Brug 2484 – Versterking door klemconstructie – Bijlage Beton

Inhoud

Inleiding 3

Waargenomen schade i.r.t. de toegepaste wapening 3

Klemconstructie 4

Principe schets klemconstructie en geometrie 5

Configuratie 6

Belastingen in zone balkeinden langsliggers 7

Berekeningen van diverse belastingsituaties (BGT) 9

Beschouwing UGT-draagvermogen van het systeem 12

Inleiding klemkracht bovenzijde 14

Inleiding klemkracht (1) - verdeelplaten met beperkte breedte 15

Inleiding klemkracht (2) – verdeelplaat bovenzijde langsbalken over maximale breedte 18

Toetsing randafstand verdeelplaten bovenzijde 20

Overzicht 21

Aandachtspunten 22

Risico's 22

Inleiding

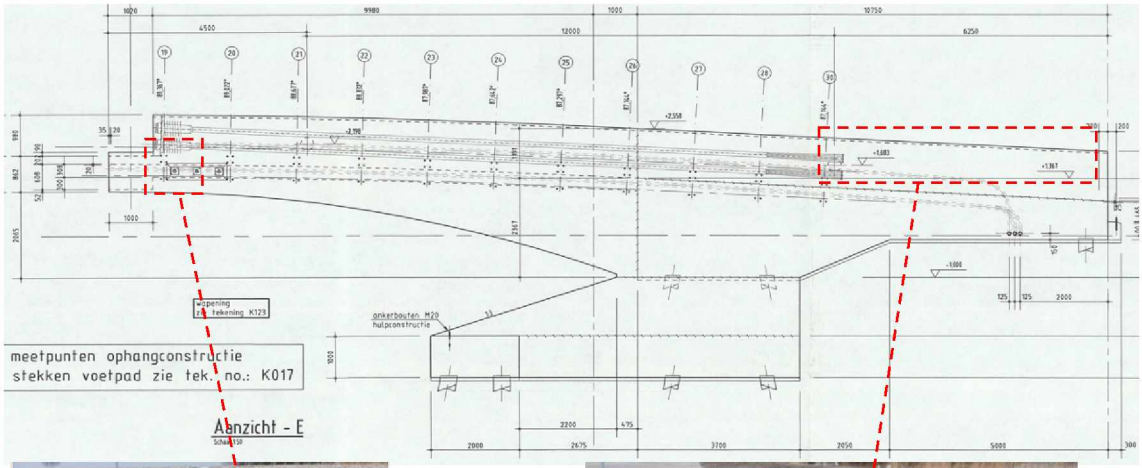
Brug 2484 is een betonnen brug met 1 overspanning bestaande uit 2 betonnen voorgespannen langsliggers met ertussen een betonnen rijdek; aan de zijkanten zijn een fiets-/voetpad bevestigd. Het westelijke landhoofd is een uitkragende betonconstructie; de voorgespannen langsliggers van de uitkraging zijn op de einden voorzien van oplegnokken tbv. het ingehangen trogliggerdek. De brug is ontworpen voor verkeersklasse 45 en is opengesteld voor (relatief licht) busverkeer.

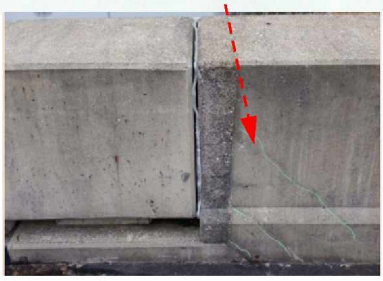
Bij een recente inspectie van brug 2484, bouwjaar ca. 2005, is forse scheurvorming waargenomen in de zone van de oplegnokken op de uiteinden van de voorgespannen randbalken van het uitkragende westelijke landhoofd, onderdeel van de primaire draagconstructie. Op basis van de gemelde scheurvorming uit het inspectierapport en een beperkte kwalitatieve beschouwing van de constructieve opbouw van de tandconstructie, de resulterende sterkte van de oplegzone en de optredende belastingen is besloten om de brug op korte termijn af te sluiten voor verkeer.

Als herstelmaatregel is, na afweging van enkele opties, gekozen voor toepassing van een voorgespannen stalen klemconstructie aan de buitenzijde van beide langsliggers in de zone van de kritische oplegnokken. In deze bijlage wordt de toe te passen klemkracht en bijbehorende configuratie van de drukpunten vastgelegd.

Waargenomen schade i.r.t. de toegepaste wapening

Er zijn diagonale scheuren met een wijdte van maximaal 0.7 mm (zonder belasting door verkeer) waargenomen bij de nokopleggingen aan beide zijden van het westelijke landhoofd. Verticale scheuren met een wijdte van 0.2 mm zijn opgetreden aan de bovenzijde van de randbalk van het landhoofd, waarschijnlijk in de zone achter de voorspanning.





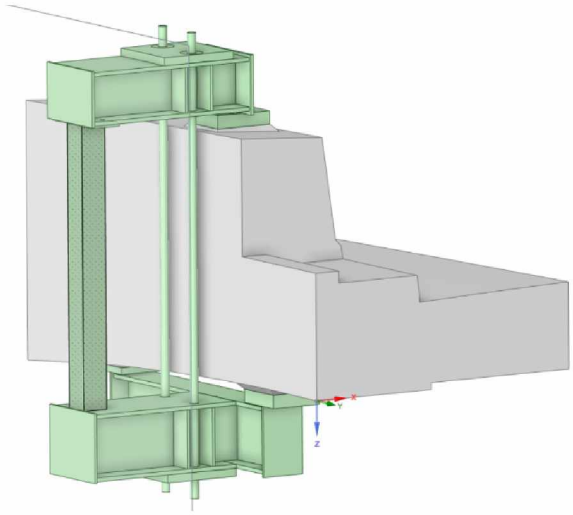


De verticale scheuren zijn constructief naar verwachting niet kritisch (nader aan te tonen middels een herberekening); de diagonale scheurvorming in de nok-zones is dat wel. Uit een globale beschouwing blijkt dat de op tekening aangegeven (en voorzover mogelijk dmv. wapeningsscans aangetoonde) verticale wapening op de koppen van de langsbalken van het westelijke landhoofd (wapening tbv. het ophangen van de oplegkracht vanuit het trogliggerdek c.q. de kopwapening tbv. de verticale splijtkracht uit de excentrische aangebrachte langsvoorspanning) in hoeveelheid en detaillering niet in overeenstemming is met de bijbehorende ontwerpberekening: de effectief aanwezige wapening voldoet niet op sterkte.

Klemconstructie

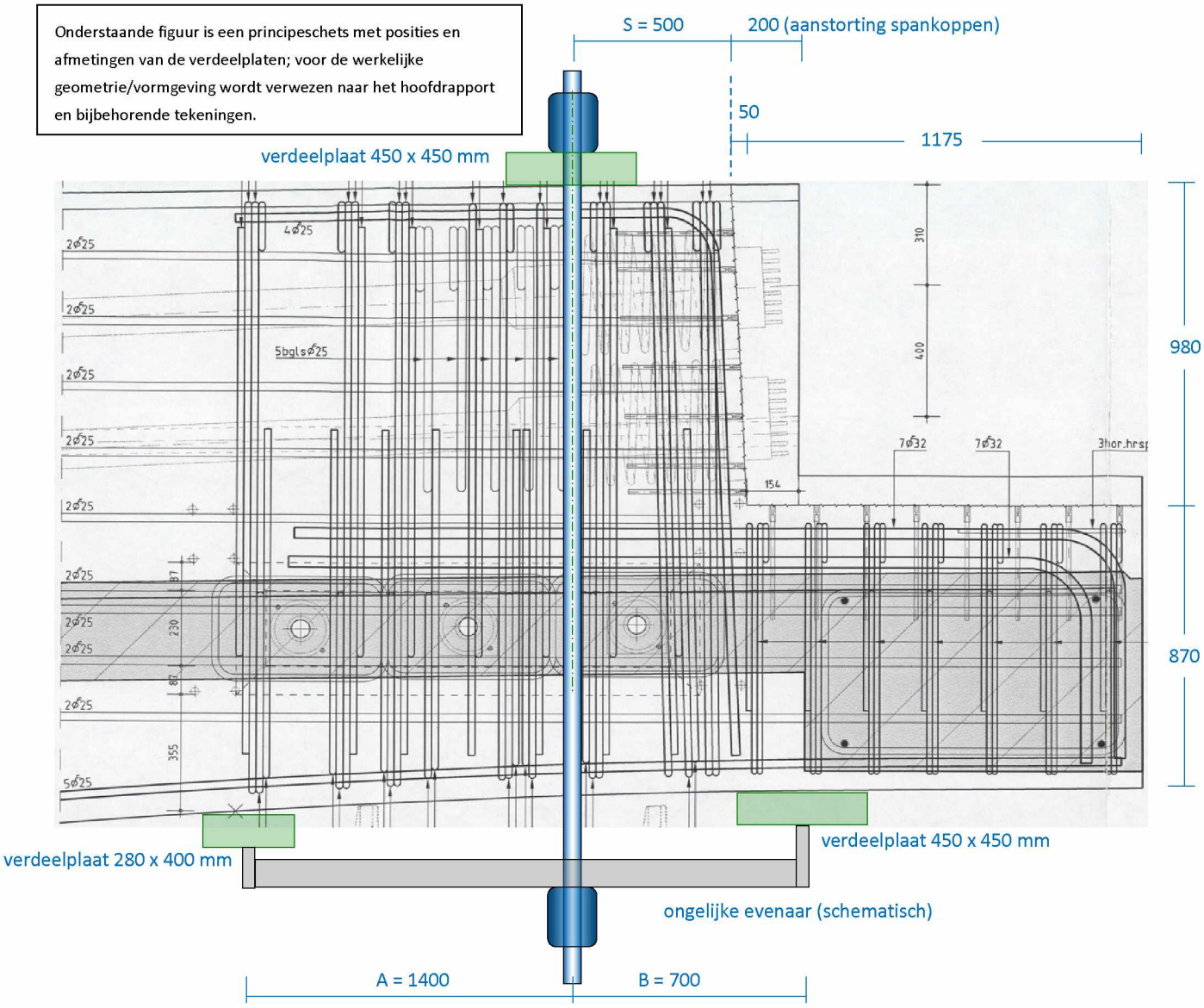
Vooruitlopend op een gunstige uitkomst van de nog uit te voeren volledige herberekening van de constructie is als versterkingsmaatregel in de zone van de oplegnokken aan beide zijden het aanbrengen van een voorgespannen klemconstructie op de voorgespannen langsliggers van landhoofd West voorgesteld. De klemconstructie bestaat uit een drukverdeelplaat geplaatst op bovenzijde randligger op en twee drukverdeelplaten aan de onderzijde, onderling verbonden door trek- en drukelementen aan de buitenzijde en een evenaar aan de onderzijde. Met name door de opwaartse kracht uitgeoefend door de voorste drukplaat aan de onderzijde ter plaatse van de aansluiting van de oplegnok op de kop van de langsligger wordt de overbelaste ophangwapening bij het liggereinde ontlast.

