Gemeente Amsterdam

Bezoekadres
5.1.2,e
1018 DN Amsterdam

Postbus 12693
1100 AR Amsterdam
Telefoon 14 020
amsterdam.nl/ingenieursbureau

Notitie

Aan	-
Van	Emile Talmon, Ingenieursbureau, 5.1.2,e , 5.1.2,e @amsterdam.nl
Kopie aan	-
Datum	23 mei 2022
Ons kenmerk	NOT-Brug 2484 – Versterking door klemconstructie – Bijlage Beton
Bijlage(n)	-

Onderwerp Brug 2484 – Versterking door klemconstructie – Bijlage Beton

Opsteller	Goedgekeurd en vrijgegeven	Paraaf	Datum
5.1.2,e			

Bij revisie 3
Document is niet goedgekeurd/vrijgegeven
Revisie 2 getoetst door 5.1.2,e en 5.1.2,e : geen goedkeuring, gezamelijke conclusie: onvoldoende zekerheid mbt. constructieve veiligheid onder de aan te brengen klemkracht; nader onderzoek vereist (in bewerking)

NOTITIE 1

1. Inleiding 3
1.1 Algemeen 3
1.2 Bij revisie 2/3 3
1.3 Referenties 4

2. Waargenomen schade i.r.t. de toegepaste wapening 5

3. Klemconstructie 6
3.1 Algemeen 6
3.2 Principe schets en geometrie 7
3.3 Configuratie klemconstructie 8
3.4 Wapening in zone klemconstructie/oplegnokken 9

4. Belastingen in zone balkeinden en oplegnok 10

5. Berekeningen van diverse belastingsituaties 13
5.1 BGT 13
5.2 UGT 16

6. Inleiding klemkracht op bovenzijde langsbalk 19
6.1 Algemeen 19
6.2 Inleiding klemkracht (1) - verdeelplaten met beperkte breedte 19
6.3 Inleiding klemkracht (2) - verdeelplaat bovenzijde langsbalken met max breedte 23
6.4 Toetsing randafstand verdeelplaten bovenzijde 25

7. Overzicht 26

8. Aandachtspunten en risico's 27
8.1 Aandachtspunten 27
8.2 Risico's 27

BIJLAGE 1 CONTROLE OPLEGREACTIES OORSPRONKELIJKE ONTWERPBEREKENING 28

BIJLAGE 2 BEPALING OPLEGREACTIES BIJ LASTBEPERKING 20 TON 31

BIJLAGE 3 VERGELIJKING LASTBEPERKING 20 TON MET BELASTING DOOR BUSVERKEER 34

1. Inleiding

1.1Algemeen

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. Voor deze klemconstructie is een DO-ontwerp opgesteld.

Rev. 2

In deze notitie worden op basis van een herberekening van de versterkte nok-zone op 'verbouw' niveau cf. EC/NEN8700 de toe te passen klemkracht en de bijbehorende configuratie van de drukpunten vastgelegd en de relevante toetsingen uitgevoerd. De notitie wordt als bijlage opgenomen in het DO ontwerprapport voor de klemconstructie.

1.2Bij revisie 2/3

Door de constructeur van de stalen klemconstructie is aangegeven dat ten gevolge van temperatuurwisselingen een variatie in de klemkracht op kan treden van +/- 7% bij een nominale klemkracht van 2500 kN; hij heeft voorgesteld om de nominale klemkracht te verlagen tot 2300 kN (+/- 7%: 2125 – 2475 kN). In deze nieuwe revisie worden enkele aanvullende beschouwingen toegevoegd waarmee wordt aangetoond dat de constructie ook bij de ondergrens van de klemkracht voldoet. Bij toetsingen wordt hetzij de bovengrens hetzij de ondergrens van de klemkracht aangehouden, afhankelijk van hetgeen maatgevend is.

De onderbouwing in de oorspronkelijke ontwerpberekeningen van de voor de dimensionering aangehouden oplegkracht vanuit het ingehangen dek op de nok van het westelijke landhoofd (op basis van verkeersklasse 45) is onduidelijk. Vanwege het belang ervan voor de juiste dimensionering van de klemconstructie en aantonen van het beschikbare draagvermogen van de nokconstructie is de oplegkracht dmv. een schaduwberekening op basis van een SCIA model met overeenkomstige uitgangspunten gecontroleerd. Daarbij bleek de oplegkracht ca. 10% groter te zijn dan de waarde die is aangehouden in de oorspronkelijke ontwerpberekening. Het verschil is toe te schrijven aan het aandeel van de verkeersbelasting op het dek icm. de veranderlijke belasting op fiets- en voetpad (oplegreactie tgv. permanente belastingen is overeenkomstig).

Om een duidelijke onderbouwing te krijgen voor de belasting op de oplegnokken is het SCIA model gebruikt voor de bepaling van de oplegreacties uitgaande van een maximale lastbeperking cf. NEN-EN 1991-2/NEN 8700 tot 20 ton. Dat blijkt de grenswaarde voor mobiele belasting te zijn waarbij de met een klemconstructie versterkte nokken nog juist voldoen op verbouw-niveau. Aangetoond wordt dat daarmee de brug geschikt is voor gebruik door zwaar busverkeer.

revisie	datum	omschrijving
1	23-03-2022	Definitief, interne commentaren verwerkt
2	14-04-2022	Definitief, herzien: opmaak; aanvullende beschouwingen mbt. verlaagde klemkracht; aanpassing en onderbouwing lastbeperking tot 20 ton
3	23-05-2022	Kleine tekstuele aanvullingen mbt. interventiewaarde klemkracht

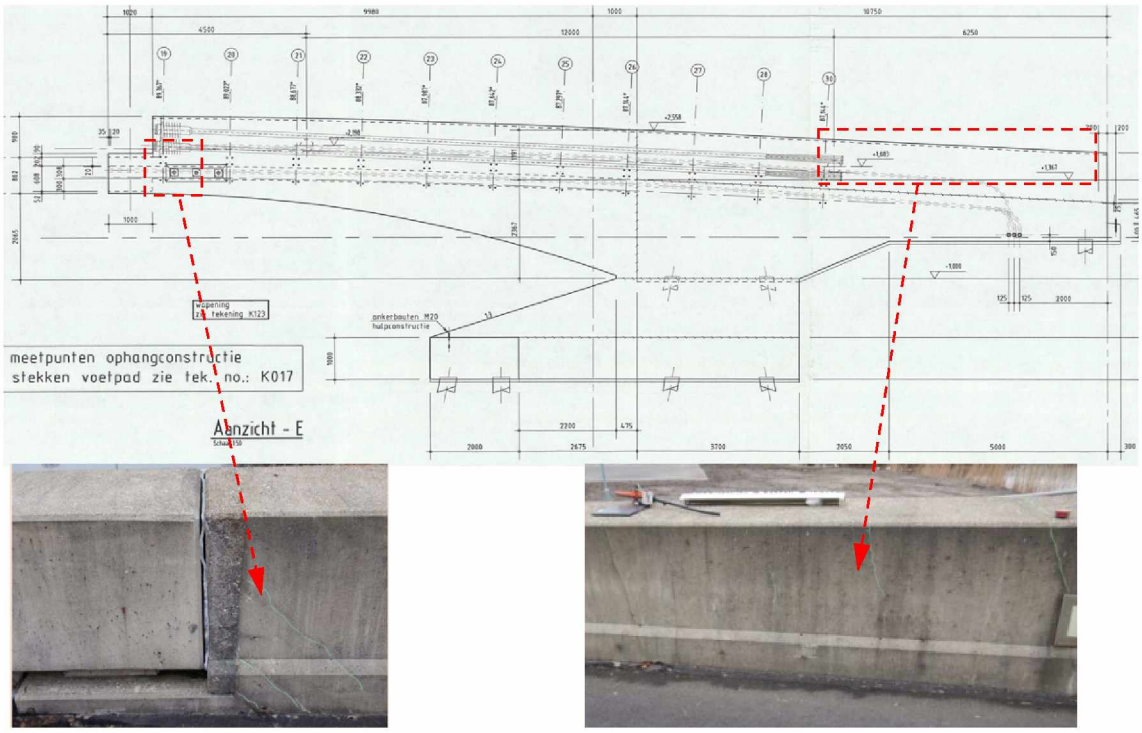
1.3Referenties

1) BRU2484_inspectiebevinding_20220125 - aan OG dd 2 feb 2022
2) BRU2484_Detailberekening-landhoofd-as-1-BRU2484_1639990968 dd. 270803
3) BRU2484_SN00155950_00001_1639990489 – Maatvoering trog as 1/2
4) BRU2484_SN00156241_00001_1639991133 – Wapening landhoofd as 1
5) BRU2484_Statische-berekening-Trogliggers-en-Brugdek-BRU2484_1639990236 dd 300103
6) BRU2484_Detailengineering-inhangtrog-BRU2484_1639990585 dd 110803

2. 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 voor het ingehangen trogliggerdek 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.

(tek. K124 – wapening landhoofden as 1)



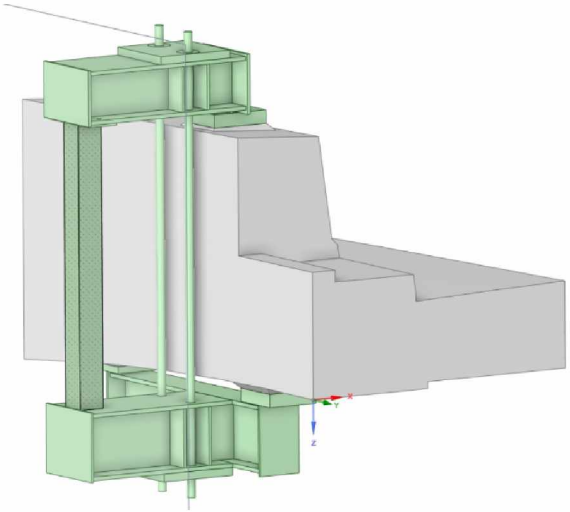
De verticale scheuren zijn constructief naar verwachting niet kritisch (nader aan te tonen middels een herberekening); de diagonale scheurvorming in de nok-zones wijst wel op een kritisch probleem. Uit een globale beschouwing blijkt dat de op tekening aangegeven (en voorzover mogelijk dmv. wapeningsscans 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.

3. Klemconstructie

3.1Algemeen

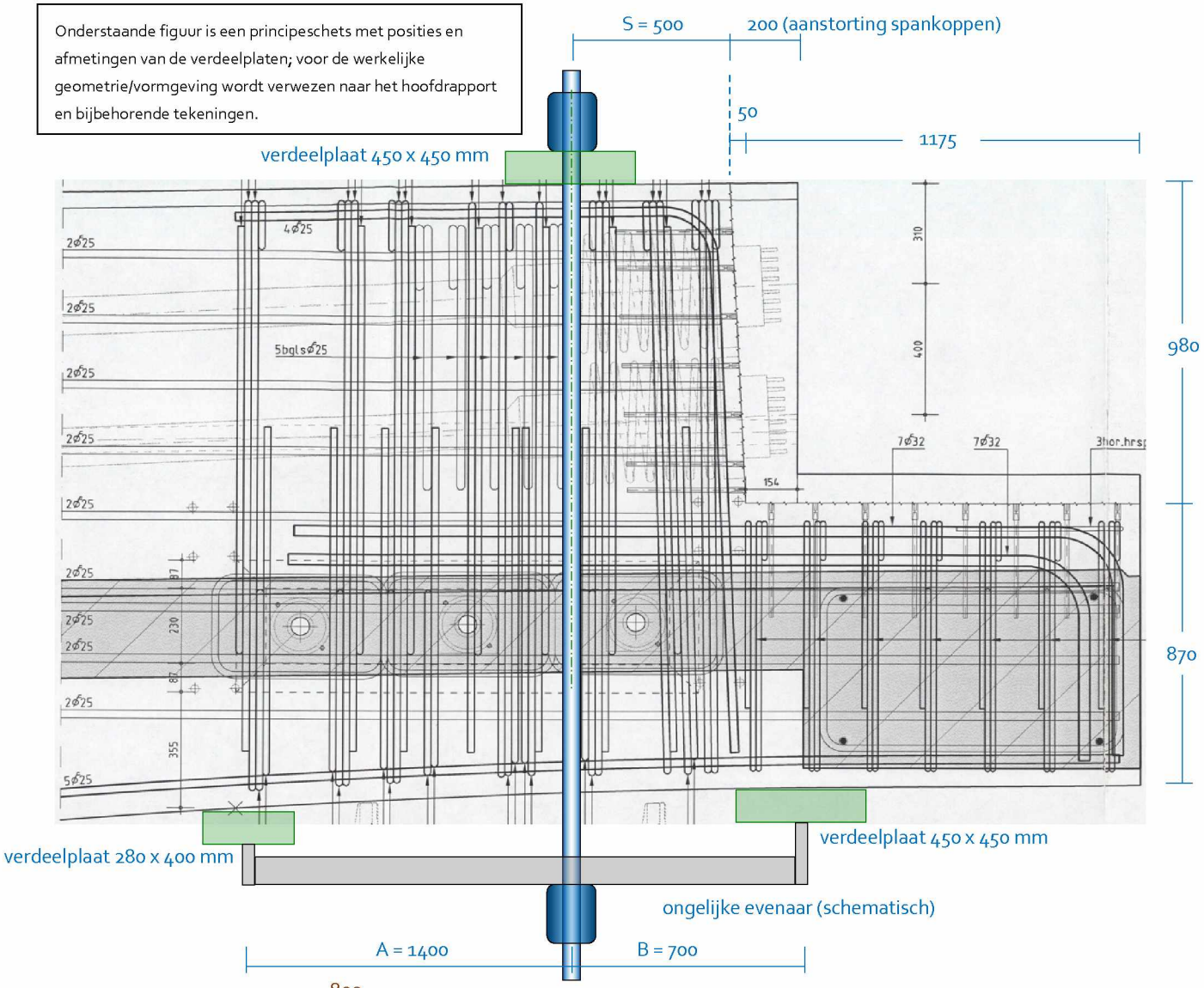
Vooruitlopend op een gunstige uitkomst van de nog uit te voeren volledige herberekening van de constructie is als versterkingsmaatregel in de zone van de oplegnokken aan beide zijden het aanbrengen van een voorgespannen klemconstructie op de voorgespannen langsliggers van landhoofd West voorgesteld. 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.

