma_{p,i}$ worden verminderd vanwege de relaxatie volgens formule (2).

Voor berekeningen van de doorbuigreductie door voorspanning kan weer worden uitgegaan van een gelijkmatig buigmoment (zie formule (3)) om het probleem op te lossen, bijvoorbeeld met de arbeidsvergelijking.

Grenstoestand van het draagvermogen

Dezelfde principes van de dwarsdoorsnede analyse zijn ook van toepassing op de berekening van structurele veiligheid. Afhankelijk van de situatie ervaart re-bar nu een extra rek / spanning, die wordt toegevoegd aan de initiële voorspanning. De spanningsverandering in de re-bar wordt dus gevormd door de extra uitzetting ertussen tussen het tijdstip van aanbrengen en de breukstatus ($\Delta\epsilon_f$).



Afbeelding 2: Schematische weergave voor dwarsdoorsnede-analyse van de grenstoestand van de draagkracht.

De krachtbalans wordt nu met een gelijkwaardige kracht in re-bar doorgevoerd, zoals hieronder weergegeven. Eenvoudigheidshalve kan weer een verlaagde E-module E_{SMA} van 70 GPa worden toegepast w.

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

Verankering

De verwerkingsrichtlijnen van re-fer geven richtlijnen voor de inbeddingslengte van re-bar. De verankeringsgebieden zijn afhankelijk van de verwachte trekkrachten, staafdiameters en type toepassing (in de sleuf, overbeton of spuitbeton). Daarnaast moeten de standaardspecificaties met betrekking tot treksterkte, ruwheid etc. in acht worden genomen. Voor een bestaande betonondergrond worden R3 en R4 mortels toegepast conform de uitvoeringsvoorschriften voor betonreparaties in Europa. Een hechtteksterkte $>1,5 \text{ N / mm}^2$ wordt aanbevolen.

In principe is het belangrijk om buigwapening achter of op de Moment-nullijn te verankeren. De invoeren van de voorspankracht in de betonnen basis wordt normaal bereikt door de pure mortelverbinding. Als alternatief kunnen goedgekeurde verankeringsystemen of speciale oplossingen, zoals weergegeven op pagina 25, worden gebruikt.

Aanbevelingen

Materiaaleigenschappen vindt u in de geldige en landspecifieke gegevensbladen van de betreffende producten. Waarden die in de dimensioneringsvoorbeelden worden gebruikt, kunnen door materiaalsoptimalisatie afwijken van de geldige materiaalparameters en moeten dienovereenkomstig worden gecontroleerd. De engineering van re-fer staat terzijde bij eventuele onzekerheden of bijzondere dimensioneringssituaties. Voor meer informatie kunt u ons bezoeken op www.re-fer.eu (referenties, technische gegevensbladen, toepassing- en veiligheidsvoorschriften, aanbestedingsteksten, testrapporten en publicaties) of rechtstreeks telefonisch contact opnemen met onze technische dienst.

Corrosie

Voor toepassingen op locaties die zijn blootgesteld aan chloride, moeten ondanks de goede corrosiebestendigheid van memory®-steel passende maatregelen worden genomen (risico op spanningscorrosie). Mortelbedekkingen bij de re-bar moeten mogelijk opnieuw worden beoordeeld en aangepast. Bij gebruik van re-plate wordt in de fabriek een speciale coating aangebracht (SikaCor® EG1). Dit begrenst de maximaal toegestane verwarmings temperatuur tot 165°C en daarmee de voorspankracht.

Brandbescherming

Brandbescherming voor versterkingsmaatregelen is altijd vereist als de standaard en landspecifieke vuurbelasting zonder wapening niet kan worden gedekt. Als eenvoudig voorbeeld toont onderstaande tabel de vergelijking van de restveiligheid voor een draagconstructie met een "lage" en "hoge" wapeningsgraad.

Last informatie [kN/m^2]	Voor de versterking	Na de versterking	
		«lagere» versterkingsgraad +3.0	«hogere» versterkingsgraad +5.0
Eigengewicht / belading	5.0	5.0	5.0
Beladingsvermogen	3.0	$3.0 + 3.0 = 6.0$	$3.0 + 5.0 = 8.0$
Gebruiksslast	8.0	11.0	13.0
Voorbeeld met globale veiligheidsfactor	$8.0 \cdot 1.5 = 12.0$	$11.0 \cdot 1.5 = 16.5$	$13.0 \cdot 1.5 = 19.5$
Te dekken belading	12.0	16.5	19.5
Brandbescherming Criterium: nieuwe Gebruiksslast moet <12.0 (huidige belasting) sein	-	$11.0 < 12.0$ Niet noodzakelijk	$13.0 > 12.0$ Noodzakelijk

