VERBINDINGEN IN INTEGRAALCONSTRUCTIES

Onderzoek naar een optimalisatie

MILOU L. VAN LUIJK

11 JUNI 2021

DE HAAGSE HOGESCHOOL | CIVIELE TECHNIEK

wsp

DE HAAGSE HOGESCHOOL

Verbindingen in integraalconstructies

Onderzoek naar een optimalisatie

Milou L. van Luijk (studentnummer 14077310)
Student Civiele Techniek – De Haagse Hogeschool
Bedrijfsbegeleider: dhr. Hermans
Docentbegeleiders: dhr. Kousemaker en dhr. Klein

11 juni 2021

WSP Breda
Tramsingel 2
4814 AB Breda

Civiele Techniek – De Haagse Hogeschool
Johanna Westerdijkplein 75
2521 EN Den Haag

Bron afbeelding voorblad: (Köco, 2021c)

VOORWOORD

Voor u ligt mijn onderzoeksrapport ter afronding van mijn vierjarige studie Civiele Techniek aan de Haagse Hogeschool. In de periode van 8 februari 2021 tot en met 14 juni 2021 heb ik in opdracht van WSP Breda dit onderzoeksrapport opgesteld over het optimaliseren van verbindingen in integraalconstructies. Het onderzoek is gefocust op de verbinding tussen een damwand en het betonnen brugdek van een onderdoorgang.

Het resultaat heb ik behaald dankzij de hulp van mijn collega's en docenten. Dhr. Hermans was mijn bedrijfsbegeleider. Hem wil ik bedanken voor de wekelijkse begeleiding. Ook wil ik mijn collega dhr. Smetsers bedanken voor de tips bij het ontwerpen van de brug. Dhr. Quartel wil ik bedanken voor de uitleg over integraalconstructies. De docentbegeleiders, dhr. Kousemaker en dhr. Klein, wil ik extra veel bedanken voor de vele hulp en uitleg gedurende mijn hele afstudeeropdracht. Zonder hen had ik dit eindresultaat niet kunnen halen.

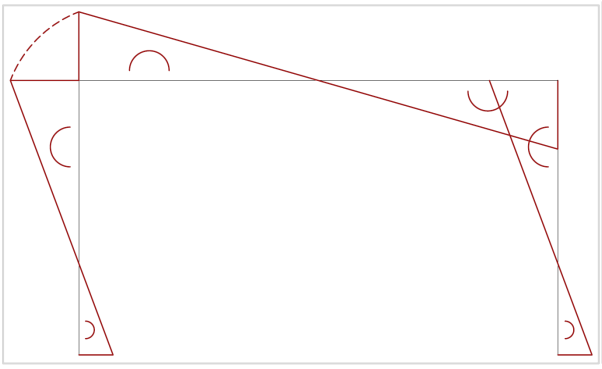
Milou van Luijk
Waddinxveen, 11 juni 2021

SAMENVATTING

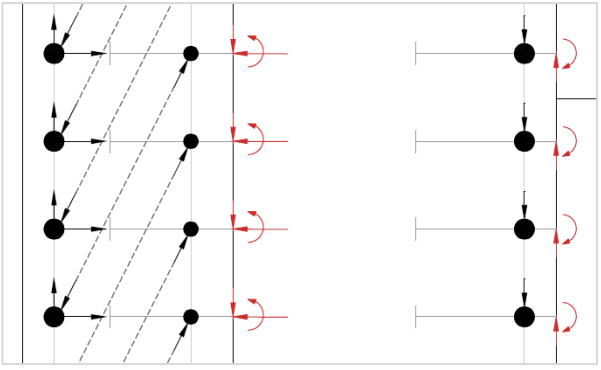
Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd in opdracht van WSP in Breda. Onderdoorgangen worden geregeld als integraalconstructie ontworpen en uitgevoerd. Het grootste voordeel van een integraalbrug is dat er geen voegovergangen en oplegblokken nodig zijn. Vaak worden integraalbruggen toegepast met grondkerende wanden, waarbij de wanden worden gebruikt als fundering van het kunstwerk. Een nadeel hiervan is de complexe verbinding die nodig is om een knoopverbinding tussen de grondkering én de betonconstructie te maken. In de verbinding ontstaan grote krachten die overgedragen moeten worden aan de fundering. Voor deze overdracht is een grote hoeveelheid verticale en horizontale wapening nodig die allemaal samenkomt in de knoop tussen het dek en de damwand. Het is een uitdaging om een uitvoerbare detaillering van de knoop te ontwerpen. WSP is daarom opzoek naar een optimalisatie van de verbinding, zodat het beter werkbaar is voor de constructeurs én de uitvoerders. Voordat gezocht kan worden naar een optimale verbinding, is het eerst van belang om te weten hoe een integraalconstructie werkt. De eerste hoofdvraag is daarom: *Hoe ziet de krachtswerking in een integraalconstructie eruit?* Vervolgens kan verdiept worden in het ontwerp van de verbindingen. De tweede hoofdvraag is: *In hoeverre kan de huidige ontwerpmethodiek voor de verbinding met stiftdeuvels geoptimaliseerd worden?* Het doel van het onderzoek is het vereenvoudigen van de verbindingen tussen damwanden en een deksloof of dek, zodat het werkbaar is voor in de uitvoering.

Allereerst is een kunstwerk, genaamd KM01, ontworpen om als case te gebruiken in dit onderzoek. Het betreft een vaak voorkomende integraalbrug in een snelweg, zoals WSP het zou ontwerpen. De integraalbrug bestaat uit prefab volstortliggers met daarop een druklaag, deksloven en stalen damwanden. Gedurende de tijd verandert de krachtswerking in de constructie. Bij het plaatsen van de prefab volstortliggers op de deksloven gedraagt de constructie zich als ligger op twee steunpunten. Vervolgens wordt een druklaag op de prefab volstortliggers gestort. Na het uitharden van de druklaag verandert de constructie naar een portaalconstructie. Deze verandering van het systeem heet het kist-effect en wordt veroorzaakt door de kruip van het beton.

Aan de hand van de maatgevende momentenlijn, te zien in figuur 1, is de krachtswerking in de constructie uitgewerkt. Door middel van pijlen is trek in de wapening en druk in het beton aangegeven. In figuur 2 is een ingezoomd gedeelte van de krachtswerking in de deksloof weergegeven. Hierin is te zien dat aan de linkerzijde in de verticale wapening trek en aan de rechterkant druk optreedt. Er ontstaat evenwicht door de reactiekrachten van de damwand. Aan de hand van KM01 is bepaald hoe groot de krachten op de verbinding zijn.



Figuur 1 – Maatgevende momentenlijn



Figuur 2 – Krachtswerking rondom damwand, zijaanzicht

Vervolgens is onderzocht in hoeverre de huidige ontwerpmethodiek voor verbindingen door middel van stiftdeuvels geoptimaliseerd kan worden. Allereerst is een stiftdeuvelverbinding ontworpen volgens de methodiek van WSP. Dit ontwerp is in het onderzoek het uitgangspunt. Daarna is een ontwerp gemaakt voor een lus-, anker- en blokdeuvelverbinding en aangelaste wapening. Ook zijn twee varianten op de huidige stiftdeuvelverbinding gemaakt. De lus- en ankerverbinding en de hoefijzerdeuvel, een variant van de blokdeuvelverbinding, zijn geen optimalisatie ten opzichte van de stiftdeuvelverbinding, omdat deze verbindingen te veel ruimte innemen. De aangelaste wapening is geen mogelijkheid als verbinding, omdat er te veel staven nodig zijn die niet passen op de damwandplank. Ook beide varianten op de stiftdeuvelverbinding zijn geen optimalisatie. Dat komt doordat stiftdeuvels een grote dekking vragen. Hierdoor werd de dekking op de verticale wapening te groot, waardoor veel staven nodig zijn om te voldoen aan de scheurwijdte. De conclusie is dat de huidige ontwerpmethodiek voor de verbinding van de damwand met de deksloof niet geoptimaliseerd kan worden.

De aanbeveling is om met andere ingenieursbureaus te gaan samenwerken en kennis te delen over de verbinding. Andere ingenieursbureaus hebben ervaring met het ontwerpen van wapening die door de damwand heen gaat. Zo'n ontwerp zou wellicht een optimalisatie kunnen opleveren. Ook wordt aanbevolen om opzoek te gaan naar een optimalisatie in de knoop boven de damwand.

In de discussie wordt tot slot ingegaan op de toepasbaarheid van een integraalconstructie. Tijdens het onderzoek is gebleken hoe complex het ontwerpen van de verbinding is. Uit een kort onderzoek blijkt dat de verkeerscategorie weinig invloed heeft op het ontwerp van de verbinding. Het lijkt erop dat de verbinding in alle gevallen ingewikkeld blijft. Of een integraalconstructie nog wel toegepast moet worden, zou moeten worden onderzocht met behulp van een maatschappelijke kosten-batenanalyse. Een integraalconstructie heeft meerdere voordelen die niet in geld of hoeveelheid materiaal uit te drukken zijn, zoals het leveren van comfort aan automobilisten en het beperken van geluidhinder.

INHOUDSOPGAVE

Begrippenlijst **8**

1. Inleiding **10**

1.1 Aanleiding 10

1.2 Probleemomschrijving 10

1.3 Doelstelling 11

1.4 Resultaat 11

1.5 Belanghebbenden 11

1.6 Projectgrenzen 12

1.7 Leeswijzer 12

2. Onderzoeksmethoden **13**

2.1 Deelnemers aan het onderzoek 13

2.2 Onderzoeksontwerp 13

2.3 Operationalisatie 14

2.4 Analyseprocedure 15

3. Case KM01 ..... **17**

3.1 Maatvoering dek 17

3.2 Objectenboom 18

3.3 Bouwfasering 20

4. Krachtswerking in integraalconstructies **23**

4.1 Principe en kist-effect 23

4.2 Krachtswerking 27

5. Onderzoek en ontwerp verbindingen **35**

5.1 Stiftdeuvels (uitgangspunt) 36

5.2 Stiftdeuvels (optimalisatie) 40

5.3 Lussen en ankers 43

5.4 Blokdeuvel 45

5.5 Aangelaste wapening 46

5.6 Vergelijking 47

Conclusie en aanbevelingen **50**

Discussie **51**

Bronnenlijst **53**

Overzicht bijlagen **55**

Bijlage 1 – Werkplan **56**

Bijlage 2 – Reflectieverslag 81
Bijlage 3 – Begrippenuitleg 86
Bijlage 4 – Uitkomsten *SCIA* 91
Bijlage 5 – Controle uitkomsten *SCIA* 92
Bijlage 6 – Ontwerp en optimalisatie stiftdeuvelverbinding 97
Bijlage 7 – Ontwerp en optimalisatie lussen en ankers 108
Bijlage 8 – Ontwerp en optimalisatie blokdeuvels 113
Bijlage 9 – Ontwerp aangelaste wapening 114
Bijlage 10 - Optimalisatie stiftdeuvels – variant 1 en 2 115
Bijlage 11 – Opneembare spanning staal 117
Bijlage 12 – Modellerings- en berekeningsnota KM01 120

BEGRIPPENLIJST

BEGRIPPEN

Deksloof	Eindsteunpunt van een brug dat de overgang maakt van het brugdek naar het grondlichaam. Dit is hetzelfde als een landhoofd.
Deuvel	Een verbinding om een stalen plaat te verbinden met beton.
Integraalbrug	Brugsoort waarbij het brugdek momentvast verbonden is met de onderbouw van de brug en er geen voegovergangen aanwezig zijn.
Isotroop	Constructieonderdeel met dezelfde eigenschappen in de dwars- en lengterichting
Kist-effect	Het wijzigen van de krachtsverdeling, veroorzaakt door kruip. Wanneer het statisch systeem van een betonconstructie tijdens de bouw wijzigt, dan zal door kruip in het beton, na verloop van tijd, de krachtsverdeling volgens het oorspronkelijke systeem deels overgaan in de krachtsverdeling in het nieuwe systeem. Dit wordt ook wel het kist-effect genoemd.
Krimp	Blijvende vervorming (verkorting) van beton veroorzaakt door processen in het beton zelf, zoals uitdroging, cementhydratatie en/of afkoeling.
Kruip	Blijvende en in tijd toenemende vervorming van beton bij een gelijkblijvende belasting
Landhoofd	Eindsteunpunt van een brug dat de overgang maakt van het brugdek naar het grondlichaam. Dit is hetzelfde als een deksloof.
Momentvast	Verbinding die geen vrijheidsgraad kent
Opspaneffect	Het steeds stijver worden van de grond achter de deksloof, veroorzaakt door het verkorten en uitzetten van het brugdek
Orthotroop	Constructieonderdeel met verschillende eigenschappen in de dwars en lengterichting
Stootplaat	Overgangsconstructie die zorgt voor een geleidelijke overgang van de aardebaan naar het kunstwerk

AFKORTINGEN

BGT	Bruikbaarheidsgrenstoestand. Bij deze toetsing worden de belastingen vermenigvuldigd met 1,0. Hiermee wordt de maximaal optredende vervorming bepaald.
FAT	Bezwijken door vermoeiing van de constructie of constructieonderdelen
SLS	Serviceability limit state. In het Nederlands: bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)
TS	Tandemstelsel voor belastingmodel 1
UDL	Gelijkmatig verdeelde belasting voor belastingmodel 1
UGT	Uiterste grenstoestand. Bij deze toetsing worden de belastingen vermenigvuldigd met bijvoorbeeld factor 1,2 en 1,5. Hiermee wordt het maximale optredende moment bepaald.
ULS	Ultimate limit state. In het Nederlands: uiterste grenstoestand (UGT)

1. INLEIDING

1.1 AANLEIDING

Onderdoorgangen worden geregeld als integraalconstructie ontworpen en uitgevoerd. Een integraalbrug bestaat uit een fundering, deksloof en een in-situ dek of dek met liggers met daarop een in-situ druklaag. De druklaag verbindt alle onderdelen van de constructie aan elkaar. Meer uitleg over het begrip 'integraalbrug' is te lezen in bijlage 3.

Het grootste voordeel van een integraalbrug is dat er geen voegovergangen en oplegblokken nodig zijn. Deze twee onderdelen vergen namelijk regelmatig onderhoud of moeten vervangen worden. Een constructief voordeel is dat er een kleiner veldmoment in het brugdek ontstaat in vergelijking met andere brugsoorten. Dit kleinere veldmoment wordt veroorzaakt door de inklemming en hierdoor kan de brugdekhoogte beperkt worden. Tot slot wordt het rijcomfort voor de weggebruiker verhoogt en neemt de geluidproductie af (Van Vught, 2015).

Vaak worden integraalbruggen toegepast met grondkerende wanden, waarbij de wanden worden gebruikt als fundering van het kunstwerk. Een nadeel hiervan is de complexe verbinding die nodig is om een knoopverbinding tussen de grondkering (een damwand of combiwand) én de betonconstructie (de deksloof en het dek) te maken. Om deze verbinding te maken zijn er verschillende methoden, namelijk een verbinding door middel van deuvels, aangelaste wapening of aangelaste platen.

Figuur 3 – Stiftdeuvels (Köco, 2021a)

Figuur 4 – Uitvoering integraalbrug K01 De Groene Boog (A16 Rotterdam, 2021)

1.2 PROBLEEMOMSCHRIJVING

In de momentvaste verbinding ontstaan grote krachten die overgedragen moeten worden aan de fundering. Voor deze overdracht is een grote hoeveelheid verticale en horizontale wapening nodig die allemaal samenkomt in de knoop tussen het dek en de damwand. De positionering van de wapening is gebonden aan de vorm en systeemmaat van de damwand en de prefab volstortliggers. Ook kunnen bij het plaatsen van de damwand grote afwijkingen optreden qua plaatsing. Hierdoor is het een uitdaging om een uitvoerbare detaillering van de knoop met hoge wapeningsconcentraties te ontwerpen. WSP is daarom opzoek naar een optimalisatie van de verbinding, zodat het beter werkbaar is voor de constructeurs én de uitvoerders.

1.2.1 PROBLEEMSTELLING

Ter plaatse van de verbinding kunnen er hoge wapeningsconcentraties ontstaan. WSP wil de verbindingen overzichtelijker ontwerpen met bijvoorbeeld minder staal, maar de vraag is hoe dat het meest optimaal kan. Een optimalisatie kan worden gevonden rondom de damwand en in de knoop boven de damwand. Hiervoor moet inzicht zijn in de krachtswerking in de integraalconstructie.

1.2.2 HOOFD- EN DEELVRAGEN

Vanuit het probleem zijn twee hoofdvragen opgesteld. De eerste hoofdvraag is als volgt:

Hoe ziet de krachtswerking in een integraalconstructie eruit?

Om de eerste hoofdvraag te beantwoorden, worden de volgende deelvragen beantwoord:

- Uit welke onderdelen bestaat een integraalbrug?
- Wat is het principe van een integraalbrug?

Bij dit onderzoek wordt voornamelijk gefocust op de optimalisatie van de wapening rondom de damwand en de verbinding tussen de damwand en de betonnen deksloof. Voor de optimalisatie van de verbinding is onderstaande probleemstelling opgesteld:

In hoeverre kan de huidige ontwerpmethodiek voor de verbinding met stiftdeuvels geoptimaliseerd worden?

Om deze vraag te beantwoorden, wordt gebruik gemaakt van de volgende deelvragen:

- Hoe worden de verbindingen bij WSP ontworpen?
- Welke krachten komen er op de verbinding bij de huidige methode?
- Welke mogelijke optimalisaties zijn er?

1.3 DOELSTELLING

Het doel van het onderzoek is het vereenvoudigen van de verbindingen tussen damwanden en een deksloof, zodat het werkbaar is voor in de uitvoering. Zo wordt het voor de uitvoerders eenvoudiger. Ook moet het voor de constructeurs overzichtelijker worden.

Het doel voor mijzelf is het leren over hoe een integraalconstructie werkt en hoe verbindingen berekend kunnen worden.

1.4 RESULTAAT

Aan het einde van het afstudeeronderzoek wordt een onderzoeksrapport opgeleverd. Hierin staat beschreven in hoeverre een optimalisatie van de huidige ontwerpmethodiek voor verbindingen mogelijk is voor een integraalbrug.

1.5 BELANGHEBBENDEN

Zoals de doelstelling al aangeeft, gaat het niet alleen om het optimaliseren voor het ontwerp, maar ook voor de uitvoering. Het ontwerpteam en de uitvoerder hebben hierdoor profijt van de optimalisatie. Mogelijke voordelen van de optimalisatie zijn:

- Het verkrijgen van overzicht tijdens het ontwerp;
- Het besparen van tijd bij de uitvoering;
- Het besparen van materiaal/het optimaal gebruiken van materiaal.

1.6 PROJECTGRENZEN

De volgende grenzen zijn aan het onderzoek gesteld:

- Het onderzoek start op maandag 8 februari 2021 en duurt achttien weken. Op de maandag in week negentien (14 juni 2021) wordt het onderzoeksrapport ingeleverd. De student kiest ervoor om in de voorjaarsvakantie door te gaan.
- Tijdens het onderzoek wordt alleen gefocust een integraalconstructie die gefundeerd is op damwanden en bestaat uit prefab volstortliggers met daarop een in-situ druklaag.
- Voor het ontwerp van KM01 is uitgegaan van de lage stijfheid. De lage stijfheid geeft de maatgevende krachten. Wanneer uitgegaan wordt van de lage stijfheid, dan is de grond minder stijf. Hierdoor neemt de veerstijfheid af, waardoor de grond minder krachten kan opnemen en hierdoor worden de vervormingen groter.
- De deksloof bevat veel wapening. Bij het ontwerp van de stiftdeuvels wordt de horizontale en verticale wapening berekend. Voor het ontwerp van de overige verbinding wordt alleen gekeken naar de horizontale wapening rondom de verbinding. Daarom wordt alleen de horizontale wapening en wapening tegen het afschuiven van de deuvel ontworpen. Meer hierover is te lezen in hoofdstuk 5. Om de krachtswerking toe te lichten in hoofdstuk 4, wordt wel de werking van overige wapening uitgelicht indien nodig.

1.7 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt de onderzoeksmethode toegelicht. Het derde hoofdstuk beschrijft de case die in het hele onderzoek wordt gebruikt. Hoofdstuk 4 geeft antwoord op de eerste hoofdvraag en gaat in op de krachtswerking in een integraalconstructie. De resultaten voor de tweede hoofdvraag worden besproken in hoofdstuk 5. Hierin zijn de resultaten van de verschillende ontwerpen voor verbindingen terug te vinden. Het rapport wordt afgesloten met een conclusie met daarbij aanbevelingen en de discussie. Vervolgens vindt u een bronnenlijst, een overzicht van de bijlagen en de bijlagen. Bijlage 1 en 2 hebben betrekking tot het proces tijdens het afstuderen. Bijlage 3 tot en met 12 zijn aanvullend op het onderzoek.

2. ONDERZOEKSMETHODEN

Dit hoofdstuk beschrijft welke methoden gebruikt zijn om tot het onderzoeksresultaat te komen. Allereerst wordt informatie gegeven over de betrokken personen bij dit onderzoek. Vervolgens worden de onderzoeksmethoden en operationalisatie besproken. Het hoofdstuk wordt afgesloten met de analyseprocedure.

2.1 DEELNEMERS AAN HET ONDERZOEK

Het onderzoek betreft het ontwerpen van een constructie en de verbinding tussen de damwand en de deksloof. Voor beide hoofdvragen is hulp gevraagd aan de personen die genoemd zijn in tabel 1.

Naam	Functie	Bedrijf
W. Smetsers	Constructeur	WSP
T. van Doremaele	Constructeur	WSP
K. Oudenbroek	Constructeur	WSP
K. Quartel	Adviseur bruggen en viaducten	RWS
J. Kousemaker	Docent constructies	De Haagse Hogeschool
E. Klein	Docent constructies	De Haagse Hogeschool

Tabel 1 - Deelnemers aan het onderzoek

De collega's van WSP zijn dagelijks benaderd voor vragen wat betreft het onderzoek. Vanaf de vierde afstudeerweek heeft de student wekelijks contact gehad met de docentbegeleiders.

Dhr. Quartel heeft veertig jaar bij Spanbeton gewerkt. Spanbeton was een grote leverancier van prefab-beton voor bruggen. Dhr. Quartel heeft ervaring met het ontwerp van integraalbruggen. Eenmaal is dhr. Quartel via de docentbegeleiders betrokken bij het gesprek over de methode waarop een integraalconstructie wordt ontworpen en wat de onderdelen zijn. Later heeft de student zelf contact met hem opgenomen om te praten over het ontwerpen van verbindingen en de wijze waarop de krachten door de constructie gaan.

2.2 ONDERZOEKSONTWERP

Voor het ontwerpen van de constructie en verbindingen is gebruik gemaakt van drie onderzoeksmethoden.

Literatuuronderzoek is een methode om kennis via internet of boeken te verzamelen. Door middel van deze onderzoeksmethode kan je voornamelijk wetenschappelijke en theoretische informatie verzamelen. Vakliteratuur is gebruikt voor het verzamelen van informatie over het ontwerpen van een integraalconstructie en de verbindingen. Voorbeelden van vakliteratuur zijn de Eurocodes of literatuur van Cement. Ook is literatuur van WSP gebruikt, bijvoorbeeld ontwerpnota's en berekeningsnota's, om te achterhalen hoe verbindingen op het moment ontworpen worden. Literatuuronderzoek is gebruikt om de volgende deelvragen te beantwoorden:

- Uit welke onderdelen bestaat een integraalbrug? (hoofdvraag 1)
- Wat is het principe van een integraalbrug? (hoofdvraag 1)
- Hoe worden de verbindingen bij WSP ontworpen? (hoofdvraag 2)
- Welke mogelijke optimalisaties zijn er? (hoofdvraag 2)

Een dataverzamelingsmethode is deskresearch. Bij deskresearch worden gegevens gebruikt die door anderen zijn verzameld (Scribbr, 2021). Dat is het geval bij het ontwerp van de integraalconstructie (case KM01), waarbij afmetingen van een eerder ontworpen integraalconstructie worden gebruikt voor een nieuwe case. Ook is op die manier bepaald uit welke onderdelen de constructie bestaat.