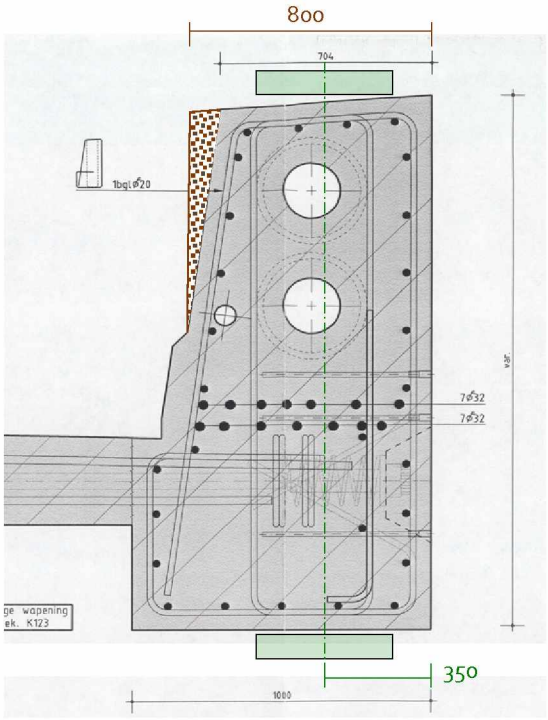
Zie voor een nadere beschrijving de hoofdtekst van dit rapport; onderstaand een impressie.



3.2Principe schets 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.

3.3Configuratie klemconstructie

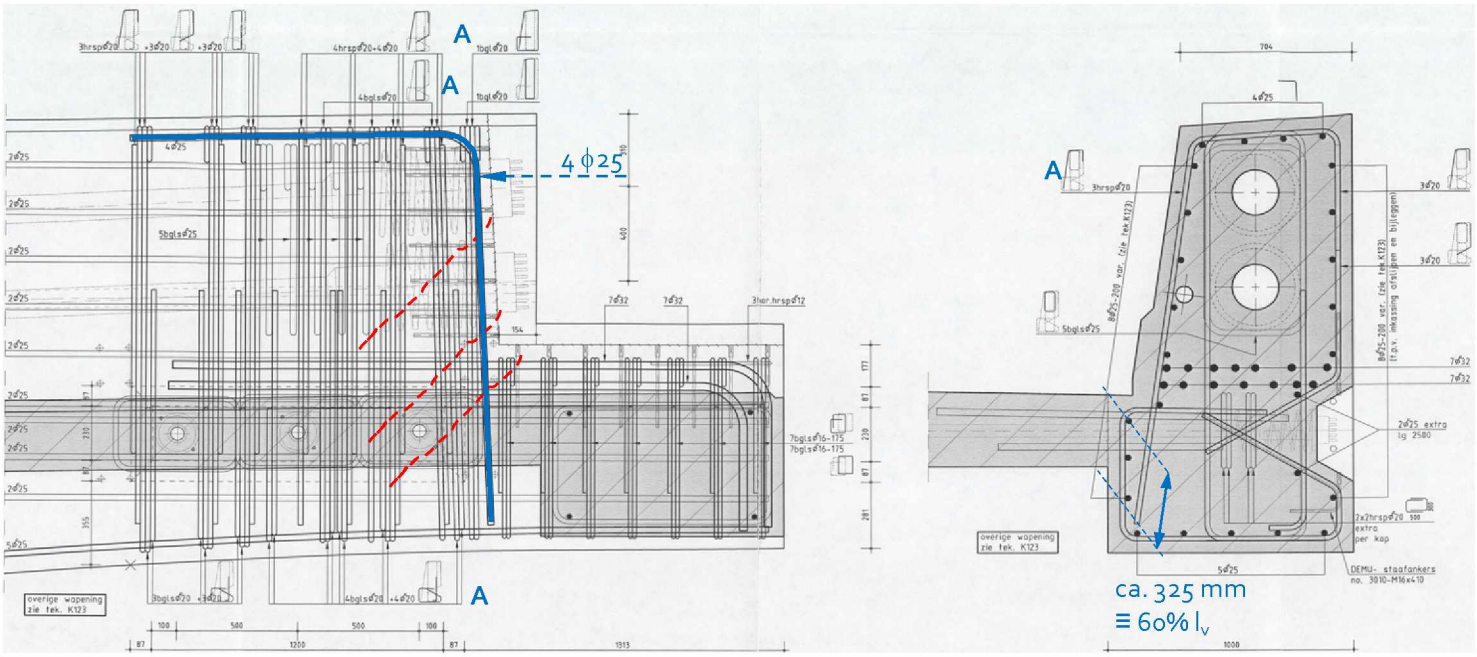
Rev. 2

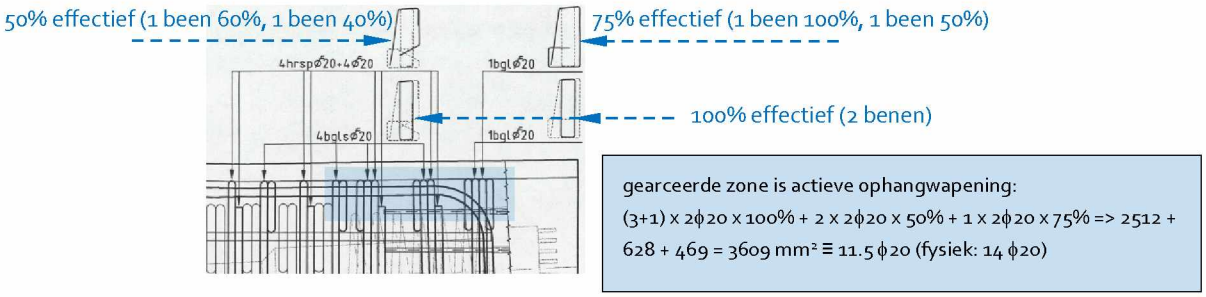
- Nominale klemkracht 2300 kN; mogelijke wisseling ca. +/- 200 kN tgv. temperatuur
  ⇨ maximale waarde 2500 kN (100%)
  ⇨ minimale waarde 2100 kN (84%)
  Aan onderzijde dek door evenaar 2:1 verdeeld => (2/3 ⇔ 1/3) x 2500 kN (2100 kN)
- Bovenplaat S = 500 mm afstand hart spanelement tot bovenhoek constructief 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 XF_4; 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.

Rev. 2 3.4 Wapening in zone klemconstructie/oplegnokken

Onderstaand is de randliggerwapening in de zone van de oplegnok weergegeven (tekening 'wapening landhoofd as 1 – doorsneden en details, tek.nr. K124 rev 1):

- Wapening niet in overeenstemming met onderliggende ontwerpberekening(en)
- Actieve ophangwapening ruim onvoldoende: effectieve doorsnede geschat op 11.5 ϕ20 (zie onder)
- Detaillering splijtwapening 5 ϕ25 tbv. langsvoorspanning niet correct (vorm, positie)
- Verticale kopsplijtwapening (4 ϕ25) uitgevoerd als schenkels => verticale haarspelden vereist
- Horizontale kopsplijtwapening lijkt te ontbreken
- e.e.a. nader beschreven in notitie Brug 2484 - Constructieve beschouwing bij schaderapport - dd 02-02-2022





gearceerde zone is actieve ophangwapening:
(3+1) x 2ϕ20 x 100% + 2 x 2ϕ20 x 50% + 1 x 2ϕ20 x 75% => 2512 + 628 + 469 = 3609 mm² ≡ 11.5 ϕ20 (fysiek: 14 ϕ20)

Rev. 2 volledig herzien

4. Belastingen in zone balkeinden en oplegnok

In de vorige revisie van deze betonbijlage waren belastingen vanuit het ingehangen trogliggerdek op de oplegnok gebaseerd op de waarden in de oorspronkelijke ontwerprapportages; deze waarden waren echter niet duidelijk herleidbaar.
In bijlage A van deze betonbijlage is daarom aan de hand van een SCIA model op basis van overeenkomstige uitgangspunten (NEN6700, verkeersklasse 45) een controleberekening uitgevoerd. De berekende maatgevende oplegreactie is ca. 10% hoger dan cf. de oorspronkelijke ontwerprapportage.
In Bijlage B is aan de hand van het genoemde SCIA model de maatgevende oplegreactie bepaald bij een lastbeperking tot 20 ton cf. NEN-EN 1991-2/NEN 8701; dat blijkt de grenswaarde voor mobiele belasting te zijn die toelaatbaar is bij toetsing op basis van UGT Verbouw voor de versterkte brug.
In Bijlage C is voor een conservatieve configuratie van 2+1 'zware' bussen met massa's van 24 ton op het trogliggerdek de maximale oplegreactie op de nokken bepaald en vergeleken met de maximale waarde bij lastbeperking '20 ton'; de waarden zijn vrijwel identiek, zodat geconcludeerd wordt dat de brug geschikt is voor gebruik door busverkeer.

In de zone van de oplegnokken zijn in hoofdzaak 3 verschillende belastingen aanwezig; zie ook de figuren op de volgende bladzijde.

<u>BGT</u>

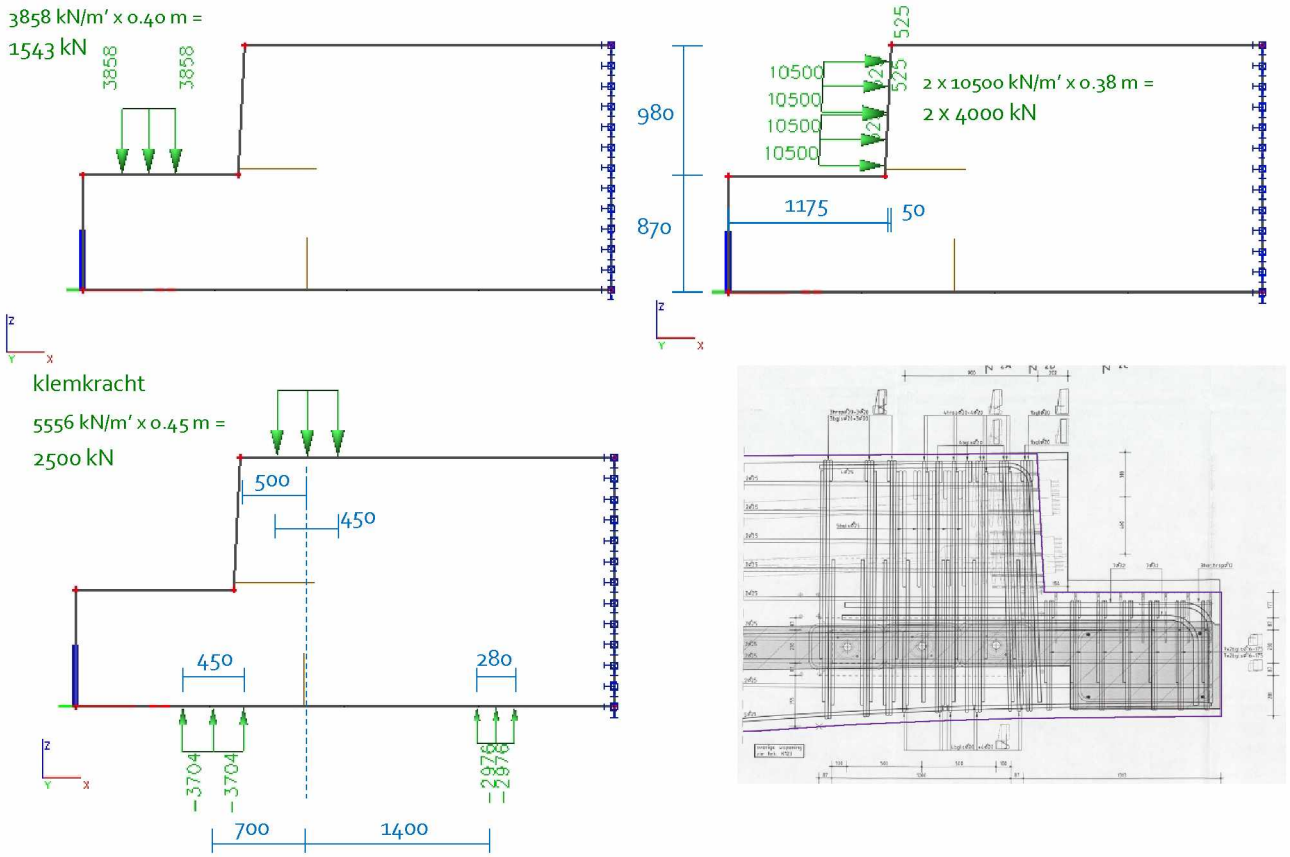
Belastingen in de voorziene situatie, met lastbeperking 20 ton cf. NEN 8701:

1. oplegkracht trogliggerdek; zie Bijlage B
   $F_{opl;EG+RB}$ = 1108 kN; $F_{mobiele\ belasting;\ '20\ ton'}$ = 435 kN (0.33 LM1 + fiets-/voetpad belasting) => resulteert $F_{v;res}$ = 1108 + 435 = 1543 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. bovengrens klemkracht 2500 kN bovenzijde, 1667 resp. 833 kN onderzijde als verdeelde belastingen over 0.45 m lengte (afmeting verdeelplaat in richting as brug) bij de maximale klemkracht;
   ondergrens klemkracht 2100 kN bovenzijde, 1400 resp. 700 kN onderzijde.

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 2300 kN wordt gedurende korte tijd met vijzels een kracht van 1.15 x 2300 = 2650 kN aangebracht
   - t.g.v. temperatuurwisselingen de klemkracht varieert: +/- 7% ≡ ca. +/- 200 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.
   De klemconstructie wordt voorzien van een load cell ('drukdoos') op elke spanstaaf (dmv. wifi uit te lezen; meetfrequentie tot 1 x per 3 minuten mogelijk), zodat afname van de spankracht geregistreerd wordt. Richtlijn: bij 10% afname van de nominale klemkracht bij referentietemperatuur dient te worden nagespannen; zie par. 5.2.