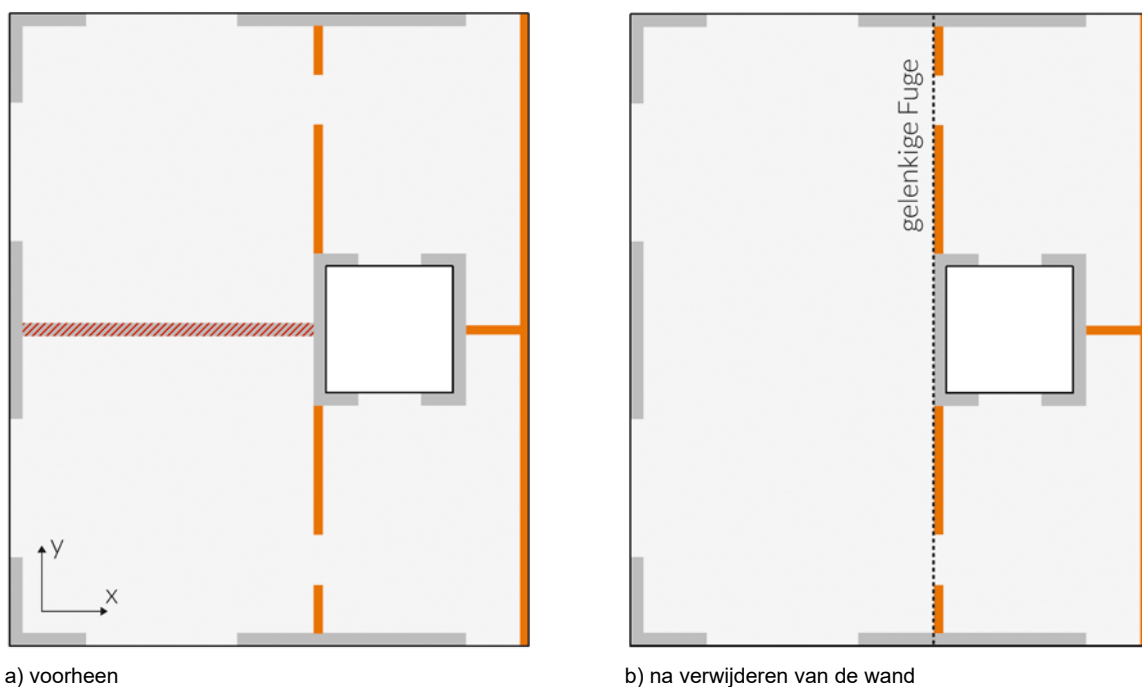
Indien de “hoge” versterkingsgraad moet worden bereikt, moet de wapeningsmaatregel ook bij brand effectief zijn; Voor re-plate respectievelijk re-bar zijn brandbeschermingsmaatregelen noodzakelijk. Dezelfde voorschriften en normen zijn van toepassing op re-bar ingebed in beton of cementmortel als op traditionele stalen wapening. Voor re-plate wordt normaal gesproken een brandwerende spuitpleister op cementbasis gebruikt (SikaCem® Pyrocoat).

Ontwerpvoorbeelden

Eenvoudige buigversterking met re-plate

Op verzoek van de opdrachtgever moeten de dragende muren (rood gemarkeerd) worden verwijderd om twee kamers te combineren tot één grote woonkamer. Deze verandering in de ondersteuningsconstructie veroorzaakt onvermijdelijk een buigprobleem in het plafondpaneel. Het onderstaande voorbeeld toont de buigwapening van de betonplaat. Andere verificaties zoals de belastingoverdracht naar de wanden en de benedenverdiepingen, verificaties van afschuifkrachten, ponsen, etc. komen niet aan bod. Ook de staat van constructie wordt niet onderzocht.

Figuur 3: Plattegrond van het kubus-model



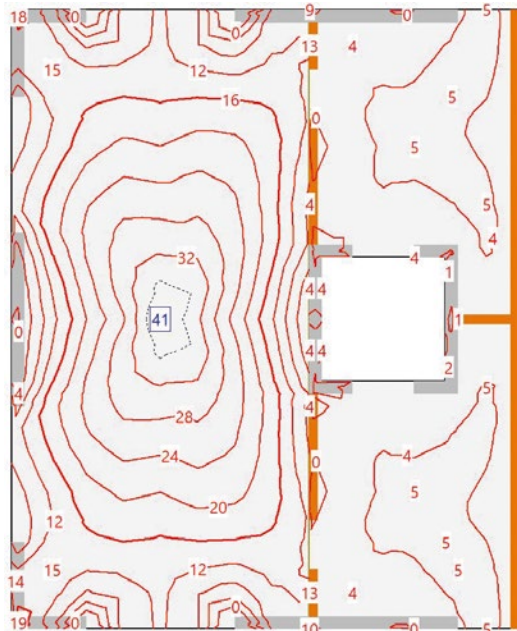
Volgens bestek is in alle lagen een wapening van $\varnothing 10$ 150 ($a_s = 524 \text{ mm}^2 / \text{m}'$) aangebracht. De betonplaat heeft een dikte van $h_c = 20 \text{ cm}$, eine Betonqualität von C30 / 37 een betonkwaliteit van C30 / 37 en een wapeningsdekking van 3.0 cm. Voor de dragende onderdelen is brandwerendheid R30 vereist.

Met deze maatinformatie, wordt in bestek in de 1e / 4e laag (x-richting) een buigweerstand van $m_{Rd} = 36 \text{ kNm} / \text{m}'$ bereikt. In de 2. / 3. laag is de waarde $32 \text{ kNm} / \text{m}'$. De bestaande wapening zou met de nieuwe plattegrond al onder een quasi-constante belasting. (4. laag) gaan vloeien. Daarom wordt in deze gebieden een knikgewricht gemodelleerd om dit moment in het veld te verplaatsen (zie Figuur 3 b)).

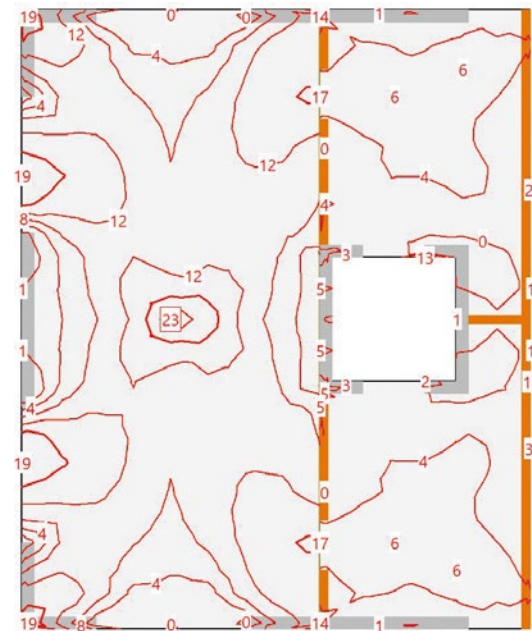
Ontwerpvoorbeeld op gebruiksniveau

Onder werkbelastingen toont de nieuwe plattegrond de volgende buigmomenten in de x- en y richting. In het midden van de overspanning in de hoofddraagrichting wordt de buigweerstand van de bestaande wapening iets overschreden. De wapeningsmaatregel moet dus bij brand worden beschermd. De procedure wordt weergegeven in de sectie «Brandbeveiliging».