Aan de hand van een eerder model van een integraalconstructie is bepaald of de krachten in de constructie realistisch zijn. Uiteindelijk is voor het ontwerpen van de verbindingen gebruik gemaakt van de krachten die op een vergelijkbare constructie staan. De deelvragen die hiermee worden beantwoordt, zijn:

- Uit welke onderdelen bestaat een integraalbrug? (hoofdvraag 1)
- Hoe groot zijn de krachten op de verbinding in een integraalbrug? (hoofdvraag 1)
- Hoe worden de verbindingen bij WSP ontworpen? (hoofdvraag 2)

Een volgende onderzoeksmethode is ontwerpend onderzoek. Hierbij wordt een product of systeem ontworpen (Algemene Rekenkamer, 2021). Tijdens dit afstudeeronderzoek is een integraalconstructie ontworpen en vervolgens gemodelleerd in *SCIA Engineer*. Op deze manier is het mogelijk om aan te geven hoe groot de krachten in de constructie en op de verbindingen zijn. Ook zijn verbindingen ontworpen om op deze manier opzoek te gaan naar een optimalisatie. De bijbehorende deelvragen zijn:

- Hoe groot zijn de krachten op de verbinding in een integraalbrug? (hoofdvraag 1)
- Welke mogelijke optimalisaties zijn er? (hoofdvraag 2)

De laatste onderzoeksmethode is het vergelijkend onderzoek. Bij vergelijkend onderzoek wordt onderzoek gedaan om het effect van verschillende omstandigheden op bepaalde variabelen te meten. Er worden dan verschillende situaties met elkaar vergeleken om een conclusie te kunnen trekken (Scribbr, 2021). Aan de hand van deze onderzoeksmethode is onderzocht in hoeverre de onderzochte verbindingen een optimalisatie zijn ten opzichte van de stiftdeuvelverbinding die WSP tot nu toe steeds toepast. De bijbehorende deelvraag is:

- Welke mogelijke optimalisaties zijn er? (hoofdvraag 2)

	Deelvraag	Onderzoeksmethode
Hoofd-vraag 1	Uit welke onderdelen bestaat een integraalbrug?	Literatuuronderzoek en deskresearch
	Wat is het principe van een integraalbrug?	Literatuuronderzoek
Hoofdvraag 2	Hoe worden de verbindingen bij WSP ontworpen?	Literatuuronderzoek
	Welke krachten komen er op de verbinding bij de huidige methode?	Deskresearch en ontwerpend onderzoek
	Welke mogelijke optimalisaties zijn er?	Literatuuronderzoek, ontwerpend onderzoek en vergelijkend onderzoek

Tabel 2 - Onderzoeksmethoden per deelvraag

2.3 OPERATIONALISATIE

Operationalisatie is het ontwikkelen van de begrippen uit de deelvragen tot meetbare aspecten. Per deelvraag wordt aangegeven wat de meetbare aspecten zijn.

2.3.1 ONDERDELEN INTEGRAALBRUG

De eerste deelvraag is: *Uit welke onderdelen bestaat een integraalbrug?* De volgende vragen moeten beantwoord zijn om de deelvraag te beantwoorden:

- Uit welke onderdelen bestaat de bovenbouw van de integraalbrug?
- Uit welke onderdelen bestaat de onderbouw van de integraalbrug?
- Hoe ziet de bouwfasering van de integraalbrug eruit?

2.3.2 PRINCIPE INTEGRAALBRUG

De tweede deelvraag is: *Wat is het principe van een integraalbrug?* De volgende vragen moeten beantwoord zijn om de deelvraag te beantwoorden:

- Wat is het kenmerk van een integraalbrug?
- Wat is het kist-effect?
- Hoe komen de krachten bij de verbinding?

2.3.3 HUIDIG ONTWERP VERBINDINGEN

De derde deelvraag is: *Hoe worden de verbindingen bij WSP ontworpen? De* volgende vragen moeten beantwoord zijn om de deelvraag te beantwoorden:

- Welke soort verbindingen worden er nu door WSP ontworpen?
- Hoe worden deze verbindingen ontworpen?

2.3.4 KRACHTSWERKING

De vierde deelvraag is: *Welke krachten komen er op de verbinding bij de huidige methode*? Deze deelvraag wordt beantwoord door case KM01 te modelleren in *SCIA Engineer*. Er zijn geen onderliggende vragen.

2.3.5 OPTIMALISATIE

De vijfde deelvraag is: *Welke mogelijke optimalisaties zijn er? De* volgende vragen moeten beantwoord zijn om de deelvraag te beantwoorden:

- Welke soorten verbindingen zijn er?
- Hoe worden die verbindingen ontworpen?
- In hoeverre zijn die verbindingen een optimalisatie ten opzichte van de huidige ontwerpmethodiek voor verbindingen?

2.4 ANALYSEPROCEDURE

Per onderzoeksmethode zijn er verschillende manieren om data te analyseren. Per onderzoeksmethode is beschreven hoe dit onderzoek herhaald kan worden.

2.4.1 LITERATUURONDERZOEK

De literatuur die verkregen is via literatuuronderzoek komen van de bronnen *Google*, *Google Scholar* en Eurocodes. Per onderwerp is steeds gezocht naar meerdere bronnen die elkaar onderbouwen. Hieruit kan vervolgens een conclusie worden getrokken. Wanneer verschillende bronnen elkaar tegenspreken, is meer onderzoek gedaan om alsnog een conclusie te kunnen trekken.

Bij het bepalen van de krachtswerking in de constructie is de uitleg van de constructeur vergeleken met die van de docenten. Hierin zat een verschil. Om deze reden is dhr. Quartel benaderd om te vragen hoe hij het ziet. Uiteindelijk bleken er overeenkomsten te zijn tussen twee toelichtingen. Aan de hand van de beschikbare onderbouwing is toen gekozen voor de krachtswerking die door twee partijen hetzelfde werden onderbouwd.

2.4.2 DESKRESEARCH

Bij deskresearch is gebruik gemaakt van de kunstwerken K01 en K02 van De Groene Boog, ontworpen door dhr. Smetsers. Steeds is aan hem gevraagd om de laatste versie van de nota's door te sturen. Hierdoor is verzekerd dat informatie is gebruikt uit de definitieve versies. K02 is gebruikt voor het modelleren van het kunstwerk in *SCIA Engineer*. Hierbij is geen gebruik gemaakt van K01, omdat de methode die bij K02 is toegepast, eenvoudiger is. Het betreft namelijk een niet-lineaire constructie. Vanwege de onderdoorgang treedt tot een zekere hoogte geen horizontale bedding op

tegen de damwand vanuit de brugdekzijde. K01 is gebruikt voor de maatvoering van het kunstwerk en de krachten die uit dit kunstwerk komen.

2.4.3 ONTWERPEND ONDERZOEK

Om ervoor te zorgen dat de integraalbrug opnieuw berekend kan worden, zijn alle afmetingen en materiaaleigenschappen beschreven. Ook is de manier van modelleren in *SCIA Engineer* beschreven. Zo wordt duidelijk of een onderdeel als plaat of ligger is ingevoerd in dit programma. Alle belastingen die op de constructie zijn gezet zijn, net als de toegepaste afwezigheden en belastingcombinaties, beschreven. Dit alles is terug te lezen in bijlage 12.

Ook het ontwerpen van de verbindingen is door een ander te reproduceren. Allereerst is uitgeschreven hoe bepaald is wat de opneembare spanning in het staal is. Ook is in de bijlage terug te vinden hoe de verbindingen zijn berekend. Steeds is aangegeven uit welke Eurocode en bijbehorende artikel de berekening komt.

2.4.4 VERGELIJKEND ONDERZOEK

Tot slot zijn de verschillende verbindingen met elkaar vergeleken. De meetbare uitkomsten van de verbindingen zijn naast elkaar gezet, zoals het aantal verbindingen en de breedte en hoogte van het beton. Dit zijn gegevens die direct met elkaar vergeleken kunnen worden. Andere aspecten waarop vergeleken is, zoals het ruimtegebruik en de eenvoud om de verbinding te monteren, zijn subjectief. Bij beide begrippen is een uitleg gegeven en de schaal die daarbij hoort. Ook is een schriftelijke toelichting gegeven waarom een verbinding een bepaalde score heeft behaald.

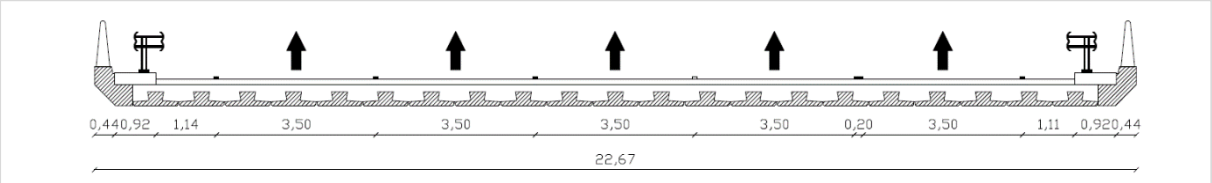
3. CASE KM01

Om een optimalisatie te kunnen maken voor de verbinding, moet eerst een uitgangspunt worden bepaald. Daarvoor is Kunstwerk Milou 01 (KM01) ontworpen. Aan de hand van de krachten die uit dit ontwerp komen, is een ontwerp van een stiftdeuvelverbinding gemaakt, want dit is de huidige ontwerpmethodiek van WSP. Het ontwerp van de stiftdeuvelverbinding is het uitgangspunt waarvoor naar een optimalisatie wordt gezocht. Ook wordt deze case gebruikt om de krachtswerking in de constructie toe te lichten.

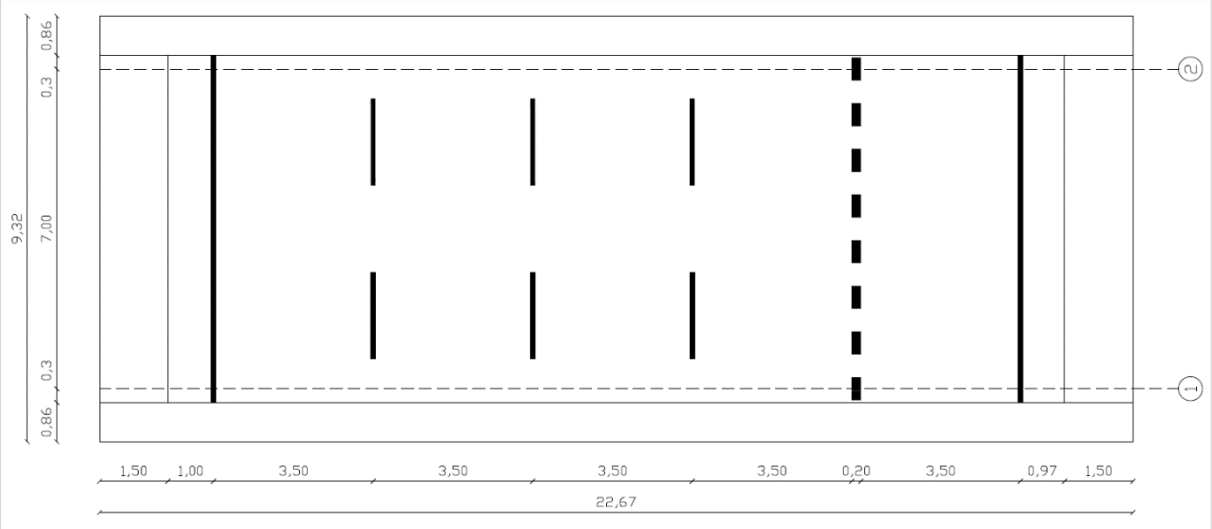
In dit hoofdstuk wordt de maatvoering van de onderdelen van de constructie toegelicht. Tot slot is de bouwfasering uitgelegd. Voor de berekening van KM01 en de bijbehorende belastingen, belastingcombinaties, modellering, normen, richtlijnen en overige wordt verwezen naar bijlage 12.

3.1 MAATVOERING DEK

KM01 is een vaak voorkomende integraalbrug in een snelweg. Hierbij is uitgegaan van vier rijstroken van 3,5 m breed met daarnaast een vluchtstrook. Op de rand staat een geleiderails en leuning. De totale breedte van het brugdek is 22,7 m. De onderzijde van de stootplaten bevinden zich op 0,0 m NAP.

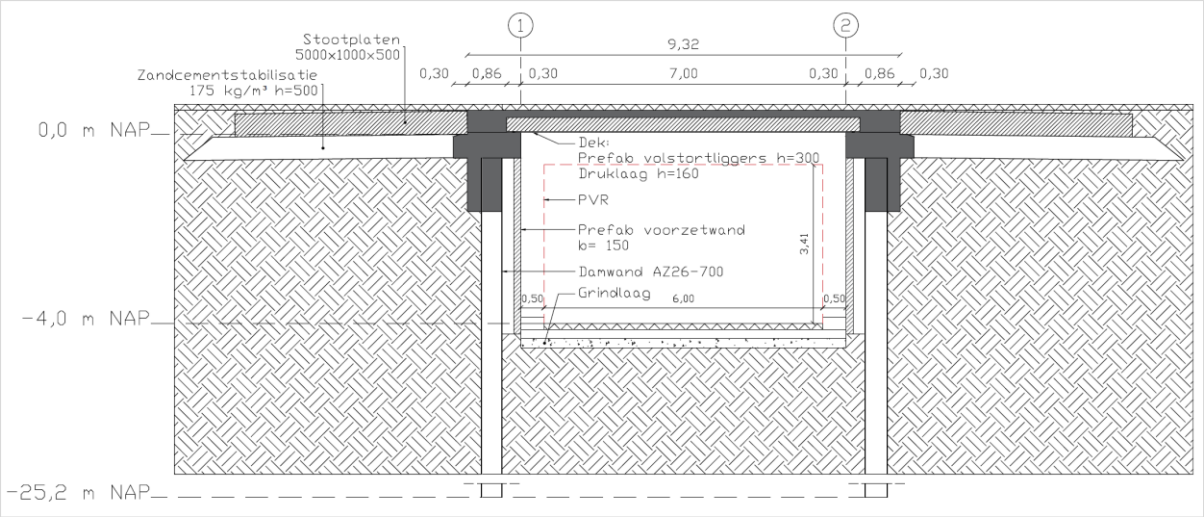


Figuur 5 - Langsdoorsnede KM01



Figuur 6 - Bovenaanzicht KM01

Het gaat om een onderdoorgang met in beide richtingen één rijstrook. De totale wegbreedte van de onderdoorgaande weg is daar 6,0 m. Aan de zijkanten van de weg bevinden zich stootranden van 0,5 m breed. Voor de damwanden worden prefab voorzetwanden geplaatst. De totale breedte van de onderdoorgang is 7,0 m. Bij het ontwerp is rekening gehouden met de profielvrije ruimte met een hoogte van 3,4 m.



Figuur 7 - Dwarsdoorsnede KM01

3.2 OBJECTENBOOM

Het kunstwerk wordt opgedeeld in verschillende objecten. Deze objecten zijn weergegeven in tabel 3.

Objectenboom KM01		
Onderdeel	**Object**	
Onderbouw	Fundering	S355
	Deksloof	C30/37
	Stootplaten	C30/37
Bovenbouw	Prefab liggers met druklaag	Prefab: C60/75 Druklaag: C30/37
	Randliggers	C60/75
Afwerking en weguitrusting	Schampkanten	
	Geleiderails	
	Leuningen	

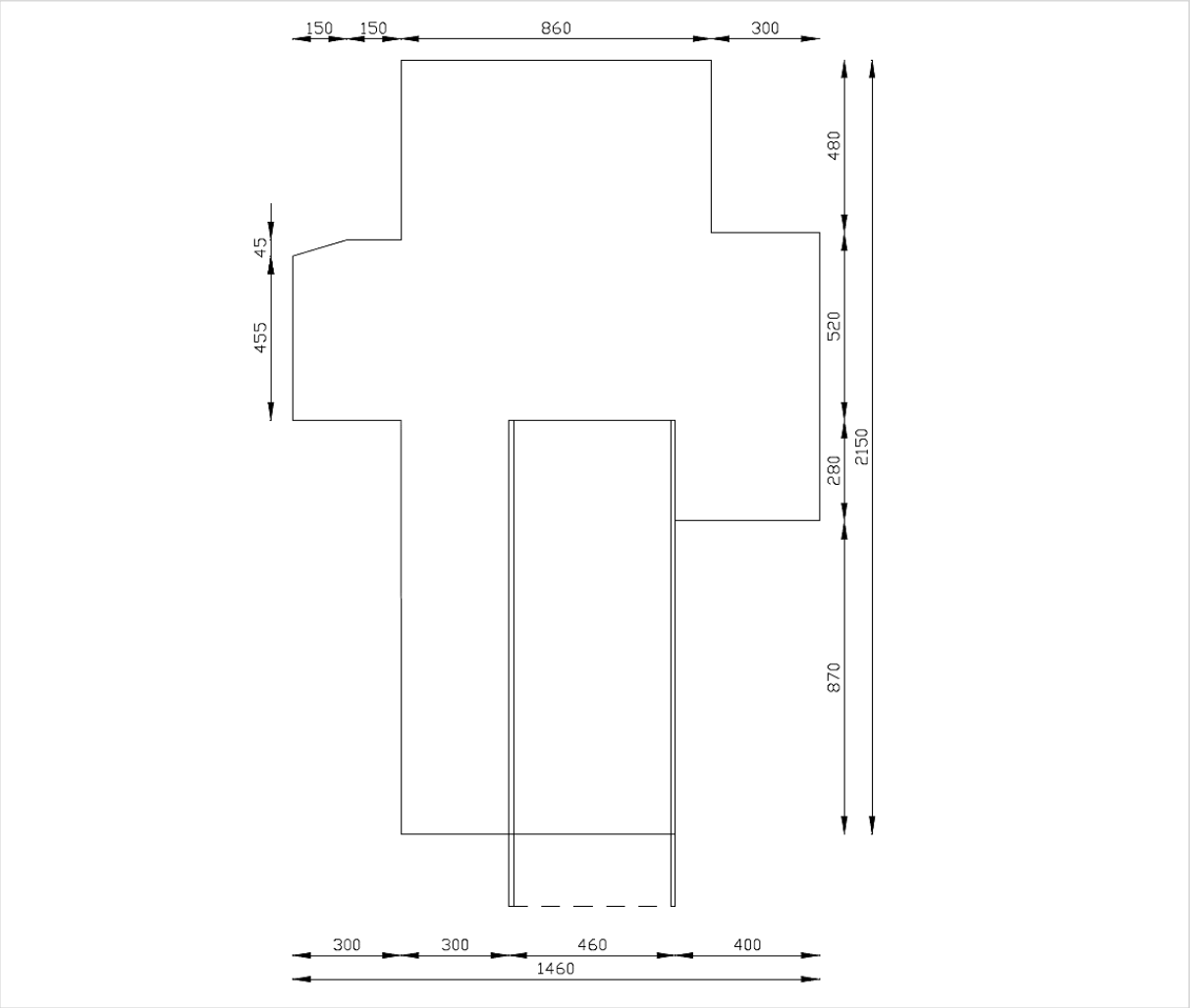
Tabel 3 - Objectenboom KM01

3.2.1 ONDERDELEN ONDERBOUW

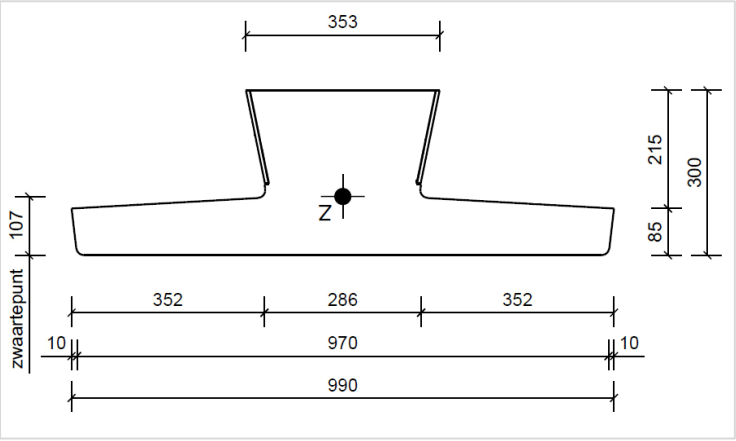
De onderbouw bestaat uit de fundering, de deksloof en de stootplaten. De vleugelwanden worden buiten beschouwing gelaten.

De fundering bestaat uit damwanden die afgewerkt worden met voorzetwanden. Tijdens dit onderzoek wordt uitgegaan van het profiel AZ 26-700. Dit profiel is bij een vergelijkbare constructie, ontworpen door WSP, toegepast. De damwand heeft een dragende en grondkerende functie en de wanden zijn aan de brugdekzijde geplaatst. Dit houdt in dat alleen de damwandkas aan de grondzijde deels gevuld wordt met beton.

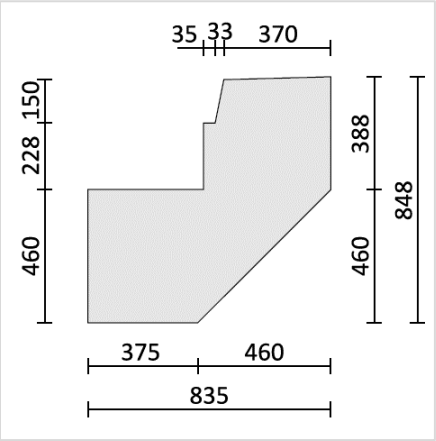
De deksloof wordt ter plekke gestort en dit wordt in twee fases gedaan. Zie figuur 8 voor de maatvoering. Meer over deze fasering is te lezen in hoofdstuk 4. Op de deksloven rusten stootplaten met een lengte van 5,0 m, een breedte van 1,0 m en een hoogte van 0,5 m. Deze aanname is gedaan, omdat dit vaak voorkomende stootplaatafmetingen zijn volgens WSP.