UGT

Bepaling rekenwaarde oplegkracht: zie Bijlage B

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} = 1858 kN (6.10a) rekenwaarde oplegkracht bij lastbeperking 20 ton cf. NEN 8701

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 (cf. oorspronkelijke ontwerpberekening)

5. Berekeningen van diverse belastingsituaties

5.1BGT

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:

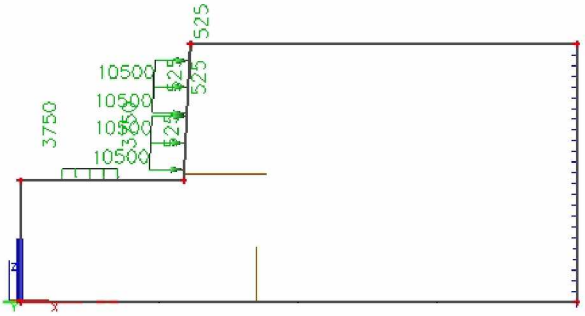
Rev. 2

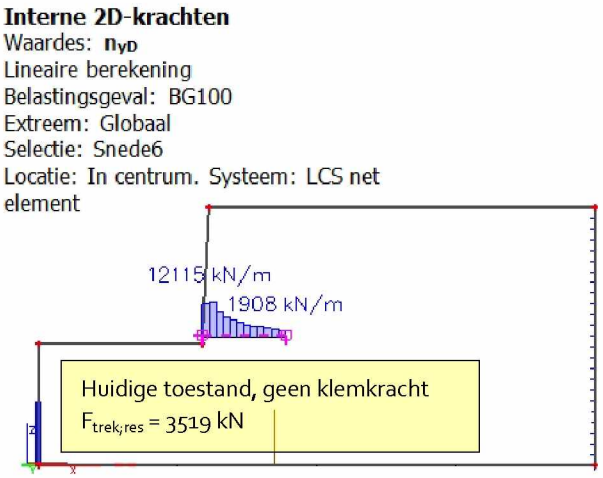
1. Huidige situatie met de oplegkracht vanuit het dek (F_z = 1500 kN ↓) op de nok, geen klemkracht en langsvoorspanning ($F_{vsp;x}$ = 2 x 4000 kN →); BGT – referentie, ter vergelijking
2. Situatie met bovengrens klemkracht 2500 kN, oplegkracht vanuit het dek (F_z = 1543 kN ↓) op de nok en langsvoorspanning ($F_{vsp;x}$ = 2 x 4000 kN →); BGT bij lastbeperking '20 ton'
3. Situatie met ondergrens klemkracht 2100 kN, oplegkracht vanuit het dek (F_z = 1543 kN ↓) op de nok en langsvoorspanning ($F_{vsp;x}$ = 2 x 4000 kN →); BGT bij lastbeperking '20 ton'
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

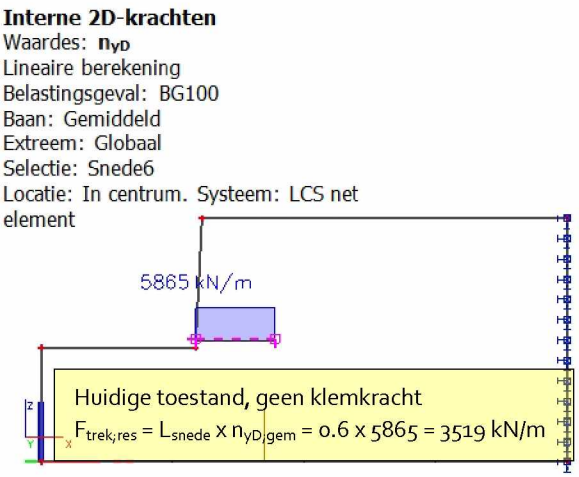
Geval 1:

- 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





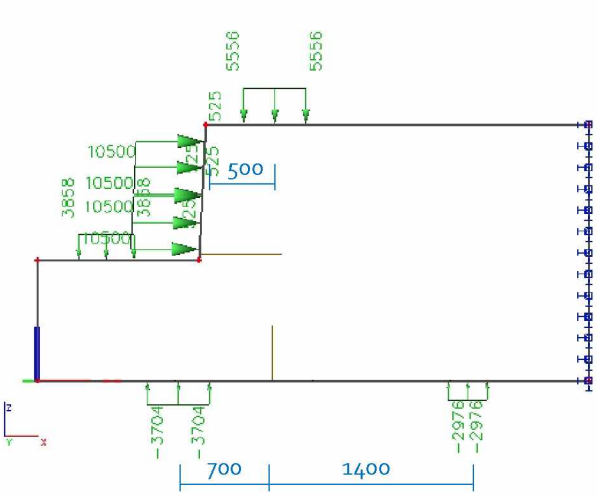


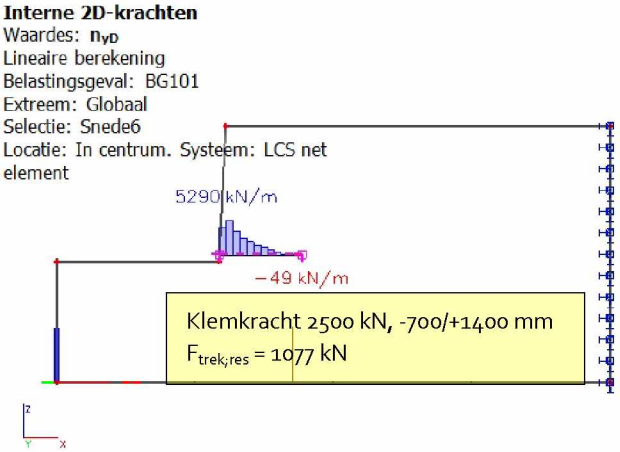
Beschouwing verschillende configuraties voor overdracht van de klemkracht en het effect op de kracht in de verticale trekband achter het spanvlak.

Geval 2:

- Verdeling verticale trekkracht in langsligger bij oplegnok
- Oplegkracht vanuit dek 0.4 x 3858 = 1543 kN; langsvoorspanning 2 x 0.38 x 10500 = 2 x 4000 kN; bovengrens klemkracht 0.45 m x 5555.6 kN/m' = 2500 kN

=> Resulterende verticale trekkracht $F_{trek;res}$ = 1077 kN

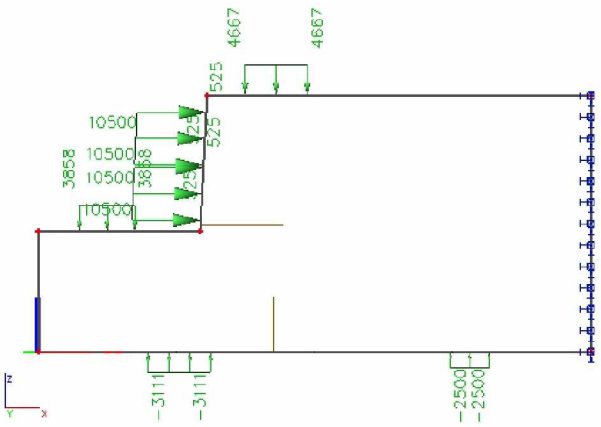


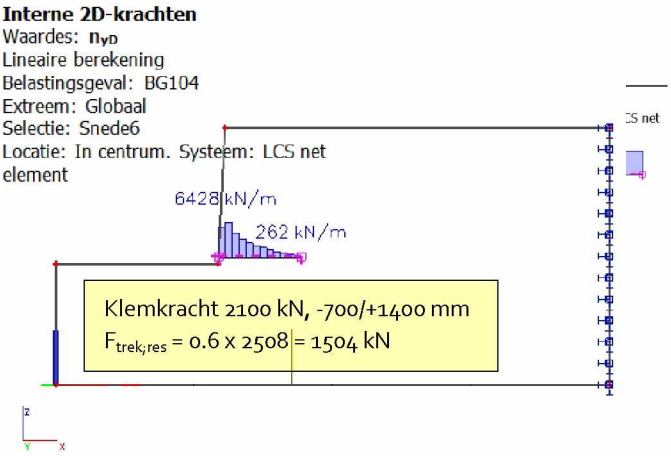


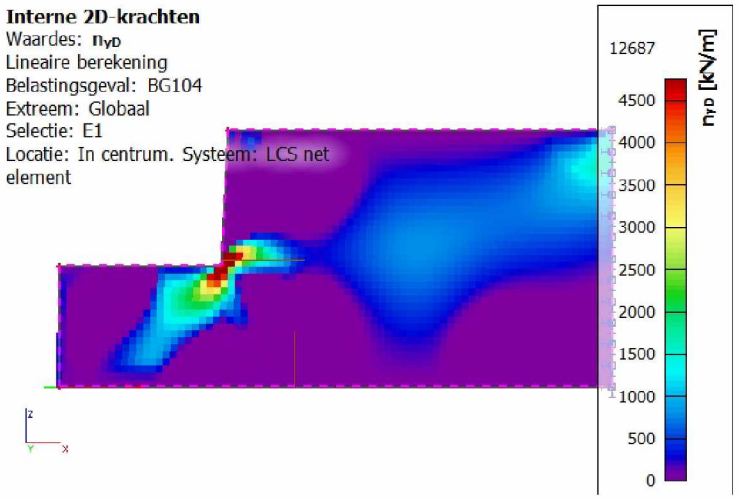
Geval 3:

- Als 2, met ondergrens klemkracht 2100 kN
- Verdeling verticale trekkracht in langsligger bij oplegnok
- Oplegkracht vanuit dek 0.4 x 3858 = 1543 kN; langsvoorspanning 2 x 0.38 x 10500 = 2 x 4000 kN; ondergrens klemkracht 0.45 m x 4666.7 kN/m' = 2100 kN

=> Resulterende verticale trekkracht $F_{trek;res}$ = 1504 kN (42% waarde bij huidige situatie, geval 1)



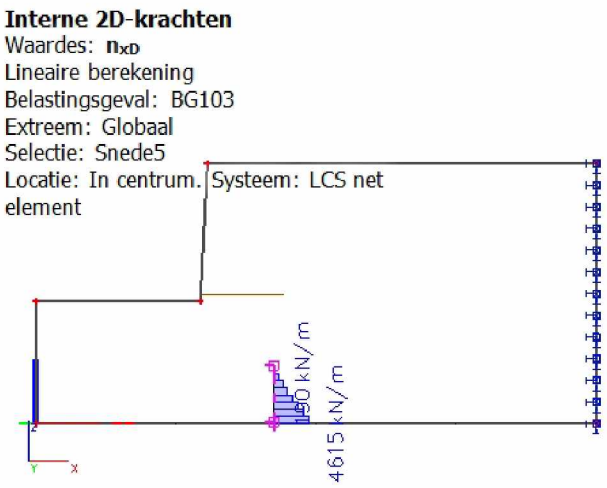




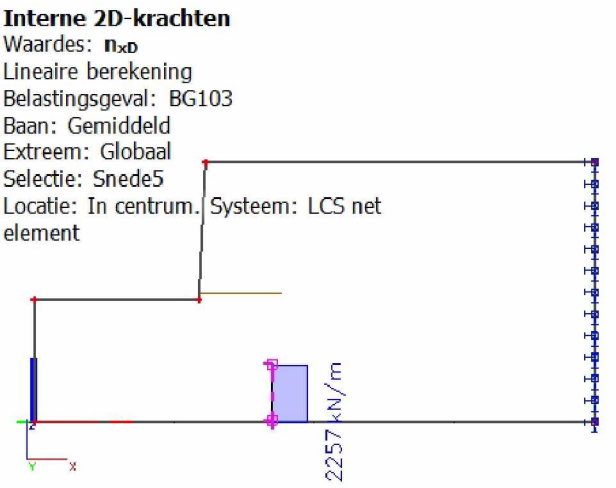
Bij een effectief aanwezige wapening van 11.5 ϕ20 (zie paragraaf 'ophangwapening') en 4 schenkels ϕ25 op de kop van de trogligger (de zone met verticale trekspanningen is beperkt tot een gebied rond de keel van de nok; het verticale been van de schenkels loopt ca. 700 mm door tot aan het ondervlak van de balk) levert de resterende trekkracht van 1504 kN een staalspanning van ca. 270 N/mm² op (de eerder genoemde kopsplijtkracht van 429 kN is hierin opgenomen). Bovenstaand op basis van de oplegkracht onder de karakteristieke belastingcombinatie; bij de oplegkracht onder de frequente belasting combinatie ($F_{opl;freq}$ = 1411 kN; niet gedocumenteerd) is de trekkracht 1205 kN en de staalspanning ca. 216 N/mm². 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 5556 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/mm² voldoet

5.2UGT

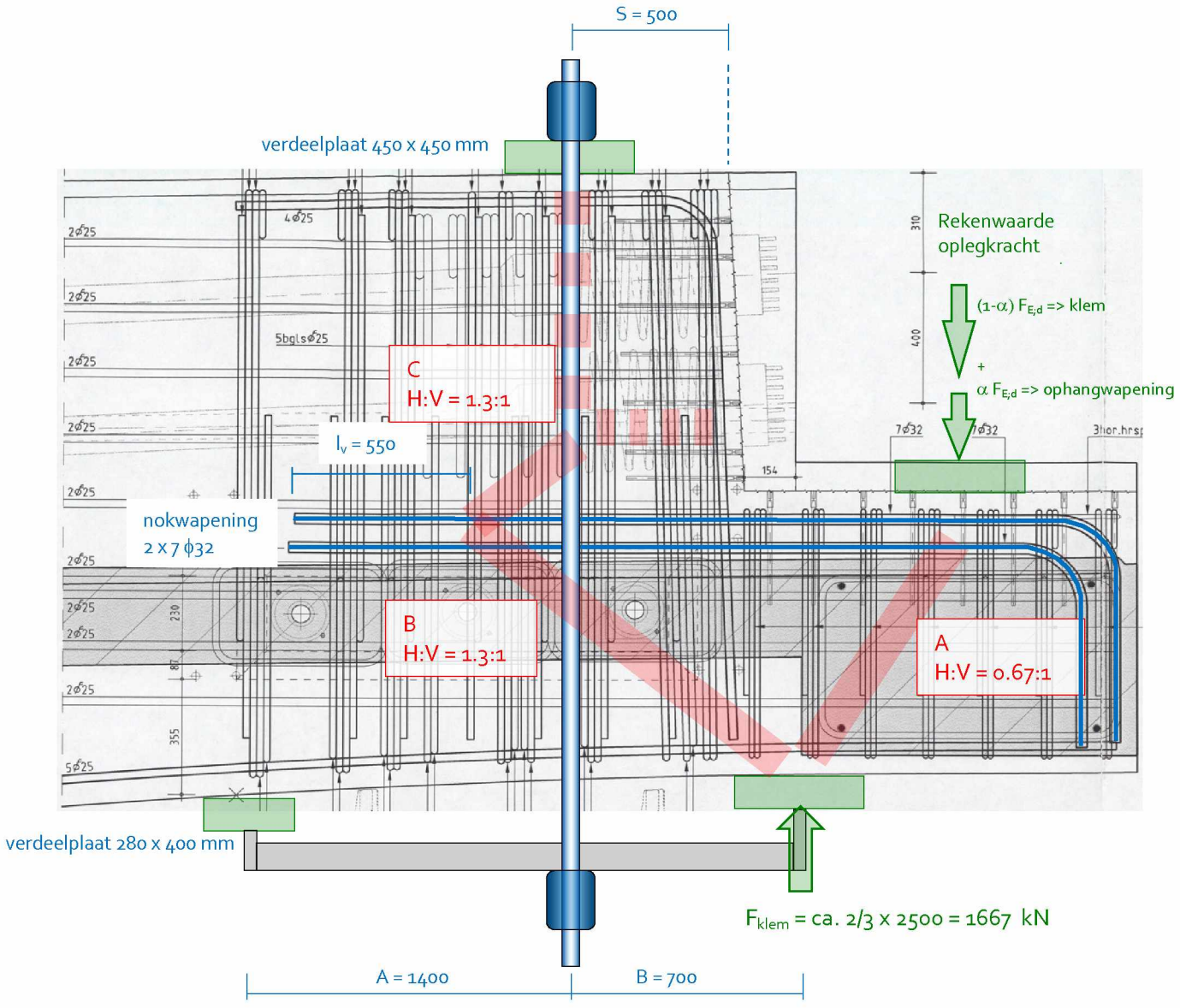
Beschouwing van het UGT-draagvermogen van het systeem.