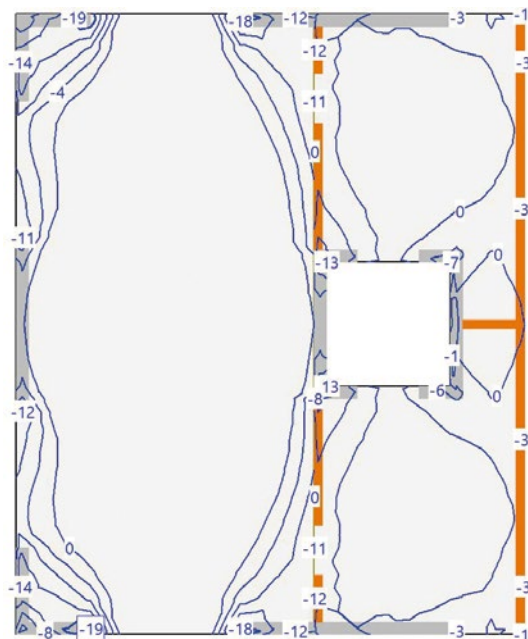
Figuur 4: Kubus-grafieken van de buigmomenten onder werkbelasting ("quasi-constant")



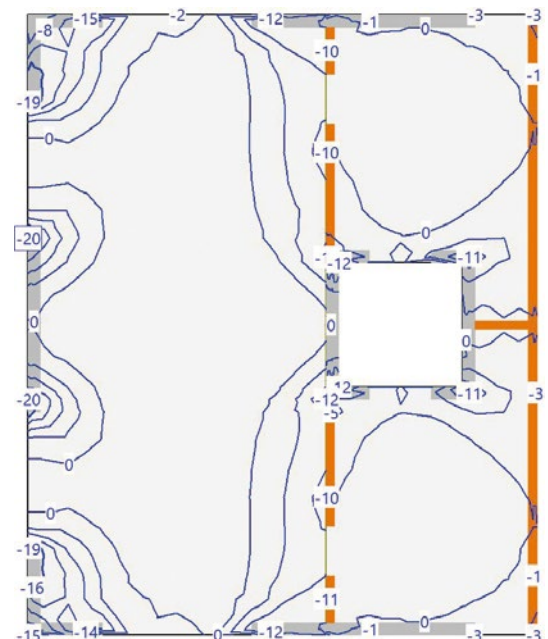
a) x-richting onder (2. laag)



b) y-richting onder (2 laag)



c) x-richting boven (4e laag)



d) y-richting boven (3e laag)

Een verder punt van bruikbaarheid is de doorbuiging. Hier vertoont de dwarsdoorsnede van gescheurd beton in het voorbeeld een effectieve doorbuiging van 16,6 mm onder werkbelasting. Als toegestane waarde wordt de standaardwaarde gebruikt:

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

Door de voorspanning kan een constant moment over de 3,0 m 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 betonddoorsnede gescheurd is, waarbij de waarde af neemt $E_c I$ tot $E_c I/3$. De effectieve formule is nu:

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

Deze formule kan volgens n (Aantal re-plate banden per meter) worden opgelost:

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

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

Te zien is dat er in het midden van het veld minimaal 0,63 re-plate banden per strekkende meter nodig zijn. Indien de verificatie van de constructieve veiligheid geen hogere waarde aangeeft, dienen op een afstand van circa 1,6 m wapeningsbanden te worden aangebracht.

Bewijs van 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:

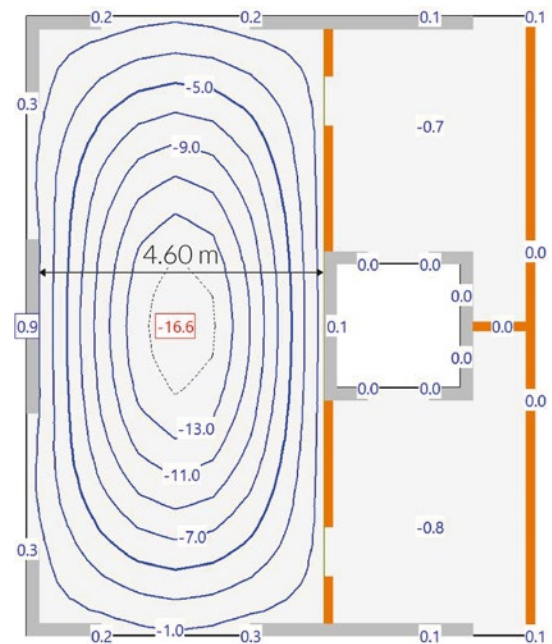
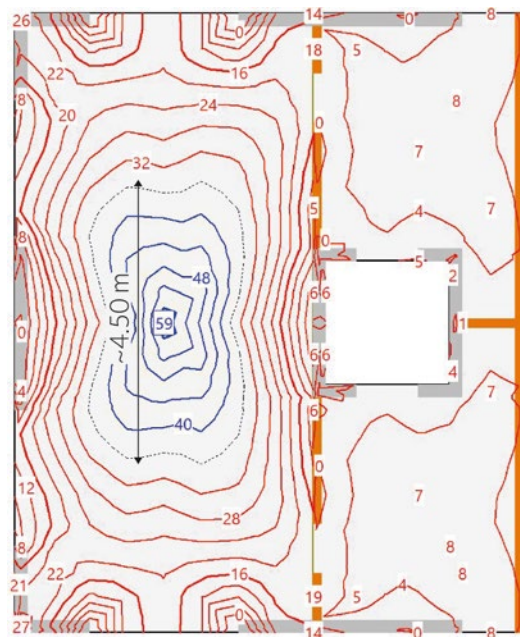