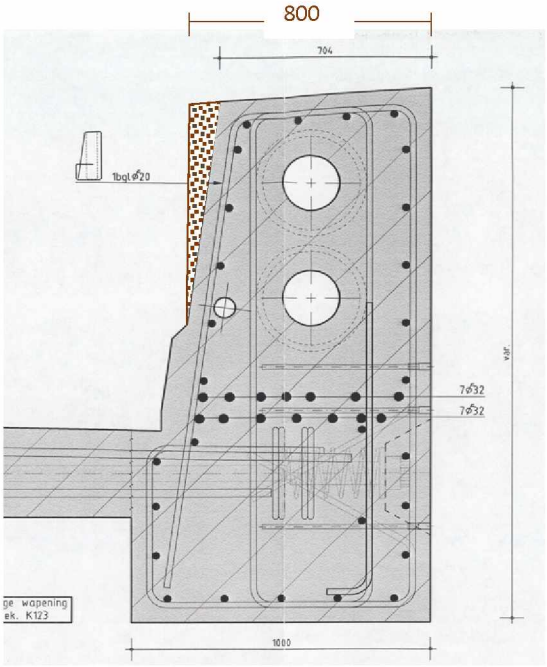
Zie voor een nadere beschrijving de hoofdtekst van dit rapport; onderstaand een impressie.



Principe schets klemconstructie en geometrie

Onderstaande figuur is een principeschets met posities en afmetingen van de verdeelplaten; voor de werkelijke geometrie/vormgeving wordt verwezen naar het hoofdrapport en bijbehorende tekeningen.





16-03-2022 uit correspondentie ACE-BAM in de bouwfase is gebleken dat de balken aan de bovenzijde tijdens uitvoering aan de binnenzijde zijn verbreed van 704 mm (aangegeven op tekeningen) tot 800 mm; binnenzijde afwijkend van stepbarrier-vorm; zie figuur.
Reden was de inpassing in de randbalken van verticale stekwapening ϕ40, aangebracht in onderliggende reeds gestorte constructiedelen van het landhoofd.
De wijziging is, voorzover bekend, niet formeel gedocumenteerd. Bij recente uitgevoerde wapeningsscans zijn geen afwijkende dekkingen gesignaleerd, zodat aangenomen kan worden dat de toegepaste wapening is uitgelegd op de aangepaste geometrie van de randbalk.

Configuratie

- Klemkracht 2500 kN => aan onderzijde door evenaar 2:1 verdeeld => (2/3 ⇔ 1/3) x 2500 kN
- Bovenplaat S = 500 mm afstand hart spanelement tot bovenhoek constructief beton (dus niet: aanstorting spankoppen)
- Onderplaten A = 1400 mm; B = 700 mm (zie figuur op vorige bladzijde)
- stalen verdeelplaten onderzijde B x L = 450 x 450 mm resp. 280 x 400; bovenzijde: 450 x 450 mm; dikte: doorbuiging onder verdeelde belasting < 0.05 mm
- NB schuine/verlopende oppervlakken
- Verdeelplaten ondergieten met gietmortel K70 (korrel 4 mm; dikte gietmortel 20-120 mm); mk XF4; bv. Betec 140 o.g.
  betonoppervlak ter plaatse van de ondergietingen vooraf opruwen (hoge druk waterstralen);
  toepassing van lijmankers ≤ 125 mm inboordiepte voor bevestiging verdeelplaten is toegestaan (alleen) aan de onderzijde van de balk; bestaande wapening dient volledig intact te blijven => vooraf wapening scannen, boren met lucht, gerealiseerde boorgaten inmeten en overnemen op de stalen verdeelplaten.
  Te realiseren oplegvlak voor verdeelplaten dient vlak en horizontaal te zijn.

Belastingen in zone balkeinden langsliggers

BGT

In de zone van de oplegnokken zijn in hoofdzaak 3 verschillende belastingen aanwezig.

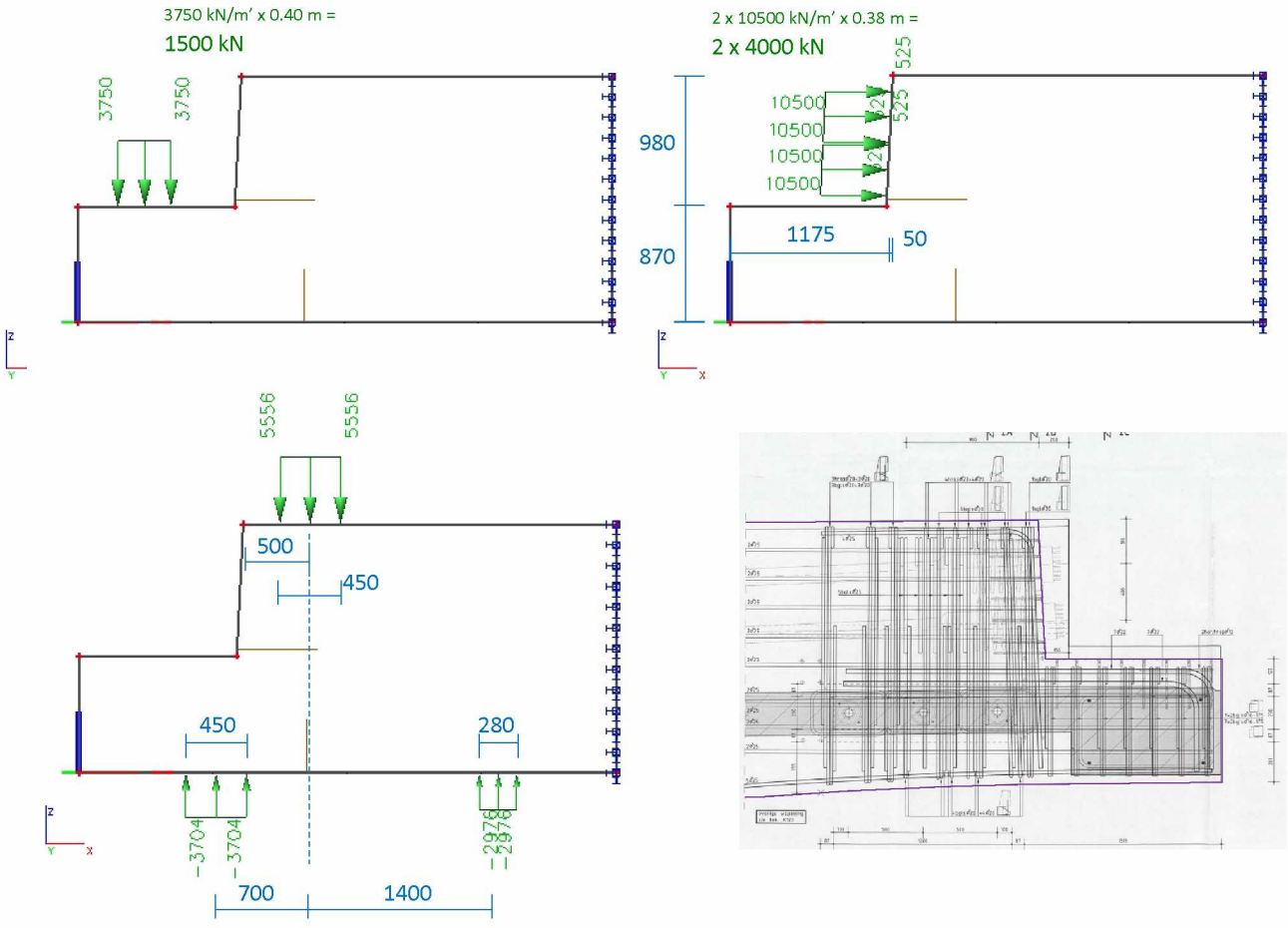
Belastingen in huidige situatie (BRU2484_Detailberekening-landhoofd-as-1-BRU2484_1639990968):

1. oplegkracht trogliggerdek
   $F_{opl;EG+RB}$ = 1074 kN; $F_{mobiele\ belasting;\ klasse\ 45}$ = 419 kN => resulteert $F_{v;res}$ = 1074 + 419 = ca. 1500 kN;
   als verdeelde belasting over 0.4 m (oplegblok) op de nok (BGT)
2. voorspanbelasting 2 x ca. 4000 kN over 0.38 m ([1] t = 0 => 2 x 4125 kN, t = ∞ => 2 x 3795 kN);
   als gevolg van de excentrische voorspankracht op de kop van de langsbalken treedt daar een verticale kopsplijtkracht op van 429 kN

Klemkracht als versterkingsmaatregel, bepaald in deze rapportage:

3. klemkracht 2500 kN bovenzijde, 1667 resp. 833 kN onderzijde als verdeelde belastingen over 0.45 m lengte (afmeting verdeelplaat in richting as brug)

In onderstaande figuur zijn de resulterende oplegkracht op de nok, de voorspanbelasting en de klembelasting (alle BGT) aangegeven:



Opmerkingen

1. De staalconstructeur heeft met betrekking tot de klemkracht aangegeven dat

   - bij het voorspannen gerekend moet worden met 15% overspannen ivm. het zetten van de verankering, ofwel bij het aanbrengen van een blijvende klemkracht van 2500 kN wordt gedurende korte tijd met vijzels een kracht van 1.15 x 2500 = 2875 kN aangebracht
   - t.g.v. temperatuurwisselingen de klemkracht varieert: +/- 7% ≡ +/- 175 kN

2. Tgv. tijdsafhankelijke effecten kan er in de tijd een afname van de klemkracht optreden

   - Tijdsafhankelijke effecten: vertraagd dichtdrukken van aanwezige scheuren bij de einden van de langsbalken, krimp/kruip ondergietingen, relaxatie ankerstaven, krimp/kruip beton langsbalken in zone klemconstructies. Kwantificering hiervan is lastig.
   - Richtlijn: naspannen klemconstructie 1 jaar na plaatsing. Indien uit regelmatige monitoring van de scheurwijdten van de aanwezige horizontale/diagonale scheuren blijkt dat deze na het aanbrengen significant worden dichtgedrukt, dan dient zodra $\Sigma\Delta w \geq 1$ mm (criterium: de som van de afnames van de scheurwijdten is groter dan 1 mm, overeenkomend globaal met ca. 15% voorspanverlies) te worden nagespannen.