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

Rev. 2

- Rekenwaarde oplegkracht vanuit het trogliggerdek op de nok F_{Ed} = 1858 kN, op basis van lastbeperking '20 ton' UGT Verbouw, zie Bijlage B
- Rekenwaarde verticale splijtkracht tgv. de excentrische ligging van de twee voorspankoppen $F_{kopspljt;d}$ = 429 kN (oorspronkelijke berekening)

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
$\Rightarrow (1 - \alpha) \times F_{E;d} = 1334$ kN (bij bovengrens klemkracht = 2500 kN)

Kracht in nokwapening is $N_{nokw;d;klem} = 1334$ kN $\times 0.67 = 889$ kN.

Afdracht via effectieve ophangwapening

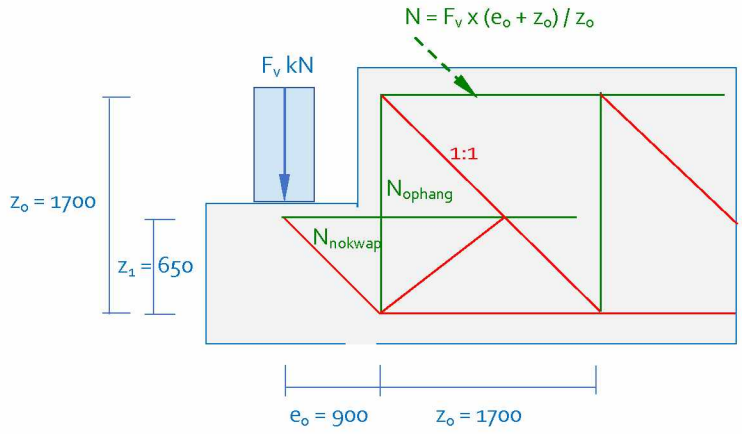
Het aandeel van de oplegkracht dat afgedragen kan worden door de effectieve ophangwapening wordt bepaald aan de hand van onderstaand vakwerkmodel. De ophangwapening wordt geacht ook de rekenwaarde van de kopsplijtkracht op te nemen.

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 $\Rightarrow$ resteert $1571 - 429 = 1142$ kN.

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

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



Resulterende toetsingen

Rev. 2

UGT capaciteit tav. opnemen oplegkracht op de nok bij bovengrens klemkracht 2500 kN is

$F_{R;d}$ = 1334 + 747 = 2081 kN > F_{Ed} = 1858 kN; uc = 0.89.

De kracht in de nokwapening is

$F_{nokw;d;ophang}$ = 747 kN x 0.90 / 0.65 = 1034 kN;
totale kracht in nokwapening is $N_{nokw;d}$ = 889 + 1034 = 1923 kN; toegepast 2 x 7 ϕ32 => F_{yd} = 14 x 804 x 435 ≡ 4896 kN; uc = 0.39.

UGT capaciteit tav. opnemen oplegkracht op de nok bij ondergrens klemkracht 2100 kN (= 2500 x (1 – 0.15); klemkracht varieert agv. temperatuurwisselingen dan is

$F_{R;d}$ = 1334 x (1.0 – 0.15) + 747 = 1881 kN > F_{Ed} = 1858 kN; uc = 0.99 ≈ 1.

Hiermee is de lastbeperking tot 20 ton onderbouwd.

Bepaling interventie niveau ('naspannen vereist')

Naast wisseling van de klemkracht tgv. temperatuurswisselingen kan de gemiddelde klemkracht afnemen tgv. tijdsafhankelijke effecten (krimp/kruip, vertraagd dichtdrukken van aanwezige scheuren oiv. de klemkracht). Als uitgangspunt wordt aangehouden dat het veiligheidsniveau niet onder UGT Gebruiksniveau komt (NEN 8701, tabel A2). De belastingfactor voor de dominante permanente belasting neemt dan af van 1.25 ('Verbouw') tot 1.15 ('Gebruik') ≡ 92%; voor variabele belasting van 1.25 tot 1.10 ≡ 88%. Conservatief ingeschat neemt de rekenwaarde van de oplegreactie daarmee af tot F_{Ed} = 0.92 x 1858 = 1709 kN (zie voorgaande).

$F_{R;d}$ = $F_{R;d;klem}$ + $F_{R;d;ophangw}$ = $F_{R;d;klem}$ + 747 kN ≥ F_{Ed} = 1709 kN => $F_{R;d;klem}$ ≥ 962 kN

De minimaal vereiste klemkracht is dan 962 / 1334 x 2500 kN = 1800 kN. De wisseling in klemkracht tgv. temperatuurwisselingen is +/- 200 kN, zodat de gemiddelde klemkracht ten minste 2000 kN moet bedragen. De klemkracht wordt dmv. loadcells gemonitord.

Rev. 3

De nominale klemkracht is vastgesteld op 2300 kN; voor het interventie niveau, waarbij het systeem moet worden nagespannen, wordt aangehouden een afname van de nominale klemkracht van 10% ≡ een actuele klemkracht van 2070 kN (bij een gemiddelde temperatuur van 10° +/- 5°). Bij een wisseling tgv. temperatuurwisseling van +/- 200 kN => interventiewaarde is 1870 kN, waarmee ca. 4% marge wordt aangehouden tov. bovengenoemde ondergrenswaarde ivm. meettolerantie loadcells.

6. Inleiding klemkracht op bovenzijde langsbalk

6.1 Algemeen

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).

6.2 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

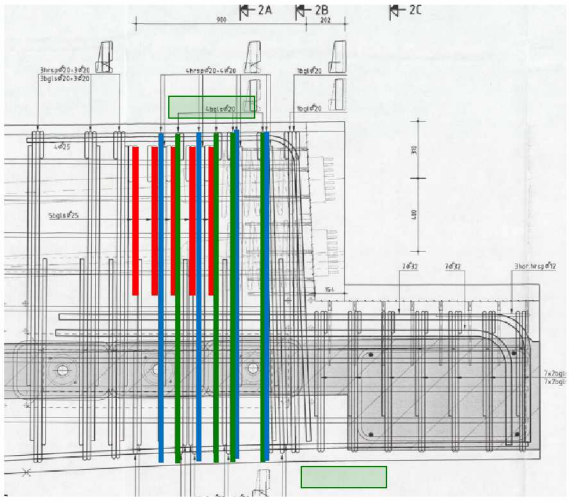
   Toetsing oplegdruk cf. NEN-EN 1992-1-1:2011/NB 2020 paragraaf 10.9.4.3 (7), voor de maatgevende voorste verdeelplaat op onderzijde langsbalk:

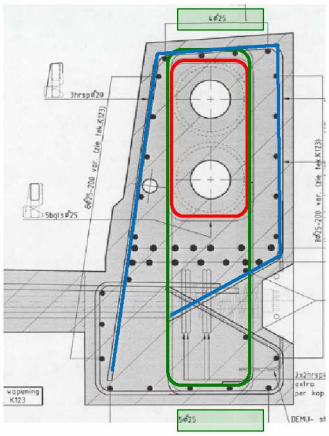
   $F_{klem;onder}$ = 2/3 x 2500 kN = 1667 kN; verdeelplaat 450 x 450 mm =>
   $\sigma_{opl;gem}$ = 8.2 N/mm² < 0.7 x 53 / $\gamma_{1.5}$ = 24.7 N/mm² (beton C53/65) voldoet.

   (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/mm²). 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 (cf. documentatie opgenomen in oorspronkelijke ontwerprapportages 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.

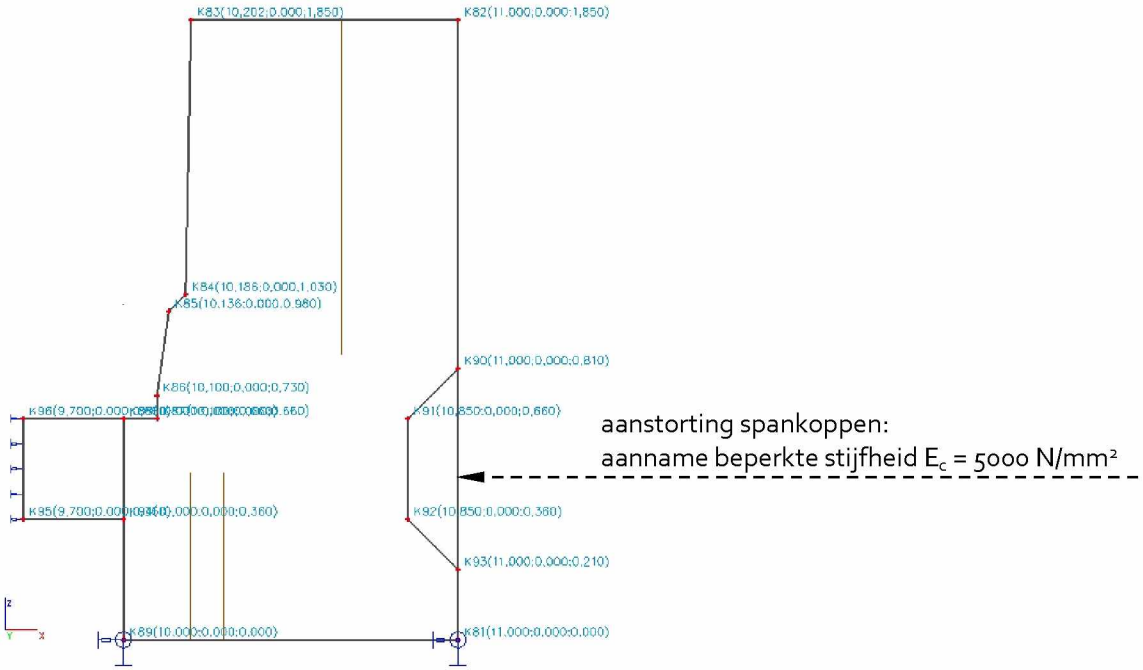


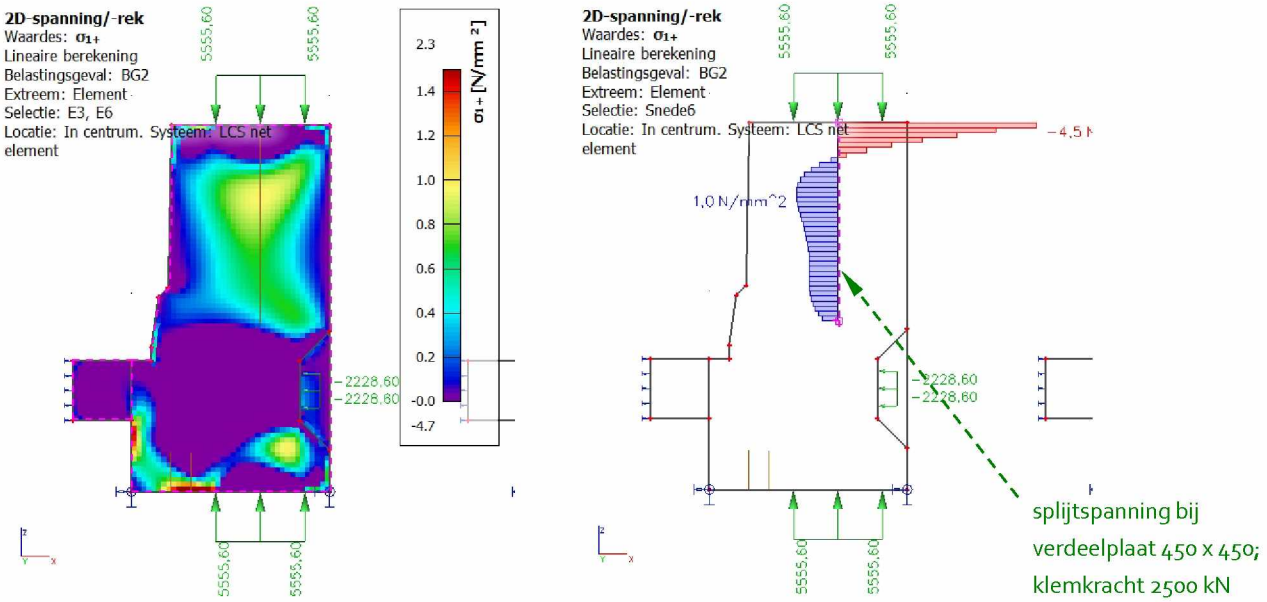


In het volgende worden de splijtspanningen ten gevolge van lokale krachtinleiding uit langsvoorspanning en klemkrachten beschouwd, mbv. twee SCIA modellen.