Abbildung 5: Durchbiegungen quasi-ständige Lasten

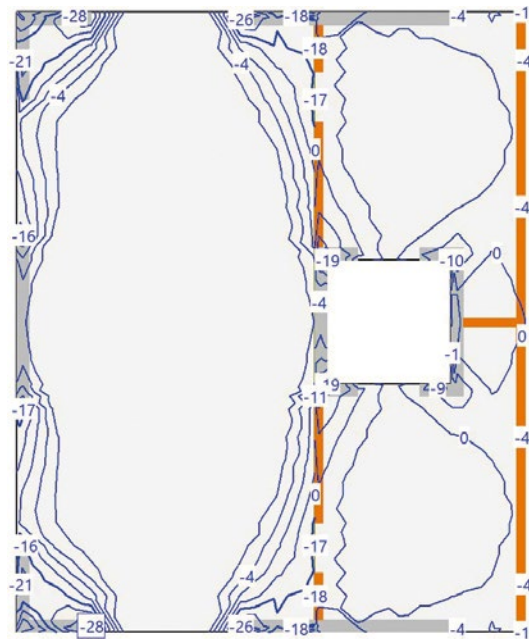
Figuur 6: Kubus-grafieken van de buigmomenten in de grenstoestand van constructieve veiligheid



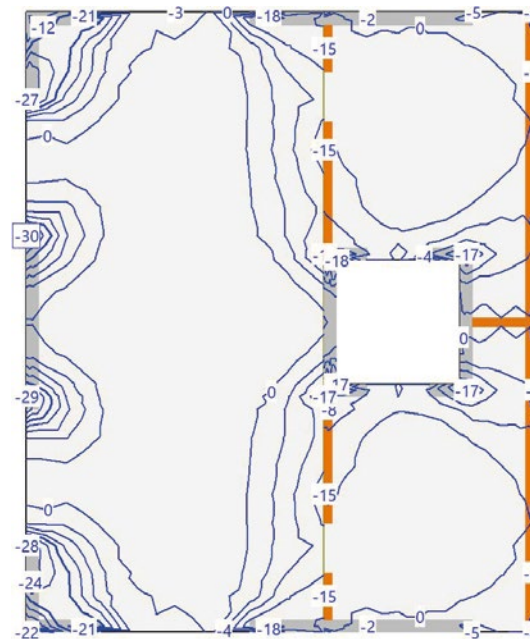
a) x-richting onder (1e laag)



b) y-richting onder (2e laag)



c) x-richting boven (4e laag)



d) y-richting boven (3e laag)

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

$$L = 4.6m - 2 * (40cm + 10cm) = 3.6m$$

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

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

Het te versterken buigmoment is dus met de eindkracht $F_{ms,u}$ in n re-plate banden over een binnenste hefboomarm z van rond $0.9 * h_c$ opgenomen:

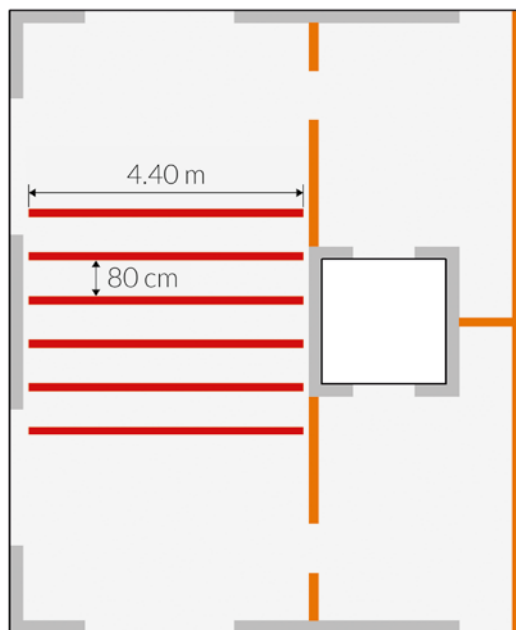
$$F_{ms,u} = (\sigma_{p,\infty} + \Delta \sigma) * A_f = (\sigma_{p,i} * 0.85 + \Delta \varepsilon_f * E_{SMA}) * A_f =$$

$$\left(380 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 0.85 + 0.004 * 70 \text{ GPa} \right) * 120 \text{ mm} * 1.5 = 108.5 \text{ kN} < 105 \text{ kN}$$

$$M_{p,GZ} = n * F_{ms,u} * z = n * 105 \text{ kN} * 0.9 * 200 \text{ mm} \geq 58.6 \text{ kNm} - 36.0 \text{ kNm} = 22.6 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow n = \frac{M_{p,GZ}}{F_{ms,u} * z} = \frac{22.6 \text{ kNm}}{105 \text{ kN} * 0.9 * 200 \text{ mm}} = 1.2$$

Om de dragende veiligheid af te dekken, zijn in de overbelaste zones (circa 4,5 m) 1,2 stuks re-plate banden per strekkende meter nodig - d.w.z. elke 80 cm één band (in totaal 6 stuks).



Figuur 7: Positie van de re-plate versterkingsbanden

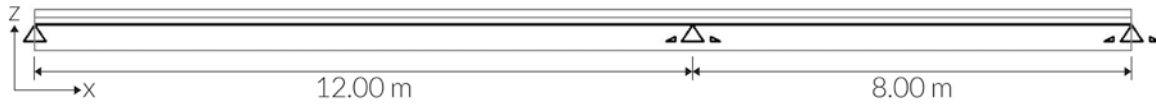
6-keer re-plate
 $l = 4.40 \text{ m}$, alle 80 cm met
 brandbescherming

Brandbescherming

In geval van brand moeten de quasi-permanente effecten worden afgedekt. Omdat het bestaande buigvermogen hiervoor niet voldoende is, moeten de wapeningsmaatregelen voor R30 worden aangehouden. Voor deze binnentoepassing wordt een brandwerende spuitpleister op cementbasis gebruikt. Een 1,5 cm dikke laag SikaCem Pyrocoat® met een ingebed E-glasnet wordt aangebracht over de SikaCem® Pyrocoat Base primer.