<u>UGT</u>

Bepaling rekenwaarde oplegkracht

NEN 8700:2011 + A1:2020:
- tabel A2.2 (B), (C), 'verbouw'
- restlevensduur 30 jaar
- brug gevolgklasse CC2
- vanwege hoog aandeel permanente belasting => maatgevende belastingcombinatie is 6.10 a

F_{Ed} $\geq \gamma_{1.25}$ x 1074 + $\gamma_{1.25}$ x $\psi_{0.8}$ x 419 = 1343 + 419 = 1762 kN (6.10a) rekenwaarde oplegkracht

De voorspankracht en klemkracht zijn/worden aangebracht met gecalibreerde vijzels; rekenwaarde belasting met belastingfactor γ = 1.0:

F_{kop} = $\gamma_{1.0}$ x 429 = 429 kN rekenwaarde kopsplijtkracht

Berekeningen van diverse belastingsituaties (BGT)

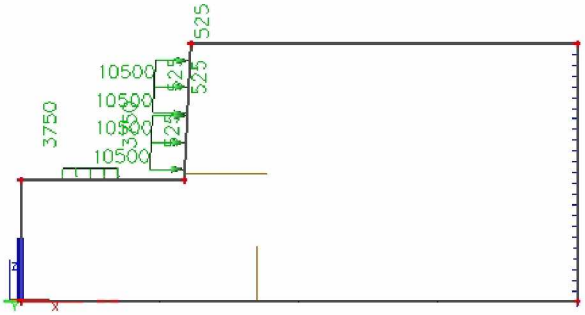
In de voorfase zijn diverse configuraties van de klemconstructie beschouwd. In het volgende wordt de resulterende trekkracht in de zone van de ophang- cq. verticale kopsplijtwapening getoond bij de volgende belastingsituaties; klemconstructie als in voorgaande aangegeven:

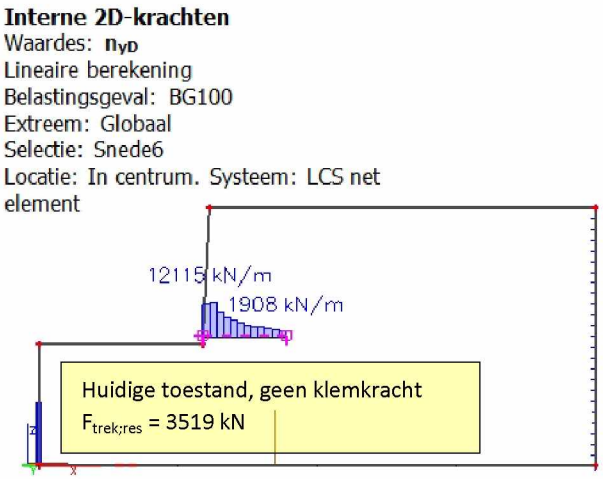
1. Huidige situatie met de oplegkracht vanuit het dek (F_z = 1500 kN ↓) op de nok en langsvoorspanning ($F_{vsp;x}$ = 2 x 4000 kN →); BGT
2. Situatie met klemkracht 2500 kN, oplegkracht vanuit het dek (F_z = 1500 kN ↓) op de nok en langsvoorspanning ($F_{vsp;x}$ = 2 x 4000 kN →); BGT
3. Situatie met klemkracht 2500 kN, gereduceerde oplegkracht vanuit het dek (F_z = 1250 kN ↓) op de nok en langsvoorspanning ($F_{vsp;x}$ = 2 x 4000 kN →); BGT
   Dit is de verwachte belastingsituatie met (relatief licht) busverkeer
4. Situatie met klemkracht 2500 kN en langsvoorspanning ($F_{vsp;x}$ = 2 x 4000 kN →); BGT
   Deze situatie treedt op als het dek is opgevijzeld bij vervanging van de oplegblokken; de opwaartse kracht uit de voorste klemplaat aan de onderzijde drukt de nok omhoog, onderwapening onder trek

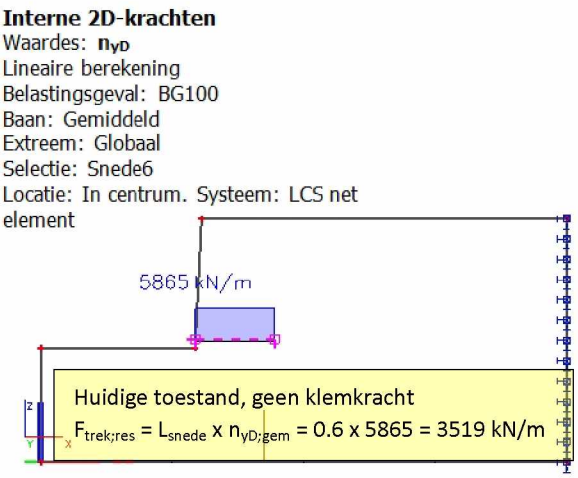
Geval 1:

- Verdeling verticale trekkracht in langsligger bij oplegnok
- Oplegkracht vanuit dek 0.4 x 3750 = 1500 kN; langsvoorspanning 2 x 0.38 x 10500 = 2 x 4000 kN

=> Resulterende verticale trekkracht $F_{trek;res}$ = 3519 kN





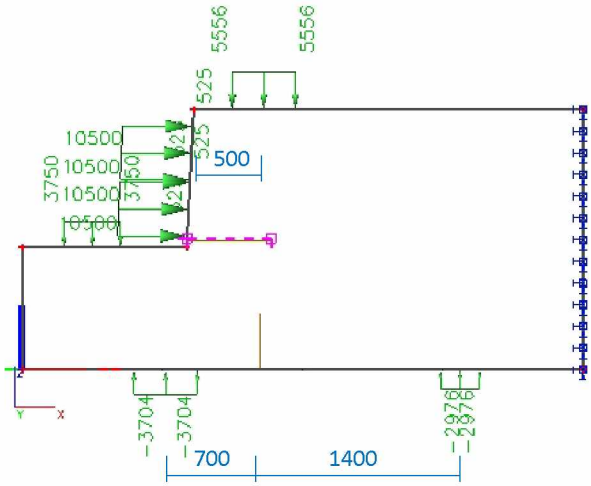


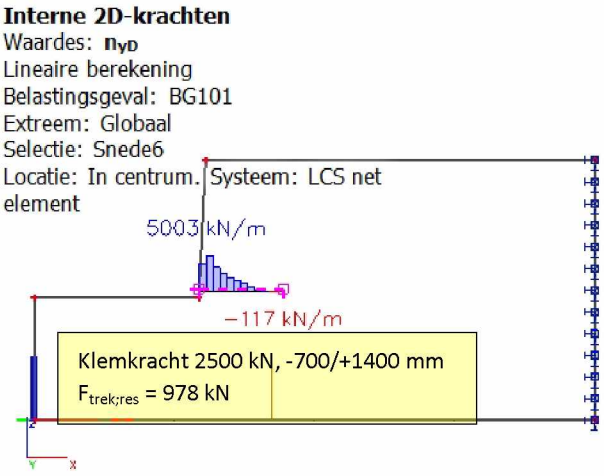
Beschouwing verschillende configuraties voor overdracht van de klemkracht en het effect op de kracht in de verticale trekband achter het spanvlak.

Geval 2:

- Verdeling verticale trekkracht in langsligger bij oplegnok
- Oplegkracht vanuit dek 0.4 x 3750 = 1500 kN; langsvoorspanning 2 x 0.38 x 10500 = 2 x 4000 kN; klemkracht 0.45 m x 5555.6 kN/m' = 2500 kN

=> Resulterende verticale trekkracht $F_{trek;res}$ = 975 kN

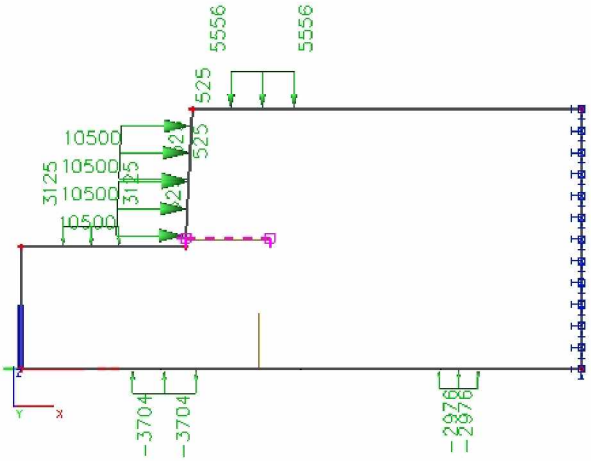


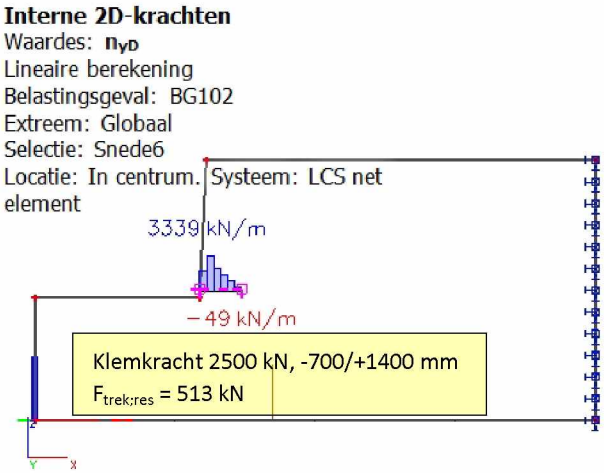


Geval 3:

- Situatie: gereduceerde belasting uit verkeer (busverkeer, ca. 50% x Klasse 45)
- Verdeling verticale trekkracht in langsligger bij oplegnok
- Oplegkracht vanuit dek 0.4 x 3125 = 1250 kN; langsvoorspanning 2 x 0.38 x 10500 = 2 x 4000 kN; klemkracht 0.45 m x 5555.6 kN/m' = 2500 kN

=> Resulterende verticale trekkracht $F_{trek;res}$ = 513 kN (15% waarde bij huidige situatie, geval 1)

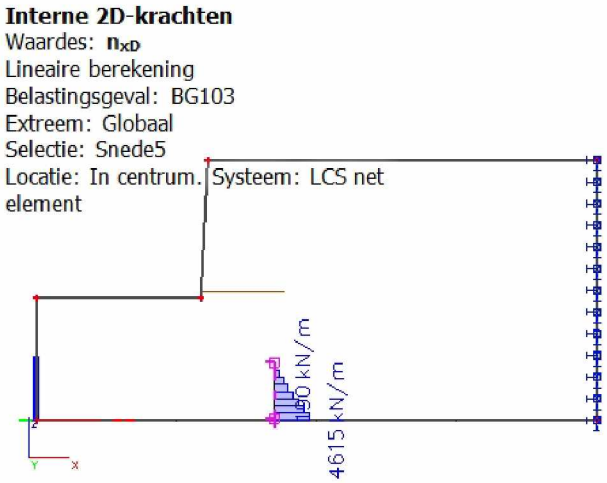




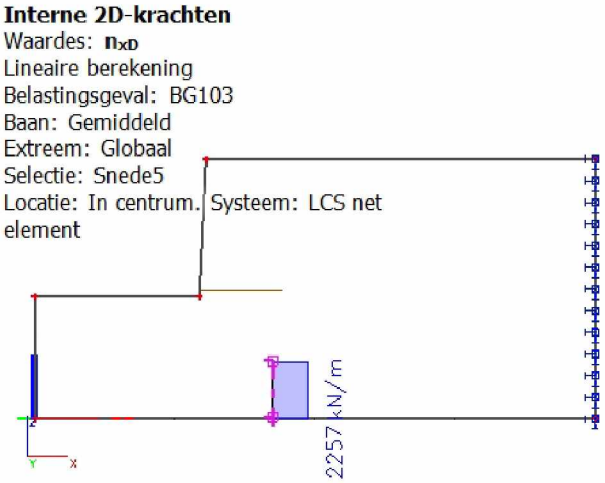
Bij een effectief aanwezige wapening van 11.5 ϕ20 zou de resterende trekkracht van 513 kN een staalspanning van ca. 140 N/mm^2 opleveren. Voor reductie van de staalspanningen in de maatgevende zone (ter hoogte van bovenzijde nok) mag ook een bijdrage van de 4 staven ϕ25 op de kop van de trogligger verwacht worden (niet voor UGT). Acceptabel.

Geval 4:

- Nok onbelast: dek opgevijzeld tbv. vervanging oplegblokken
- Verdeling horizontale trekkracht onderzijde langsligger bij vijzelen dek, oplegnok onbelast
- Langsvoorspanning 2 x 0.38 x 10500 = 2 x 4000 kN; klemkracht 0.45 m x 5555.6 kN/m' = 2500 kN
- Opmerking: zowel voorspankracht als klemkracht zijn gecontroleerde belastingen, aangebracht met gecalibreerde vijzels.



Klemkracht 2500 kN, -700/+1400 mm
$F_{trek;onderwapening\ nok}$ = 903 kN



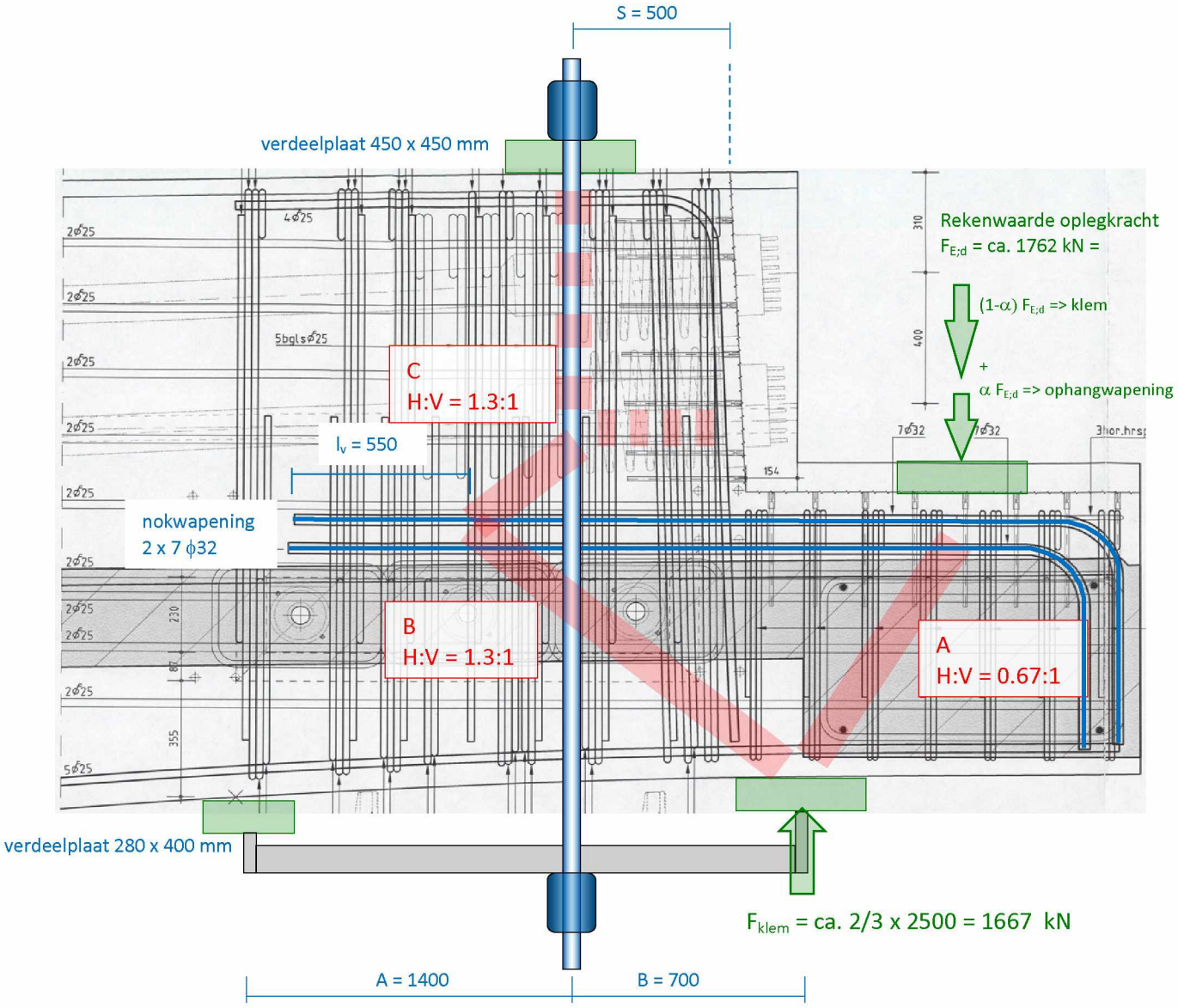
In ontlaste toestand (zonder inhangdek) trekkracht F = 903 kN in onderwapening 5+1 ϕ25 => ca. 307 N/mm^2 voldoet

Beschouwing UGT-draagvermogen van het systeem

In de eindzone van de langsbalken moeten de klemconstructie + effectieve ophangwapening weerstand bieden aan 2 krachten:

- Rekenwaarde oplegkracht vanuit het trogliggerdek op de nok F_{Ed} = 1762 kN , zie voorgaande
- Rekenwaarde verticale splijtkracht tgv. de excentrische ligging van de twee voorspankoppen $F_{kopspljt;d}$ = 429 kN

Aan de hand van een vakwerkmodel wordt het deel van de oplegkracht $(1 - \alpha)\ F_{Ed}$ bepaald dat opgenomen kan worden door de klemconstructie; uitgangspunt daarbij is de aangebrachte (BGT) klemkrachten, de krachtwerking in de klemconstructie wordt geacht constant te zijn. Motivatie: conservatieve beschouwing, het mobiliseren van de volle sterkte van de klemconstructie zou relatief grote vervormingen en daarmee plastische capaciteit van de betonconstructie vergen. De resterende oplegkracht $\alpha\ F_{Ed}$ + kopsplijtkracht worden opgenomen door de effectieve ophangwapening.



Afdracht via de klemconstructie (zie figuur vorige bladzijde)

A $N_{nokwapening} = 0.67 \times (1 - \alpha)\ F_{E;d}$

B, C $N_{B;hor} = N_{C;hor} = ½\ F_{nokwapening} = ½ \times 0.67 \times (1 - \alpha)\ F_{E;d}$

$N_{B;vert} = N_{B;hor} / 1.3 = ½ \times 0.67 \times (1 - \alpha)\ F_{E;d} / 1.3$

Totale neerwaartse kracht tpv. klem (≡ de voorste klemplaat aan de onderzijde) is

$(1 - \alpha)\ F_{E;d} + ½ \times 0.67 \times (1 - \alpha) \times F_{E;d} / 1.3 = (1 - \alpha) \times F_{E;d} \times 1.25 = F_{klem} = 1667$ kN
$\Rightarrow (1 - \alpha) \times F_{E;d} = 1325$ kN

Kracht in nokwapening is $N_{nokw;d;klem} = 1325$ kN $\times 0.67 = 888$ kN.