Figuur 8 - Maatvoering deksloof linkerzijde



Figuur 9 - Maatvoering tussenligger

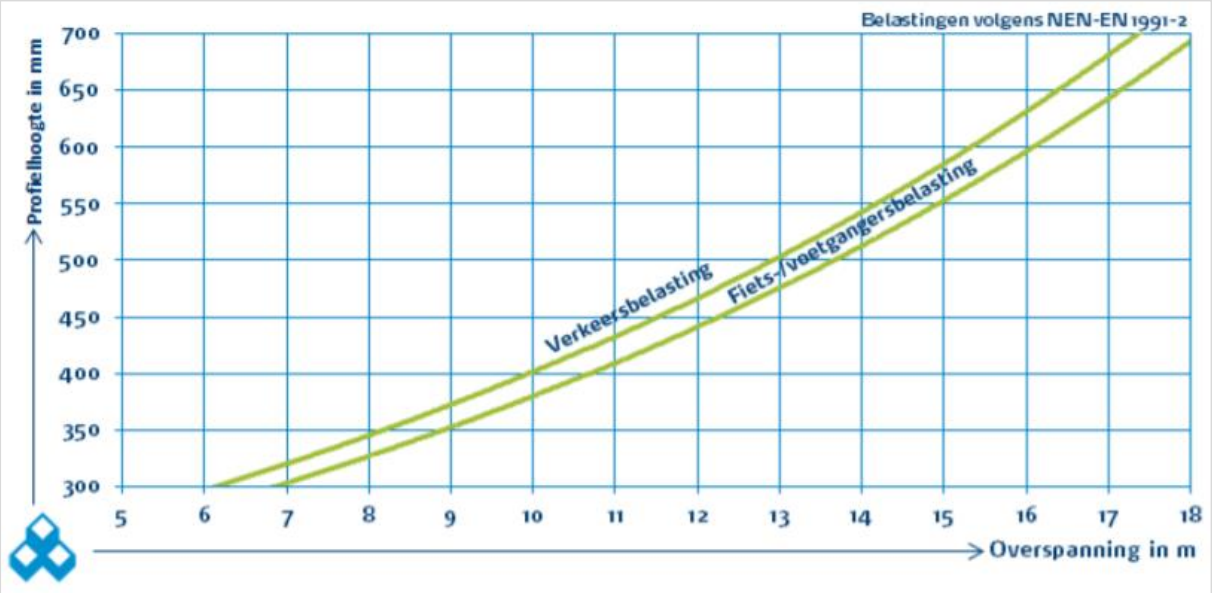


Figuur 10 - Maatvoering randligger

3.2.2 ONDERDELEN BOVENBOUW

De bovenbouw is het brugdek en bestaat uit prefab volstortliggers met daarop een gewapende druklaag. De prefab ligger is 0,3 m hoog en 1,0 m breed. De hoogte van de liggers is bepaald aan de hand van figuur 11. Voor KM01 worden 21 liggers naast elkaar geplaatst. De druklaag is minimaal 0,16 m hoog. Aan de randen van het brugdek worden prefab randliggers toegepast. Deze liggers zijn 0,85 m hoog en 0,84 m breed.

Ten behoeve van de tijdelijke situatie, wanneer de prefab liggers op de deksloof worden geplaatst, is een oplegging nodig. Het materiaal kan rubber, kurk of hout zijn en er is aangenomen dat dit 20 mm dik is. Meer over deze tijdelijke situatie is te lezen in hoofdstuk 4.



Figuur 11 - Bepalen hoogte prefab volstortligger (Romein Beton, 2021)

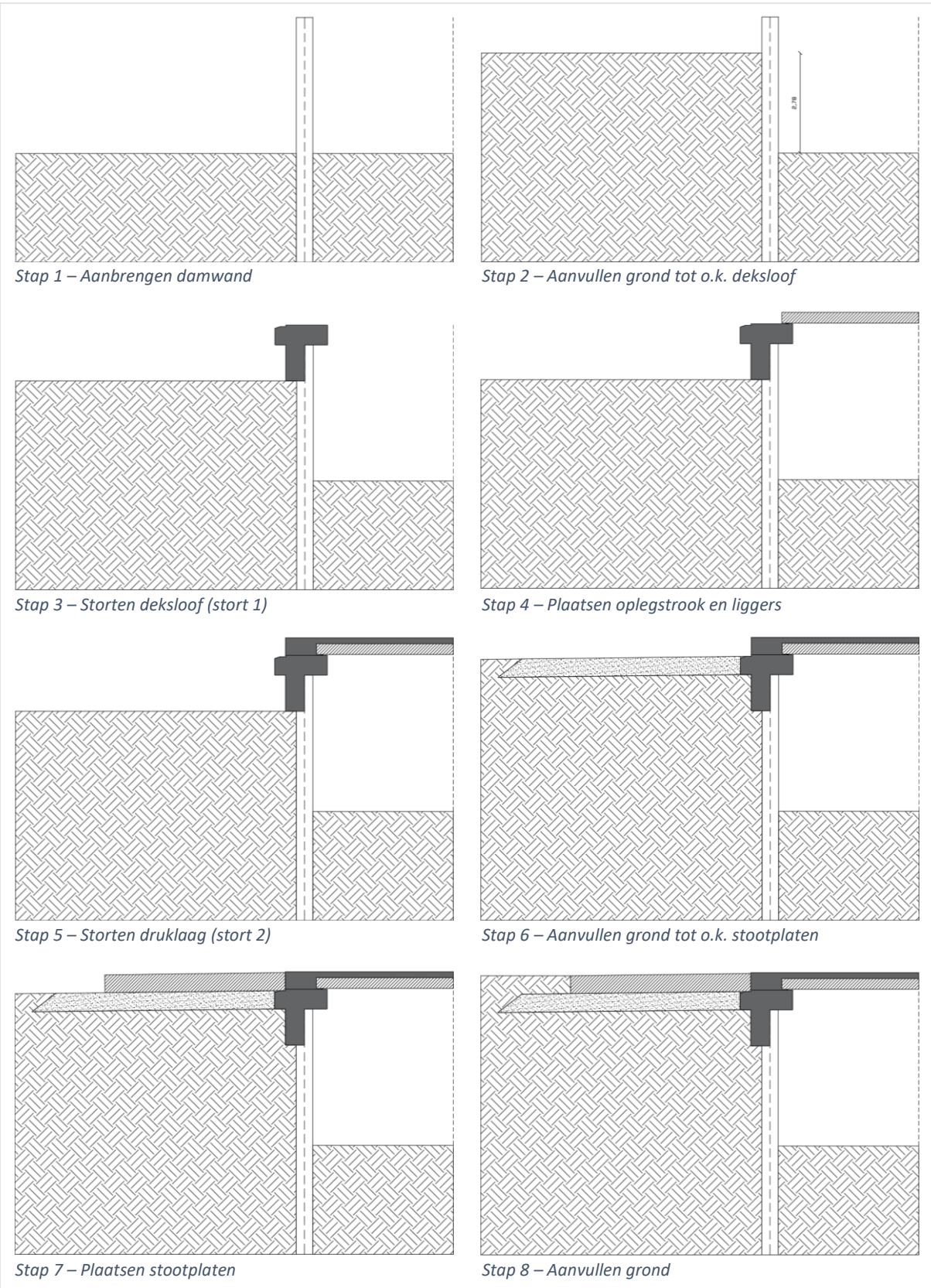
3.2.3 AFWERKING EN WEGUITRUSTING

De schampkanten zijn 0,25 m hoog en 0,45 m breed. Op de schampkant wordt de geleiderails geplaatst. Aan de randen van de constructie wordt een leuning geplaatst.

3.3 BOUWFASERING

De onderstaande bouwfasering wordt aangehouden bij KM01. In figuur 12 worden de stappen met tekeningen verduidelijkt.

- Aanbrengen damwanden;
- Aanvullen van grond tot onderkant betonsloof;
- Schoonmaken damwanden ter plaatse van de deuvels en het beton;
- Aanbrengen deuvels en wapening voor de deksloof van stort 1;
- Storten deksloof (stort 1);
- Plaatsen oplegstrook;
- Plaatsen prefab volstortliggers;
- Storten druklaag (stort 2);
- Aanvullen grond tot onderkant stootplaten;
- Plaatsen stootplaten;
- Aanvullen grond;
- Afwerken dek.



Stap 1 – Aanbrengen damwand

Stap 2 – Aanvullen grond tot o.k. deksloof

Stap 3 – Storten deksloof (stort 1)

Stap 4 – Plaatsen oplegstrook en liggers

Stap 5 – Storten druklaag (stort 2)

Stap 6 – Aanvullen grond tot o.k. stootplaten

Stap 7 – Plaatsen stootplaten

Stap 8 – Aanvullen grond

Figuur 12 - Bouwfasering KM01

Zoals te zien is in stap 2 en 3 in figuur 12 wordt de damwand belast met gronddrukken en het eigengewicht van de betonnen deksloof op de damwand, zonder dat er stempels of ankers aanwezig zijn. Voor een kunstwerk bij de Groene Boog in Rotterdam is eenzelfde grondophoging en eigengewicht van de deksloof toegepast. De vervorming ten gevolge van deze belastingen was slechts 1,5 mm. Tussen het aanbrengen van de deksloof en het aanbrengen van het dek verandert er niets. De berekende vervorming is zo klein dat een voorafgaande correctie van de positie van de damwand niet noodzakelijk is. De vervorming kan worden opgevangen in de constructieafmetingen, waarin rekening is gehouden met toleranties en vervormingen. Wel treedt er een klein moment op in de damwand vlak onder het maaiveld van de onderdoorgang. Dit moment moet worden opgeteld bij het moment dat optreedt ten gevolge van de veranderlijke belasting.

4. KRACHTSWERKING IN INTEGRAALCONSTRUCTIES

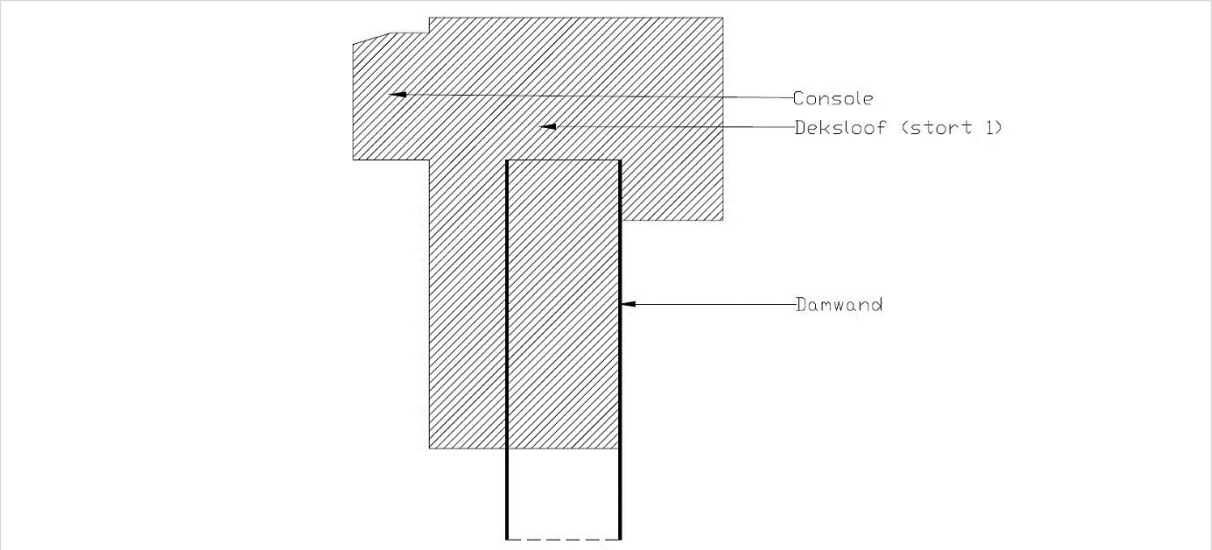
Een belangrijk aspect bij een integraalbrug is het kist-effect. Dit effect wordt eerst uitgelegd, waarna de krachtswerking in de constructie wordt toegelicht en tot slot worden de krachten die in de verbindingen optreden, worden weergegeven.

4.1 PRINCIPE EN KIST-EFFECT

Het kisteffect wordt toegelicht aan de hand van de stappen in de uitvoering van de integraalbrug. De uitleg begint bij uitvoeringstap 3 volgens figuur 12.

4.1.1 FASE 1 - EERSTE STORT BETON

Als de damwanden geplaatst zijn en daaraan zijn de verbindingselementen gemaakt, kan het eerste beton gestort worden. Met de eerste stort wordt de deksloof en de verbinding tussen de deksloof en damwand gemaakt. Ook wordt bij deze stort een console gemaakt, waarop, in een later stadium, de stootplaten worden geplaatst. Zie figuur 13.

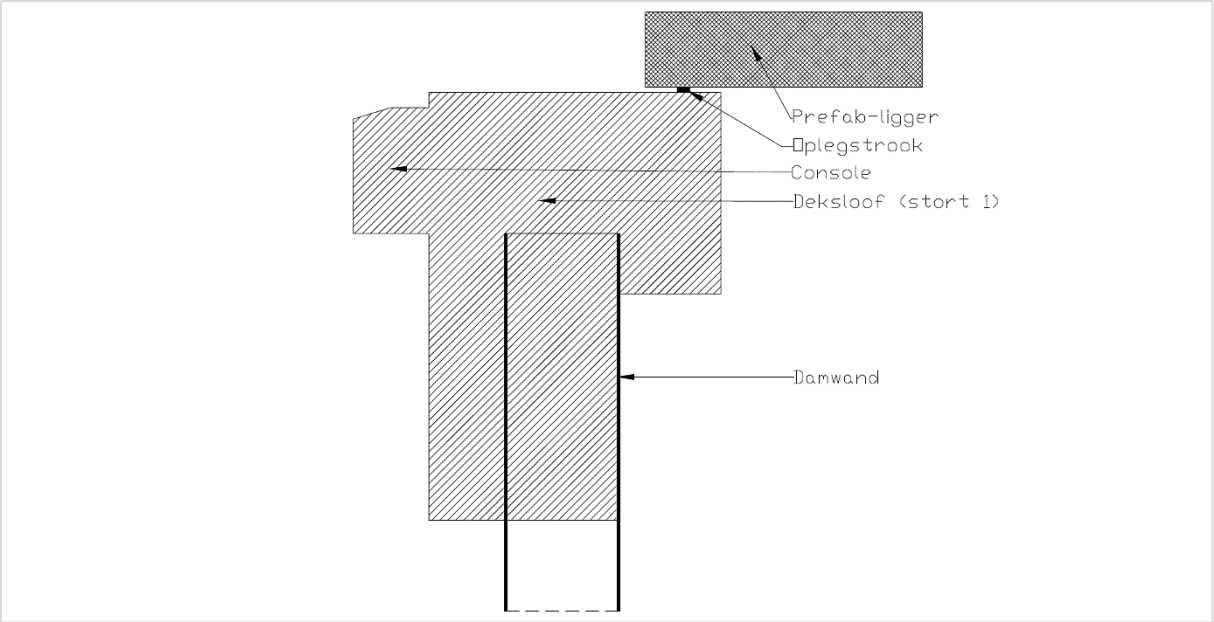


Figuur 13 – Stap 1 - Eerste stort beton

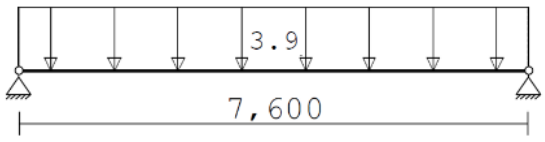
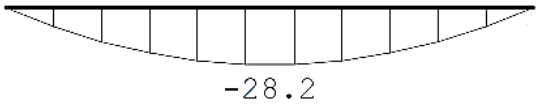
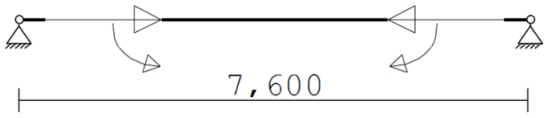
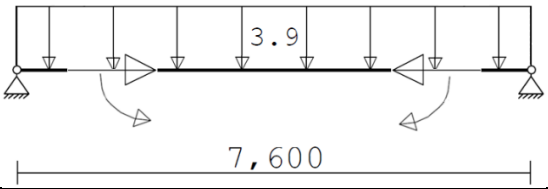
4.1.2 FASE 2 - PLAATSEN VOORGESPANNEN PREFAB VOLSTORTLIGGERS

De volgende stap is het plaatsen van de voorgespannen prefab volstortliggers. Op de deksloof wordt een oplegstrook gelegd, van bijvoorbeeld neopreen of kurk, om daarop de voorgespannen prefab liggers te plaatsen. De oplegstrook heeft een tijdelijke functie. Zodra de druklaag in de volgende fase uitgehard is, dan functioneert de oplegstrook niet meer. Door deze oplegging is de constructie een ligger op twee steunpunten en is de constructie statisch bepaald. De uiteinden van de voorgespannen prefab liggers kunnen nog geen moment opnemen. De belasting die op dit moment op de oplegstrook komt, is het eigengewicht van de ligger. Voor een volstortligger van 300 mm hoog en 1000 mm breed is het eigengewicht 3,9 kN/m.

De prefab liggers zijn voorzien van voorspanstaal. De belasting van dit voorgerekte staal grijpt niet direct aan de liggerkop aan, maar het wordt geleidelijk opgebouwd over de overdrachtslengte van het voorspanstaal. Zie figuur 14 en tabel 4.



Figuur 14 – Stap 2 - Plaatsen voorgespannen prefab liggers

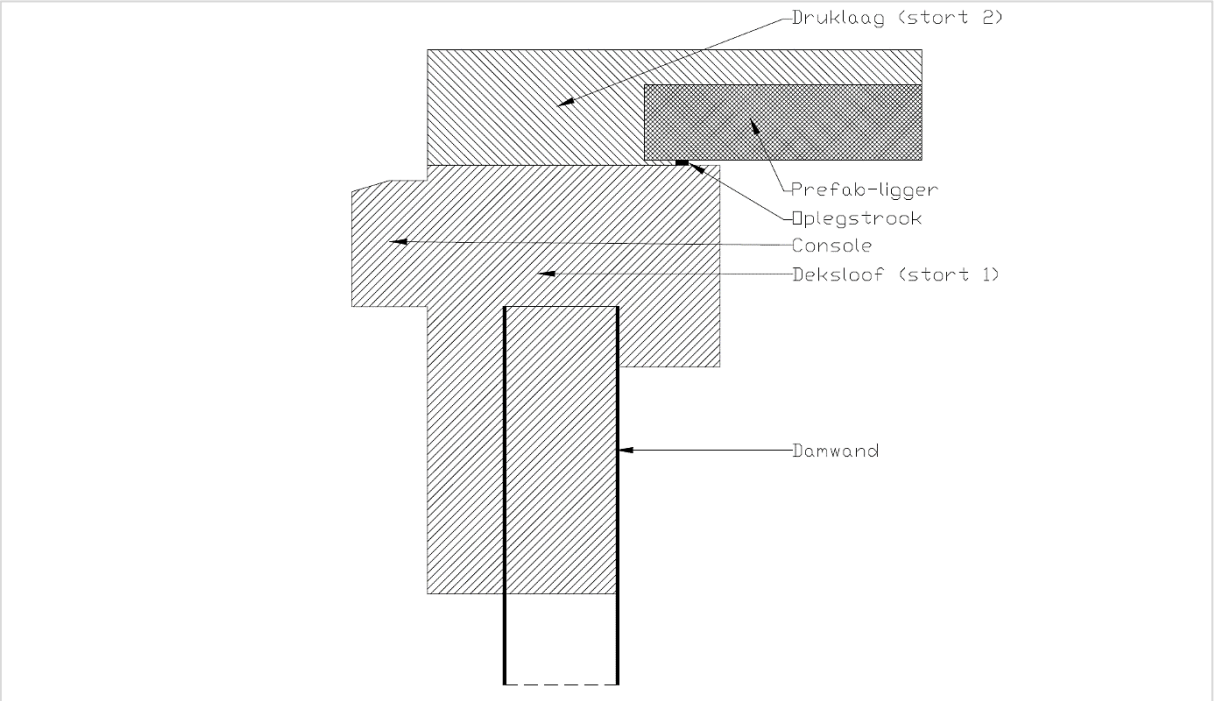
	Belastingschema	Momentenlijn (M-lijn)
Prefab		
Voorspanning		
Totaal		

Tabel 4 - Belastingschema, V-lijn en M-lijn fase 2

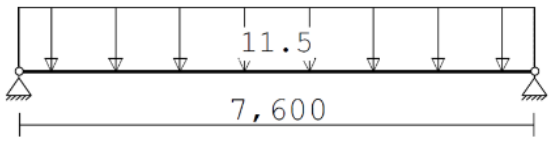
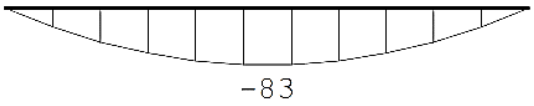
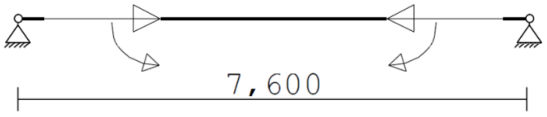
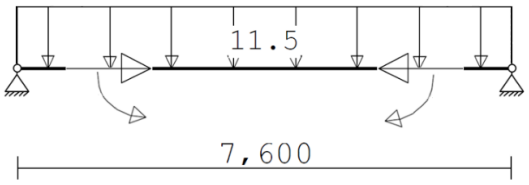
4.1.3 FASE 3 - TWEEDE STORT BETON

Vervolgens wordt een tweede betonstort gedaan: de druklaag. Deze druklaag verbindt de prefab liggers met de eerder gestorte deksloof. Het moment vóórdat het beton uitgehard is, is de constructie nog steeds een ligger op twee steunpunten. Dit wordt de ‘oorspronkelijke situatie’ genoemd. Bij een druklaag van minimaal 160 mm is het eigengewicht, inclusief de prefab liggers, 11,5 kN/m. De dwarskrachten- en momentenlijn komt qua vorm overeen met die van de vorige fase. Het verschil is dat de belasting nu groter is geworden door het betonspecie. Zie figuur 15 en tabel 5.

De belasting van de voorspanning is nog hetzelfde als bij de vorige fase.



Figuur 15 – Stap 3 - Tweede stort beton

	Belastingschema	Momentenlijn (M-lijn)
Prefab		
Voorspanning		
Totaal		

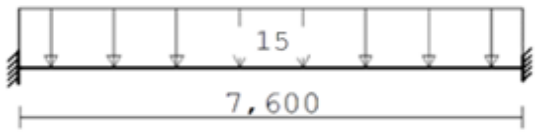
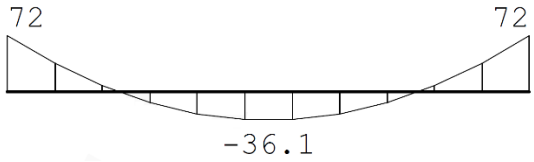
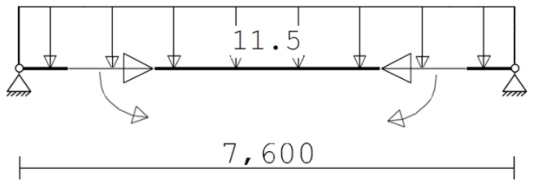
Tabel 5 - Belastingschema, V-lijn en M-lijn fase 3

4.1.4 FASE 4 - UITHARDING EN GEBRUIKSFASE

Ná het uitharden van de druklaag zijn de voorgespannen prefab liggers momentvast aan de deksloof verbonden (Verbaten, 2006). Door de kruip van het beton verandert de krachtsverdeling van een statisch bepaalde constructie naar de krachtsverdeling in het nieuwe systeem (een statisch onbepaalde constructie) ten gevolge van de oorspronkelijke belastingen die aangrijpen vóór het maken van de verbinding. Dit houdt in dat er een portaalconstructie ontstaat met als gevolg dat er een integrale verbinding, een inklemming, ontstaat tussen de damwanden en de liggers in het brugdek. Dit is een geleidelijk proces. Het wijzigen van het systeem, van statisch bepaald naar

statisch onbepaald, wordt het kist-effect genoemd en wordt veroorzaakt door de kruip van het beton (Van Vught, 2015).