Versterking van een T-balk met re-bar

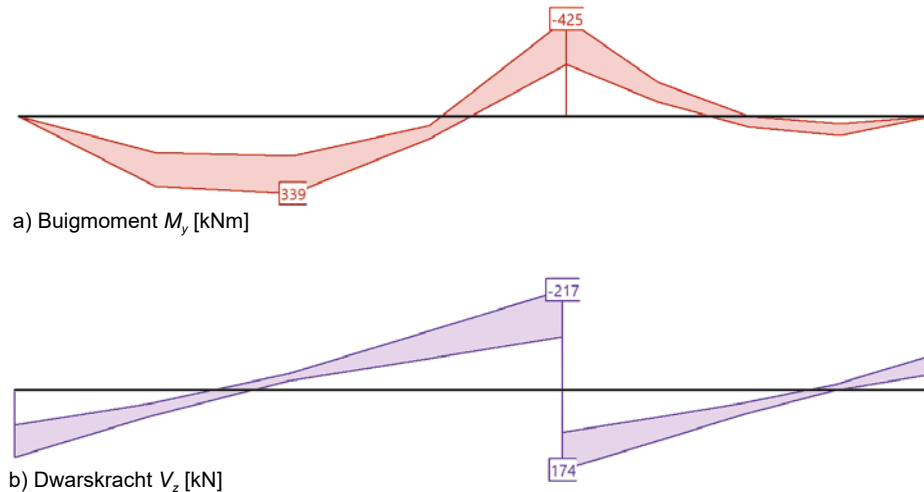
Door verandering in gebruik en extra belastingen moeten verschillende T-balken in een fabriekshal statisch worden versterkt. De voorbeeldberekening laat zien hoe om te gaan met ontoelaatbare doorbuiging in het veld en versterking van buig- en afschuifproblemen in zo'n enkele ligger. De andere bewijzen worden in dit voorbeeld niet gebruikt. De liggers overspannen twee velden van 12.00 en 8.00 m en worden eenvoudig opgeslagen.



Figuur 8: Liggers met twee overspanningen van de fabriekshal, model Statiek-8

De voorgaande snijkrachten (buigmomenten en dwarskrachten) worden hieronder weergegeven; Normale en torsiekrachten zijn niet aanwezig.

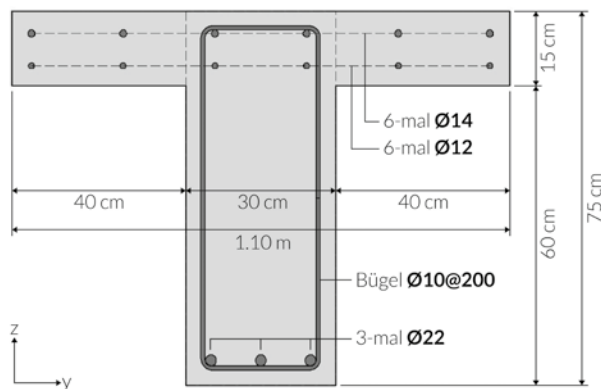
Figuur 9: Snijkrachten beperken de grenstoestand van structurele veiligheid



De liggers werden destijds gedimensioneerd en versterkt volgens de effecten zoals weergegeven in figuur 10. De resulterende doorbuigingen van de doorsnede van gescheurd beton komen overeen met de toelaatbare normspecificaties ($w_{eff} = 32 \text{ mm}$ / $w_{zul} = 34 \text{ mm}$).

De liggers werden destijds gedimensioneerd en versterkt volgens de effecten zoals weergegeven in figuur 10. De resulterende doorbuigingen van de doorsnede van gescheurd beton komen overeen met de toelaatbare normspecificaties ($w_{eff} = 32 \text{ mm}$ / $w_{zul} = 34 \text{ mm}$). Vanwege wensen van de opdrachtgever moeten nu ladingen en belastingen worden verhoogd. Ook de extra mortellaag vormt een groter te dragen gewicht. De resulterende snijkrachten voor de ultieme grenstoestand van constructieve veiligheid zijn als volgt:

	Huidige snijkrachten		Huidige weerstanden		Nieuwe snijkrachten	
Buigmoment [kNm]	M_{Ed}	+339	M_{Rd}	+355	M_{Ed}	+449
		-425		-440		-557
Dwarskracht [kN]	V_{Ed}	217	V_{Rd}	230	V_{Ed}	285

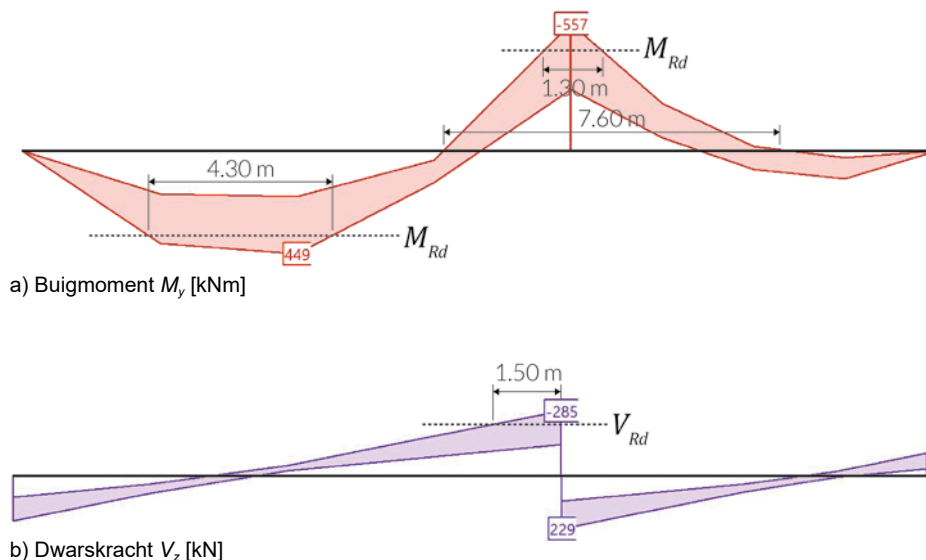


Figuur 10: bestaande dwarsdoorsnede van de T-balken

Bewijs van constructieve veiligheid

In een eerste stap wordt gekeken naar de grenstoestand van de constructieve veiligheid. De nieuwe snijkrachten worden hieronder in detail weergegeven.