Afdracht via effectieve ophangwapening

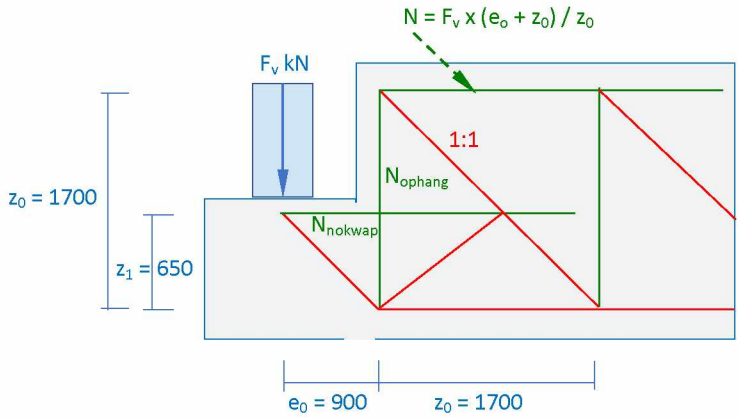
Het aandeel van de oplegkracht dat afgedragen kan worden door de effectieve ophangwapening wordt bepaald aan de hand van onderstaand vakwerkmodel. De ophangwapening wordt geacht ook de rekenwaarde van de kopsplijtkracht op te nemen.

Uit beschouwing aanwezige wapening, positie en detaillering:
effectief aanwezige ophangwapening is 11.5 ϕ20.

Totale UGT capaciteit = $N_{ophang;Rd} = 11.5 \times 314 \times 435 \times 10^{-3} = 1571$ kN; reductie voor kopsplijtkracht is $F_{kopsplijt;d} = 429$ kN => resteert $1571 - 429 = 1142$ kN.

Onderstaand vakwerkmodel:
$N_{ophang} = F_{v;ophangw} \times (e_o + z_0) / z_0 = F_{ophang;Rd}$

Capaciteit effectieve ophangwapening tav. opnemen oplegreactie is
$F_{v;ophangw} = F_{ophang;Rd} \times z_0 / (e_o + z_0) = 1142 \times 1.70 / (0.90 + 1.70) = 747$ kN;



Resulterende toetsingen

UGT capaciteit tav. opnemen oplegkracht op de nok is

$F_{R;d}$ = 1325 + 747 = 2072 kN > F_{Ed} = 1762 kN; uc = 0.85.

Als de klemkracht 15% is afgenomen (temperatuur, tijdsafhankelijke effecten) dan is

$F_{R;d}$ = 1325 x (1.0 – 0.15) + 747 = 1873 kN > F_{Ed} = 1762 kN; uc = 0.94.

Kracht in nokwapening is

$F_{nokw;d;ophang}$ = 777 kN x 0.90 / 0.65 = 1076 kN;
totale kracht in nokwapening is $N_{nokw;d}$ = 888 + 1076 = 1964 kN; toegepast 2 x 7 ϕ32 => F_{yd} = 14 x 804 x 435 ≡ 4896 kN; uc = 0.40.

Inleiding klemkracht bovenzijde

De inleiding van de klemkracht aan de bovenzijde van de langsbalken leidt in principe tot splijtkrachten in dwarsrichting in het onderliggende beton. De zone met splijtkrachten overlapt gedeeltelijk met de zone van splijtkrachten in dwarsrichting tgv. de langsvoorspanning op de kop van de langsbalken. Voor de laatste is splijtwapening toegepast, die echter qua detaillering en locatie niet optimaal is uitgevoerd.

Er zijn twee opties voor het inleiden van de klemkracht, beide met minpunten:

1. Klemkracht inleiden door verdeelplaat met voldoende randafstanden
   deze optie betekent introductie van extra splijtkrachten in dwarsrichting in de langsbalk zonder de daarvoor benodigde/vereiste wapening; nadere toelichting elders in deze bijlage
2. Klemkracht inleiden door toepassing van een verdeelplaat over de volle breedte van bovenvlak langsbalk
   Dit betekent dat er geen splijtkracht in dwarsrichting tgv. de klemkracht optreedt; er wordt echter niet voldaan aan de normeisen mbt. randafstanden c.q. detaillering wapening. Als correctieve maatregel is zijdelingse opsluiting van de zijvlakken van de langsbalk voorgesteld. Een praktische en constructief verantwoorde uitvoering daarvan ontbreekt vooralsnog.

Opmerking:

lokaal verdeelde klemkrachten aan de onderzijde van de langsbalken resulteren daar ook in een zone met splijtkrachten in dwarsrichting, op te nemen zonder bijbehorende wapening; dit wordt acceptabel geacht indien de oplegdrukken bij de verdeelplaten onder de grenswaarde blijven cf. NEN-EN 1992-1-1:2011/NB 2020 paragraaf 10.9.4.3 (7): $\sigma_{opl;gem} \leq 0.7 \times f_{cd}$ (een bepaling uit de (vervallen) NEN6720, 9.13.1).

Inleiding klemkracht (1) - verdeelplaten met beperkte breedte

De klemkracht wordt via 1 + 2 stalen verdeelplaten aangebracht op boven- en ondervlak van de langsliggers. Als gevolg van de lokale belasting op het betonoppervlak ontstaan inwendig splijtkrachten in het beton van de langsliggers. Cf. NEN-EN 1992-1-1:2011/NB 2020 paragraaf 6.7 moeten bij gedeeltelijk belaste gebieden trekkrachten in dwarsrichting in beschouwing zijn genomen. Voor het opnemen van die trekkracht dient wapening te zijn aangebracht.

In een bestaande constructie is de bedoelde wapening mbt. een nieuw aangebrachte belasting in beginsel niet aanwezig. Daarom wordt er gebruik gemaakt van onderstaande bepaling uit NEN-EN 1992-1-1:2011/NB 2020 paragraaf 10.9.4.3 (7), opgenomen in de (vervallen) NEN6720, 9.13.1:

geen berekening van dwarse trekspanningen vereist indien $\sigma_{opl;gem} \leq 0.7 \times f_{cd}$

10.9.4.3 Verbindingen die drukkrachten overdragen

Lees na de volledige tekst van (6) de volgende normatieve tekst:

(7) Van een berekening van trekspanningen in dwarsrichting in aangrenzende elementen bij een geconcentreerde drukkracht mag worden afgezien, indien de gemiddelde oplegdruk niet groter is dan $0{,}7\ f_{cd}$.

1. verdeelplaten aan de onderzijde van de balken

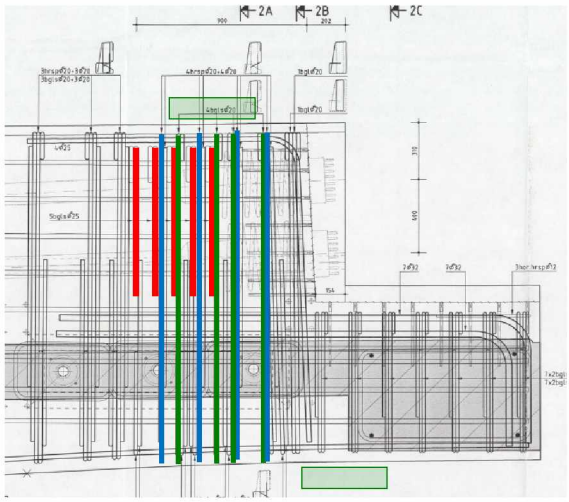
   Toetsing oplegdruk cf. NEN-EN 1992-1-1:2011/NB 2020 paragraaf 10.9.4.3 (7), voor de maatgevende voorste verdeelplaat op onderzijde langsbalk:

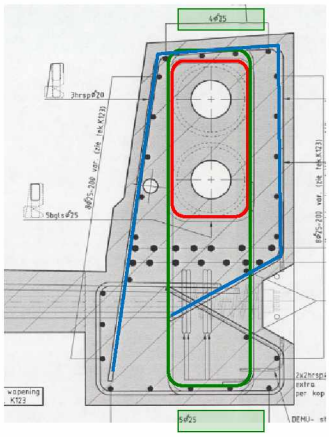
   $F_{klem;onder}$ = 2/3 x 2500 kN = 1667 kN; verdeelplaat 450 x 450 mm =>
   $\sigma_{opl;gem}$ = 8.2 N/mm^2 < 0.7 x 53 / $\gamma_{1.5}$ = 24.7 N/mm^2 (beton C53/65) voldoet.

   (voldoet ook bij evt. reductie druksterkte ivm. loodrechte trekspanningen cf. EC2, 6.5.2).

2. verdeelplaat aan de bovenzijde van de balken

   Hart verdeelplaat ligt op 500 mm afstand van het spanvlak op de kop van de langsbalken. De dwarse splijtkrachten als gevolg van de lokale krachtinleiding treden op in de zone waar ook dwarse splijtkrachten tgv. de voorspankracht op de kop van de langsbalk optreden.
   In de oorspronkelijke ontwerpberekening (‘Bijlage 7’) is voor de splijtkracht in dwarsrichting tgv. inleiding voorspankracht een bijbehorende kopsplijtwapening berekend (‘5 ϕ25’ op basis van staalspanning 120 N/mm^2). Deze wapening is aangegeven op tekening K124 ‘Busbaan ’t Twiske – Wapening landhoofd as 1’; zie figuur op de volgende pagina, smalle en korte beugels in rood. De detaillering is niet optimaal: de volle dwarsdoorsnede van de langsbalk wordt niet omsloten (beugels te smal), geen horizontaal beugelbeen aanwezig tussen de ankers in en het beugelpakket ligt te ver van de kop af (splijtkracht is al significant aanwezig op kleinere afstand vanaf kop langsbalk). Ook additionele systeemwapening in de zone rond de spiraalwapening, die bij veel voorspansystemen vereist wordt, ontbreekt (mogelijk niet vereist bij het toegepaste voorspansysteem).
   In de figuur is ook de positie van de bovenste verdeelplaat aangegeven: de dwarse splijtkracht tgv. de klemkracht treedt op in dezelfde zone als de splijtkracht tgv. voorspanning. De aanwezige splijtwapening voor de voorspanning zou ook hier beperkt functioneel zijn om dezelfde redenen.