Alle belastingen die ná het uitharden van de druklaag op het brugdek komen, zoals de gelijkmatige belasting van het verkeer op de brug, worden volgens het nieuwe systeem afgedragen. De totale momentenlijn bestaat daarom uit de optelling van de momentenlijn in fase 3 en de momentenlijn ten gevolge van de veranderlijke belasting op de brug. Zie tabel 6.

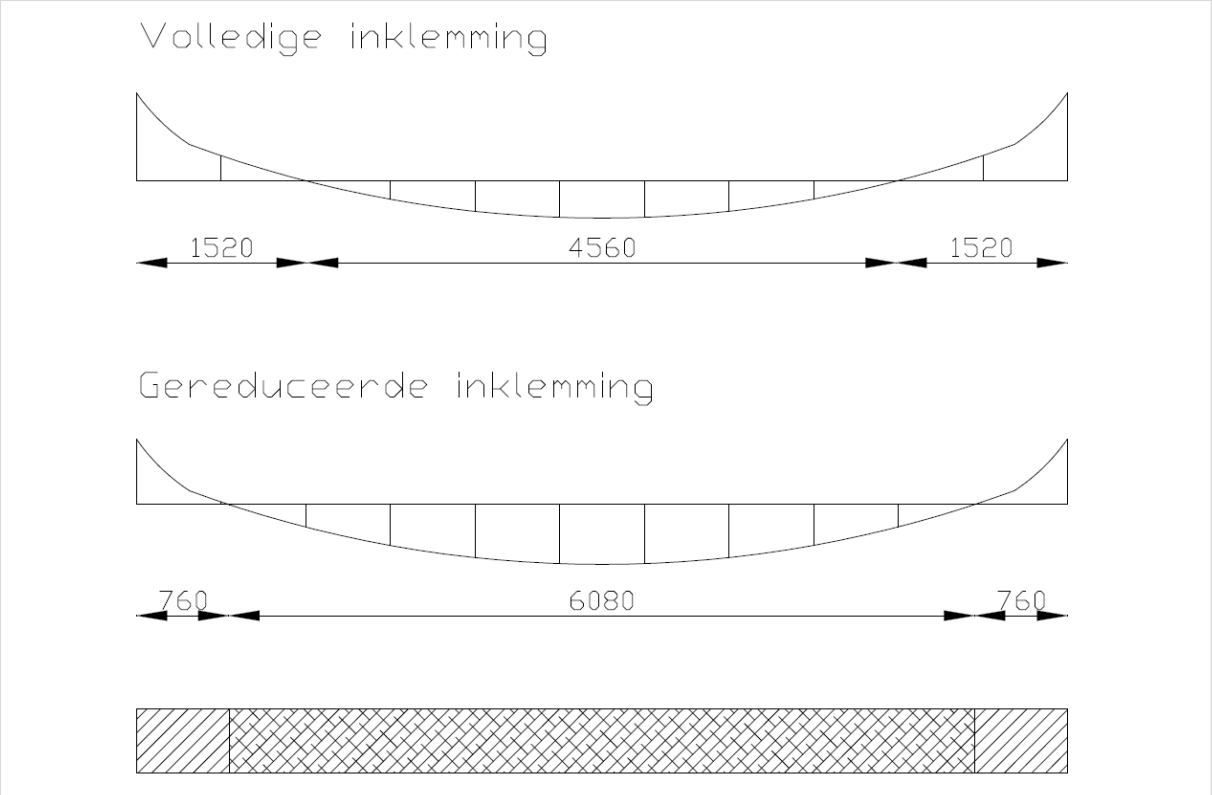
	Belastingschema	Momentenlijn (M-lijn)
UDL belasting		
Vorige fase		
Totaal		

Tabel 6 - Belastingschema, V-lijn en M-lijn fase 4

4.1.5 STIJFHEIDSVERDELING IN DE LANGSRICHTING

De voorgespannen prefab liggers gedragen zich veel stijver dan de gewapende doorsnede boven de deksloof. Bij de voorgespannen prefab liggers is zowel de scheurdiepte als de toegestane scheurwijdte kleiner. Door het verschil in buigstijfheid is het gebruikelijk om hierin onderscheid te maken nabij het steunpunt en het veld. De gereduceerde buigstijfheid nabij het steunpunt treedt op in het gebied waar de trekzone zich bovenin het brugdek bevindt tot het momenten-nulpunt. Ook ter plaatse van het veldmoment aan de onderzijde treedt dit op, maar dit beton zal niet of minimaal gaan scheuren. Dat komt door de aanwezige voorspanning. Voor tabel 6 houdt het in dat vanaf de uiteinden tot het momentennulpunt een gereduceerde buigstijfheid moet worden toegepast (Van Vught, 2015).

De inklemmingsgraad van 2/3 voor een volledige inklemming, waarbij het momentennulpunt op 0,2 maal de lengte ligt, zoals bij de momentenlijn van de prefab liggers en druklaag in tabel 6, komt in de praktijk niet voor. Deze graad is afhankelijk van meerdere factoren, zoals de bedding van de damwand, voorspanning in de prefab liggers en de stijfheid van de damwand ten opzichte van het brugdek. Om een realistisch beeld te krijgen over het traject waarop een gereduceerde buigstijfheid plaats vindt, wordt de afstand vanaf het steunpunt tot het momentennulpunt van 0,1 maal de lengte aangehouden. Nabij het momenten-nulpunt heeft de veranderde buigstijfheid beperkte invloed (Van Vught, 2015).



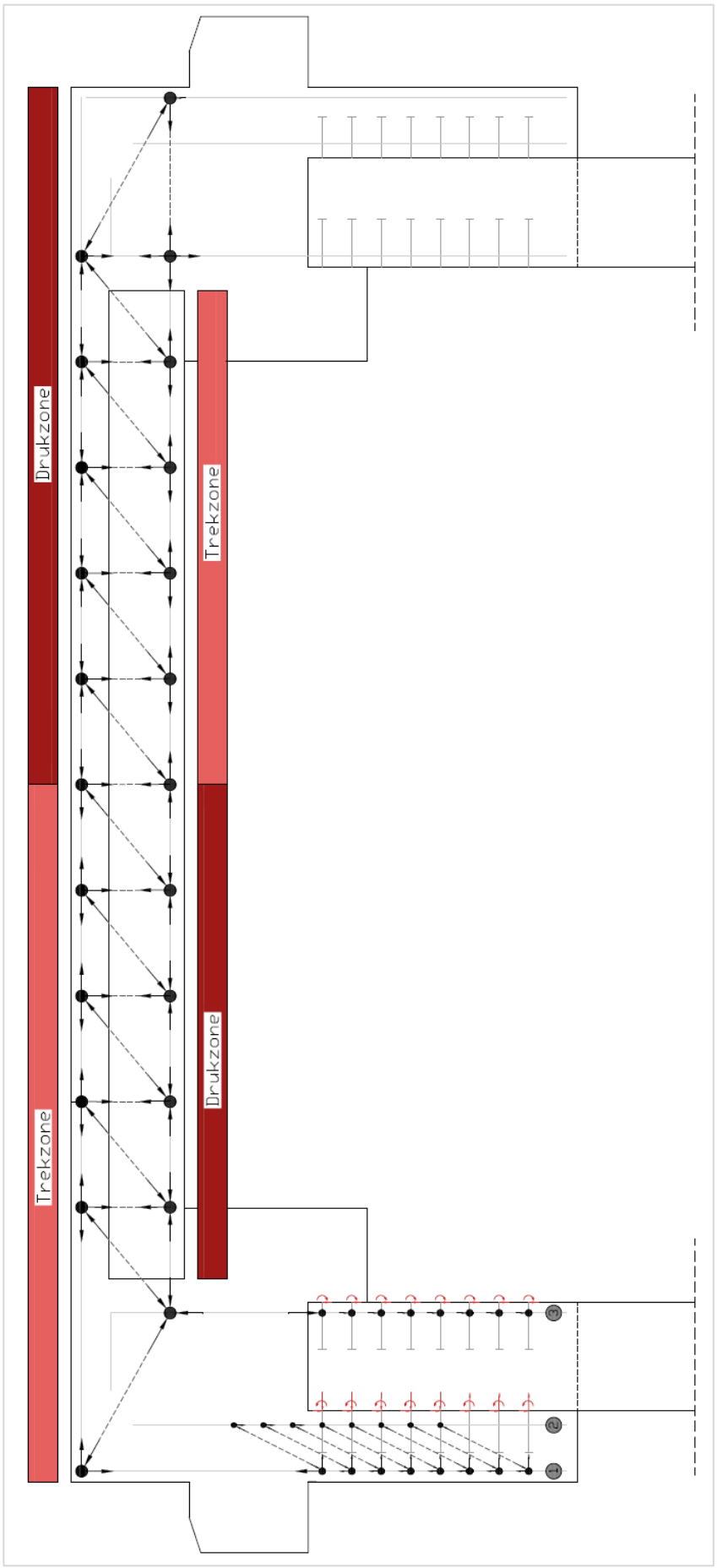
Figuur 16 - Gereduceerde buigstijfheid met M-lijn inclusief voorspanning

4.1.6 KIST-EFFECT IN DE BEREKENING

Het kist-effect is van toepassing op het eigengewicht, dus de liggers en de druklaag, én alle belastingen die al voor de verandering van het systeem aanwezig waren. Hieronder valt ook de voorspanning in de prefab liggers (Van Vught, 2015). Om dit te kunnen verwerken in een rekenmodel wordt de krachtsverdeling in het statisch bepaalde model met $e^{-\varphi(\infty,t_0)}$ vermenigvuldigd. Dit is de kruipfactor. De krachtsverdeling in het statisch onbepaalde model ten gevolge van de oorspronkelijke belasting, wordt vermenigvuldigd met $1 - e^{-\varphi(\infty,t_0)}$. Dit is volgens EC2-1-1. De situatie met en zonder kruip worden beschouwd. Kruip neemt in de tijd toe.

4.2 KRACHTSWERKING

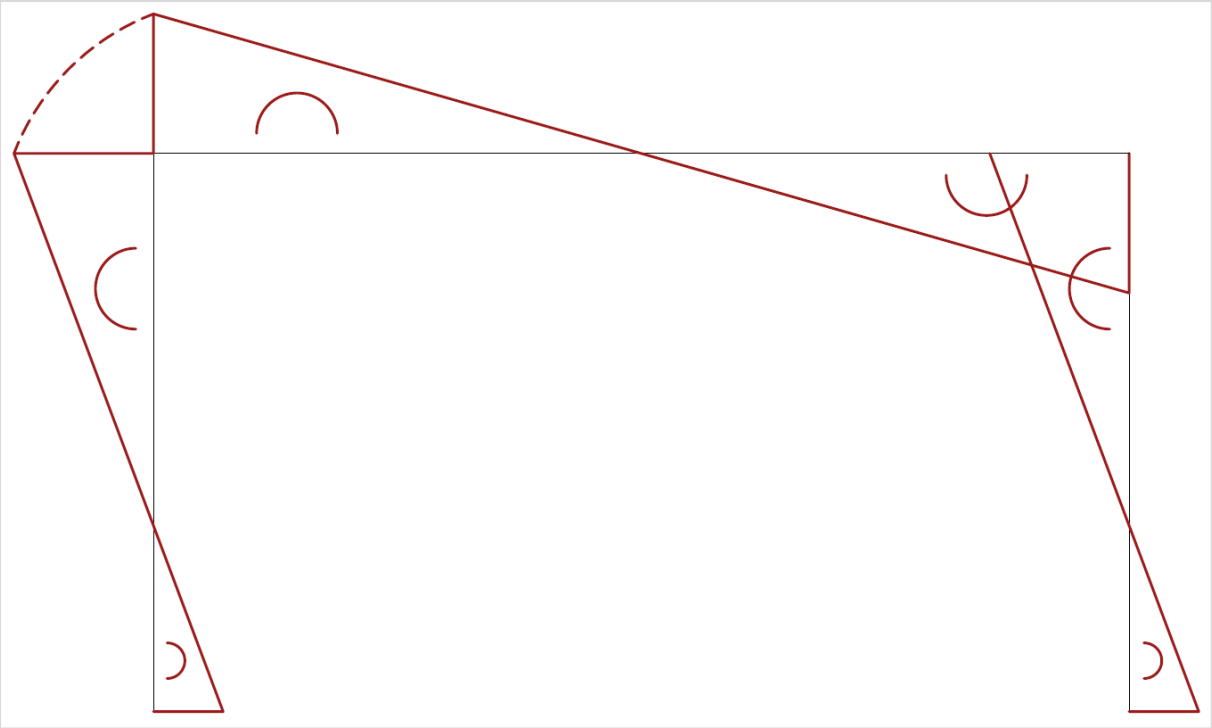
Eerst wordt toegelicht hoe de krachten in de verbindingen komen. Vervolgens wordt de grootte van de krachten gegeven. Bij deze uitleg wordt uitgegaan van een verbinding zoals WSP het zou ontwerpen en dat is door middel van een stiftdeuvelverbinding. Tijdens het onderzoek is deze manier van ontwerpen het uitgangspunt.



Figuur 17 - Krachtswerking constructie

4.2.1 KRACHTSWERKING IN CONSTRUCTIE

Bij de toelichting is uitgegaan van de maatgevende momentenlijn zoals in figuur 18, waarbij voertuigen op de stootplaten staan. Voor de uitleg van de krachtswerking in de deksloof en verbindingen wordt alleen naar de linker deksloof gekeken.



Figuur 18 - Maatgevende momentenlijn

Brugdek

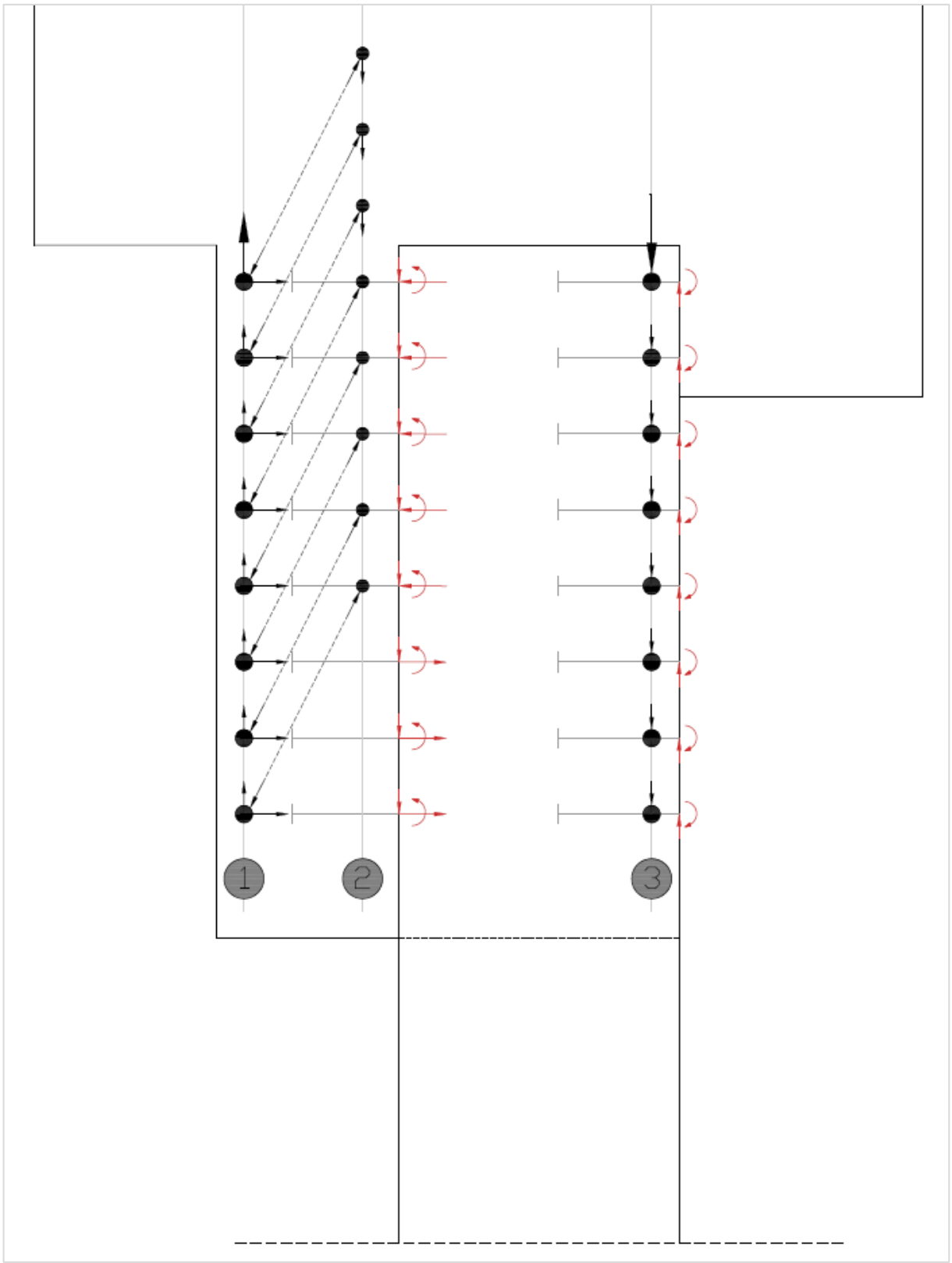
Zoals te zien is in figuur 17 treedt bij de linker deksloof aan de bovenzijde van het brugdek een trekkracht op en aan de onderzijde van het brugdek treedt dan een drukkracht op. Vanaf het midden van het brugdek is dit omgedraaid. Dit is met kleuren aangegeven in figuur 17. In deze figuur is steeds evenwicht gemaakt in de knopen. Dit evenwicht ontstaat door de drukdiagonalen in het beton en de trekverticalen in de wapeningsbeugels. De trekkrachten in het brugdek gaan door de wapening in de druklaag of door het voorspanstaal in de prefab volstortliggers.

Deksloof

Voor de uitleg van de krachten in de deksloof wordt nu alleen naar de linker deksloof gekeken. Vanuit het brugdek gaan de krachten de deksloof in. Aan de bovenzijde van de deksloof treedt een trekkracht op en daarom treedt aan de linkerzijde van de deksloof ook een trekkracht op. Aan de onderzijde van het brugdek nabij de deksloof is er sprake van een drukkracht, dus ook in de deksloof zit een verticale drukkracht aan de brugdekzijde. De trekkracht gaat door middel van de verticale wapening naar het beton in en rondom de damwandkas. Aan de drukzijde verplaatst de kracht zich grotendeels via het beton naar de verbinding.

Verbinding

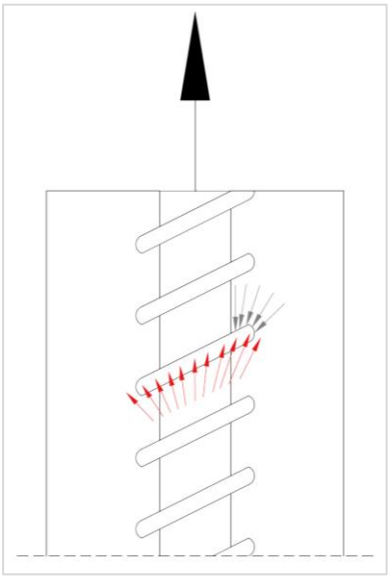
Hoe de krachten op de verbindingen komen, wordt toegelicht door naar de drie verschillende verticale staven te kijken.



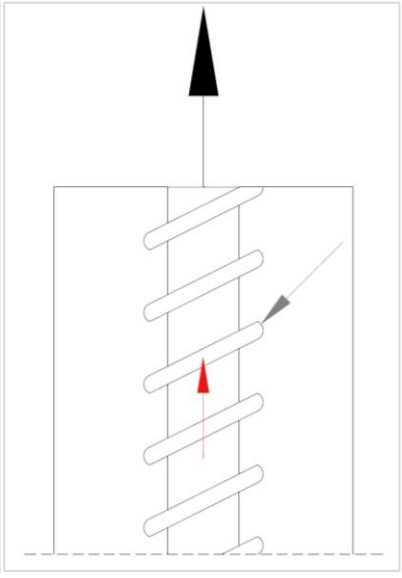
Figuur 19 - Zoom-in linker deksloof

Staaf 1

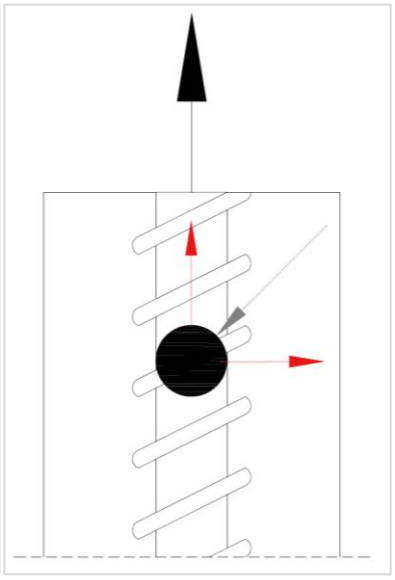
Allereerst kijken we naar staaf 1. In deze staaf zit een trekkracht, dus in principe wil de wapening uit het beton worden getrokken. In figuur 20 is aangegeven in welke richting dat is. De wapening kan echter niet uit het beton getrokken worden, omdat het beton tegen de ribbels van de wapening duwt. Dit is in dezelfde figuur te zien. Al deze krachten zijn samengevoegd tot een resultante, zoals in figuur 21. Hieruit volgt de drukdiagonaal in het beton. Als we vervolgens de knoop bekijken in figuur 22, is te zien dat er ook een horizontale kracht optreedt. Deze kracht wordt opgenomen door de horizontale wapening.



Figuur 20 – Optredende krachten staaf 1



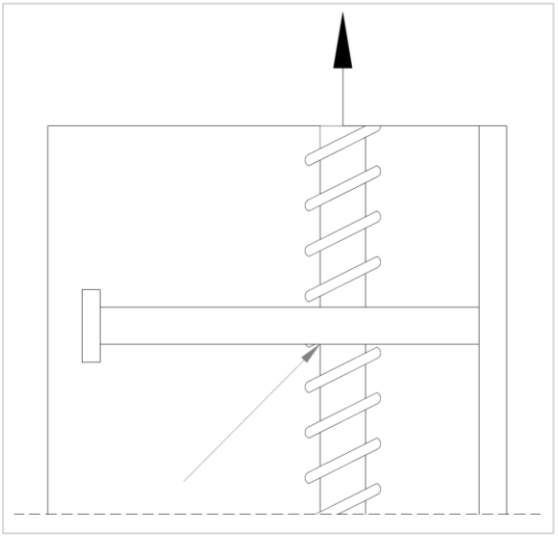
Figuur 21 – Resultanten staaf 1



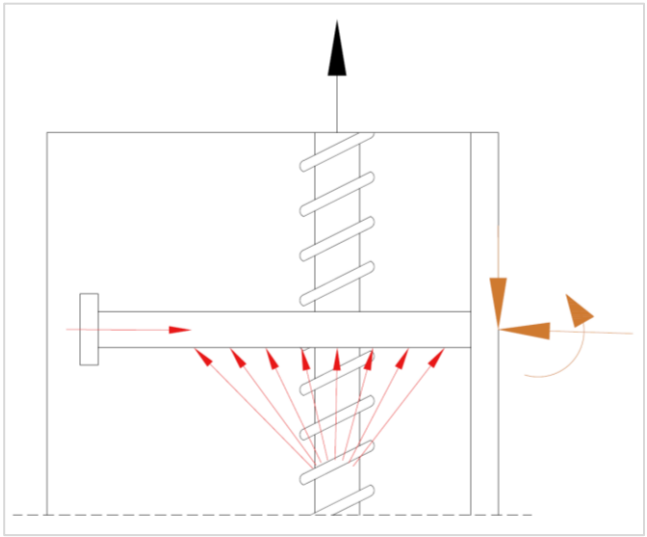
Figuur 22 – Evenwicht knoop staaf 1

Staaf 2

De drukdiagonaal in het beton die optreedt bij staaf 1 gaat door tot staaf 2 en drukt dan vervolgens op deze staaf. Zie figuur 23. De richting van deze betonkracht is naar boven, waardoor ook deze staaf aan de bovenzijde van het beton eruit wil. De drukdiagonaal kan worden opgesplitst in een horizontale en verticale kracht. De verticale kracht verspreid zich rondom de wapeningstaaf. Zie figuur 24. Deze krachten worden via de stiftdeuvels overgedragen aan de damwand. De horizontale kracht wordt opgenomen door de kop van de deuvel en de damwand.