Figuur 11: Nieuwe snijkrachten draagzekerheid grenstoestand



Met de extra belastingen ontstaat een schuifprobleem in een gebied van ongeveer 1,5 m breed naast de centrale ondersteuning. De ontbrekende zijwaartse krachten van ca. 55 kN / m 'worden opgevangen met de re-bar 10 U profielen. Eenvoudigheidshalve wordt uitgegaan van de zuivere voorspankracht (geen toename van de spanning tot schuifbreuk) op de dubbelzijdige beugel.

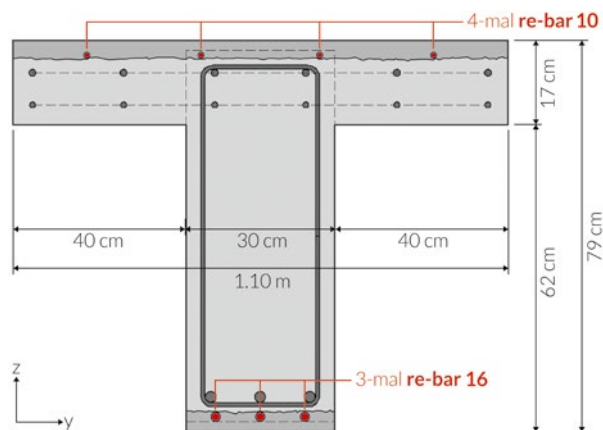
$$V_{Rd,s} = \frac{2 * \sigma_{p,\infty} * A_f}{s} * z * \cot(45^\circ) = \frac{2 * 350 \frac{N}{mm^2} * 0.85 * 89.9 mm^2}{0.5 m} * \sim 0.7 m * \cot(45^\circ) = 75 kN / m'$$

In totaal zijn er dus 3 re-bar 10 U profielen op een afstand van 50 cm nodig om de zone te versterken. De beugels worden om de bestaande, opgeruwde staaf geleid en over de aanvullende langswapening met re-bar. Daarna worden ze ingebed in de spuitmortel en in de flens

ingegoten (verankering boven de nullijn). De re-bar schuifbeugels worden van bovenaf elektrisch verwarmd/geactiveerd. Afstandhouders zorgen ervoor dat er geen contact met de rest van de wapening ontstaat (spanningsverlies tijdens het verwarmingsproces).

In het grotere deelgebied overtreft de nieuwe buigactie de eerdere weerstand met ongeveer 94 kNm. Over de gehele overspanning worden drie re-bars 16 aan de onderzijde van de brug bevestigd en in de spuitmortel ingebed. Boven de middensteun overschrijdt het negatieve buigmoment over een lengte van ca. 1,3 m de toegestane belasting met ca. 117 kNm. In deze zone worden in totaal 4 re-bar 10 in de verse betontoplaag geplaatst (let op: de wapening wordt verankerd achter de nullijn voor de momenten). De wapeningsstaven worden elk in het verankeringsgebied ingemorteld en na uitharding verwarmd met bijvoorbeeld een gasbrander. Ten slotte worden ook de overige zones opgevuld.

De buigverificatie van de nieuwe doorsnede werd voorzien van standaard dimensioneringssoftware. De nieuwe weerstanden staan vermeld in onderstaande tabel.



Figuur 12: nieuwe dwarsdoorsnede van de T-balk met buigwapening

	Huidige snijkrachten		Huidige weerstand		Nieuwe snijkrachten		Nieuwe weerstand	
Buigmoment [kNm]	M_{Ed}	+339	M_{Rd}	+355	M_{Ed}	+449	M_{Rd}	+657
		-425		-440		-557		-601
Dwarskracht [kN]	V_{Ed}	217	V_{Rd}	230	V_{Ed}	285	V_{Rd}	305

Voor het ontwerp zijn onder meer de volgende invoerparameters gebruikt:

Spanelement-Atributen:

- Voorspanning $\varepsilon_0 = 0.57 \%$ voor re-bar 10 en 0.46% voor re-bar 16 (resulteert in rekenkundige voorspanning van $E\text{-Modul} * \varepsilon_0 = 400 \text{ N / mm}^2$, resp. 320 N / mm^2)
- Voorspanning met hechting
- Verliesfactor $P_\infty / P_0 = 0.85$ (Relaxatie)
- Eigenschappen bouw materiaal
- $E\text{-Modul} = 70 \text{ kN / mm}^2$ (E-Modul re-bar na activiering)
- $f_{p0.1k} = 750 \text{ N / mm}^2$
- $\varepsilon_{ud} = 30\%$