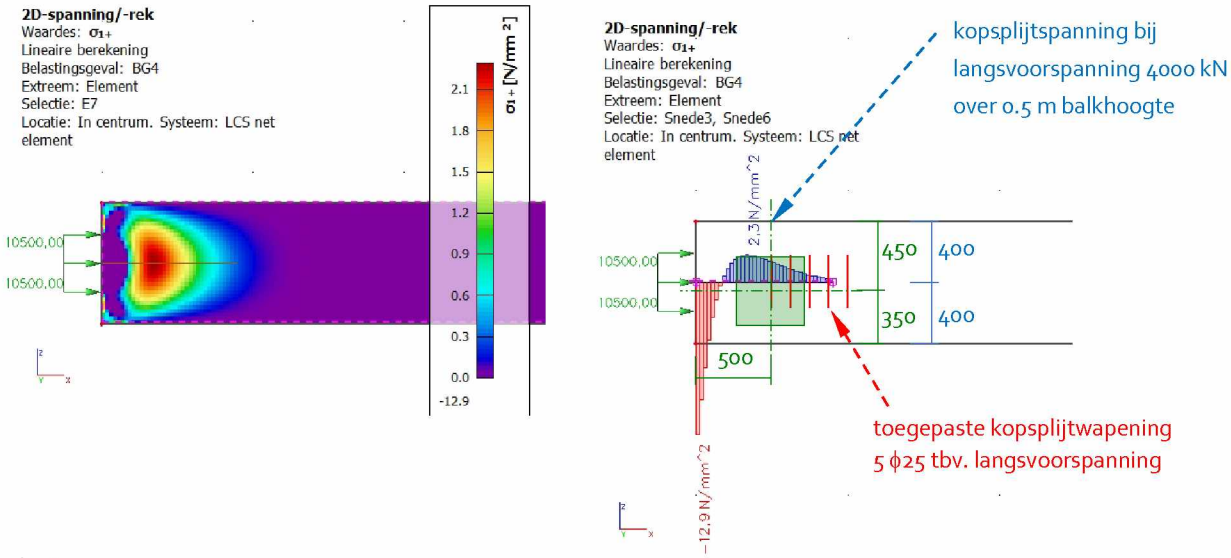
SCIA model tbv. bepaling splijtkrachten tgv. klemconstructie:

- 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:



Conclusie:

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.

6.3 Inleiding klemkracht (2) - verdeelplaat bovenzijde langsbalken met max 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).

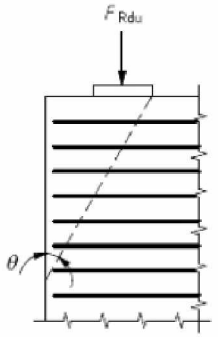
J.104.1 Oplegzones van bruggen

(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.



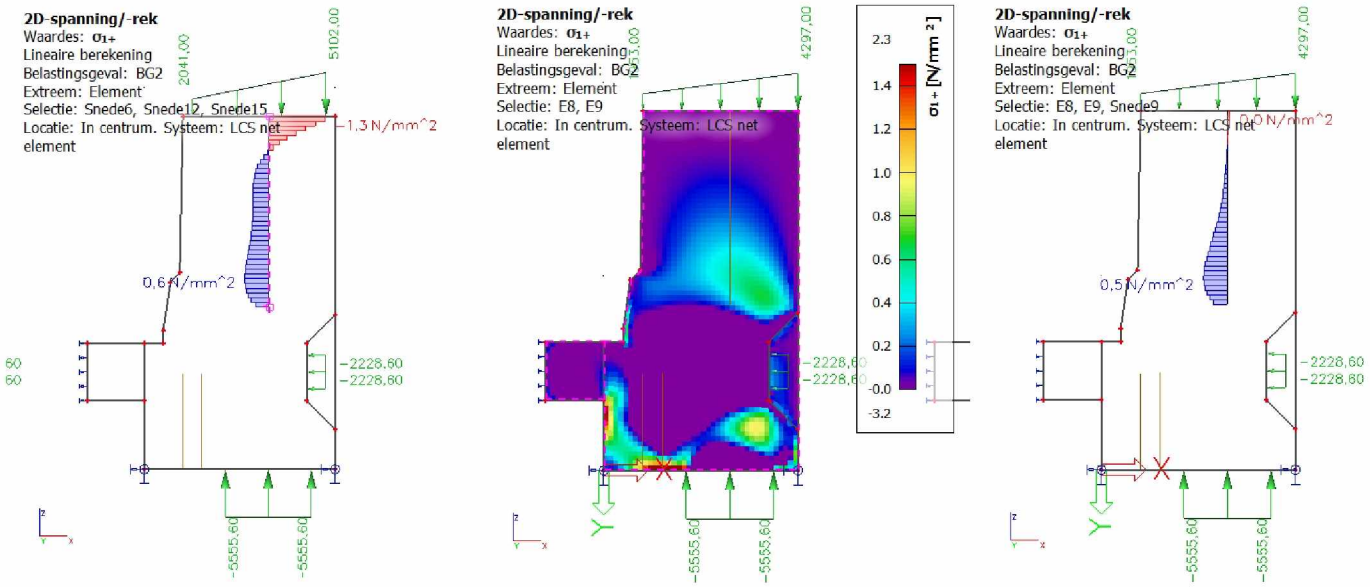
Figuur J.107 — Mechanisme van het afschuiven van een rand

(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:

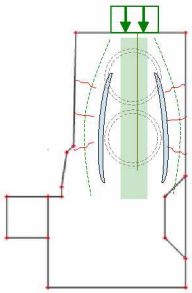
1. verdeelplaat bovenzijde met breedte B = 800 – 2 x 50 mm, waarbij de in voorgaande genoemde minimale afstand van 50 mm tot de vrije randen wordt aangehouden en
2. verdeelplaat bovenzijde met breedte B = 800 mm ≡ breedte bovenvlak, zonder rekening te houden met vellingkanten

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.



Rev. 2

Keuze (hangende aangevraagde 2nd opinion):

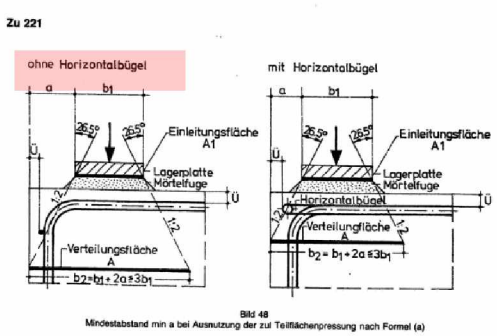
toepassing van verdeelplaten met een beperkte breedte van 450 mm op de langsbalken

6.4 Toetsing randafstand verdeelplaten bovenzijde

Rev. 2

Onderstaand wordt de kleinste randafstand (tot zijvlak langsbalk) van de verdeelplaat aan de bovenzijde beschouwd in relatie tot de toelaatbare oplegdruk:

- $N_{klem;max}$ = ca. 2500 kN (bovengrens maatgevend)
- Verdeelplaat L x B = 450 x 450 mm => oplegdruk = 12.3 N/mm²
- 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/mm² => 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/mm²; spreidingsoppervlak A wordt begrensd door een gebied 125 mm rond de contour verdeelplaat => A = (450 + 2 x 125) x (450 + 2 x 125) = 490000 mm²; lastvlak A_1 = 450 x 450 = 202500 mm², zodat geldt zul σ = MIN (30 / 2.1 x √(490000/202500); 1.4 x 30) = MIN (22.2; 42) = 22.2 N/mm² => uc = 12.3 / 22.2 = 0.55 voldoet



8 - Ebr. in Massiv- und Verbundbauweise Seite 171 Abs. 221 und 222

Ergänzungen zu DIN 1075 - Betonbrücken

221 - Bei der Anwendung der DIN 1075 für Eisenbahnbrücken sind die nachfolgenden Ergänzungen zu beachten:

- Zu **Abschnitt 7** - Stützen, Pfeiler, Widerlager und Fundamente:
  Für die Nachweise in der Gründungsfuge ist DIN 1054 zu beachten.
- Zu **Abschnitt 8** - Übertragung von konzentrierten Lasten:
  Wird die zulässige Pressung für Teilflächenbelastung nach der Gleichung

$$zul\sigma = \frac{\beta_R}{2,1} \cdot \sqrt{\frac{A}{A_1}} \leq 1{,}4 \cdot \beta_R \qquad (a)$$

zugrunde gelegt, ist der Randabstand a so zu wählen, daß die Ausstrahlung 1 : 2, von der Unterkante der Lagerplatte ausgehend, die Bewehrung schneidet (vgl. Bild 48).

Liegt die Ausstrahlung außerhalb der Bewehrung, darf die vorhandene Pressung nachstehenden Wert nicht überschreiten:

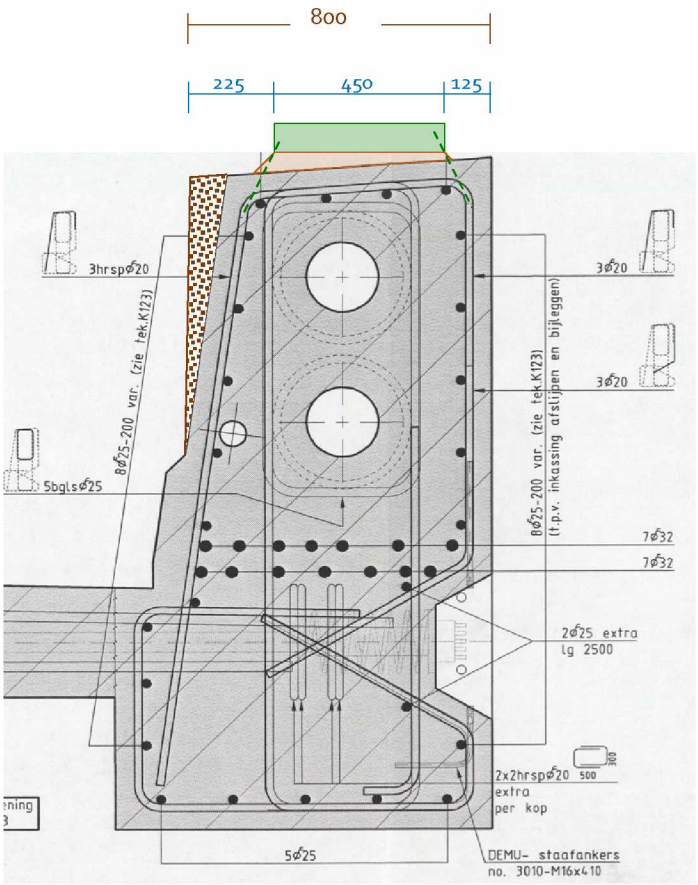
$$zul\ \sigma_1 = \beta_R / 2{,}1 \qquad (b)$$

Bei Lagerplatten am Betonrand darf der Randabstand a in keinem Fall kleiner als 5 cm sein.

Die Einleitungsfläche A_1, in der die Teilflächenpressung σ_1 nachzuweisen ist, ist in der Berührungsfuge zwischen Lagerplatte und Mörtelfuge anzunehmen (vgl. Bild 49).

Ist der resultierende Auflagerdruck schräg, so ist für die Ermittlung von σ nur die Normalkomponente N zu berücksichtigen; die Aufnahme der Tangentialkomponente und ihre Weiterleitung im Beton sind nachzuweisen.

Betonfestigkeitsklasse	B15	B25	B35	B45	B55
Rechenwert der Betondruckfestigkeit β_R in MN/m²	10,5	17,5	23,0	27,0	30,0
Umrechnungsfaktor β_S/β_R	21,0	12,6	9,6	8,1	7,3

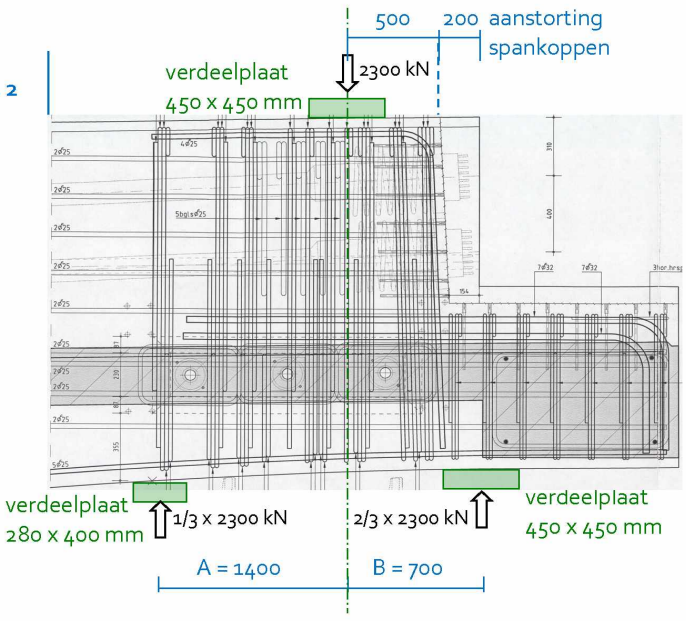


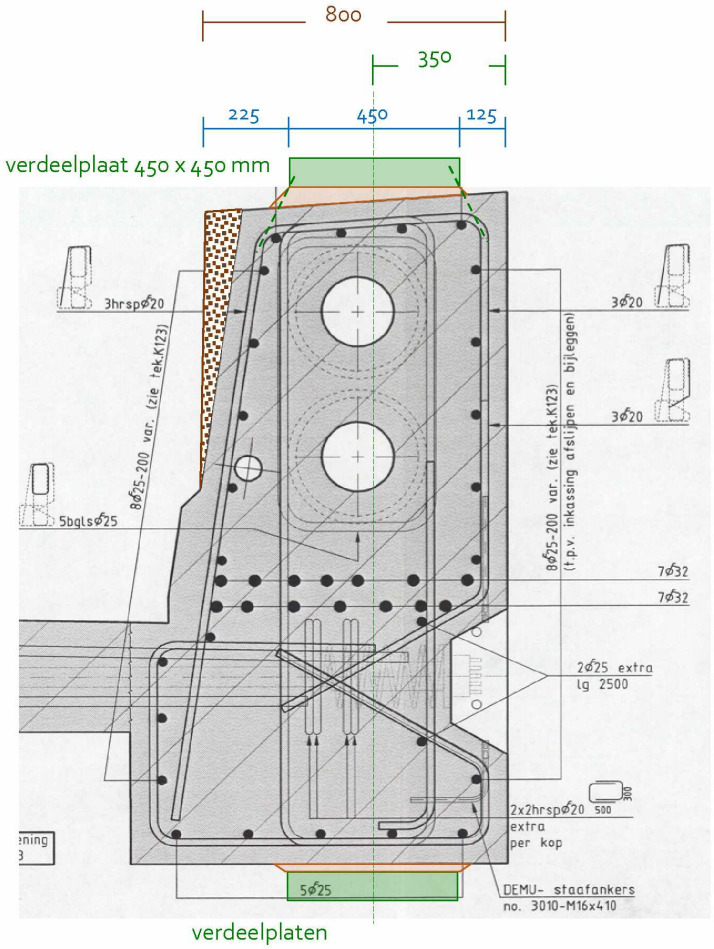
7. Overzicht

Rev. 2

- Klemkracht nominaal 2300 kN => aan onderzijde door evenaar 2:1 verdeeld => (2/3 ⇔ 1/3) x 2300 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/mm².