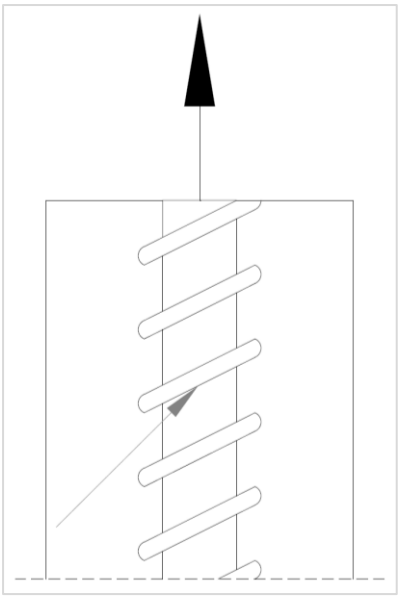


Figuur 23 – Drukdiagonaal op stiftdeuvel, staaf 2

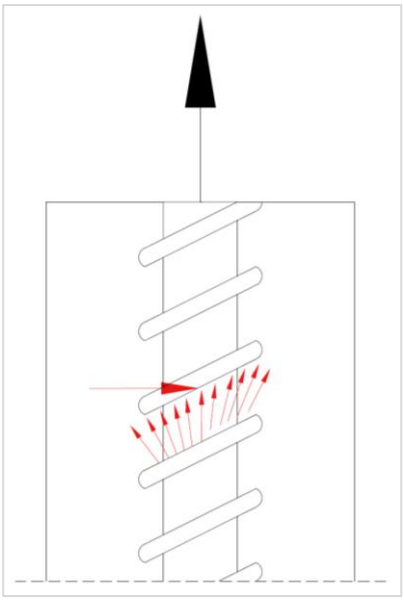


Figuur 24 – Krachten op stiftdeuvels en reactiekrachten damwand

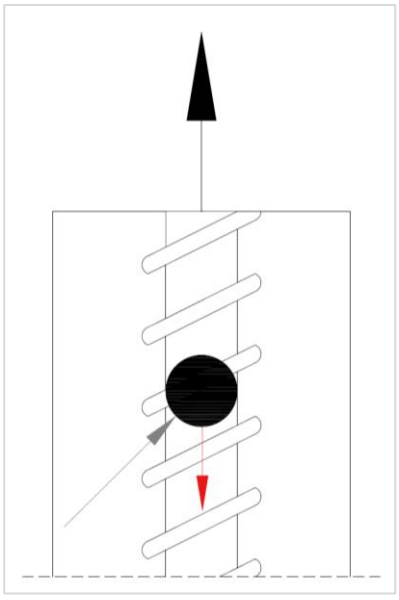
Zoals in figuur 17 te zien is, komen niet alle krachten direct bij een stiftdeuvel uit. Boven de stiftdeuvels bij staaf 2 komen bijvoorbeeld drukdiagonalen uit. Ook deze kracht wordt opgesplitst in een horizontale en verticale krachten. De verticale krachten zullen worden opgenomen door staaf 2. De horizontale kracht moet worden opgenomen door horizontale wapening in de deksloof.



Figuur 25 – Drukdiagonaal op staaf 2 staaf 2



Figuur 26 – Drukdiagonaal ontbinden

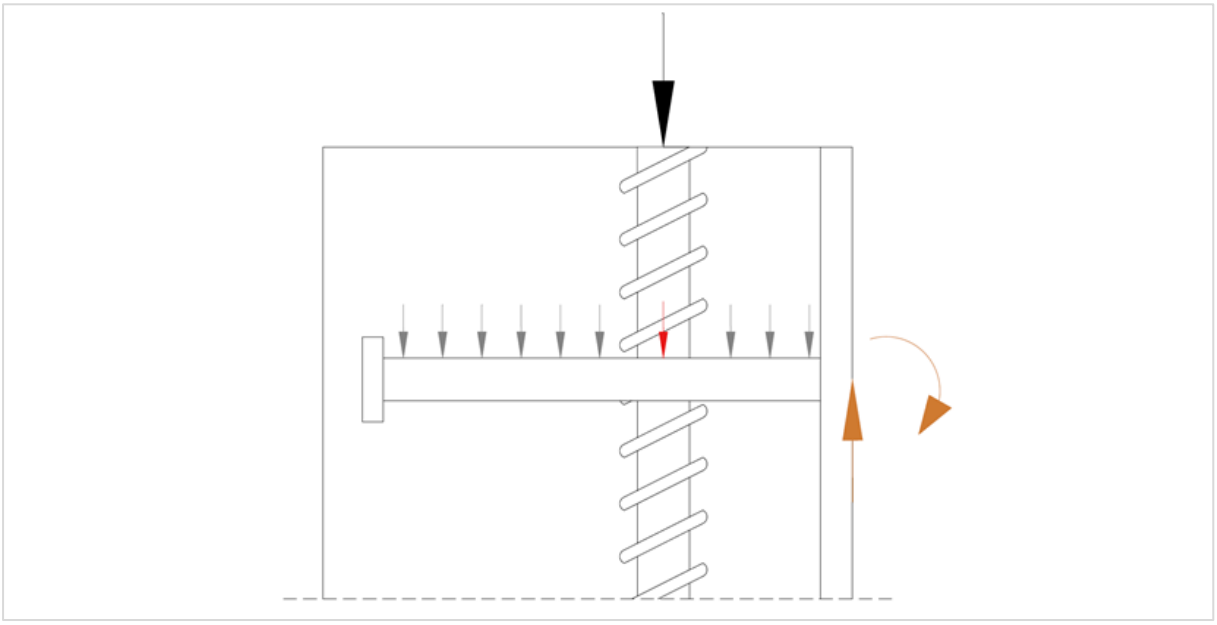


Figuur 27 – Evenwicht knoop

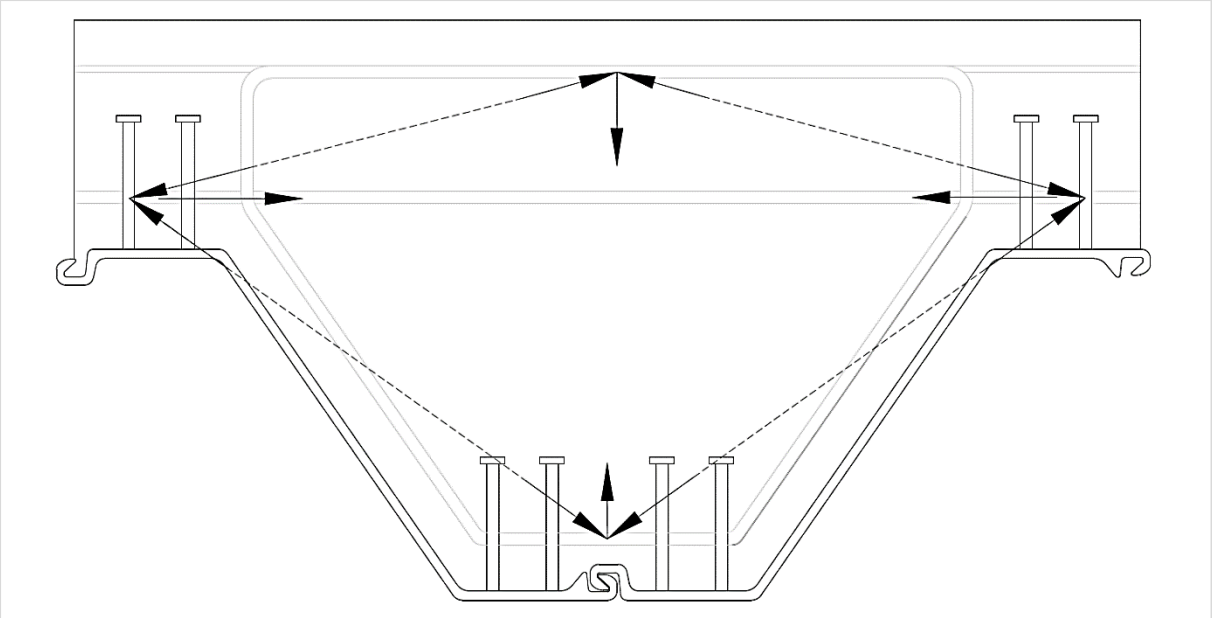
Vanuit staaf 1 komen de drukdiagonalen niet direct aan bij de onderste drie deuvels. Wel verdeelt staaf 2 de krachten ook naar de onderste drie stiftdeuvels. De horizontale reactiekracht op de damwand bij deze deuvels is in de andere richting dan de rest van de deuvels bij staaf 2. Dat komt doordat het beton aan de onderzijde van de damwand af wil bewegen. De stiftdeuvels trekken het beton naar de damwand toe.

Staaf 3

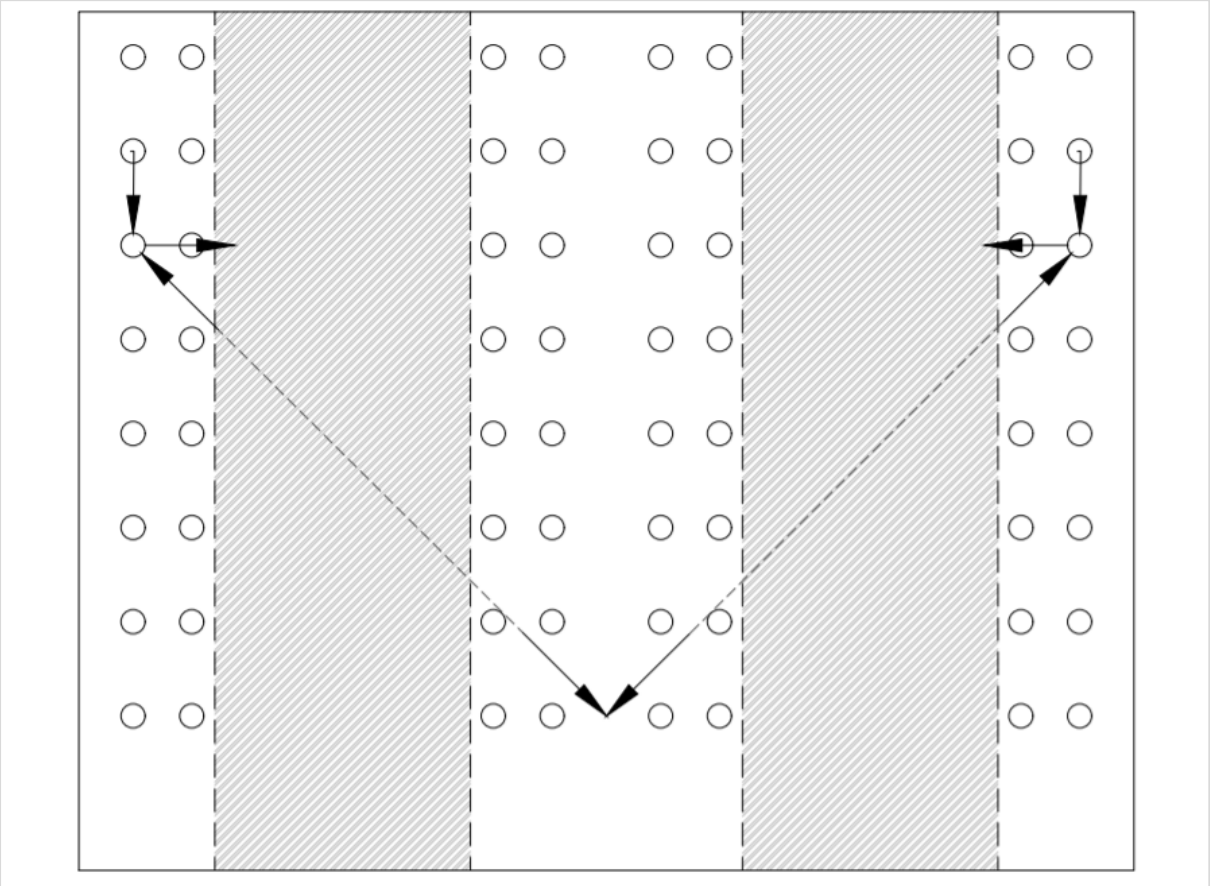
In staaf 3 en het beton eromheen treedt een drukkracht op. Deze kracht komt, via de wapeningstaaf en het beton, direct op de stiftdeuvelverbinding. Dit is te zien in figuur 28.



Figuur 28 - Krachten en reactiekrachten staaf 3



Figuur 29 - Krachtswerking bovenaanzicht



Figuur 30 - Krachtswerking vooraanzicht

In figuur 29 en 30 is aangegeven hoe de krachten vanuit de verticale wapening bij de stiftdeuvels komen. De drukdiagonaal drukt in meerdere richtingen. Op deze manier komt de drukdiagonaal bij de stiftdeuvels die op trek worden belast. Vervolgens geeft de stiftdeuvel een kracht naar beneden. Ook treedt een horizontale spatkracht op die met splijtwapening opgenomen moet worden.

4.2.2 KRACHTEN OP VERBINDING

Er is geprobeerd om aan de hand van KM01 de krachten op de verbinding te bepalen. Helaas zit ergens in het model een fout die niet gevonden is. Daarom is gebruik gemaakt van afgeronde krachten van K01 van De Groene Boog in Rotterdam. De afmetingen komen bijna allemaal overeen met KM01 en daarom kan aangenomen worden dat het realistische waarden zijn. De grootte van deze krachten is weergegeven in tabel 7 tot en met 9. De verbindingen worden gecontroleerd op sterkte en vermoeiing. In onderstaande tabellen zijn de krachten op de verbinding weergegeven. Het moment en de normaalkracht zijn afgelezen uit *SCIA Engineer*. Deze krachten zijn omgerekend naar krachten op de deuvels aan de grond- en brugdekzijde.

	M_y [kNm]	N [kN]	$F_{deuvels\ grondzijde}$* [kN]	$F_{deuvels\ dekzijde}$* [kN]
ULS – Afschuifkracht op verbinding				
Maximale trek brugdekzijde	-225	-100	-552	452
Maximale druk brugdekzijde	400	-475	656	**-1131**
Maximale trek grondzijde	400	-275	**756**	-1031
Maximale druk grondzijde	-175	-625	-703	78
SLS Karakteristiek – Afschuifkracht op verbinding				
Maximale kracht	275	-325	**452**	**-777**
FAT – Spanningswisselingen deuvels dekzijde				
Maximale afschuifkracht	-10	-2	-23	21
Minimale afschuifkracht	70	-100	106	-206
Wisseling krachten deuvels	**-80**	**98**	**-130**	**228**
FAT – Spanningswisselingen deuvels grondzijde				
Maximale afschuifkracht	70	-85	114	-199
Minimale afschuifkracht	-29	-145	-137	-8
Wisseling krachten deuvels	**99**	**60**	**251**	**-191**

Tabel 7 – Uitkomsten SCIA ULS, SLS karakteristiek en FAT

* $F_{deuvels\ grondzijde} = N/2 + M_y/(h - t)$

* $F_{deuvels\ dekzijde} = N/2 - M_y/(h - t)$

	My [kNm]	N [kN]	$F_{deuvels\ grondzijde}$* [kN]	$F_{deuvels\ dekzijde}$* [kN]
Achter deksloof zuid	95	-15	199	-214
Boven deksloof zuid	1	-10	-3	-7
Midden dek	68	-84	106	-190
Boven deksloof noord	-4	-125	-71	-54
Op stootplaten noord	-18	-114	-96	-18
			295	**207**

Tabel 8 - Uitkomsten SCIA voor aangelaste wapening

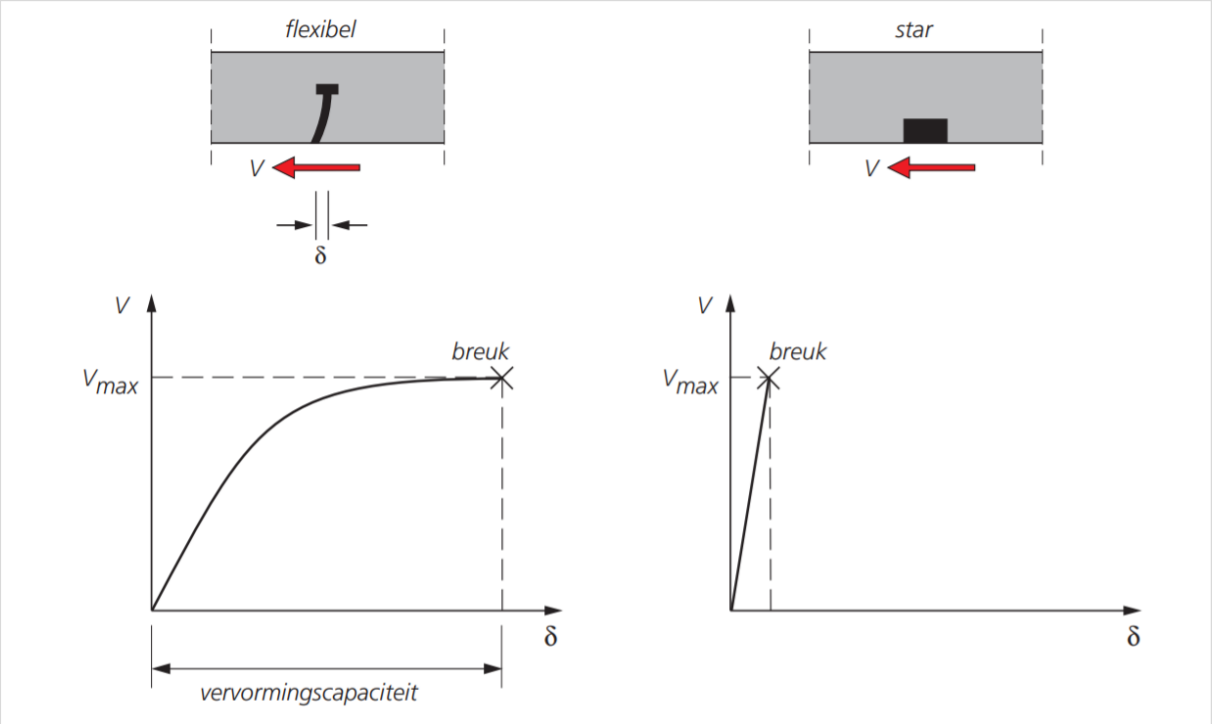
	M_y [kNm]	N [kN]	$\sigma_{grondzijde}$* [kN]
FAT – Spanningswisselingen damwand, onderste rij deuvels			
Maximale spanning	-20	-145	-6,7
Minimale spanning	45	-85	13,4
Spanningswisseling	x	x	**20,1**

Tabel 9 – Uitkomsten SCIA FAT spanningswisselingen

5. ONDERZOEK EN ONTWERP VERBINDINGEN

Voor het overbrengen van schuifkrachten tussen het beton en de damwand zijn verbindingsmiddelen of deuvels essentieel. In dit onderzoek wordt gezocht naar een optimalisatie voor de huidige ontwerpmethodiek van WSP voor verbindingen. Voordat de verbinding geoptimaliseerd kan worden, is een uitgangspunt nodig, waarmee de nieuwe ontwerpen mee vergeleken worden. Daarom wordt eerst op de manier van WSP een verbinding ontworpen. Vervolgens wordt voor de stiftdeuvelverbinding gezocht naar een optimalisatie, maar ook worden nieuwe soorten verbindingen onderzocht. De nieuwe typen deuvels die zijn onderzocht in dit rapport zijn: lus-, anker- en blokdeuvels. Een andere verbinding die onderzocht is, is aangelaste wapening. Tot slot worden de uitkomsten met elkaar vergeleken.

Voor deuvels wordt onderscheid gemaakt tussen starre of flexibele deuvels. De starre verbindingsmiddelen hebben een kleine vervormingscapaciteit en de flexibele verbindingsmiddelen hebben een grote vervormingscapaciteit. Dit is afhankelijk van de vervormingseigenschappen, namelijk de stijfheid en vervormingscapaciteit (Stark, 2009).



Figuur 31 - Verschillend gedrag van deuvels: flexibel (links) en star (rechts) (Stark, 2009)

Bij alle ontwerpen van de verbindingen is de toetsing op vermoeiing maatgevend. Ten gevolge van dynamische belastingen, zoals de verkeersbelasting op de brug, treden er spanningswisselingen op in de constructie en wordt de brug onderworpen aan vermoeiing. Deze spanningswisselingen kunnen door vermoeiing van het materiaal aanleiding geven tot het bezwijken van het materiaal (PVO, 2021) (TU Delft, 2021b). Ondanks dat de spanning overal onder de maximale vloei- of breukspanning blijft, kan er een breuk optreden door langdurige wisselende belasting (Wetenschap Info, 2021).

Indien het staal een vloeigrens van 500 N/mm² heeft, dan is de rekenwaarde van de vloeigrens bij de uiterste grenstoestand 435 N/mm². Bij vermoeiing is de rekenwaarde van de vloeigrens veel lager, namelijk 24,0 N/mm² bij stiftdeuvels en 27,9 N/mm² bij aangelaste wapening. Dit komt door het

bezwijken vóórdat de maximale vloeispanning wordt bereikt. Voor de berekening hiervan, zie bijlage 11. Hieronder wordt een kort voorbeeld gegeven om het verschil aan te tonen. Hierbij is gebruik gemaakt van krachten uit tabel 7 en 8 en een staafdiameter van 20 mm.

$$ULS\text{: } \frac{F}{A \cdot \sigma_{max,ULS}} = \frac{756 \cdot 10^3}{314 \cdot 435} = 5{,}5 = 6\ verbindingen$$

$$FAT\text{: } \frac{F}{A \cdot \sigma_{max,FAT}} = \frac{295 \cdot 10^3}{314 \cdot 27{,}9} = 33{,}7 = 34\ verbindingen$$

5.1 STIFTDEUVELS (UITGANGSPUNT)

Bij WSP bestaat de huidige ontwerpmethodiek uit een verbinding met stiftdeuvels, waarbij de damwand geplaatst is aan de brugdekzijde en het beton zich aan de grondzijde bevindt. Zie figuur 33. Er is een stiftdeuvelberekening gemaakt om als uitgangspunt te gebruiken bij de optimalisatie van de verbinding.

Het is tegenwoordig gebruikelijk om de verbinding tussen de damwand en het beton te realiseren met stiftdeuvels. Ook in EC4-2 wordt in de hoofdtekst alleen maar gesproken over dit soort verbindingen. Door middel van een pistool worden de deuvels aan de damwand gelast (Stark, 2009). Voor de stiftdeuvels mag worden aangenomen dat zij zich star gedragen en geen verschuiving toelaten tussen het staal en beton, ondanks dat de stiftdeuvel onder de flexibele verbindingen behoort (NEN, 2009).