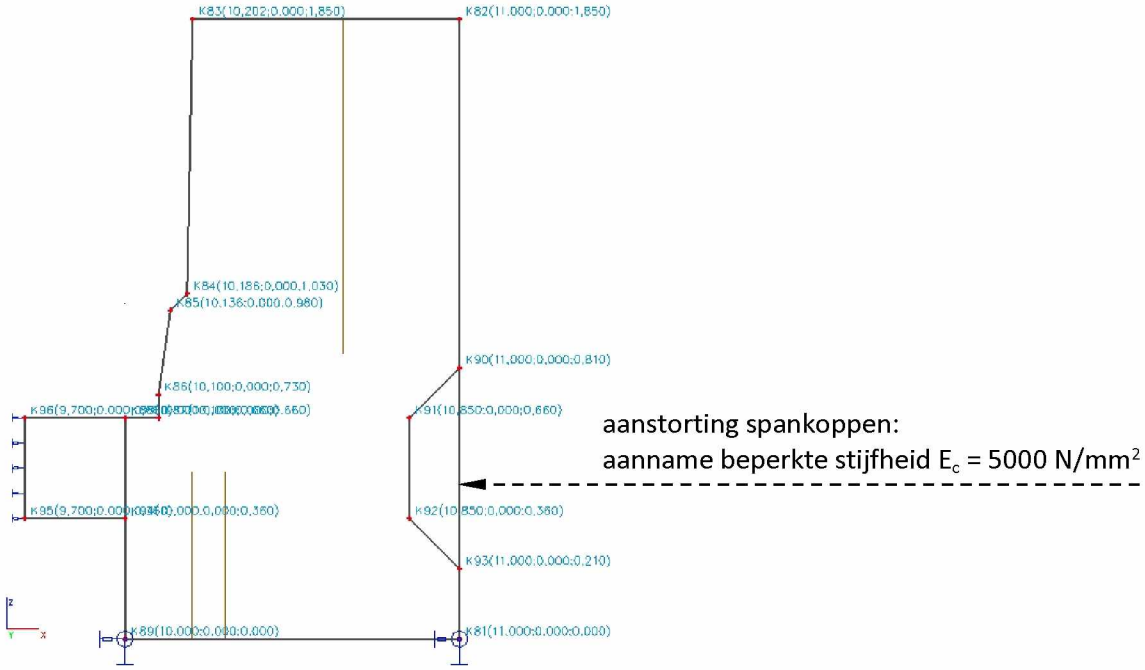


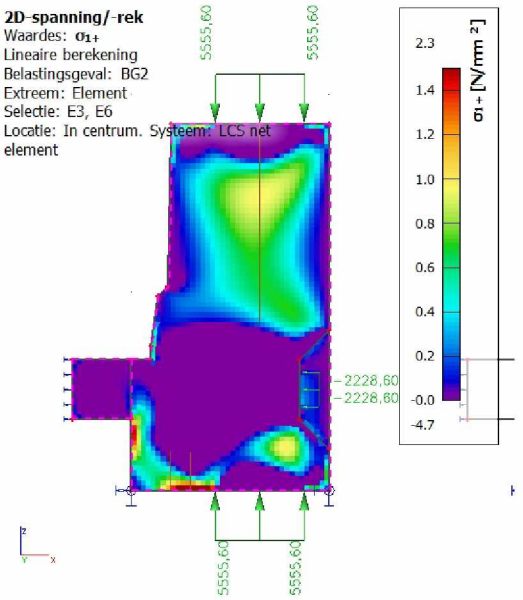


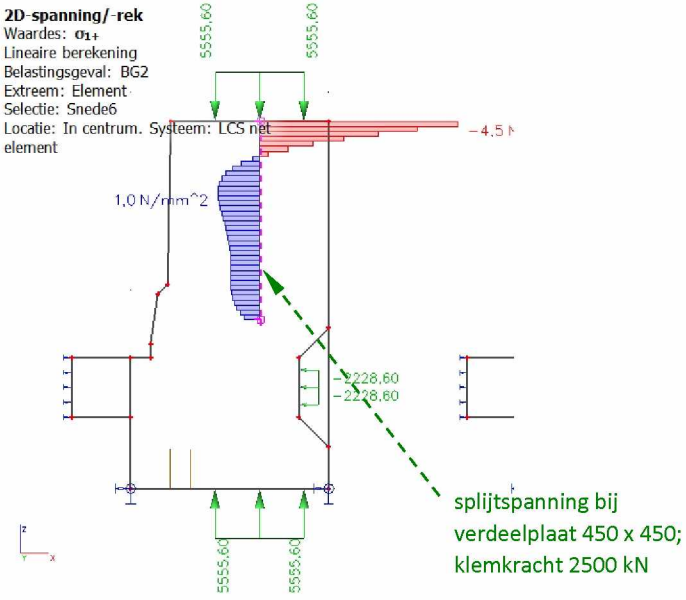
In het volgende worden de splijtspanningen ten gevolge van lokale krachtinleiding uit langsvoorspanning en klemkrachten beschouwd, mbv. twee SCIA modellen.

SCIA model tbv. bepaling splijtkrachten tgv. klemconstructie:

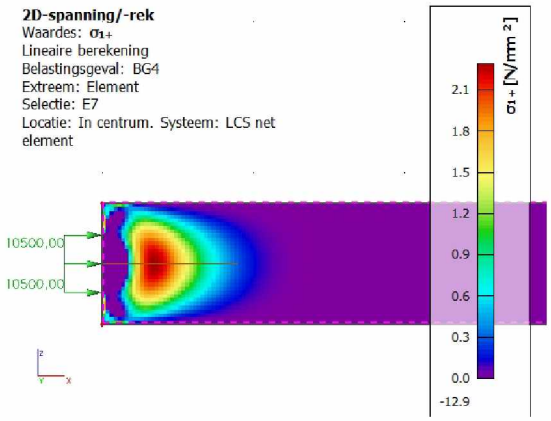
- schijfelement, dikte 0.65 m (meewerkende balklengte = $B_{verdeelplaat}$ + 2 x 100 mm)
- afmetingen: zie figuur
- verdeelplaat bovenzijde: B = 450 mm; hart plaat op 350 mm uit buitenrand
- dwarsvoorspanning ca. 900 kN over 1.5 m lengte, meewerkende balklengte 0.65 m, hoogte ankerkop 0.175 m => q_{dwvsp} = 900 x 0.65 / 1.5 / 0.175 = 2229 kN/m' over hoogte ankerplaat
- onderzijde balk: berekende splijtspanningen zijn niet correct omdat de klemkracht feitelijk verdeeld is over 2 platen op onderling 2.1 m afstand

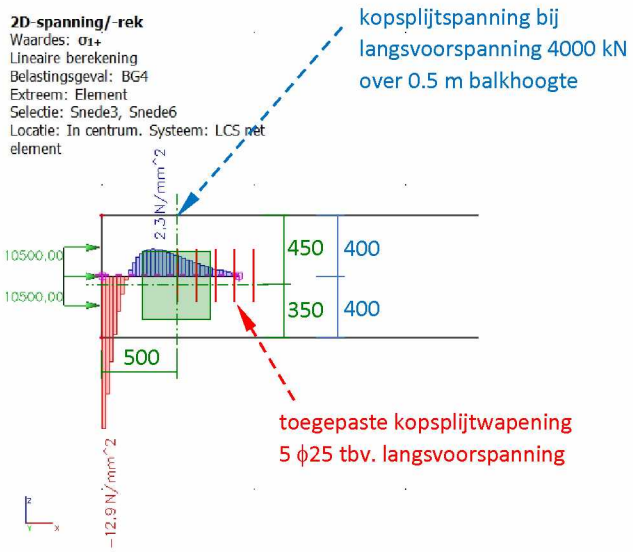






SCIA model tbv. bepaling kopsplijtkrachten tgv. de langsvoorspanning:





<u>Conclusie</u>:

Vanwege de overlapping van de dwarse splijtkracht-zones van de horizontale voorspanning en de verticale klemkracht is toetsing op basis van oplegdrukken niet van toepassing. De aanwezige kopsplijtwapening tbv. de langsvoorspanning is niet optimaal vormgegeven (te smalle beugels, alleen horizontale beugelbenen boven en onder spanelementen) en niet aangebracht op de juiste locatie (beugels buiten zone met maximale splijtkrachten). Aan deze wapening kan geen bijdrage worden toegekend voor het opnemen van de dwarse splijtkracht uit de klemkracht aan de bovenzijde van de langsbalk.

Inleiding klemkracht (2) – verdeelplaat bovenzijde langsbalken over maximale breedte

In technisch overleg is voorgesteld om aan de bovenzijde van de langsbalken een verdeelplaat over de maximale breedte van de balk toe te passen waardoor er in beginsel geen splijtkracht in dwarsrichting vanuit de klemkracht optreedt. Consequentie hiervan is dat niet wordt voldaan aan bepalingen in NEN-EN 1992-1-1:2011/NB. 2020, 10.9.5 mbt. randafstanden bij opleggingen resp. NEN-EN 1992-2:2005/NB. 2016, bijlage J.104 voor oplegzones van bruggen (randafstand, wapening; onderstaand).

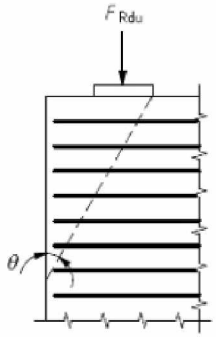
J.104.1 Oplegzones van bruggen

(101) Het ontwerp en de berekening van oplegzones van bruggen behoren in overeenstemming met de regels in deze bepaling, in aanvulling op die in 6.5 en 6.7 van EN 1992-1-1, te zijn.

(102) De afstand van de rand van het belaste gebied tot de vrije rand van de betondoorsnede behoort niet kleiner te zijn dan 1/6 van de overeenkomstige afmeting van het belaste gebied gemeten in dezelfde richting. De afstand tot de vrije rand behoort in geen geval kleiner te zijn genomen dan 50 mm.

(103) Voor betonklassen gelijk aan of hoger dan C55/67 f_{cd} in vergelijking (6.63) van EN 1992-1-1 te zijn vervangen door $\frac{0{,}46 \cdot f_{ck}^{2/3}}{1+0{,}1 \cdot f_{ck}} \cdot f_{cd}$

(104) Om het afschuiven van een rand te vermijden, behoort gelijkmatig verdeelde wapening evenwijdig aan de belaste zijde te zijn aangebracht tot het punt waar de lokale drukspanningen zijn gespreid. Dit punt wordt als volgt bepaald: een schuine lijn onder een hoek θ (30°) met de richting van de aangebrachte belasting wordt vanaf de rand van de betondoorsnede zo getrokken dat deze de tegenovergelegen rand van het belaste oppervlak doorsnijdt, zoals voorgesteld in figuur J.107. De wapening die is aangebracht om het afschuiven van de rand te vermijden behoort voldoende te zijn verankerd.