Rev. 2





8. Aandachtspunten en risico's

8.1 Aandachtspunten

Rev. 2
- Er wordt voor de brug een lastbeperking tot 20 ton voorgeschreven via bebording (bord C21) als aangegeven in NEN 8701, bijlage B; dit betekent geen beperking tav. het functioneren als busbrug, zie Bijlage C
- 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

Rev. 2

tgv. het zetten van de ankers; de maximale voorspankracht is dan 2300 x 1.15 = 2645 kN.
- Om de klemkracht bij temperatuurwisselingen binnen de beschouwde grenzen (2100 ≤ $F_{klem;nom}$ = 2300 kN ≤ 2500 kN) te handhaven dient het voor- of naspannen van de klemmen te gebeuren bij een gemiddelde buitentemperatuur T_{ref} = 10° +/- 5° C en bewolkt weer (geen opwarming staalwerk door directe zonbestraling).

Rev. 2
- De klemkracht wordt gemonitord door toepassing van load cells bij elke spanstaaf: een eventuele afname van de klemkracht wordt geregistreerd.

Richtlijn voor naspannen:

Rev. 2

Rev. 3

1. naspannen vereist bij ≥ 10% afname van de nominale klemkracht (2300 kN) bij de gemiddelde buitentemperatuur T_{ref} = 10° +/- 5° C; de interventiewaarde klemkracht voor naspannen is 1870 kN (zie paragraaf 5.2)
2. de klemkracht wordt gemonitord dmv. load cells aangebracht op elke spanstaaf; de gemeten krachten in de spanstaven dienen zorgvuldig vertaald te worden naar de overeenkomstige klemkracht op de constructie (zie punt 1)
3. te zijner tijd beëindigen van de monitoring, na gebleken stabiel gedrag van het systeem, in overleg met constructeur te besluiten

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

8.2 Risico's

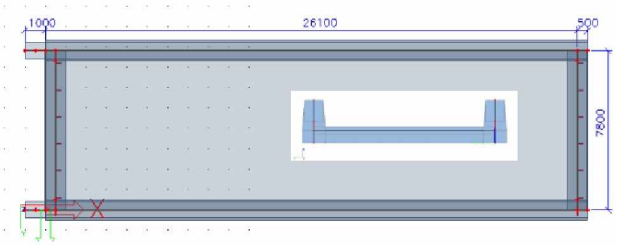
- Het aanbrengen van de voorgespannen klemconstructie op de einden van de langsliggers betekent een nieuwe belasting op de constructie die leidt tot bijkomende splijtkrachten in dwarsrichting in de eindzone van de langsbalken, zonder dat de daarvoor cf. regelgeving gedimensioneerde en uitgevoerde wapening 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.

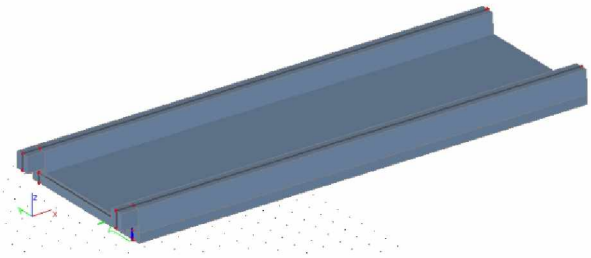
Rev. 2

Bijlage 1 Controle oplegreacties oorspronkelijke ontwerpberekening

In deze bijlage wordt aan de hand van een SCIA model een controleberekening uitgevoerd op de oplegreacties op de nok vanuit het trogliggerdek, zoals bepaald in de oorspronkelijke ontwerpberekeningen op basis van NEN6723:1995.

SCIA model:





Belastingen (zie figuren op de volgende bladzijde)

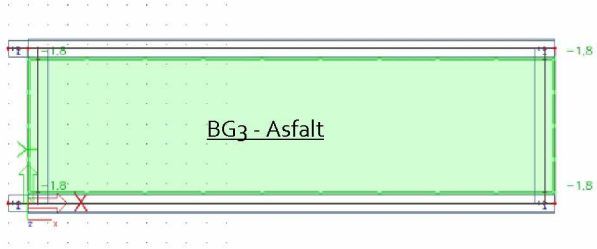
BG1: EG door programma
BG2: correctie belasting ivm. overlappende plaatdelen (vloerdikte 0.335 m x 25 kN/m³ = 8.8 kN/m²
BG3: Asfalt 70 mm => 1.75 kN/m²
BG4: Rustende belasting: fiets- en voetpad (cf. oorspronkelijke ontwerpberekening)
BG10: Mobiele belasting klasse 45: 2 x 3 aslasten 150 kN hoh. 1.0 – 4.0 m x dynamische factor $C_{1.15}$; dynamische factor $C_{1.15}$ cf. oorspronkelijke ontwerpberekening
BG11: Mobiele belasting klasse 45: 2 x q-last 3 kN/m² x 3 m x dynamische factor $C_{1.15}$
BG12: Mobiele belasting voetpad op basis van 3 kN/m² (cf. oorspr. ontwerpberekening);
BG13: Mobiele belasting fietspad op basis van 3 kN/m² (cf. oorspr. ontwerpberekening);

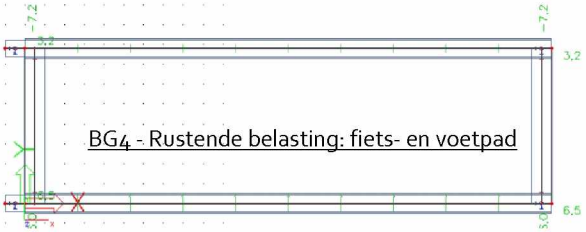
Belastingcombinatie BGT Incidenteel:
1.0 x (BG1 + BG2 + BG3 + BG4) + 80% x (BG10 + BG11) + 50% x (BG12 + BG13)

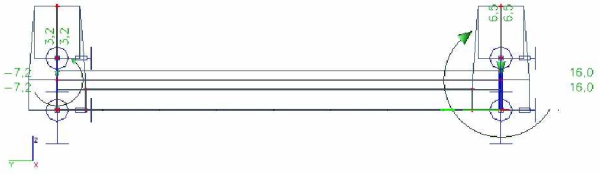
Belastingcombinatie UGT Fundamenteel:
1.5 x (BG1 + BG2 + BG3 + BG4) + 1.5 x 80% x (BG10 + BG11) + 1.5 x 50% x (BG12 + BG13)

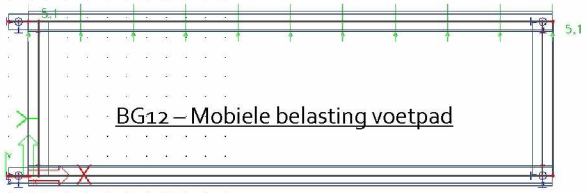
Combinaties

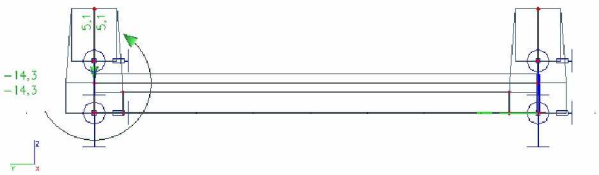
Combi	Norm	BG	coëff
1.	Eigen - BGT	1 Rusterde belasting	1.00
		2 fietspad permanent	1.00
		3 voetpad permanent	1.00
		6 Laststelsel 1 Mmax	0.80
		7 Laststelsel 2 Rmax	0.80
		8 Laststelsel 3 Mmax	0.80
		9 Fietsped q-mob	0.50
		10 Voetpad q-mob	0.50
		5 voorspanning t = 0	1.00
		21 Eigen gewicht	1.00
3.	Eigen - UGT	5 voorspanning t = 0	1.20
		21 Eigen gewicht	0.90
4.		1 Rustende belasting	1.50
		2 fietspad permanent	1.50
		3 voetpad permanent	1.50
		4 voorspanning t=oneind	1.00
		6 Laststelsel 1 Mmax	1.20
		7 Laststelsel 2 Rmax	1.20
		8 Laststelsel 3 Mmax	1.20
		9 Fietspad q-mob	0.75
		10 Voetpad q-mob	0.75
		21 Eigen gewicht	1.50


BG3 - Asfalt

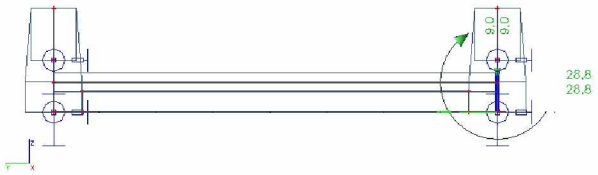

BG4 - Rustende belasting: fiets- en voetpad




BG12 – Mobiele belasting voetpad



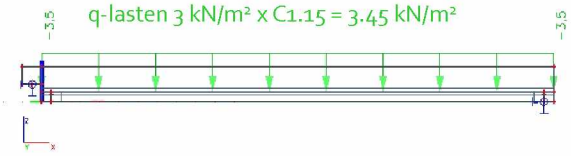

BG13 – Mobiele belasting fietspad




BG10 – Aslasten klasse 45 x C1.15

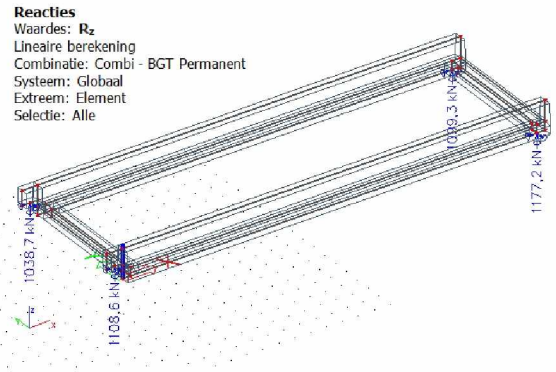

lijnlasten 150 kN / 2 m x C1.15 = 86.3 kN/m

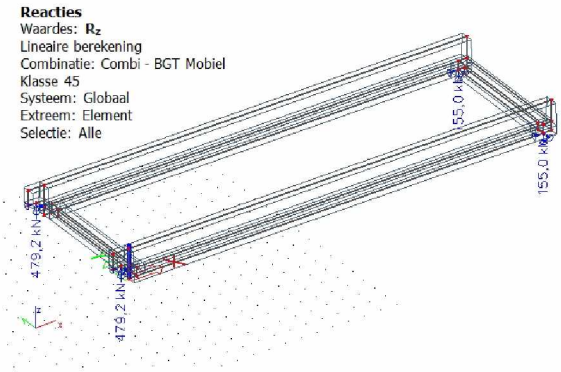

BG11 – q-last klasse 45 x C1.15

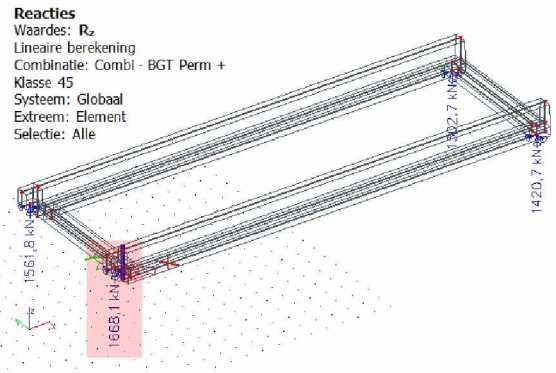

q-lasten 3 kN/m² x C1.15 = 3.45 kN/m²

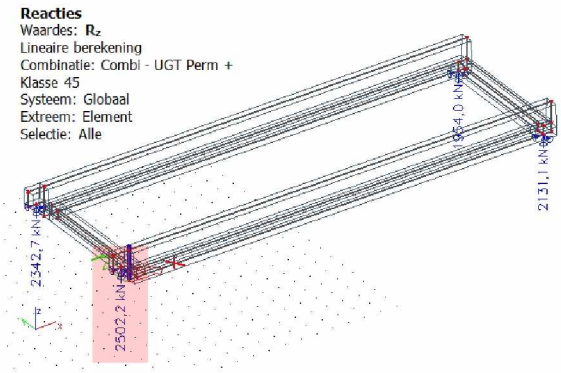
Resulterende oplegreacties:

- alleen permanente belasting $F_{v;perm}$ = 1108 kN (oorspr. berekening: 1074 kN)
- alleen mobiele belasting klasse 45 $F_{v;klasse\ 45}$ = 479 kN (oorspr. berekening: ?)
- combinatie BGT Incidenteel $F_{v;BGT}$ = 1668 kN (oorspr. berekening: 1500 kN)
- combinatie UGT Fundamenteel $F_{v;UGT}$ = 2502 kN (oorspr. berekening: ?)





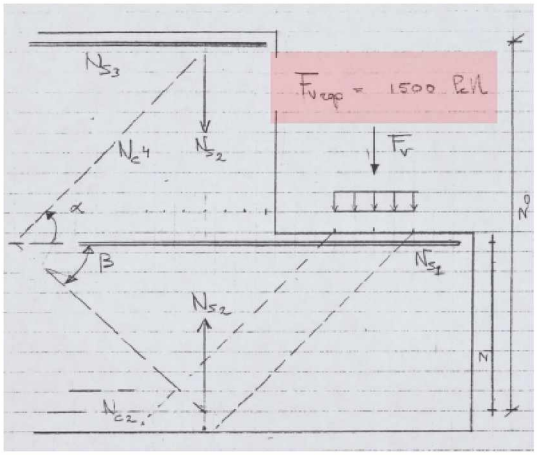




Conclusie

mbt. oplegreacties op de nokken van het westelijke landhoofd:

maatgevende oplegreactie cf. uitgangspunten oorspronkelijke ontwerpberekening (verkeersklasse 45): $F_{v;rep}$ = 1668 kN; oorspronkelijke berekening: 1500 kN => resultaat controleberekening is ca. 10% hoger. De onderbouwing in de oorspronkelijke berekeningen is onduidelijk, de oorzaak van het verschil ligt wschl. in de verwerking van de verkeersbelastingen.