Voordelen

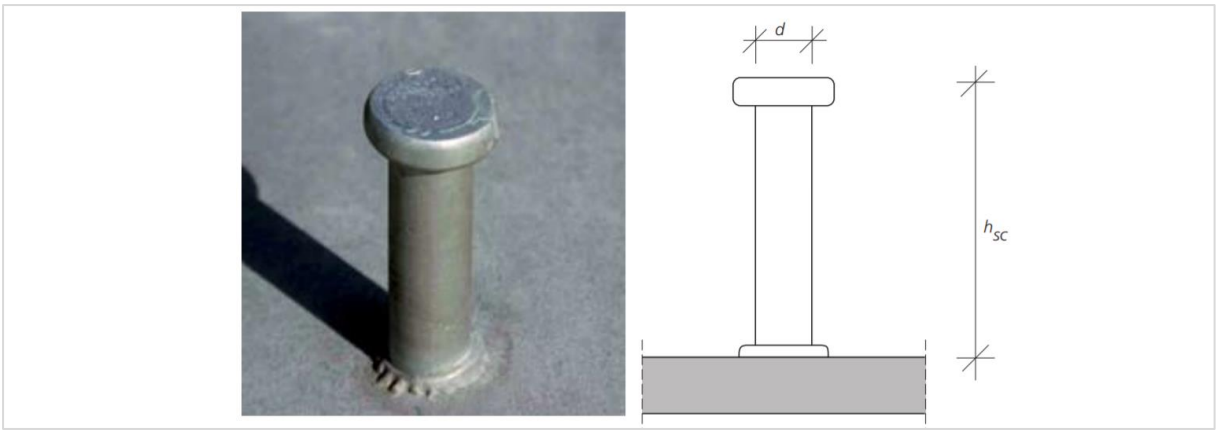
- Een snelle verbinding is mogelijk;
- Weinig tot geen nabewerking is nodig om de verbinding te maken;
- Zeer plaatselijk treedt er hitte-inbreng op bij de montage;
- De andere zijde van het materiaal wordt niet beschadigd;
- Het realiseren van een waterdichte verbinding is mogelijk;
- De stiftdeuvels zijn nauwkeurig te monteren;
- Voor de montage is eenvoudige apparatuur beschikbaar (Studco, 2021);
- Stiftdeuvels nemen relatief weinig ruimte in beslag.

Nadelen

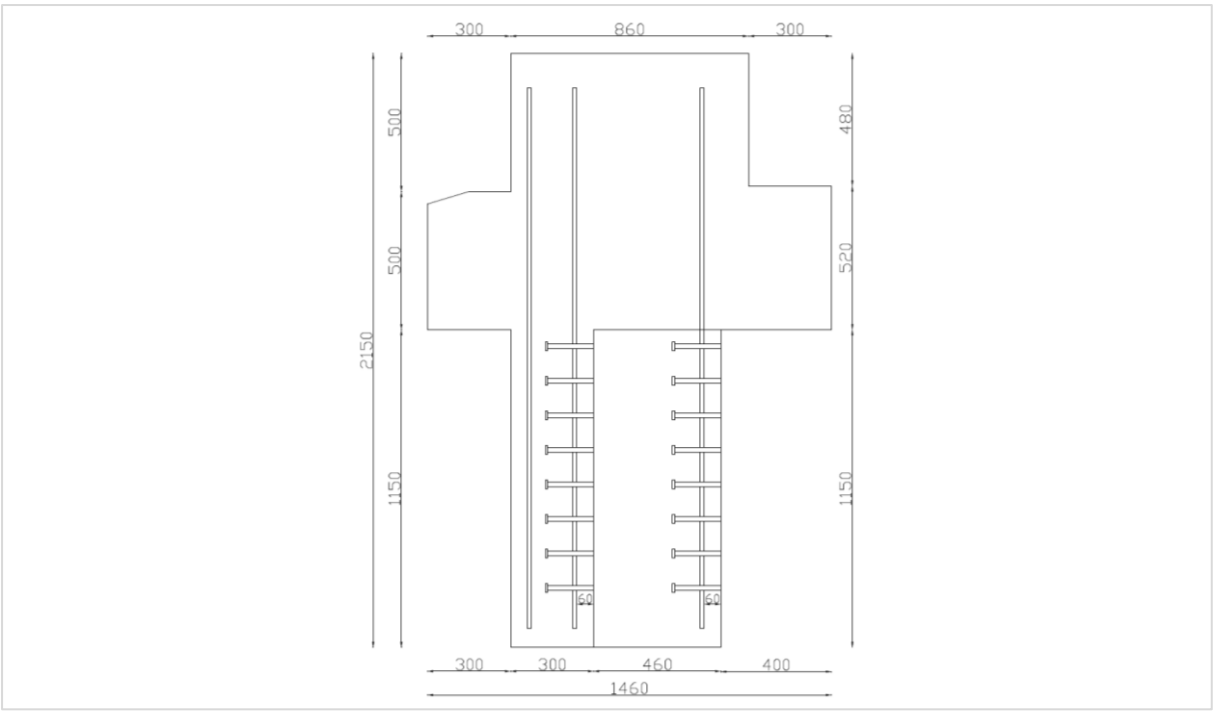
- Beperkte keuze in de diameters voor de stiftdeuvel.

Aan de hand van de krachten die uit het *SCIA*-model kwamen, is een verbinding ontworpen met stiftdeuvels. Hierbij is ook de ophangwapening en wapening tegen het afschuiven ontworpen.

De verticale wapening is niet berekend, omdat dit buiten de grenzen van dit onderzoek valt, maar zoals te zien is in het zijaanzicht in figuur 33 is er op drie plaatsen verticale wapening nodig. Dat is ook te zien in figuur 19 in hoofdstuk 4, waarbij duidelijk wordt dat wapeningsstaaf (1) nodig is om de krachten over te dragen op wapeningsstaaf (3). Hierdoor zijn er in totaal 25 verticale staven nodig per dubbele damwandplank. Dit is te zien in figuur 35. De verticale staven zijn met groene rondjes aangegeven. Het aantal staven is een aanname vanuit een voorbeeldberekening voor De Groene Boog waarbij de krachten vergelijkbaar zijn.



Figuur 32 – Stiftdeuvel (Stark, 2009)



Figuur 33 - Principe stiftdeuvelverbinding uitgangspunt

5.1.2 DETAILLERING STIFTDEUVELS

De toelichting bij dit ontwerp is te lezen in bijlage 6. Op basis van de verkregen krachten zijn de volgende deuvels ontworpen:

- Aantal deuvels per flens, horizontaal — 2 stuks
- Aantal deuvels per flens, verticaal — 8 stuks
- Totaal aantal deuvels per dubbele flens — 32 stuks
- Hoogte beton — 1.150 mm
- Breedte beton — 760 mm
- Grondzijde
  - Diameter stiftdeuvel — Ø16 mm
  - Diameter kop — Ø32 mm
  - Hoogte kop — 8 mm
  - Lengte stiftdeuvel — 175 mm
  - Hart-op-hartafstand horizontaal — 78 mm
  - Hart-op-hartafstand verticaal — 125 mm

- Brugdekzijde
  - Diameter stiftdeuvel Ø16 mm
  - Diameter kop Ø32 mm
  - Hoogte kop 8 mm
  - Lengte stiftdeuvel 175 mm
  - Hart-op-hartafstand horizontaal 78 mm
  - Hart-op-hartafstand verticaal 125 mm

5.1.2 DETAILLERING OPHANGWAPENING

De toelichting bij dit ontwerp is te lezen in bijlage 6. Ophangwapening is nodig om het splijten van beton te voorkomen (Deurwaarder, 2007). Door de trekkracht in de deuvels kan een betonkegelbreuk optreden (Hilti, 2020). Zie figuur 34. Als het beton eruit breekt, moet de ophangwapening de volledige kracht opnemen. Pas als de kegel bezwijkt, gaat de ophangwapening werken. Het beton werkt dan niet meer mee.

Figuur 34 – Betonkegelbreuk (Cement, 2004)

De onderstaande wapening is noodzakelijk voor KM01.

- Diameter grondzijde Ø12 mm
- Diameter brugdekzijde Ø10 mm
- Hart-op-hartafstand verticaal 125 mm

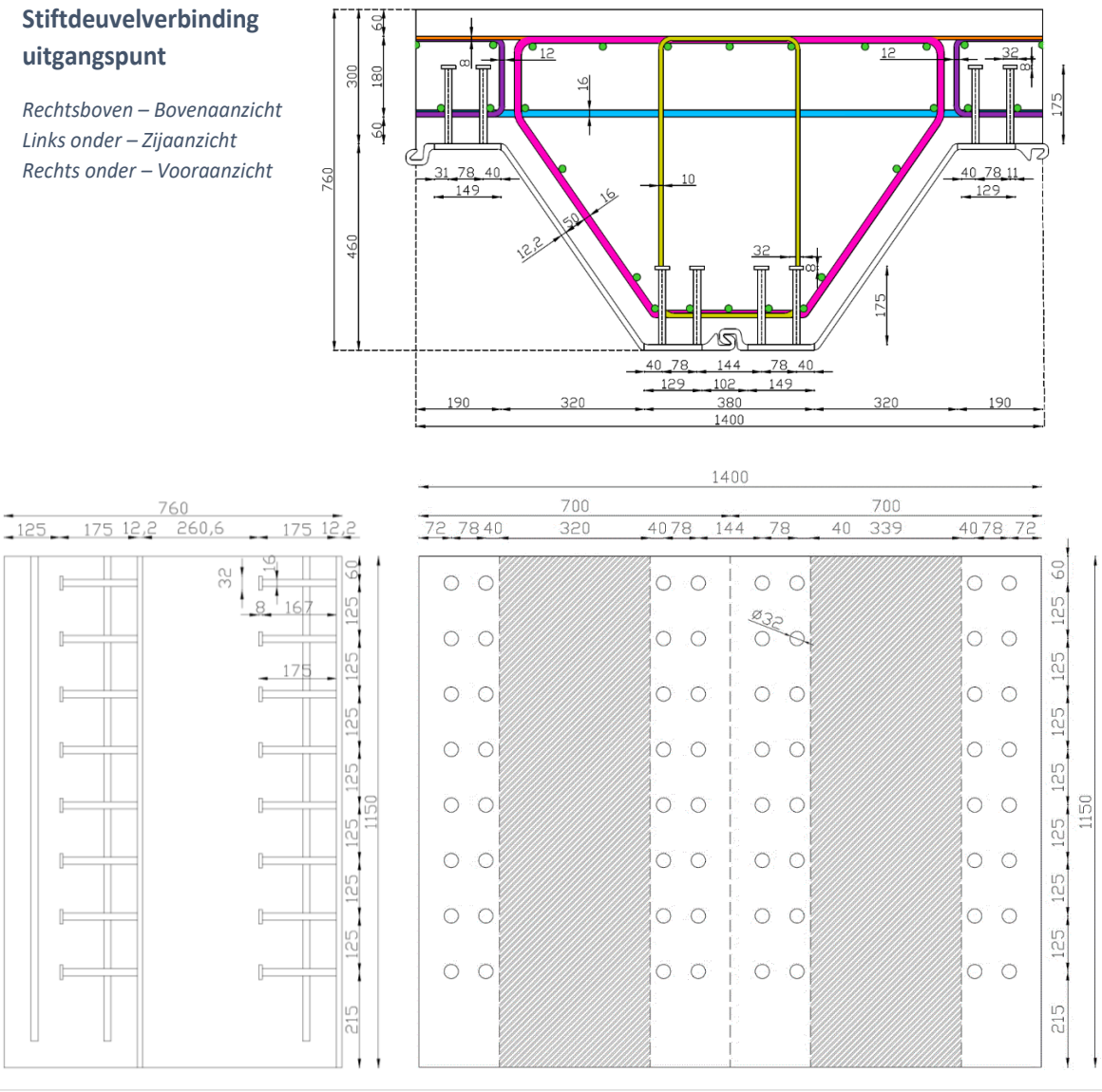
5.1.3 DETAILLERING WAPENING TEGEN AFSCHUIVING

De toelichting bij dit ontwerp is te lezen in bijlage 6. Om het afschuiven van het beton ter plaatse van de deuvels te voorkomen, wordt horizontale wapening langs de damwand en beugels in de damwandkas toegepast. De onderstaande wapening is ontworpen.

- Horizontale wapening, buiten
  - Diameter Ø8 mm
  - Hart-op-hartafstand verticaal 125 mm
- Horizontale wapening, binnen
  - Diameter Ø16 mm
  - Hart-op-hartafstand verticaal 125 mm
- Beugel in damwandkas
  - Diameter Ø16 mm
  - Hart-op-hartafstand verticaal 125 mm

Stiftdeuvelverbinding uitgangspunt

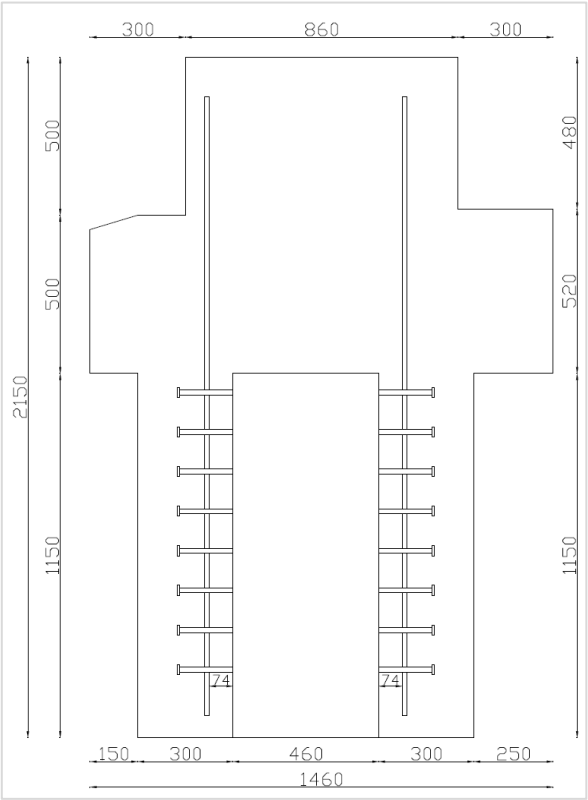
Rechtsboven – Bovenaanzicht
Links onder – Zijaanzicht
Rechts onder – Vooraanzicht



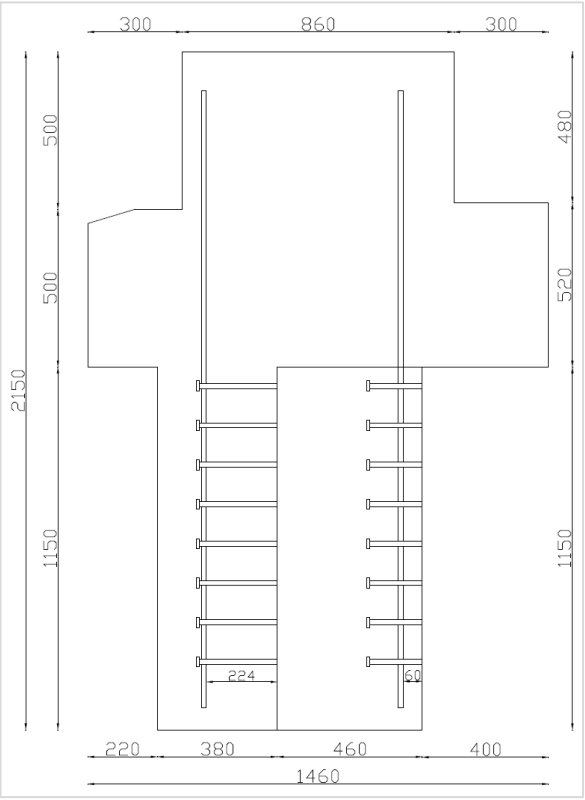
Figuur 35 – Aanzichten stiftdeuvelverbinding uitgangspunt
Paars = ophangwapening grondzijde
Geel = ophangwapening dekzijde
Oranje = horizontale wapening tegen afschuiving, buiten
Blauw = horizontale wapening tegen afschuiving, binnen
Roze = horizontale beugel tegen afschuiving

5.2 STIFTDEUVELS (OPTIMALISATIE)

Voor de stiftdeuvelverbinding is gezocht naar een optimalisatie. Hiervoor zijn twee varianten gemaakt. Hierbij ligt de focus op het beperken van de hoeveelheid verticale wapening.



Figuur 36 - Principe variant 1



Figuur 37 - Principe variant 2

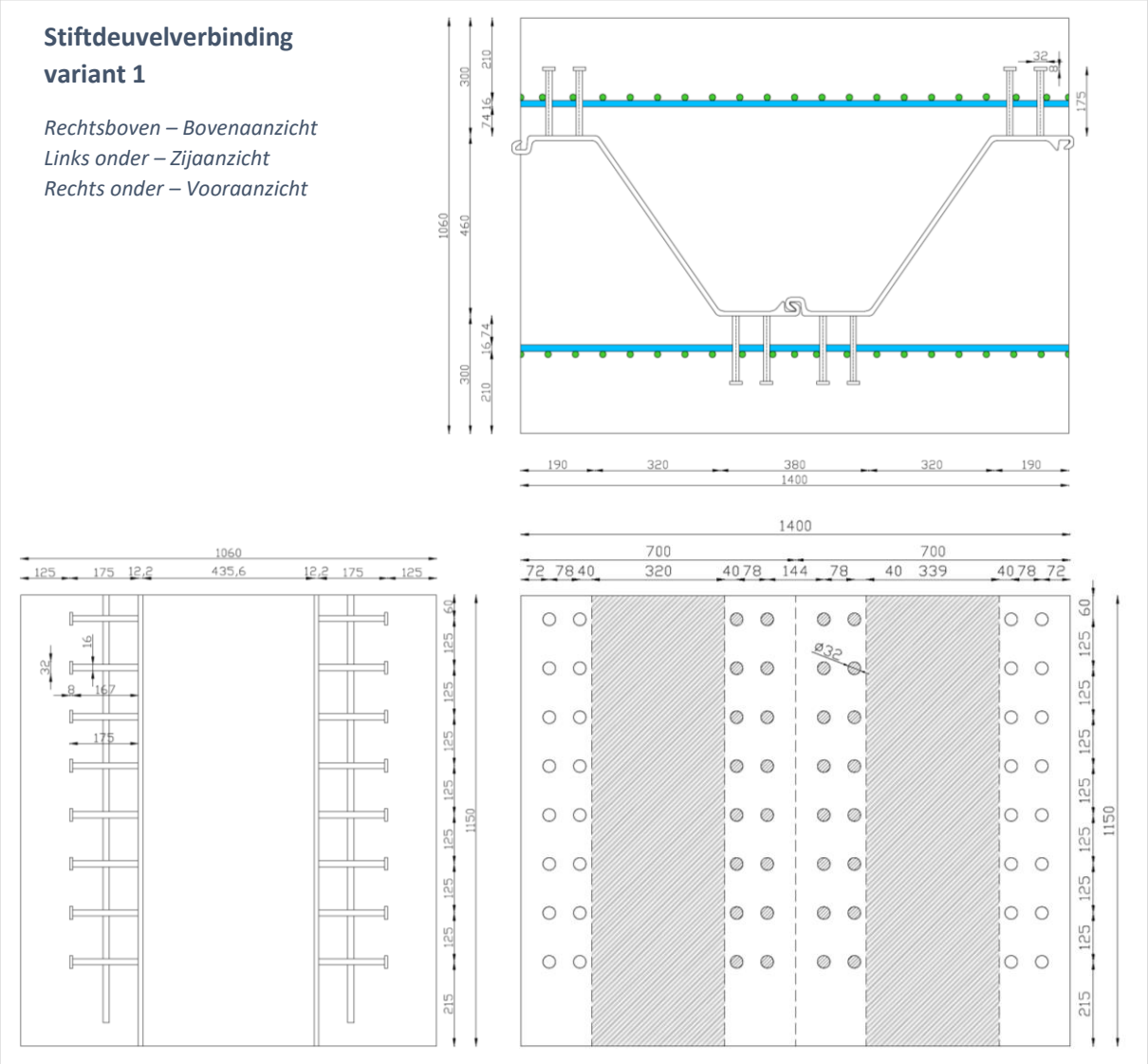
5.2.1 VARIANT 1

De eerste variant heeft stiftdeuvels aan de twee buitenzijden zijden van de damwand. Aan beide zijden bevindt zich beton. Het aantal stiftdeuvels is hetzelfde als het ontwerp dat als uitgangspunt is gebruikt.

Bij dit ontwerp wordt bespaard op horizontale wapening naast de damwandkas. Er is namelijk geen ‘oranje’ wapening nodig. Zie paragraaf 5.1. De krachten uit de deksloof komen direct op de stiftdeuvelverbinding, waardoor de wapeningstaaf met nummer (3) uit figuur 19 niet nodig is. Een nadeel is echter dat de verticale wapening ver in het beton gelegen is, waardoor bij de toetsing op de scheurwijdte blijkt dat er per zijde twintig verticale staven nodig zijn. Zie figuur 38 en bijlage 10. Ook vereist dit ontwerp meer beton.

- Aantal deuvels per flens, horizontaal — 2 stuks
- Aantal deuvels per flens, verticaal — 8 stuks
- Totaal aantal deuvels per dubbele flens — 32 stuks
- Hoogte beton — 1.150 mm
- Breedte beton — 1.060 mm
- Stiftdeuvels grondzijde en brugdekzijde
  - Diameter stiftdeuvel — Ø16 mm
  - Diameter kop — Ø32 mm
  - Hoogte kop — 8 mm
  - Lengte stiftdeuvel — 175 mm

- Hart-op-hartafstand horizontaal 78 mm
- Hart-op-hartafstand verticaal 125 mm



Figuur 38 – Aanzichten stiftdeuvelverbinding – variant 1

5.2.2 VARIANT 2

De tweede variant lijkt meer op de huidige ontwerpmethodiek, waarbij het beton zich alleen aan de grondzijde bevindt. Het zelfde aantal stiftdeuvels is nodig, maar er is gezocht naar optimalisatie in de hoeveelheid verticale wapening. De stiftdeuvels aan de grondzijde zijn zodanig verlengd, waardoor de wapening uit de deksloof direct op de stiftdeuvels uitkomt. Door deze methode zijn er aan de grondzijde 18 verticale wapeningstaven per dubbele damwand nodig. Dit is bepaald aan de hand van de toets op de scheurwijdte. Zie bijlage 10. Ten opzichte van het uitgangsontwerp is er geen oranje en paarse wapening nodig.