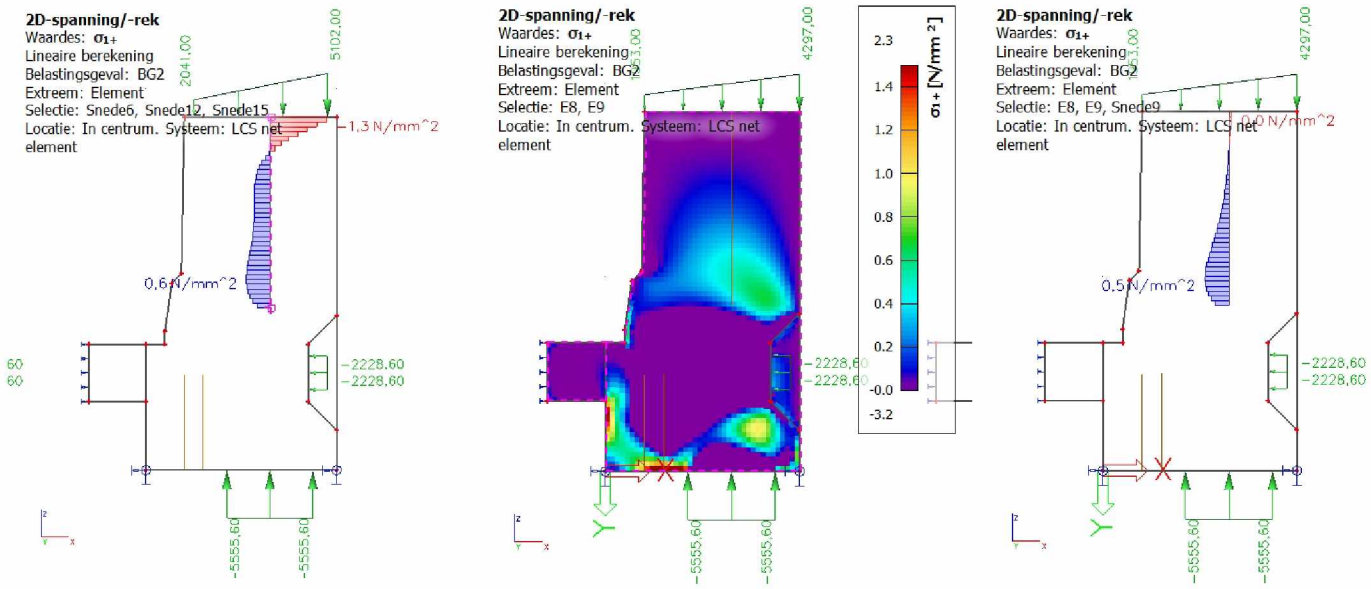
Figuur J.107 — Mechanisme van het afschuiven van een rand

(105) De wapening die is aangebracht om het afschuiven van een rand te vermijden (A_r), behoort te zijn berekend in overeenstemming met de vergelijking $A_r \cdot f_{yd} \geq F_{Rdu}/2$.

In het volgende worden de berekende splijtspanningen in dwarsrichting gegeven voor twee situaties:

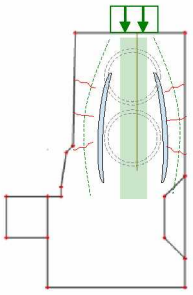
1. verdeelplaat bovenzijde met breedte B = 800 – 2 x 50 mm, waarbij de in voorgaande genoemde minimale afstand van 50 mm tot de vrije randen wordt aangehouden en
2. verdeelplaat bovenzijde met breedte B = 800 mm ≡ breedte bovenvlak, zonder rekening te houden met vellingkanten

Onderstaande figuren geven de berekende splijtspanningen bij breedte verdeelplaat bovenzijde is 700 mm (figuur links) en B = 800 mm (figuren midden en rechts). Verschil in maximale splijtspanning is marginaal (0.1 N/mm²); de maximum waarde is m.n. bepaald door aanwezigheid van de inkassing tbv. de dwarsvoorspanning (in SCIA model: $E_{c;inkassing}$ = 5000 N/mm²). Mede omdat bij een verdeelplaat over de volle breedte een lastig te realiseren zijdelingse opsluiting aan de bovenzijde van de langsbalken zou moeten worden toegepast ter voorkoming van afboeren (actieve klemkracht door opwiggen), heeft een plaat met B = 700 mm hier de voorkeur.



Vergeleken met de spanningsfiguur bij toepassing van een verdeelplaat met een beperkte breedte van 450 mm (voorgaande) is de afname van de maximale trekspanning bij een verdeelplaatbreedte van 700 mm ca. 1.0 – 0.6 = 0.4 N/mm²; de resulterende maximale splijtspanningen (tgv. langsvoorspanning + klemkracht) zijn 2.3 + 1.0 = 3.3 N/mm² resp. 2.3 + 0.6 = 2.9 N/mm², een beperkt verschil.

Eventuele verticale scheuren tgv. dwarse splijtspanningen in het hart van de langsbalk kruisen de spiraalwapening (ϕ22-60 over 0-500 mm van kop langsbalk) cq. de beugelwapening (500-1000 mm vanaf kop langsbalk) en worden 'beheerst'; voor verticale splijtscheuren die buitenlangs de spiraal of beugelwapening lopen geldt dat niet. Bezwijken tgv. de verticale klemkracht lijkt echter niet mogelijk: de klemkracht zal dan hoofdzakelijk via het centrale deel tussen de verticale scheuren worden afgedragen, zie onderstaande impressie.

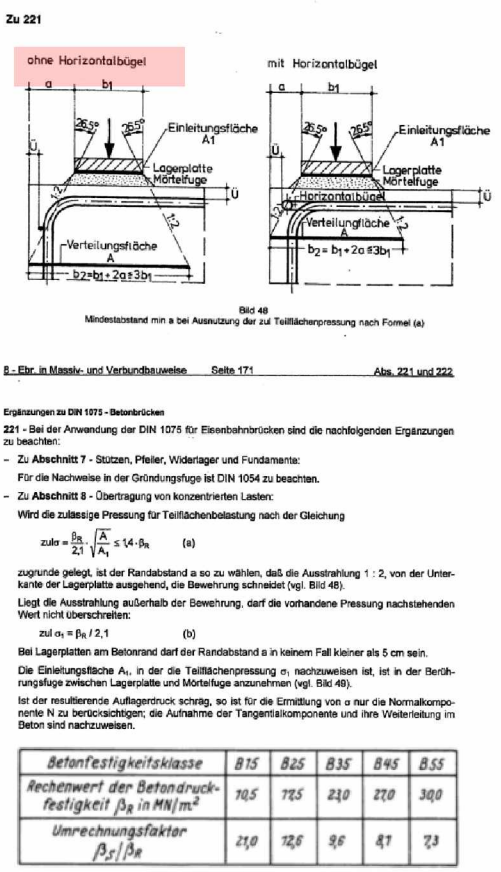


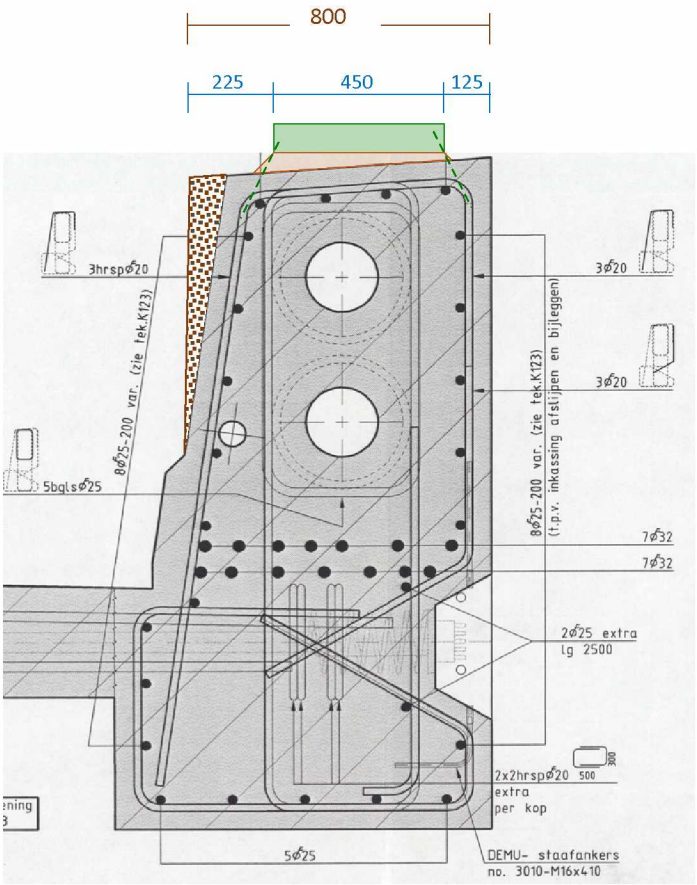
Keuze (vooralsnog):
toepassing van verdeelplaten met een beperkte breedte van 450 mm op de langsbalken

Toetsing randafstand verdeelplaten bovenzijde

Onderstaand wordt de randafstand van de verdeelplaat aan de bovenzijde beschouwd in relatie tot de toelaatbare oplegdruk:

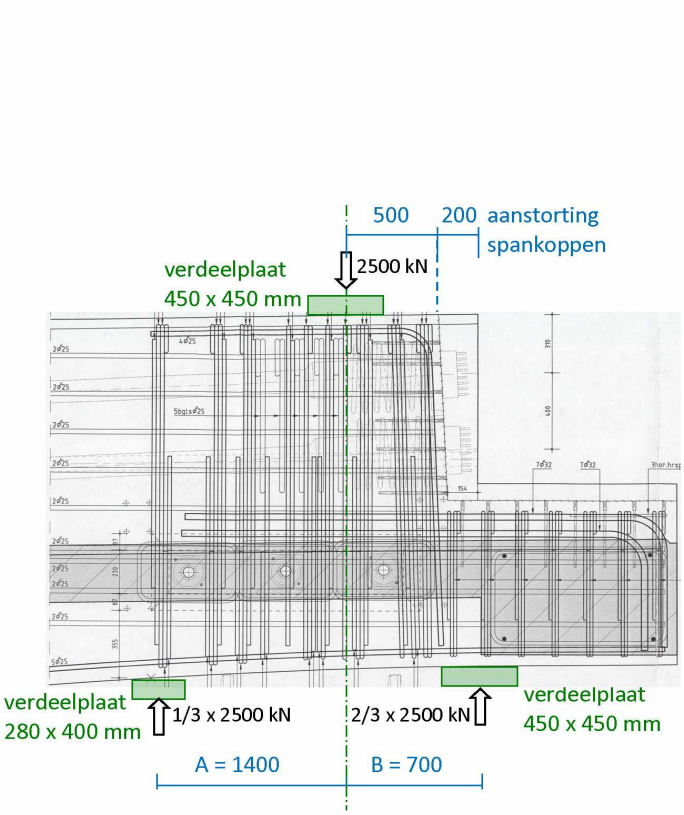
- N_{klem} = 2500 kN (+/- 5%, aangebracht dmv. gecalibreerd vijzel)
- Verdeelplaat L x B = 450 x 450 mm => oplegdruk = 12.3 N/mm^2
- Betontrekspanningen in dwarsrichting: cf. NEN-EN 1992-1-1:2011/NB 2020, 10.9.4.3. (7) geen toetsing betontrekspanningen in dwarsrichting vereist bij gemiddelde oplegdruk $\sigma_{opl;d} \leq 0.7\ f_{cd}$ = 0.7 x (53 / 1.5) = 24.7 N/mm^2 => uc = 12.3 / 24.7 = 0.50 voldoet (B65 ≡ C53/65)
- Toetsing randafstanden cf. DS804-2000, Teil 3 (Vorschrifte für Eisenbahnbrücken und sonstige Ingenieurbauwerke, Deutsche Bahn): spreiding uit oplegvlak onder 2:1 (zie onder)
  De spreidingscontour blijft juist binnen hart verticale beugelwapening (zie figuur), zodat voor de maximale oplegdruk geldt zul σ = MIN (β_R / 2.1 x √(A/A_1); 1.4 β_R); β_R is rekenwaarde betondruksterkte cf. DIN 1045-1.
  Voor B55 is β_R = 30 N/mm^2; spreidingsoppervlak A wordt begrensd door een gebied 125 mm rond de contour verdeelplaat => A = (450 + 2 x 125) x (450 + 2 x 125) = 490000 mm^2; lastvlak A_1 = 450 x 450 = 202500 mm^2, zodat geldt zul σ = MIN (30 / 2.1 x √(490000/202500); 1.4 x 30) = MIN (22.2; 42) = 22.2 N/mm^2 => uc = 12.3 / 22.2 = 0.55 voldoet

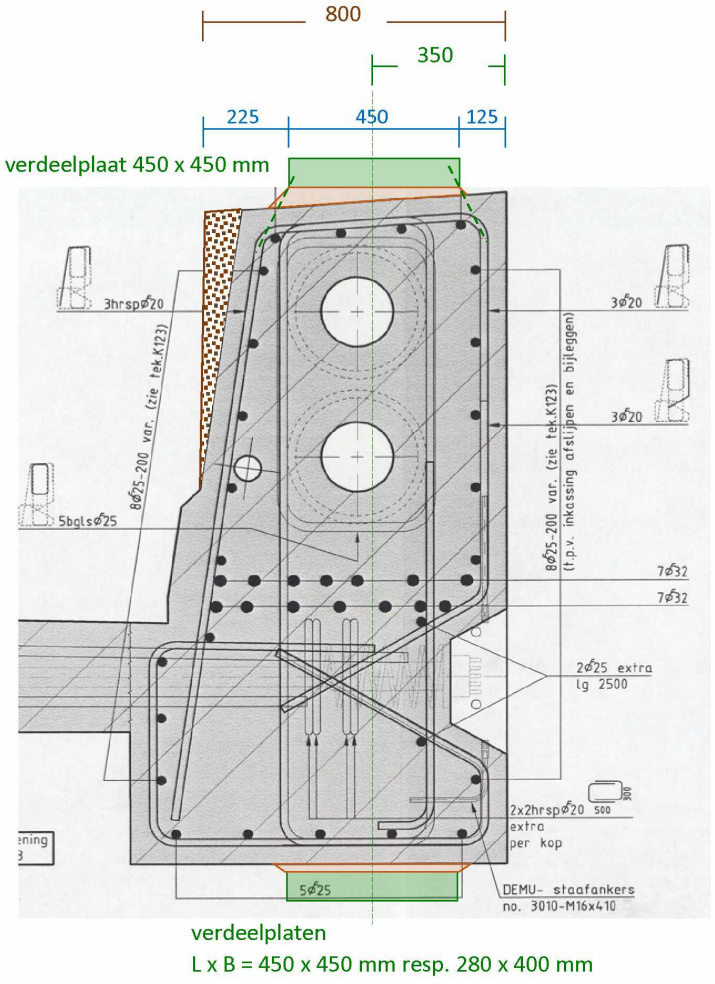




Overzicht

- Klemkracht 2500 kN => aan onderzijde door evenaar 2:1 verdeeld => (2/3 ⇔ 1/3) x 2500 kN
- Bovenplaat S = 500 mm afstand hart spanelement tot bovenhoek constructief beton (dus niet: aanstorting spankoppen)
- Onderplaten A = 1400 mm; B = 700 mm (zie figuur op vorige bladzijde)
- stalen verdeelplaten (zie onderstaande figuren voor afmetingen en posities):
  bovenzijde B x L = 450 x 450 mm; onderzijde B x L = 450 x 450 mm resp. 280 x 400 mm
  dikten: maximale doorbuiging bij gelijkmatig verdeelde oplegdruk < 0.05 mm; bepaling in UO
- NB schuine/verlopende oppervlakken
- Verdeelplaten ondergieten met gietmortel K70 (korrel 4 mm; dikte gietmortel 20-120 mm); mk XF4; bv. Betec 140 o.g. Verwerking gietmortel cf. verwerkingsadvies fabrikant (betonoppervlak ter plaatse van de ondergietingen vooraf opruwen etc.). Toepassing van lijmankers met inboordiepte ≤ 125 mm voor bevestiging verdeelplaten is toegestaan aan de onderzijde van de balk; bestaande wapening dient volledig intact te blijven => vooraf wapening scannen, boren met lucht, gerealiseerde boorgaten inmeten en overnemen op de stalen verdeelplaten. Aan bovenzijde zijn ankers in de dekking (50 mm) toegestaan; ook hier vooraf scannen, wapening dient volledig intact te blijven.
  Te realiseren oplegvlak voor verdeelplaten dient vlak en horizontaal te zijn. Minimaal vereiste karakteristieke druksterkte gietmortel bij voorspannen klemconstructie is $f_{ck}(t) = 45$ N/mm^2.





Aandachtspunten

- Geadviseerd wordt om voor de brug formeel een lastbeperking tot 30 ton in te stellen; dit betekent geen beperking tav. het functioneren als busbrug
- Tijdens het aanspannen van de klemconstructies dient aanwezigheid van personen onder de brug, de klemconstructies en/of hulpwerk volledig te worden uitgesloten; aanwezigheid in de directe nabijheid van de klemconstructies dient zoveel mogelijk beperkt te worden
- Regelmatige inspectie van de stalen klemconstructies en de betonconstructie ter plaatse is vereist, waarbij met name gelet moet worden op nieuwe scheurvorming in het beton en veranderingen (vastleggen, registreren scheurwijdten in de tijd) in bestaande scheuren. Op termijn ook letten op corrosie van de stalen klemconstructies, met name bij de ankerstaven.
- De klemconstructie zal ivm. tijdsafhankelijke voorspanverliezen te zijner tijd moeten worden nagespannen. Gesteld wordt dat zowel bij het initiële voorspannen als bij het naspannen er gedurende korte tijd met 15% mag worden overspannen ter compensatie van spanverliezen tgv. het zetten van de ankers; de maximale voorspankracht is dan 2500 x 1.15 = 2875 kN.
- Om de maximale verandering in de klemkracht tgv. temperatuurwisselingen te minimaliseren dient het voor- of naspannen van de klemmen te gebeuren bij een gemiddelde buitentemperatuur T = 10^0 +/- 5^0 C en bewolkt weer (geen opwarming staalwerk door directe zonbestraling).
- Als gevolg van het mogelijk met enige vertraging dichtdrukken van aanwezige scheuren na het aanspannen van de klemconstructie kan het zijn dat naspannen relatief kort na aanbrengen van de eerste voorspanning moet worden uitgevoerd.

  Richtlijnen voor naspannen:
  1. algemeen: naspannen vereist bij ≥ 15% afname van de klemkracht
  2. 1 jaar na plaatsing klemconstructie
  3. monitoring scheurwijdten: zodra uit regelmatige monitoring van de scheurwijdten van de aanwezige horizontale en diagonale scheuren in de langsbalken in de zones van de klemconstructies blijkt dat $\Sigma\Delta w_i \geq 1$ mm (criterium: de som van de afnames van de scheurwijdten is groter dan 1 mm, overeenkomend met ca. 15% voorspanverlies) dient te worden nagespannen (overleg met constructeur)

- In de voorgespannen betonconstructie is aanzienlijke scheurvorming opgetreden; te nemen maatregelen om de duurzaamheid van de constructie te verzekeren zijn nader te bepalen.

Risico's

- Het aanbrengen van de voorgespannen klemconstructie op de einden van de langsliggers betekent een nieuwe belasting op de constructie die leidt tot bijkomende splijtkrachten in dwarsrichting in de eindzone van de langsbalken, zonder dat de daarvoor cf. regelgeving gedimensioneerde en uitgevoerde wapening aanwezig is. Bezwijken als gevolg hiervan wordt niet waarschijnlijk geacht, maar dient toch als risico te worden aangegeven.
  Met name bij het voorspannen van de klemconstructie dient men zich hiervan rekenschap te geven: de aanwezigheid van personen onder de brug, de klemconstructies en/of hulpwerk moet volledig te worden uitgesloten; aanwezigheid in de directe nabijheid van de klemconstructies dient zoveel mogelijk beperkt te worden.