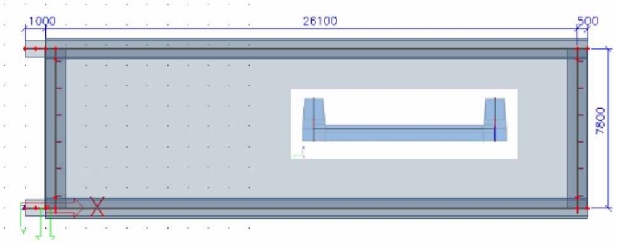


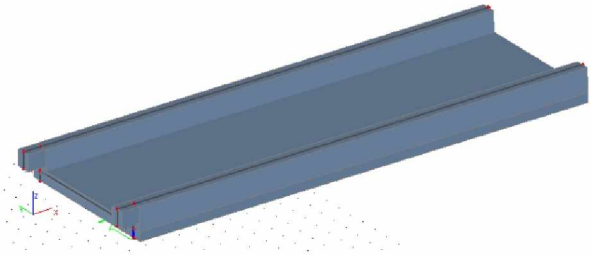
Rev. 2

Bijlage 2 Bepaling oplegreacties bij lastbeperking 20 ton

In deze paragraaf worden de maatgevende oplegreacties BGT/UGT bepaald aan de hand van een SCIA model tbv. herberekening van de oplegnok cf. Eurocode / NEN 8700 op basis van een lastbeperking tot 20 ton.

SCIA model:





Belastingen (zie figuren op de volgende bladzijde)

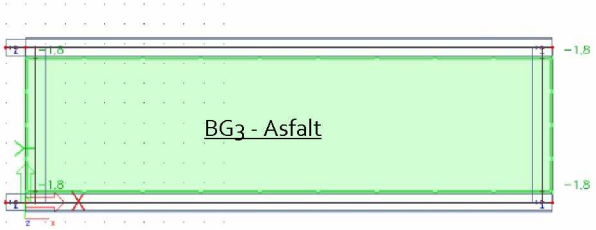
BG1: EG door programma
BG2: correctie belasting ivm. overlappende plaatdelen (vloerdikte 0.335 m x 25 kN/m³ = 8.8 kN/m²
BG3: Asfalt 70 mm => 1.75 kN/m²
BG4: Rustende belasting: fiets- en voetpad (cf. oorspronkelijke ontwerpberekening)
BG12: Mobiele belasting voetpad in SCIA model op basis van 3 kN/m² (cf. oorspr. ontwerpberekening);
q_{fk} = 2 + 120/(L + 30) kN/m² = 3.5 kN/m² (NEN-EN 1991-2, 5.3.2.1; fiets-/voetpad over L = 50 m);
in combinaties wordt een correctiefactor 3.5 / 3.0 toegepast
BG13: Mobiele belasting fietspad op basis van 3 kN/m² (cf. oorspr. ontwerpberekening);
zie BG12: in combinaties wordt een correctiefactor 3.5 / 3.0 toegepast
BG20: Verkeersbelasting LM1 - 2 aslasten 300 kN => lijnlasten over 2 m lengte 150 kN/m'
- 2 aslasten 200 kN => lijnlasten over 2 m lengte 100 kN/m'
in combinaties wordt een factor α_{C21} = 0.33 toegepast ivm. lastbeperking tot 20 ton
maatgevend: zwaarste aslasten (rijstrook nr. 1) aan zijde fietspad, bij einde dek
BG21: Verkeersbelasting LM1 - gelijkmatig verdeelde belasting α_{C21} x 9 kN/m² over 3 m breedte
BG22: Verkeersbelasting LM1 - gelijkmatig verdeelde belasting 2.5 kN/m² over 3 m breedte

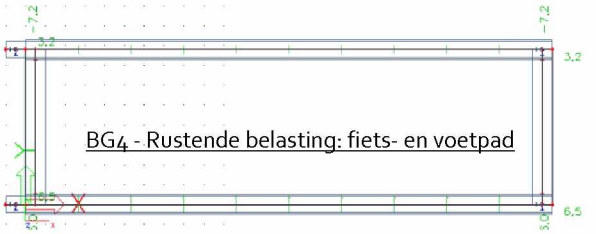
Belastingcombinatie BGT-karakteristiek:
1.0 x (BG1 + BG2 + BG3 + BG4) + $\psi_{0.8}$ x 3.5/3.0 x (BG12 + BG13) + 1.0 x (0.33 x (BG20 + BG21) + BG22)

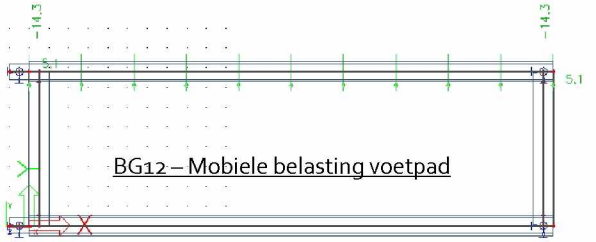
Belastingcombinatie UGT 'verbouw', combinatie 6.10a maatgevend (NEN 8700, tabel A2.2, CC2):
1.25 x (BG1 + BG2 + BG3 + BG4) + $\psi_{0.8}$ x 3.5/3.0 x 1.25 x (BG12 + BG13) + $\psi_{0.8}$ x 1.25 x (0.33 x (BG20 + BG21) + BG22)

1. Combinaties

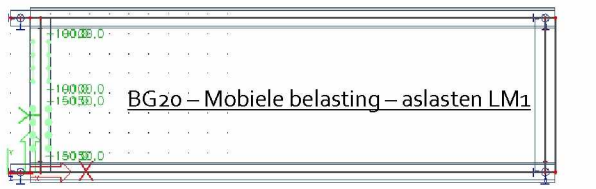
Naam	Type	Belastingsgevallen	Coeff. [-]
Combi - BGT Permanent	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1,00
		BG2 - Compensatie eigengewicht overlappende plaatdelen	1,00
		BG3 - Rustende belasting - asfalt	1,00
		BG4 - Rustende belasting - voetpad en fietspad	1,00
Combi - BGT Mobiel Klasse 45	Omhullende - bruikbaarheid	BG10 - Mobiele belasting Klasse 45 - 2 x 3 aslasten x C1.15	0,80
		BG11 - Mobiele belasting Klasse 45 - 2 x (3 kN/m2 x 3 m) x C1.15	0,80
		BG12 - Mobiele belasting - voetpad - 3 kN/m2	0,50
		BG13 - Mobiele belasting - fietspad - 3 kN/m2	0,50
Combi - BGT Perm + Klasse 45	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1,00
		BG2 - Compensatie eigengewicht overlappende plaatdelen	1,00
		BG3 - Rustende belasting - asfalt	1,00
		BG4 - Rustende belasting - voetpad en fietspad	1,00
		BG10 - Mobiele belasting Klasse 45 - 2 x 3 aslasten x C1.15	0,80
		BG11 - Mobiele belasting Klasse 45 - 2 x (3 kN/m2 x 3 m) x C1.15	0,80
		BG12 - Mobiele belasting - voetpad - 3 kN/m2	0,50
		BG13 - Mobiele belasting - fietspad - 3 kN/m2	0,50
Combi - BGT Mobiel LM1	Omhullende - bruikbaarheid	BG20 - Mobiele belasting LM1 - 2 x 2 aslasten	1,00
		BG21 - Mobiele belasting LM1 - (9 kN/m2 x 3 m)	1,00
		BG22 - Mobiele belasting LM1 - (2.5 kN/m2 x 3 m)	1,00
Combi - BGT Mobiel LM1 20 ton	Omhullende - bruikbaarheid	BG20 - Mobiele belasting LM1 - 2 x 2 aslasten	0,33
		BG21 - Mobiele belasting LM1 - (9 kN/m2 x 3 m)	0,33
		BG22 - Mobiele belasting LM1 - (2.5 kN/m2 x 3 m)	1,00
Combi - BGT Perm + LM1	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1,00
		BG2 - Compensatie eigengewicht overlappende plaatdelen	1,00
		BG3 - Rustende belasting - asfalt	1,00
		BG4 - Rustende belasting - voetpad en fietspad	1,00
		BG12 - Mobiele belasting - voetpad - 3 kN/m2	0,93
		BG13 - Mobiele belasting - fietspad - 3 kN/m2	0,93
		BG20 - Mobiele belasting LM1 - 2 x 2 aslasten	1,00
		BG21 - Mobiele belasting LM1 - (9 kN/m2 x 3 m)	1,00
		BG22 - Mobiele belasting LM1 - (2.5 kN/m2 x 3 m)	1,00
Combi - BGT Kar - 0.33 x LM1 (20 ton)	Omhullende - bruikbaarheid	BG1 - Eigen gewicht	1,00
		BG2 - Compensatie eigengewicht overlappende plaatdelen	1,00
		BG3 - Rustende belasting - asfalt	1,00
		BG4 - Rustende belasting - voetpad en fietspad	1,00
		BG12 - Mobiele belasting - voetpad - 3 kN/m2	0,93
		BG13 - Mobiele belasting - fietspad - 3 kN/m2	0,93
		BG20 - Mobiele belasting LM1 - 2 x 2 aslasten	0,33
		BG21 - Mobiele belasting LM1 - (9 kN/m2 x 3 m)	0,33
		BG22 - Mobiele belasting LM1 - (2.5 kN/m2 x 3 m)	1,00
Combi - UGT Verbouw - 0.33 x LM1 (20 ton)	Omhullende - uiterst	BG1 - Eigen gewicht	1,25
		BG2 - Compensatie eigengewicht overlappende plaatdelen	1,25
		BG3 - Rustende belasting - asfalt	1,25
		BG4 - Rustende belasting - voetpad en fietspad	1,25
		BG12 - Mobiele belasting - voetpad - 3 kN/m2	1,17
		BG13 - Mobiele belasting - fietspad - 3 kN/m2	1,17
		BG20 - Mobiele belasting LM1 - 2 x 2 aslasten	0,33
		BG21 - Mobiele belasting LM1 - (9 kN/m2 x 3 m)	0,33
		BG22 - Mobiele belasting LM1 - (2.5 kN/m2 x 3 m)	1,00

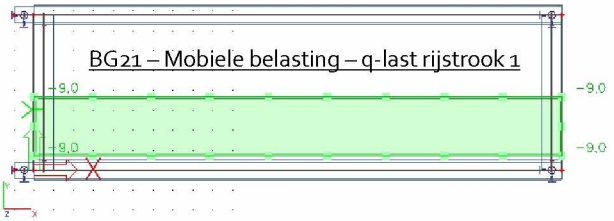


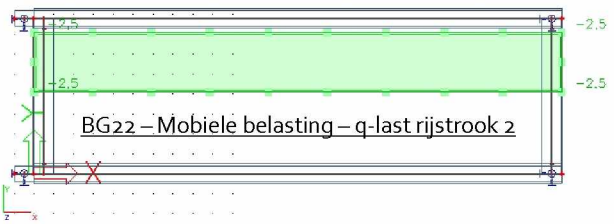


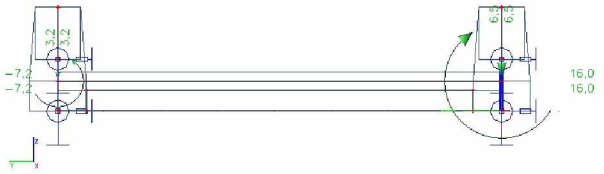


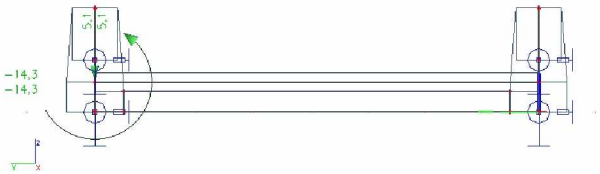


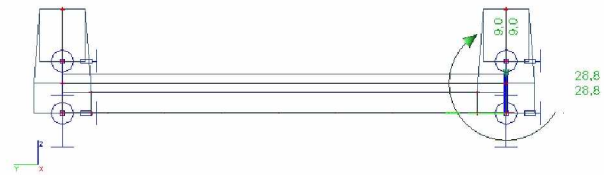












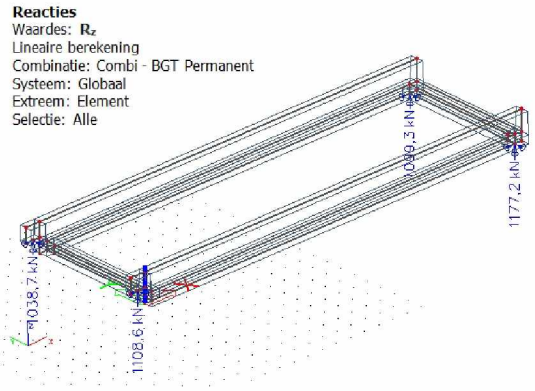
Aantal 2D-elementen	1344
Aantal 1D-elementen	0
Aantal netknopen	1422
Aantal vergelijkingen	8532
Buigtheorie	Mindlin
Belastingsgevallen	BG1, BG3, BG4, BG10, BG11, BG2, BG12, BG13, BG20, BG21, BG22
Start van de berekening	10.04.2022 20:29
Einde berekening	10.04.2022 20:29

Som van lasten en reacties

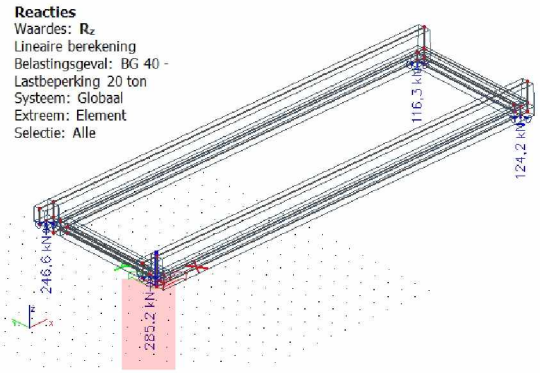
Belastingsgeval	Waarde	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]
BG1	Lasten	0,0	0,0	-4072,1
	reactie in de knopen	0,0	0,0	4072,1
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0
BG3	Lasten	0,0	0,0	-316,5
	reactie in de knopen	0,0	0,0	316,5
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0
BG4	Lasten	0,0	0,0	-258,0
	reactie in de knopen	0,0	0,0	258,0
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0
BG10	Lasten	0,0	0,0	-1035,0
	reactie in de knopen	0,0	0,0	1035,0
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0
BG11	Lasten	0,0	0,0	-478,8
	reactie in de knopen	0,0	0,0	478,8
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0
BG2	Lasten	0,0	0,0	222,8
	reactie in de knopen	0,0	0,0	-222,8
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0
BG12	Lasten	0,0	0,0	-135,7
	reactie in de knopen	0,0	0,0	135,7
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0
BG13	Lasten	0,0	0,0	-239,4
	reactie in de knopen	0,0	0,0	239,4
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0
BG20	Lasten	0,0	0,0	-1000,0
	reactie in de knopen	0,0	0,0	1000,0
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0
BG21	Lasten	0,0	0,0	-718,2
	reactie in de knopen	0,0	0,0	718,2
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0
BG22	Lasten	0,0	0,0	-199,5
	reactie in de knopen	0,0	0,0	199,5
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0