- Aantal deuvels per flens, horizontaal 2 stuks
- Aantal deuvels per flens, verticaal 8 stuks
- Totaal aantal deuvels per dubbele flens 32 stuks
- Hoogte beton 1.150 mm
- Breedte beton 760 mm
- Grondzijde

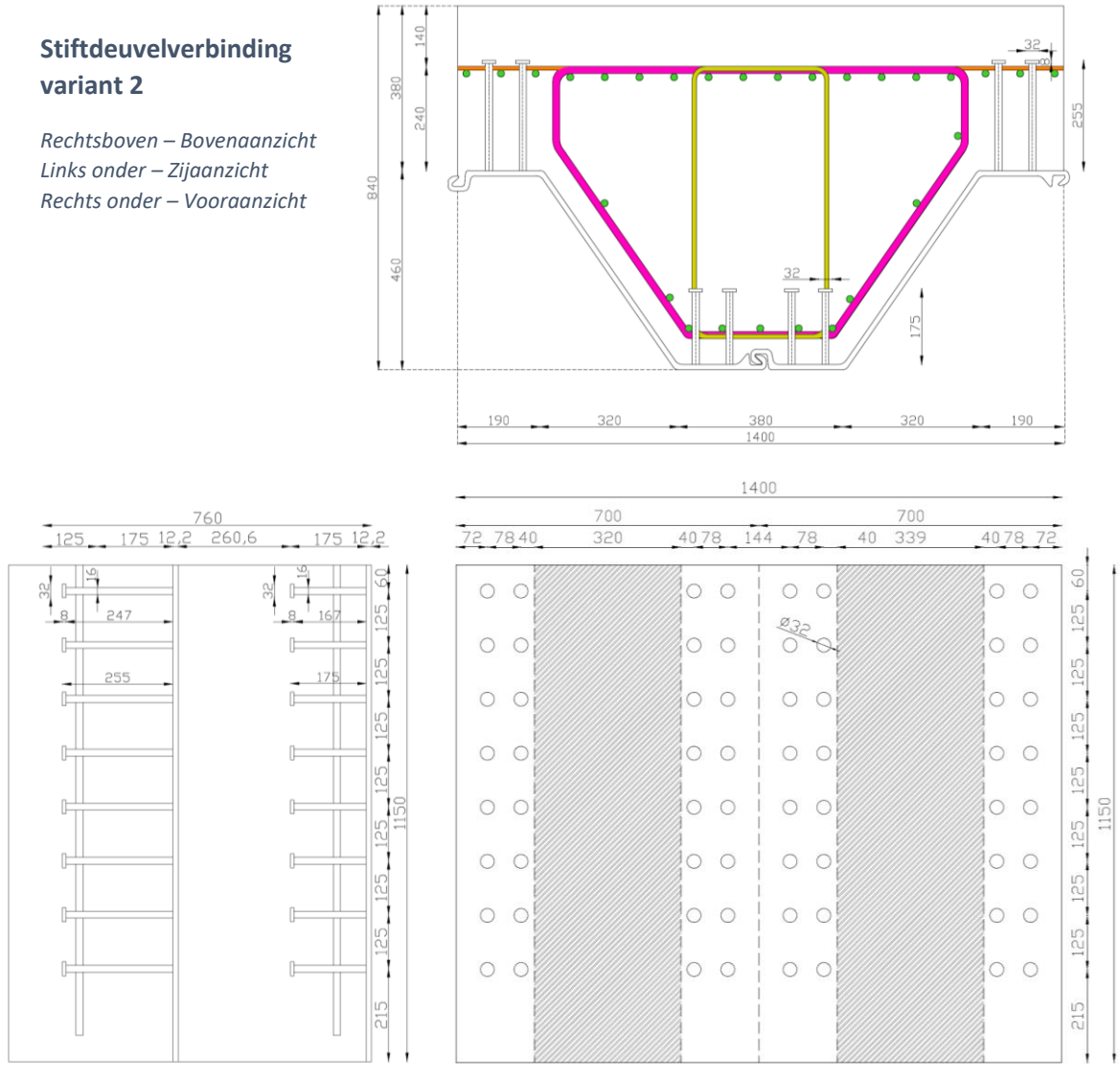
- Diameter stiftdeuvel Ø16 mm
- Diameter kop Ø32 mm
- Hoogte kop 8 mm
- Lengte stiftdeuvel 255 mm
- Hart-op-hartafstand horizontaal 78 mm
- Hart-op-hartafstand verticaal 125 mm

○ Brugdekzijde

- Diameter stiftdeuvel Ø16 mm
- Diameter kop Ø32 mm
- Hoogte kop 8 mm
- Lengte stiftdeuvel 175 mm
- Hart-op-hartafstand horizontaal 78 mm
- Hart-op-hartafstand verticaal 125 mm

Stiftdeuvelverbinding variant 2

Rechtsboven – Bovenaanzicht
Links onder – Zijaanzicht
Rechts onder – Vooraanzicht



Figuur 39 - Aanzichten stiftdeuvelverbinding - variant 2

5.3 LUSSEN EN ANKERS

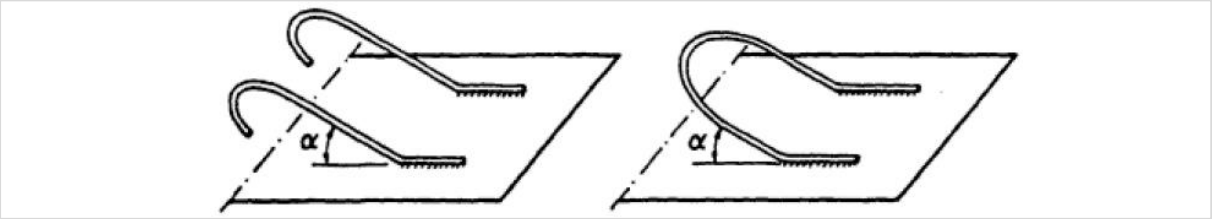
Een andere mogelijkheid om de damwand te verbinden aan het beton is het aanbrengen van ankers of lussen. Aan de hand van EC4-1-1 is deze verbinding ontworpen. De krachtswerking gaat op dezelfde manier als bij de stiftdeuvelverbinding.

Voordelen

- Veel verschillende diameters mogelijk;
- Flexibele verbinding;
- Kan op flens en lijf van damwand gemonteerd worden.

Nadelen

- Minder eenvoudig te monteren;
- De verbindingen hebben een grote verankeringslengte nodig.



Figuur 40 – Anker en lus (Stark, 2009)

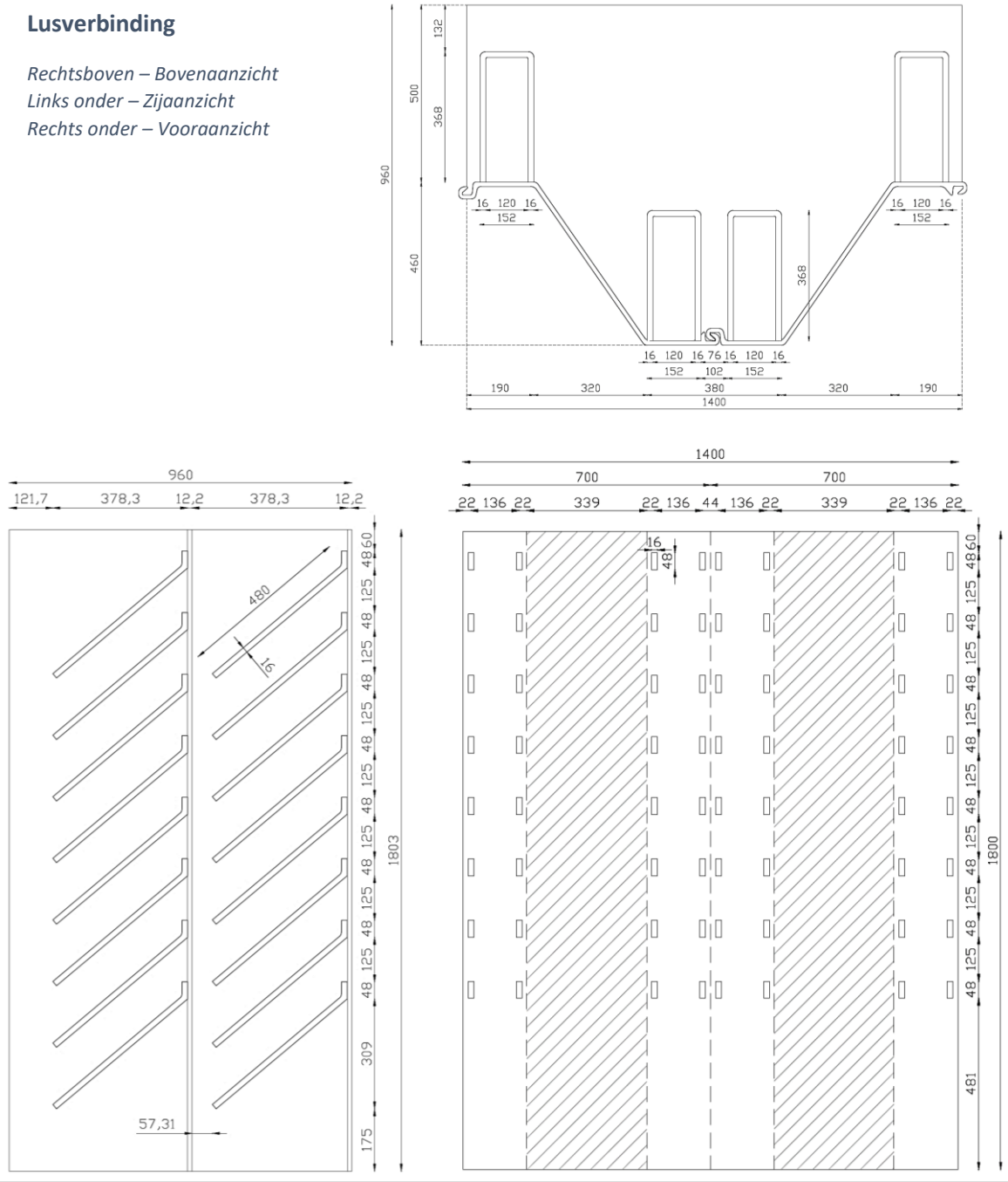
5.3.1 DETAILLERING LUSSEN

De toelichting bij dit ontwerp is te lezen in bijlage 7. Een aandachtspunt is dat voor deze verbinding het slot van de damwand doorgebrand moet worden, omdat de verbinding anders niet past.

Aantal lussen per flens, horizontaal	1 stuks
Aantal lussen per flens, verticaal	8 stuks
Totaal aantal lussen per dubbele flens	16 stuks
Hoogte beton	1.803 mm
Breedte beton	960 mm
Hoek lus	50 °
Diameter staaf	Ø16 mm
Lengte lussen (verankeringslengte)	480 mm
Laslengte	48 mm

Lusverbinding

Rechtsboven – Bovenaanzicht
Links onder – Zijaanzicht
Rechts onder – Vooraanzicht



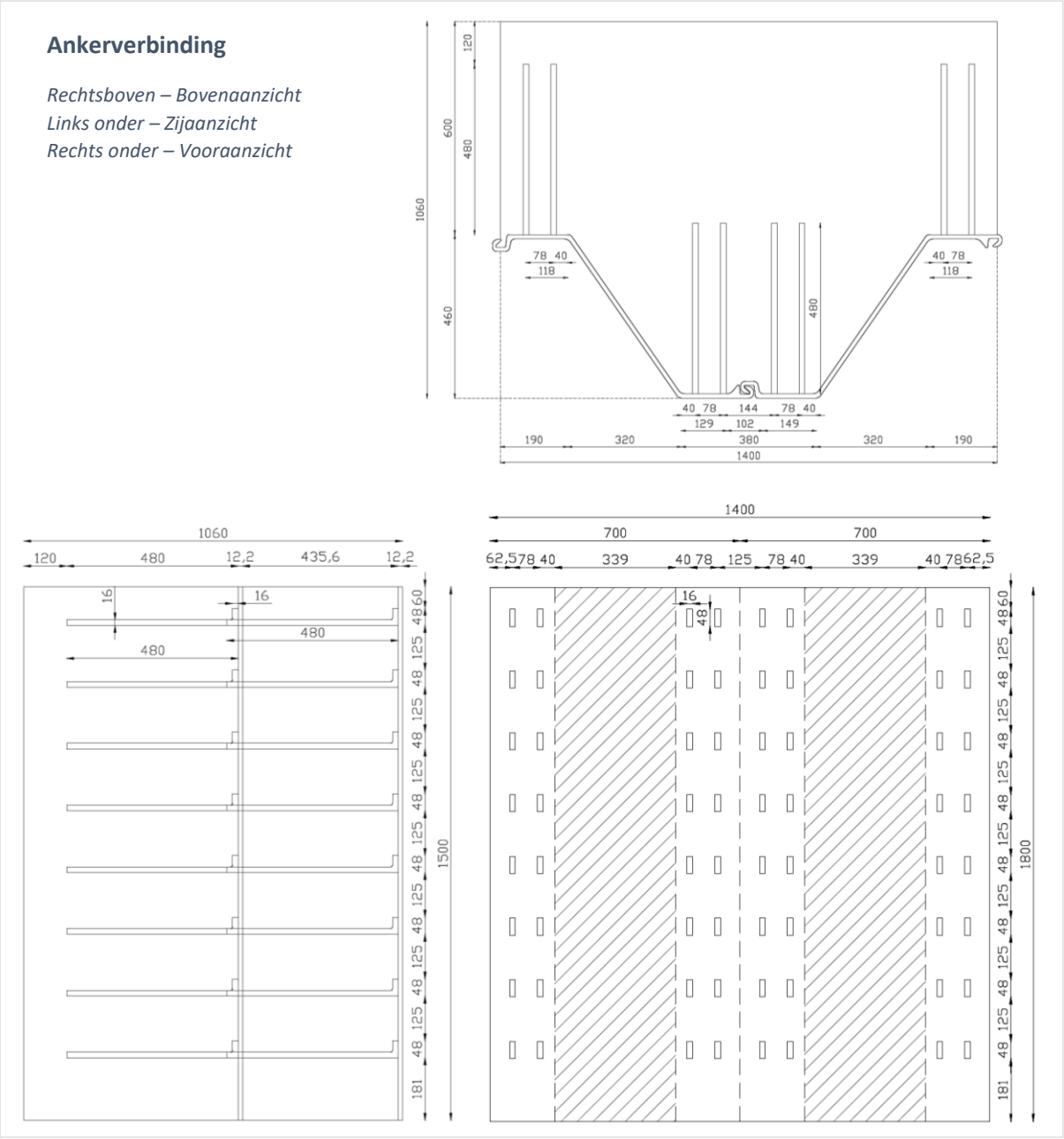
Figuur 41 – Aanzichten lusverbinding

5.3.2 DETAILLERING ANKERS

De toelichting bij dit ontwerp is te lezen in bijlage 7.

- Aantal ankers per flens, horizontaal — 2 stuk
- Aantal ankers per flens, verticaal — 8 stuks
- Totaal aantal ankers per dubbele damwandplank — 32 stuks
- Hoogte beton — 1.500 mm
- Breedte beton — 1.060 mm
- Hoek anker — 90 °
- Diameter staaf — Ø16 mm
- Lengte lussen (verankeringslengte) — 480 mm

- Laslengte 48 mm



Figuur 42 - Bovenaanzicht ankerverbinding

5.4 BLOKDEUVEL

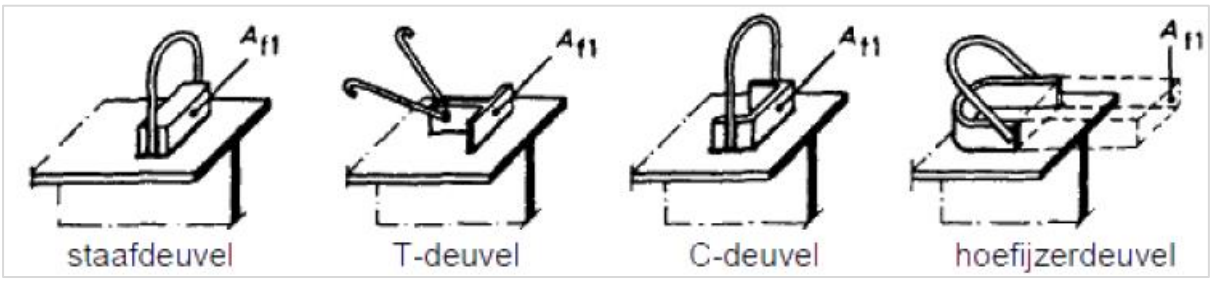
Een andere verbinding die in de bijlage van EC4-2 wordt beschreven, is de blokdeuvel. De staafdeuvel, T-deuvel, C-deuvel en hoefijzerdeuvel zijn varianten van de blokdeuvel. Zie figuur 43. De deuvels met een hoek kleiner dan 90 graden hebben de grootste afschuifweerstand. De hoefijzerdeuvel heeft een grotere weerstand dan de T-deuvel, omdat de ankers bij de T-deuvel naar buiten uitlopen. Alleen voor de hoefijzerdeuvel is een ontwerp gemaakt.

Voordelen

- Veel verschillende diameters mogelijk;

Nadelen

- Minder eenvoudig te monteren;
- Starre verbinding;
- Berekenen van de verankeringslengte is onbekend.



Figuur 43 - Overige deuvels

De berekening gaat op dezelfde manier als de berekening van de lusverbinding. Ondanks de combinatie van de gelaste hoefijzer met een lus, waardoor de afschuifweerstand toeneemt, zijn er net zo veel deuvels nodig als bij de lusverbinding. Dit komt doordat de toetsing op vermoeiing maatgevend is.

○ Aantal lussen per flens, horizontaal	1 stuks
○ Aantal lussen per flens, verticaal	8 stuks
○ Totaal aantal lussen per dubbele flens	16 stuks
○ Hoogte beton	1.803 mm
○ Breedte beton	960 mm
○ Hoek lus	50 °
○ Diameter staaf	Ø16 mm
○ Lengte lussen (verankeringslengte)	480 mm
○ Laslengte	48 mm

Onzekerheid bestaat over de verankeringslengte van de hoefijzerdeuvels. Hierover zijn er geen eisen te vinden in de Eurocodes. De tekeningen komen overeen met die van de lusverbinding. Wel komen er nog 'hoefijzers' bij, maar die beïnvloeden het ontwerp niet.

5.5 AANGELASTE WAPENING

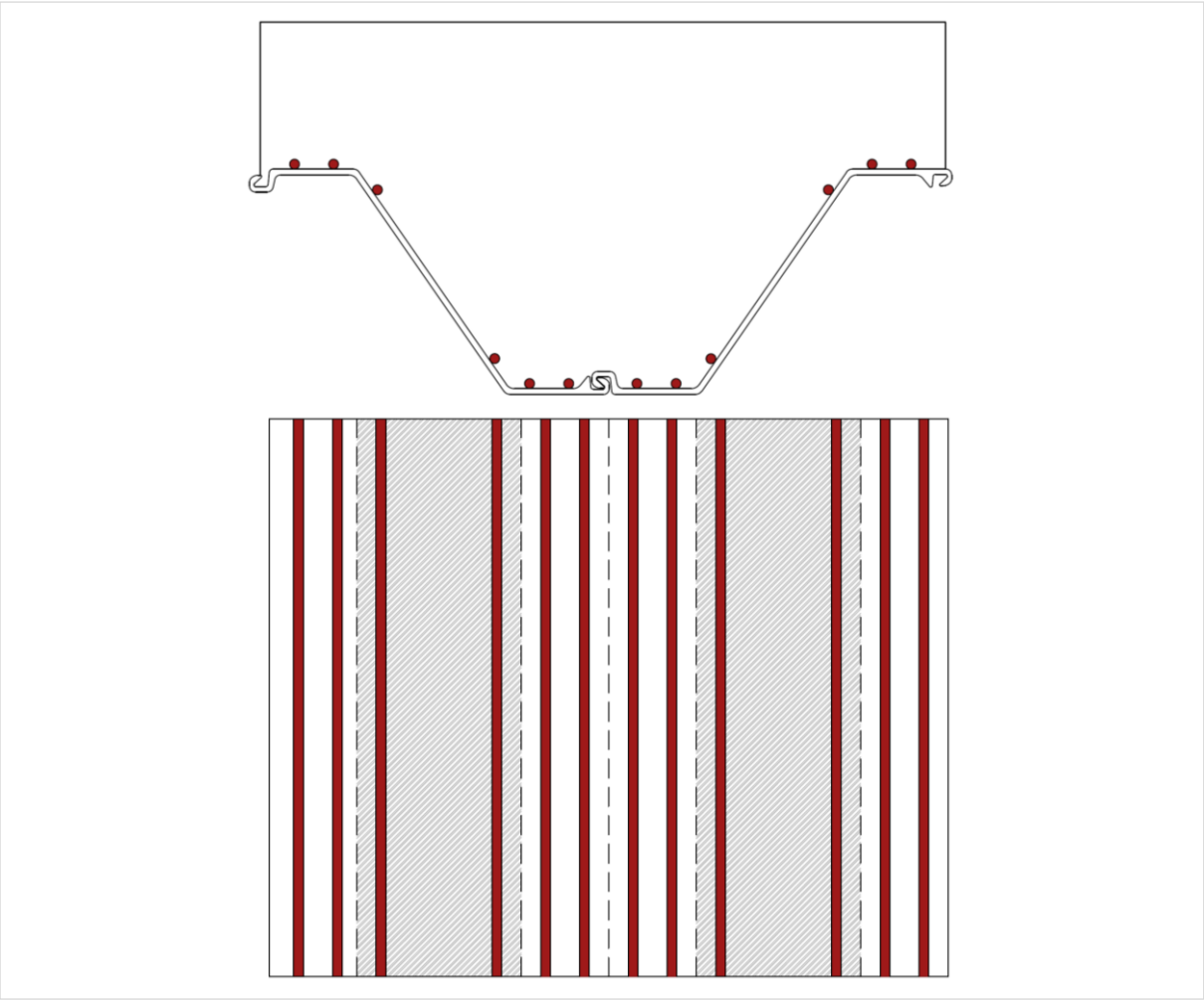
Onderzocht is of direct aan de damwandplanken wapeningsstaven geplaatst kunnen worden als verbinding.

Voordelen

- De verbinding neemt zeer weinig ruimte in gebruik;
- Overige wapening is er eenvoudig omheen te vlechten;

Nadelen

- Het lassen van de wapening aan de damwand kost veel tijd;
- De wapening moet doorlopen in de deksloof.



Figuur 44 - Boven- en vooraanzicht aangelaste wapeningsstaven

Uit onderzoek is gebleken dat deze verbinding niet mogelijk is voor deze integraalconstructie. Dat komt door de maximaal toegestane staafdiameter van 20 mm (NEN, 2012). Bij deze maximale staafdiameter zijn er op een dubbele flens van de damwand 34 staven nodig om de krachten over te kunnen dragen. Dit past niet op een totale flensbreedte van 360 mm en daarom valt deze verbinding af. Dat er zo veel staven nodig zijn, komt door de vermoeiing. Bij vermoeiing neemt de opneembare trekspanning in het staal zodanig af, dat er slechts 6,4 procent van de opneembare spanning bij de ULS overblijft. Dat is 27,9 N/mm². Zie bijlage 9 voor de berekening van de verbinding en bijlage 11 voor de berekening van de opneembare spanning.

5.6 VERGELIJKING

In deze paragraaf worden de ontworpen verbindingen uit dit hoofdstuk met de stiftdeuvelverbinding vergeleken. Er zijn drie manieren om een optimalisatie te vinden voor de stiftdeuvel:

- Er zijn minder verbindingen nodig dan bij een stiftdeuvelverbinding;
- De nieuwe verbinding neemt minder ruimte in dan bij een stiftdeuvelverbinding. De stiftdeuvelverbinding neemt alleen horizontaal ruimte in beslag, dus dat betekent dat de nieuwe verbinding korter moet zijn dan 175 mm;
- Er is minder beton nodig rondom de damwand. Dit is een gevolg van de verankeringslengte;
- Er is minder verticale wapening benodigd;
- Er is minder horizontale wapening benodigd.

Daarnaast speelt de montage van de verbinding een rol. Stiftdeuvels kunnen eenvoudig worden geplaatst door middel van een pistool. Het plaatsen van de deuvels is snel en minder duur dan andere bevestigingsmethodes. De werkzaamheden kunnen door één persoon worden gedaan, waardoor op arbeidskosten wordt bespaard (Köco, 2021b).

Alleen de variant op het stiftdeuvelontwerp wordt vergeleken op de hoeveelheid verticale én horizontale wapening.