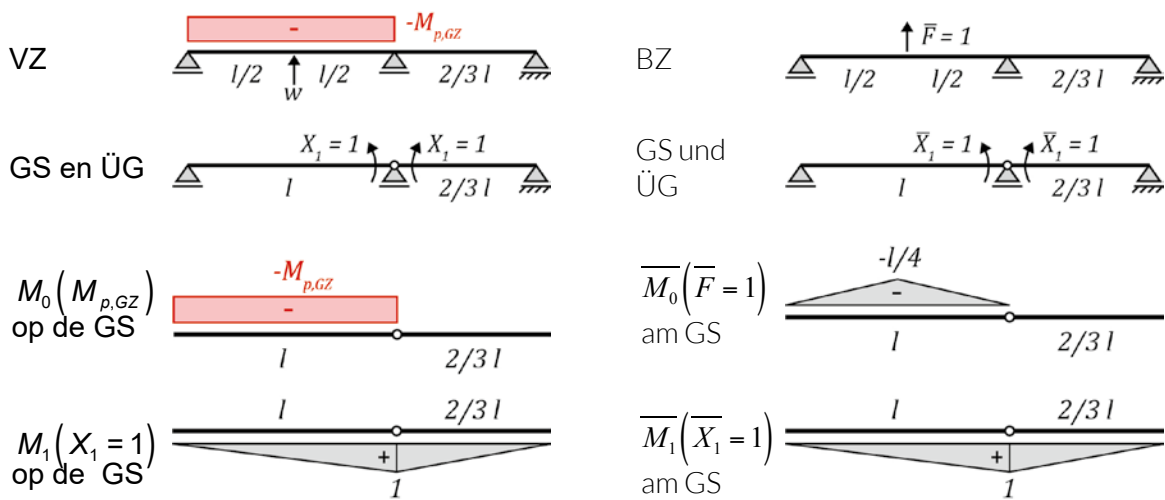
Bewijs van gebruiksniveau

Door gebruik te maken van voorgespannen wapeningselementen ingebed in de mortel worden scheuropeningen beperkt en wordt de bestaande wapening ontlast.

Naast de verbeterde duurzaamheid kijkt dit voorbeeld ook naar de doorbuiging. Vanwege de nieuwe belastingen wordt de verticale verplaatsing in het grote veld berekend op ongeveer 39 mm. De buigwapening met drie re-bar 16 impliceert een constant buigmoment, waardoor de doorbuiging wordt tegengegaan.

De overschreden 5 mm ($w_{eff} = 39 \text{ mm} / w_{zul} = 34 \text{ mm}$) wordt zo overdrukt.

Vervorming van het statisch onbepaalde systeem die door de voorspanning wordt geïmpliceerd, kan op verschillende manieren worden berekend. Hier wordt de werkvergelijking voor het eenvoudig statisch onbepaalde systeem toegepast. In de middensteun wordt een voeg als basissysteem (GS) geïntroduceerd. Met de voorbelasting in het negatieve buiggebied wordt eenvoudshalve geen rekening gehouden; dit zou ook een positief effect hebben.



Figuur 13: Vereenvoudiging en reductie van het statisch onbepaalde systeem en werkvergelijking

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

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

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

Hieruit laat de vervorming w zich herleiden:

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

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

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 uitgegaan van een verminderde, gescheurde buigsterkte van de betonddoorsnede ($E_c I_{gerissen} = E_c I / 3$) en ingevoegd in de formule.

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

De drie ingezette re-bars om de draagveiligheid te verhogen, dragen daarom bij aan een vermindering van de doorbuiging van ca. 5 mm. Het bewijs wordt als vervuld beschouwd.

Bewijs van verankeringsgebieden

De negatieve en positieve buigweerstand zijn bepaald met een Fagus dwarsdoorsnede analyse, waarbij gerekend wordt zonder enige toename van de spanning na voorspanning. De initiële voorspanning moet daarom worden verankerd voor de verificatie van de wapeningsmaatregelen. Bij de negatieve buigversterkingen is re-bar 10 gebruikt. De verankerings lengte l_b bedraagt 50 cm en een voorspanning van 400 N/mm² werd geactiveerd. Dit resulteert in de volgende berekening voor de vereiste breedte van het contactvlak b_{erf} voor elke re-bar:

$$F_{p,i} (negativ) = \sigma_{p,i} * A_f = 400 \frac{N}{mm^2} * 89.9 mm^2 = 36.0 kN$$

$$F_{p,i} \leq l_b * b_{erf} * 1.5 \frac{N}{mm^2} \rightarrow b_{erf} = 50 mm$$

Omdat de wapening over het hele oppervlak in een volledige betonlaag wordt gelegd, blijft het vereiste contactoppervlak behouden voor elke re-bar. Het bewijs wordt als vervuld beschouwd.

Ingeval van positieve buigwapening moeten aan de onderzijde van de baan (breedte 30 cm) 3 stuks re-bar 16 worden aangebracht.

$$F_{p,i} (positiv) = 3 * \sigma_{p,i} * A_f = 3 * 320 \frac{N}{mm^2} * 211.2 mm^2 = 202.8 kN$$

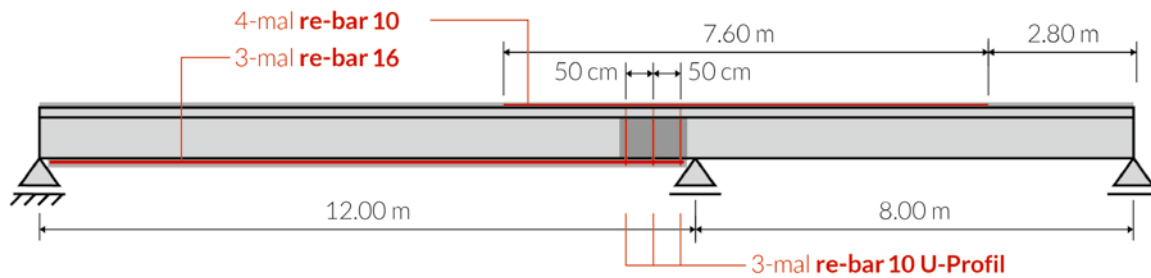
$$F_{p,i} \leq l_b * b_{erf} * 1.5 \frac{N}{mm^2} \rightarrow b_{erf} = 270 mm$$

Aan deze waarde wordt voldaan met de bestaande, volledig met mortel gevulde baanbreedte. In andere gevallen kan dit niet altijd worden gegarandeerd en moet een speciale oplossing worden gebruikt. Als voorbeeld wordt hier het positieve effect van overdruk met de re-bar schuifbeugel weergegeven. De verankeringsweerstand (in het voorbeeld 1,5 N / mm²) neemt als volgt toe dankzij de verticale dubbele afschuifkracht van het voorgespannen U-profiel:

$$F_{p,i} = 202.8kN \leq l_b * b * \left(1.5 \frac{N}{mm^2} + \frac{2 * \sigma_{p,\infty} * A_f}{l_b * b} \right) = 500mm * 300mm * \left(1.5 \frac{N}{mm^2} + \frac{2 * 350N / mm^2 * 89.9mm^2}{500mm * 300mm} \right) =$$

$$150'000mm^2 * \left(1.5 \frac{N}{mm^2} + 0.42 \frac{N}{mm^2} \right) = \mathbf{288kN}$$