Berekende oplegreacties

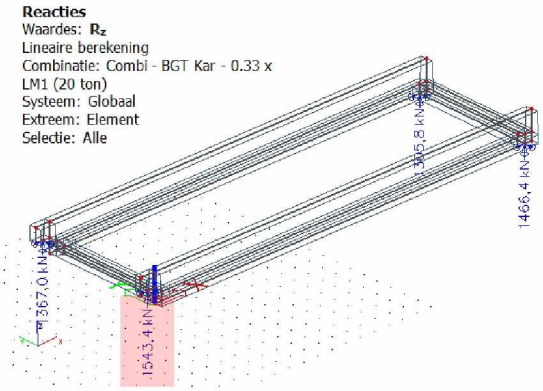
A BGT permanent
(dek, asfalt, fiets- en voetpad)



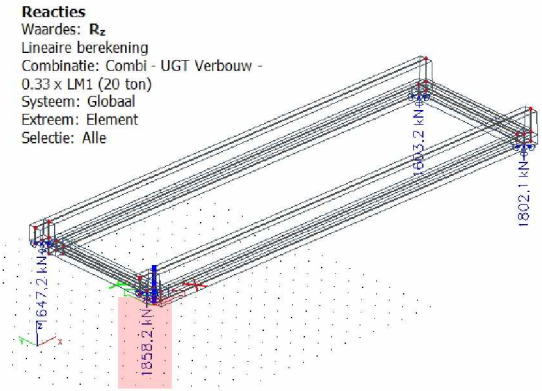
B Mobiele belasting lastbeperking 20 ton
(0.33 LM1; excl. belasting voet- en fietspad)



C BGT Karakteristiek 20 ton
(lastbeperking 20 ton)



D UGT Verbouw 20 ton



Conclusies

mbt. oplegreacties op de nokken van het westelijke landhoofd:

- maatgevende oplegreactie tgv. mobiele belasting 0.33 LM1 is $F_{v;'20\ ton'}$ = 285 kN
- maatgevende oplegreactie BGT Kar bij lastbeperking tot 20 ton: $F_{v;rep}$ = 1543 kN
- maatgevende oplegreactie UGT Verbouw bij lastbeperking tot 20 ton: $F_{v;d}$ = 1858 kN

Rev. 2

Bijlage 3 Vergelijking lastbeperking 20 ton met belasting door busverkeer

Een lastbeperking wordt 'geïnterpreteerd' als een begrenzing aan het maximaal toegelaten voertuiggewicht op het betreffende kunstwerk. Er wordt geen specifieke begrenzing gesteld aan het aantal 'zware' voertuigen op ht kunstwerk of de verdeling ervan over de beschikbare rijstroken.
De resulterende belasting kan sterk afwijken van de belasting die cf. NEN-EN 1991-2/NEN 8701 op basis van belastingmodel LM1 bij de betreffende lastbeperking in rekening wordt gebracht.
In het volgende een vergelijking tussen de maximale oplegreactie op de nokken tgv. lastmodel bij lastbeperking 20 ton op het trogliggerdek en die tgv. een conservatieve belasting door busverkeer.

Lastbeperking 20 ton cf. NEN-EN 1991-2/NEN 8701 (bord C21: 20 ton):

- statische aslasten 2 x 10 ton hoh 1.2 m op rijstrook 1; 2 x 6.7 ton hoh 1.2 m op rijstrook 2; één set aslasten per rijstrook &
- verdeelde belasting 3.0/2.5 kN/m² over 3 m breedte op rijstrook 1/2
- geen dynamische factor

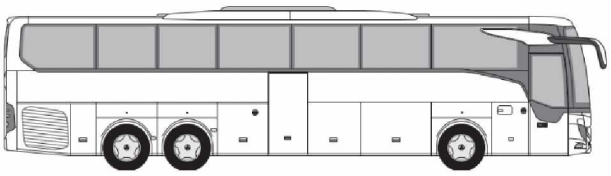
Werkelijke belasting, algemeen:

- statische aslasten tot 11.5 ton cq. tandem-assen tot 19.0 ton (wettelijke begrenzing)
- bij lastbeperking 20 ton: maximaal toegelaten voertuiggewicht is 20 ton (200 kN), echter geen formele begrenzing gesteld aan aantal voertuigen per rijstrook
- dynamische factor op statische aslasten toepassen; brug 2484: C = 1.15 (cf. oorspronkelijke ontwerpberekening bij effectieve overspanning = 40 m)

Werkelijke belasting busverkeer, brug 2484:

voorbeelden van maximale toelaatbare gewichten van bussen (statische belasting)

- Mercedes Tourismo M/3, touringcar : 24000 kg, L = 13.1 m (1+2-assig: 7.5/11.5/5.75 ton; 1.8 ton/m')
- MAN Lion's coach L, touringcar: 25530 kg, L = 13.9 m (1+2-assig; 1.8 ton per m')
- VDL Citea gelede stadsbus, elektrisch: 28745 kg, L = 18.15 m (3-assig; 1.6 ton per m')
- Mercedes Citaro stadsbus: 19500 kg, L = 12.1 m (2-assig; 1.6 ton per m')
- Mercedes Citaro gelede stadsbus: 28000 kg, L = 18.1 m (3-assig; 1.5 ton per m')



	Tourismo M/3
Voertuiglengte	13.115 mm
Voertuigbreedte	2.550 mm
Voertuighoogte (incl. airco)	ca. 3.680 mm
Wielbasis vooras-aandrijfas	6.090 mm
Wielbasis aandrijfas-naloopas	1.350 mm
Overbouw voor/achter	2.890/2.785 mm

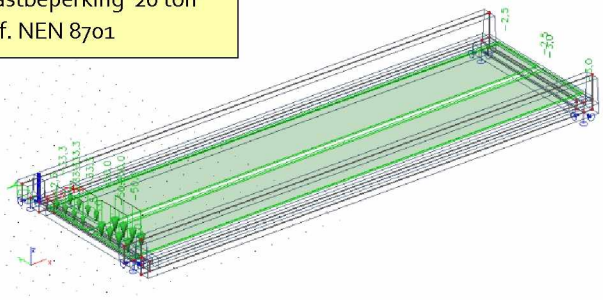
Asbelasting, toegelaten*	
- Vooras	7.500 kg
- Aandrijfas	11.500 kg
- Naloopas	5.750 kg

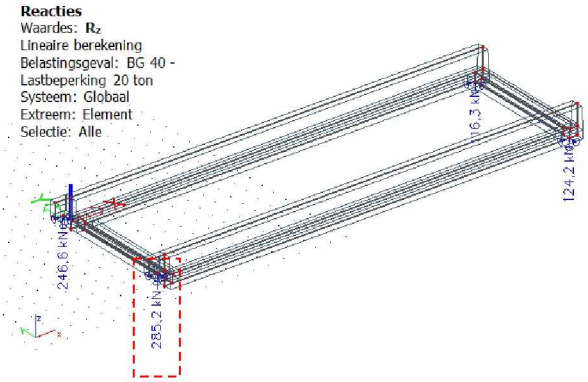
- geen formele begrenzing gesteld aan aantal voertuigen per rijstrook
- dynamische factor op statische aslasten toepassen; brug 2484: C = 1.15

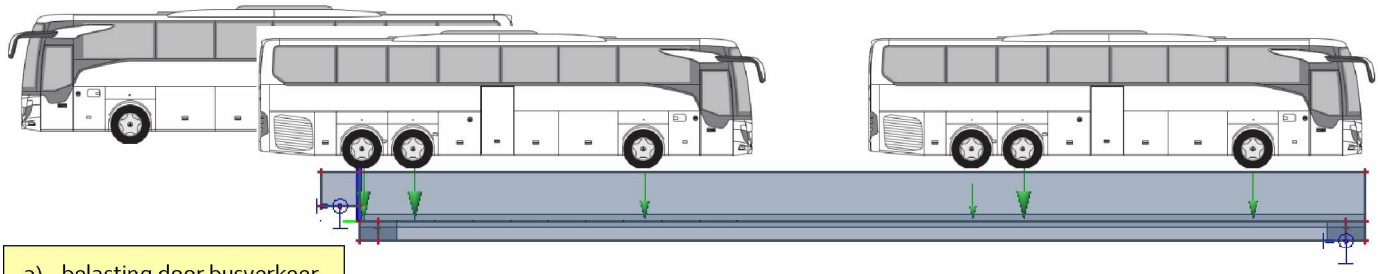
In het volgende worden de maximale oplegreacties op de nokken vergeleken voor de volgende gevallen:

1. lastbeperking 20 ton cf. NEN-EN 1991-2/NEN 8701
2. conservatieve configuratie van 3 'zware' bussen op het trogliggerdek (zie figuur)
   rijstrook 1: 2 Mercedes Tourismo M/3 met 3 m tussenafstand, 1e tandemstel direct naast voeg;
   rijstrook 2: 1 Mercedes Tourismo M/3, tandemstel direct naast voeg;
   aslasten als lijnlasten over 2 m breedte, dynamische factor op aslasten C1.15
3. voetpadbelasting 5 kN/m² op brugdek, geen voertuigen

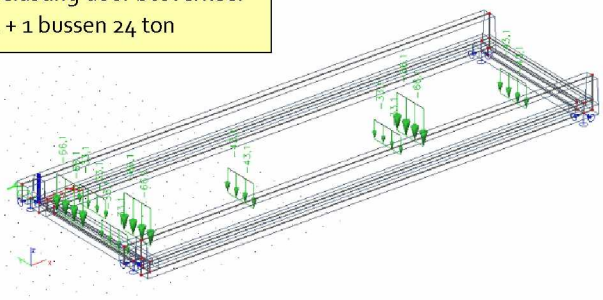
1) lastbeperking '20 ton' cf. NEN 8701

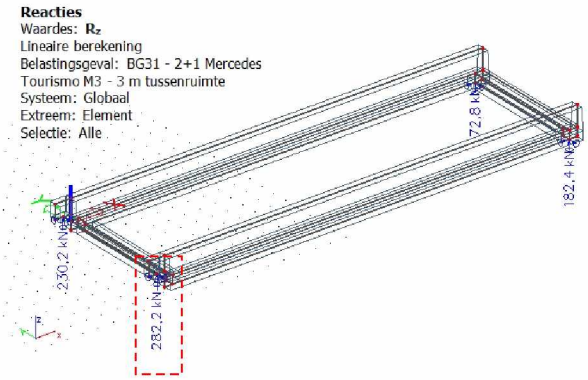




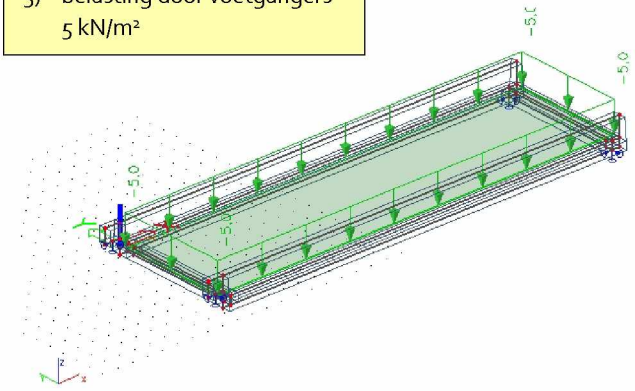


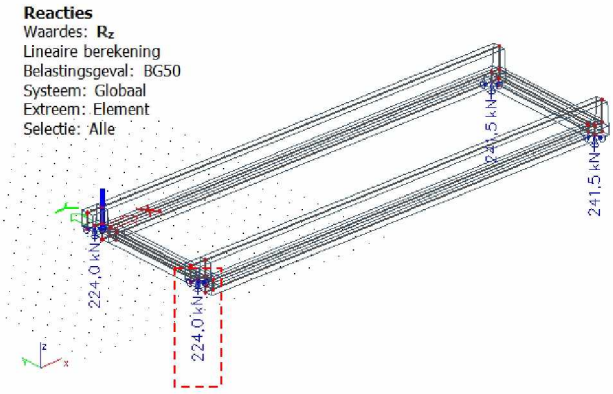
2) belasting door busverkeer 2 + 1 bussen 24 ton





3) belasting door voetgangers 5 kN/m²





Belastingsgeval	Waarde	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]
BG 40 - Lastbeperking 20 ton	Lasten	0,0	0,0	-772,2
	reactie in de knopen	0,0	0,0	772,2
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0
BG31 - 2+1 Mercedes Tourismo M3 - 3 m tussenruimte	Lasten	0,0	0,0	-767,6
	reactie in de knopen	0,0	0,0	767,6
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0
BG50	Lasten	0,0	0,0	-931,0
	reactie in de knopen	0,0	0,0	931,0
	reactie op de lijnen	0,0	0,0	0,0
	contact 1D	0,0	0,0	0,0
	contact 2D	0,0	0,0	0,0

Conclusie:

Bij bepaling van de maatgevende oplegreactie op de nokken van landhoofd West onder mobiele belasting geeft 0.33 x LM1 (lastbeperking '20 ton') vrijwel hetzelfde resultaat als een conservatieve configuratie van 2 + 1 bussen met massa's van 24 ton. In voorgaande paragrafen is aangetoond dat de versterkte nokken voldoen bij lastbeperking 20 ton, zodat geconcludeerd wordt dat de brug geschikt is voor gebruik door busverkeer. Belasting door voetgangers is niet maatgevend.

Deze conclusie geldt alléén voor dit specifieke geval (brug 2484, oplegnokken landhoofd West).