Schematische schets van de versterking



Figuur 14: Schema van het versterkingswerk met langswapening en schuifbeugel

Referenties

- [1] Hegger, J. and K. Kordina, Bericht 30-0107/001: Ermittlung der Biegetragfähigkeit bei Bauteilen mit Vorspannung ohne Verbund. 1985, TU Braunschweig: Braunschweig, Germany.
- [2] 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

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 gebruiks, 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 «interne voorspanning»
- re-bar R18 «externe trekstaaf»

Directedownload onder:
www.re-fer.eu/downloads



Patenten

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

memory®-steel Trainingen voor ingenieurs en voorschrijvers

Onze re-fer ingenieurs geven trainingen over memory®-steel (online of ter plaatse) over 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 Duits, Frans en Engels.

Wij ondersteunen u graag telefonisch bij objectspecifieke vragen.

We verheugen ons op uw contact.



Dr. Julien Michels
jmichels@re-fer.eu

A red handwritten signature of Dr. Julien Michels, consisting of a stylized 'J' and 'M'.



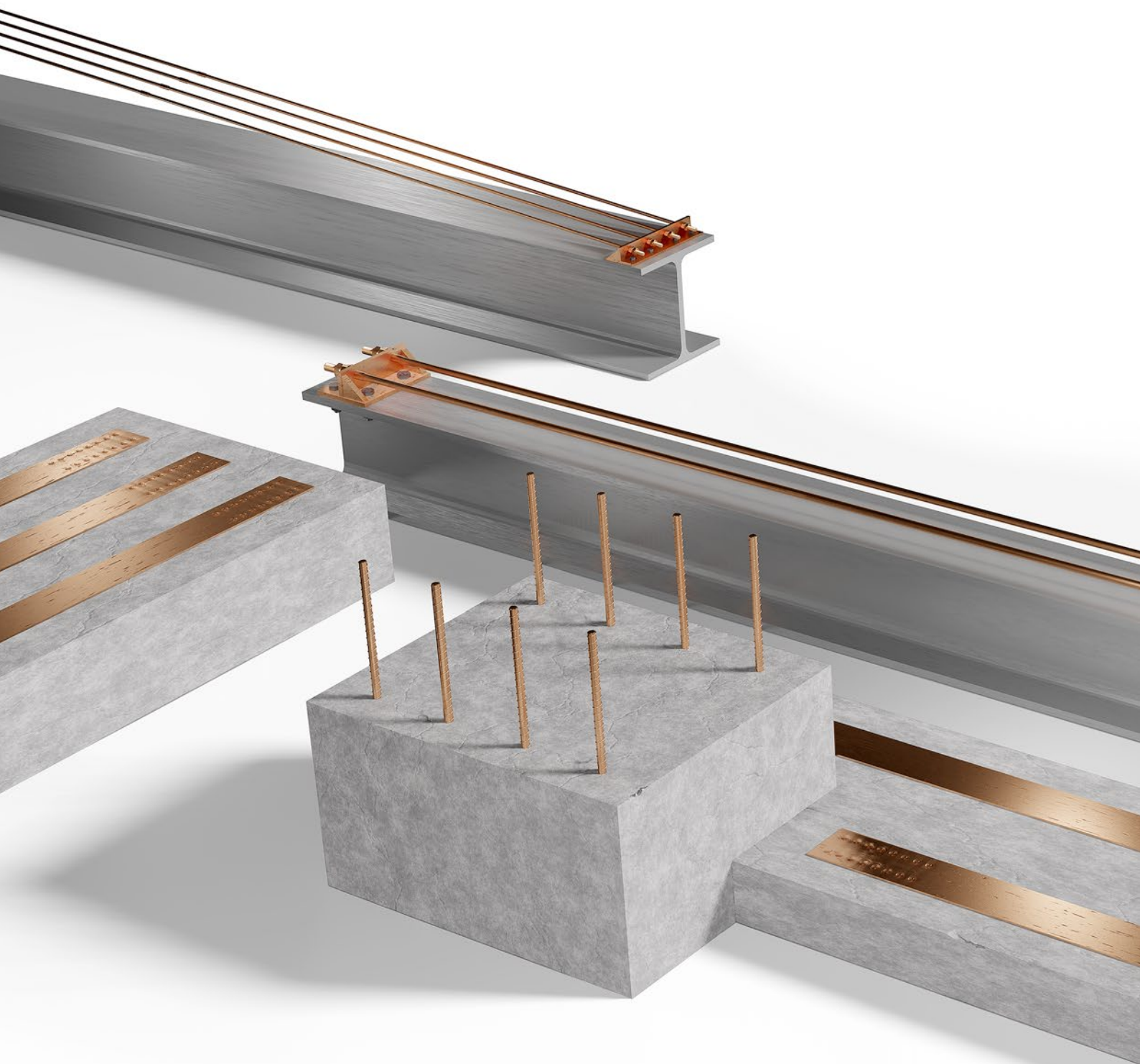
Daniel Schmidig
dschmidig@re-fer.eu

A red handwritten signature of Daniel Schmidig, featuring a stylized 'D' and 'S'.



Dr. Bernhard Schranz
bschranz@re-fer.eu

A red handwritten signature of Dr. Bernhard Schranz, written in a cursive style.



**Hoofdvestiging
Zwitserland**

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

Duitsland

re-fer GmbH
Neuenburger Strasse 37
DE-79379 Müllheim
Phone +49 151-11333430

Nederland

re-fer Benelux BV
Aalsmeerderweg 249-N
1432 CM Aalsmeer
Phone +31297 303610

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