	Aantal verbindingen verticaal	Aantal verbindingen horizontaal	Beton naast damwand	Beton verticaal	Ruimte-beslag	Montage
	[-]	[-]	[mm]	[mm]	[-]	[-]
Stiftdeuvel – uitgangspunt	8	4	300	1.150	Minimaal	Goed
Stiftdeuvel – variant 1	8	4	300 (twee zijden)	1.150	Minimaal	Goed
Stiftdeuvel – variant 2	8	4	380	1.150	Minimaal	Goed
Lussen	8	2	500	1.800	Maximaal	Matig
Ankers	8	4	600	1.500	Weinig	Matig
Hoefijzerdeuvel	8	2	500	1.800	Maximaal	Matig
Aangelaste wapening verticaal	-	-	-	-	-	-

Tabel 10 – Vergelijking verbindingen per dubbele flens
Schaalverdeling:
Ruimtebeslag = minimaal/weinig/veel/maximaal
Montage = Goed/matig/slecht

Variant 1 van het stiftdeuvelontwerp verschilt op de hoeveelheid horizontale en verticale wapening en beton. Een voordeel van deze variant is dat de krachten vanuit de deksloof direct op de stiftdeuvelverbindingen komen. Ook is er minder horizontale wapening nodig in de damwandkas. Een nadeel is dat de stiftdeuvels een grote dekking nodig hebben. De dekking die toegepast moet worden is namelijk de dekking volgens de milieuklasse met daarbij toleranties voor het plaatsen van de damwand. Dit samen komt op 122 mm. Hierdoor heeft ook de verticale wapening een grote dekking. Aan de hand van de toetsing op de scheurwijdte is bepaald dat er per dubbele damwandplank veertig staven nodig zijn, aan iedere zijde twintig. Dit leidt tot meer stekken in de knoop in de deksloof, waardoor de knoop juist ingewikkelder wordt. Ook vereist dit ontwerp meer beton. In tabel 11 is de hoeveelheid materiaal uitgedrukt ten opzichte van het uitgangspunt. Hierin is te zien dat het een erg dure variant is. Op basis van de nadelen wordt geconcludeerd dat variant 1 geen optimalisatie van het uitgangspunt is.

Net als voor variant 1, verschilt variant 2 op basis van de hoeveelheid horizontale én verticale wapening en beton. Ook dit ontwerp heeft als voordeel dat de krachten vanuit de deksloof direct op de stiftdeuvelverbindingen komen. Het aantal verticale wapeningstaven aan de grondzijde is zeventien, ten opzichte van tien staven bij het uitgangspunt. Deze toename van het aantal staven wordt weer veroorzaakt door de grote dekking die de stiftdeuvels nodig hebben. In tabel 11 is aangegeven hoeveel materiaal per dubbele damwandplank nodig is. Hierin wordt duidelijk dat het een dure variant is, voornamelijk door de verticale wapening. Geconcludeerd wordt dat variant 2 is geen optimalisatie is, vanwege de genoemde nadelen.

				Ontwerp		
				Stiftdeuvel - standaard	Stiftdeuvel - variant 1	Stiftdeuvel - variant 2
Materiaal rondom damwand	Beton	Totaal	[m³]	0,9	1,7	1,0
		Kosten	[€]	82	162	94
	Staal	Oranje/blauw	[cm³]	352	563	281
		Roze	[cm³]	490	0	490
		Paars	[cm³]	122	0	0
		Geel	[cm³]	160	0	160
		Stiftdeuvels	[cm³]	2.149	2.149	2.664
		Totaal	[cm³]	3.273	2.712	3.595
		Kosten	[€]	24	20	27
Materiaal boven damwand	Staal	Verticale wapening	[cm³]	5.781	9.249	7.515
		Kosten	[€]	43	69	56
	Totaal	Totale kosten	[€]	149	251	177

Tabel 11 - Materiaalgebruik per dubbele damwandplank voor uitgangspunt, variant 1 en variant 2
De kleuren die genoemd worden zijn de wapeningssoorten die corresponderen met figuur 35.

De lusverbinding is geen optimalisatie ten opzichte van de stiftdeuvelverbinding. Ondanks dat er globaal evenveel verbindingen nodig zijn – een lus bestaat uit twee staven die aan de damwand worden gelast – zorgt de lusverbinding voor extra beton in de verticale en horizontale richting. Ook moet op de helft van alle verbindingen een deel van het slot van de damwand weggebrand worden, omdat de lus anders niet past. Door de hoek die de lus maakt, wordt het ingewikkelder om wapening om de lussen te vlechten. Daarnaast moeten de lussen gelast worden en dit kost meer tijd en moeite dan bij stiftdeuvels.

Ook de ankerverbinding is geen optimalisatie ten opzichte van de stiftdeuvelverbinding. De verankeringslengte kan nog geoptimaliseerd worden door het toepassen van een HRC-kop aan het uiteinde van de ankers. Deze verbredingen van de ankers houden het beton erachter stevig vast, waardoor de verankeringslengte verkort kan worden. Echter zal de verankeringslengte met ruim 300 mm moeten afnemen, wil de anker een optimalisatie zijn ten opzichte van de stiftdeuvelverbinding. Ook heeft de anker een verticale las nodig tegen de damwand. Het lassen hiervan kost meer tijd dan het plaatsen van stiftdeuvels. Daarnaast is er meer beton naast de damwand vereist, vanwege de grotere verankeringslengte.

Net als de lusverbinding is de hoefijzerdeuvel geen optimalisatie. Deze soort blokdeuvel neemt meer ruimte in beslag en het monteren van de verbinding kost meer tijd dan bij een stiftdeuvel.

Zoals in paragraaf 5.5 is aangegeven is de aangelaste wapening geen optie.

Hieruit wordt geconcludeerd dat dit onderzoek geen optimalisatie heeft opgeleverd voor de verbinding tussen de deksloof en de damwand.

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Momenteel ontwerpt WSP een verbinding tussen de damwand en de deksloof bij een integraalconstructie door middel van stiftdeuvels. De constructie bestaat uit een damwand, deksloven, prefab volstortliggers en een druklaag. Bij het ontwerp van WSP staat de damwand aan de brugdekzijde en wordt het beton alleen in de damwandkas aan de grondzijde gestort.

Bij het huidige ontwerp verloopt de krachtswerking rondom de damwand hoofdzakelijk via de drie verschillende locaties met verticale wapeningstaven die uitsteken in de deksloof. Vanaf het brugdek worden de krachten via de deksloof en de daarin verticale wapeningstaven op de stiftdeuvels afgedragen. Vanaf de staven waarin een trekkracht optreedt, ontstaat een drukdiagonaal. Dat komt doordat de ribbels van de staven tegen het beton drukken, waardoor het beton terug drukt.

Voordat de druklaag gestort wordt, is er sprake van een statisch bepaalde constructie. Door de kruip van het beton verandert het naar een statisch onbepaalde constructie. Dit wordt veroorzaakt door de oorspronkelijke belastingen vóór het storten van de druklaag. Na het uitharden van de druklaag, ontstaat er een inklemming ter plaatse van de deksloof. Dit geleidelijke proces wordt het kist-effect genoemd en wordt veroorzaakt door de kruip van het beton.

Uit onderzoek is gebleken dat er geen optimalisatie is gevonden voor de stiftdeuvelverbinding. Twee varianten op de huidige stiftdeuvelverbinding, waarbij de krachten uit de deksloof direct op de stiftdeuvels komen, leiden niet tot een optimalisatie, omdat de stiftdeuvels een te grote dekking vragen. Hierdoor heeft de verticale wapening ook een grote dekking en dit leidt tot veel verticale wapeningstaven bij het toetsen van de scheurwijdte. De lus- en ankerverbinding en de blokdeuvel zijn ook geen optimalisatie, omdat deze soorten verbindingen meer ruimte in beslag nemen dan de stiftdeuvels. Ook is de methode om deze verbindingen te monteren ingewikkelder. Een laatste variant is de aangelaste wapening aan de damwand. Deze variant is niet mogelijk, omdat het aantal benodigde staven niet op de damwand past.

AANBEVELINGEN

Tijdens het onderzoek is opgevallen dat er geen werknemers bij WSP zijn die bekend zijn met het ontwerpen van een andere verbinding dan een stiftdeuvelverbinding. Om opzoek te gaan naar een optimalisatie wordt daarom geadviseerd om als bedrijf hier meer kennis van op te doen en zich in dit onderwerp te verdiepen. Een belangrijk aspect hierbij is de veranderingsbereidheid die bij de collega's aanwezig moet zijn. Dit is noodzakelijk om van de 'standaard' af te komen en een verbetering te vinden. Andere ingenieursbureaus hebben wel ervaring met het ontwerpen van andere verbindingen, bijvoorbeeld een verbinding waarbij de wapening door de damwand heen gaat, en daarom wordt aanbevolen om met hen contact op te nemen, samen te werken en kennis te delen.

Zoals aangegeven in de inleiding is WSP opzoek naar een optimalisatie in de deksloof én de verbinding tussen de damwand en de deksloof. Het is aan te raden om opzoek te gaan naar een optimalisatie in de deksloof, omdat uit dit onderzoek geen optimalisatie is gekomen.

DISCUSSIE

Tijdens het onderzoek is gebleken hoe complex het ontwerpen van de verbinding is. De vraag die opgekomen is, is: bij welke verkeerscategorie is een integraalconstructie wél interessant qua verbinding? Om hier achter te komen, is de invloed van de verkeerscategorie op het ontwerp bij vermoeiing bekeken. Maar wat als de verkeerscategorie hier weinig invloed op heeft? Is een integraalbrug dan nog wel interessant in vergelijking met een traditionele brug?

WAT IS DE INVLOED VAN DE VERKEERSCATEGORIE?

De verkeerscategorie heeft invloed op de opneembare spanning bij vermoeiing en de belasting op de constructie.

OPNEEMBARE SPANNING

Aangelaste wapening

De aangelaste wapening lijkt een verbinding waarbij veel wapening bespaard kan worden. Onderzocht is wanneer aangelaste wapening wellicht wel een mogelijkheid is.

In tabel 12 is weergegeven hoeveel spanning het staal (B500B) kan opnemen per toestand en verkeerscategorie. Deze waarden zijn bepaald aan de hand van de optredende krachten van KM01. De tabel laat zien dat de opneembare spanning bij verkeerscategorie 4 ruim tweemaal zo hoog is als bij verkeerscategorie 1, die van toepassing is bij KM01. Wel zijn er bij verkeerscategorie 4 nog steeds 15 staven nodig en dit is een groot aantal. De aangelaste wapening lijkt daarom alleen een optie als bij deze categorie de maatgevende belasting afneemt. De belasting is sowieso lager dan bij KM01, omdat er ander verkeer overheen gaat. Daarnaast kan het beperken van de overspanning een lagere maatgevende belasting opleveren. Als er dan nog steeds te veel staven uitkomen, dan blijft de stiftdeuvelverbinding de meest optimale verbinding.

	Verkeerscategorie	Opneembare spanning	Aantal staven Ø20	Maximale belasting
	[-]	[N/mm²]	[stuks]	[kN]
ULS	Alle wegen	435,0	6	-
FAT	1 (A-weg)	27,9	34	70
	2 (N-weg)	36,9	26	92
	3 (weinig vrachtverkeer)	48,6	20	122
	4 (weinig vrachtverkeer en alleen bestemmingsverkeer)	64,1	15	161

Tabel 12 - Opneembare spanning en aantal staven per verkeerscategorie
Maatgevende belasting ULS: 756 kN
Maatgevende belasting FAT: 295 kN
In de vijfde kolom wordt de maximale belasting FAT aangegeven om bij die verkeerscategorie een verbinding met 8 aangelaste staven te kunnen realiseren.

Stiftdeuvels

Bij het bepalen van de opneembare spanning bij vermoeiing bij stiftdeuvels speelt de verkeerscategorie geen rol. Die blijven laag en kunnen niet toenemen. Voor verkeerscategorie 1 tot en met 3 is de stiftdeuvelverbinding het meest optimaal. Voor verkeerscategorie 4 is de aangelaste wapening wellicht een betere oplossing.

BELASTING

Er is een vergelijking gemaakt tussen verkeerscategorie 1, waar KM01 onder valt, en verkeerscategorie 4. In tabel 13 is te zien dat de verkeerscategorie invloed heeft op de grootte van de belasting. Door een kleinere belasting neemt de grootte van de krachten op verbinding af. Echter zijn de verschillen tussen een snelweg enerzijds en een weg met weinig vrachtverkeer en alleen bestemmingsverkeer anderzijds, beperkt.

	Factoren			Belastingen TS per aslast			Belast UDL	
	α_{Q1}	α_{q1}	$\alpha_{qi>1}$	Strook 1	Strook 2	Strook 3	Strook 1	Strook 2 en 3
	[-]	[-]	[-]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN/m²]	[kN/m²]
Verkeerscategorie 1	1,00	1,15	1,40	300	200	100	10,4	3,5
Verkeerscategorie 4	0,95	0,95	0,82	286	191	95	8,6	2,0

Tabel 13 - Vergelijking belasting verkeerscategorie 1 en 4

Hieruit kan worden geconcludeerd dat de verkeerscategorie waarschijnlijk weinig invloed heeft op de verbinding en dat niet gezegd kan worden dat een stiftdeuvelverbinding of aangelaste wapening eenvoudiger wordt bij andere wegen. Onderzocht moet worden tot welke overspanning een integraalconstructie bij iedere soort weg mogelijk is.

MOET EEN INTEGRAALCONSTRUCTIE NOG WEL TOEGEPAST WORDEN?

Het is moeilijk te zeggen of een integraalconstructie nog wel toegepast moet worden. Een integraalconstructie heeft meer voordelen dan dat het alleen bespaard op het onderhoud van de oplegblokken. Doordat de oplegblokken niet vervangen hoeven worden, hoeft de weg niet afgesloten te worden, waardoor het kunstwerk geen verkeershinder oplevert in de toekomst. Ook zorgt een kunstwerk zonder voegovergang voor meer comfort. Het ontbreken van voegovergangen vermindert bovendien de geluidsoverlast. Dit zijn allemaal voordelen voor de gebruikers die niet in geld uit te drukken zijn.

Een nadeel van de integraalconstructie is dus dat het ontwerp van de knoop ingewikkeld is. Om te bepalen of dit nadeel opweegt tegen de voordelen voor de gebruiker, moet een onderzoek gworden gedaan door middel van een maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA). Met deze analyse wordt geprobeerd om de positieve en negatieve effecten van het kunstwerk op de welvaart in Nederland in te schatten. Zo kunnen de positieve effecten meetellen in het besluiten of een integraalconstructie nog wel zijn voordelen heeft.

BRONNENLIJST

A16 Rotterdam. (2021). Nieuwe Hofwijktunnel, zelfde doorrijhoogte. *A16 Rotterdam*.

Algemene Rekenkamer. (2021). *Ontwerpend onderzoek*. Opgeroepen op 25 mei 2021, van Algemene Rekenkamer: https://www.rekenkamer.nl/over-de-algemene-rekenkamer/werkwijze/innovatie/design-audit-studio/ontwerpend-onderzoek

Beton Lexicon. (2021). *Kruip*. Opgeroepen op 9 februari 2021, van Beton Lexicon: https://www.betonlexicon.nl/K/Kruip

Cement. (2004). *Ankers lang of kort, waar zitten de verschillen.* Eindhoven: Cement.

Cement. (2016). *De uitdaging van een integraalconstructie.* Cement.

Deurwaarder, A. den. (2007). *Bepaling van de afschuifcapaciteit van kolomvoetplaatverbindingen.* Eindhoven: TU Eindhoven.

Hilti. (2020). *Betonverankeringen.* Anderlecht: Hilti.

Köco. (2021a). *Utiliteitsbouw*. Opgeroepen op 2 januari 2021, van Köco: https://www.stiftlassen.nl/sectoren/utiliteitsbouw/

Köco. (2021b). *Wat is stiftlassen*. Opgeroepen op 20 mei 2021, van Köco: https://www.stiftlassen.nl/stiftlassen/

Köco. (2021c). *Centerpennen*. Opgeroepen op 6 mei 2021, van Köco: https://www.stiftlassen.nl/producten/lasstiften/centerpennen/

NEN. (2009). *NEN 6788 - Voorschiften voor het ontwerpen van stalen bruggen.* Delft: NEN.

NEN. (2012). *NPR 2053.* NEN.

PVO. (2021). *2.4.4.3 Weerstand tegen vermoeiing*. Opgeroepen op 20 mei 2021, van PVO: https://www.pveno.nl/handboek-voegovergangen/handboek/2-eisen-voor-voegovergangen/ontwerpeisen/mechanische-weerstand-tegen-verkeersbelasting/weerstand-tegen-vermoeiing-door-dynamische-verkeersbelasting/

Romein Beton. (2021). *Rogir-S brug.* Dodewaard: Romein Beton.

SCIA Engineer. (2016). *Modellering handboek.* SCIA Engineer.

Scribbr. (2021). *Overzicht van onderzoeksmethoden en dataverzamelingsmethoden*. Opgeroepen op 25 mei 2021, van Scribbr: https://www.scribbr.nl/category/onderzoeksmethoden/

Smetsers, W. (2020). *DO Ontwerpnota modellering - K01.* Rotterdam: De Groene Boog.

Stark, J. (2009). *Staal-beton.* Zoetermeer: Bouwen met staal.

Studco. (2021). *Wat is stiftlassen en hoe werkt het?* Opgeroepen op 14 april 2021, van Studco: https://studco.nl/publicaties/wat-is-stiftlassen/

TU Delft. (2021a). *Integraal brug*. Opgeroepen op 11 februari 2021, van TU Delft: http://mstudioblackboard.tudelft.nl/bruggenentrends/inhoud/integraal/integraal.htm

TU Delft. (2021b). *Rekenvoorbeelden Staalbeton-bruggen*. Opgeroepen op 20 mei 2021, van TU Delft: http://mstudioblackboard.tudelft.nl/staalbetonbruggen/staalbetonbruggen6/hfdstuk6.htm

Van Vught, R. et all. (2015). *Ontwerpen van integraalbruggen met prefab liggers.* Nieuwegein: Stufib.

Vree, J. de. (2021a). *Kruip*. Opgeroepen op 9 februari 2021, van Joost de Vree: https://www.joostdevree.nl/shtmls/kruip.shtml

Vree, J. de. (2021b). *Krimp*. Opgeroepen op 10 februari 2021, van Joost de Vree: https://www.joostdevree.nl/shtmls/krimp.shtml

Wetenschap Info. (2021). *Metaalmoeiheid, vermoeiingslimiet en de vermoeiingsbreuk*. Opgeroepen op 20 mei 2021, van Wetenschap Info: https://wetenschap.infonu.nl/techniek/182758-metaalmoeheid-vermoeiingslimiet-en-de-vermoeiingsbreuk.html

Zandbergen, T. (2013). *Modellering van een betonnen brugdek.* Delft: TU Delft.

OVERZICHT BIJLAGEN

Bijlage 1 – Werkplan
Bijlage 2 – Reflectieverslag
Bijlage 3 – Begrippenuitleg
Bijlage 4 – Uitkomsten *SCIA*
Bijlage 5 – Controle uitkomsten *SCIA*
Bijlage 6 – Ontwerp en optimalisatie stiftdeuvelverbinding
Bijlage 7 – Ontwerp en optimalisatie lussen en ankers
Bijlage 8 – Ontwerp en optimalisatie blokdeuvels
Bijlage 9 – Ontwerp en optimalisatie aangelaste wapening
Bijlage 10 – Optimalisatie stiftdeuvels – variant 1 en 2
Bijlage 11 – Opneembare spanning staal
Bijlage 12 – Modellerings- en berekeningsnota KM01

BIJLAGE 1 – WERKPLAN

In deze bijlage vindt u het werkplan dat voorafgaand aan de afstudeerperiode is opgesteld.

OPTIMALE VERBINDINGEN IN INTEGRAALCONSTRUCTIES

Werkplan

MILOU L. VAN LUIJK
14077310
10 JANUARI 2021

DE HAAGSE HOGESCHOOL | CIVIELE TECHNIEK

Optimale verbindingen in integraalconstructies

Werkplan

Milou L. van Luijk (studentnummer 14077310)
14077310@student.hhs.nl

10 januari 2021

Civiele Techniek – De Haagse Hogeschool
Johanna Westerdijkplein 75
2521 EN Den Haag

VOORWOORD

Ik, Milou van Luijk, start op maandag 8 februari 2021 met het afstuderen voor de opleiding Civiele Techniek aan de Haagse Hogeschool. Het afstudeeronderzoek wordt uitgevoerd bij WSP (voorheen Lievense). Dit document bevat het werkplan en is bedoeld voor de docentbegeleiders (dhr. Kousemaker en dhr. Schravendeel) en de bedrijfsbegeleider (dhr. Hermans).

Bij mijn eerste stage heb ik in mijn laatste twee weken samengewerkt met Thom van Doremaele van Lievense. Hij kon mij heel goed helpen met mijn stageopdracht en ik heb in die twee weken meer geleerd dan in de rest van de stage. Daarom wilde ik graag bij Lievense afstuderen.

Milou van Luijk

INHOUDSOPGAVE

1. Contactgegevens 5
   1.1 WSP 5
   1.2 De Haagse Hogeschool 5
   1.3 Afstudeerstudent 6
2. Inleiding 7
   2.1 Aanleiding 7
   2.2 Probleemstelling 7
   2.3 Doelstelling 7
   2.4 Resultaat 8
   2.5 Belanghebbenden 8
   2.6 Projectgrenzen 8
   2.7 Haalbaarheid 8
3. Het bedrijf 10
   3.1 WSP Internationaal 10
   3.2 WSP Nederland 10
4. De Opdracht 12
   4.1 Aanpak 12
   4.2 Producten 12
   4.3 Planning 13
5. Competenties 14

Bronnenlijst 18

Bijlage 1 – Beschrijving competentieniveau 19

Bijlage 2 – Strokenplanning 22

1. CONTACTGEGEVENS

1.1 WSP

In Tabel 1 zijn de gegevens van de begeleider Mark Hermans van WSP.

Bedrijfsgegevens	
Bedrijf	WSP
Adres	Tramsingel 2
Postcode en woonplaats bezoekadres	4814 AB Breda
Postbusnummer	-
Postcode en woonplaats postadres	-
Telefoonnummer	088 – 910 20 00
Internetsite	www.lievense.com
Contactpersoon	
Naam	Mark Hermans
Afdeling	Infra - Waterbouw
Functie	Senior projectleider
E-mailadres	mhermans@lievense.com
Telefoonnummer	06 – 11 21 10 38

Tabel 1 - Contactgegevens WSP

1.2 DE HAAGSE HOGESCHOOL

De eerste docentbegeleider is Johan Kousemaker en de tweede docentbegeleider is Peter Schravendeel. De afstudeercoördinatoren zijn Wim Mantje en Ellen Hollander.

Docentbegeleider 1	
Naam	Johan Kousemaker
Functie	Docent constructies
E-mailadres	j.m.kousemaker@hhs.nl
Docentbegeleider 2	
Naam	Peter Schravendeel
Functie	Docent mechanica
E-mailadres	p.l.schravendeel@hhs.nl
Afstudeercoördinatoren	
Naam	Wim Mantje
Functie	Docent waterbouwkunde
E-mailadres	w.k.mantje@hhs.nl
Naam	Ellen Hollander
Functie	Mentor en coördinator stage en afstuderen
E-mailadres	e.j.g.m.hollander@hhs.nl

Tabel 2 - Contactgegevens De Haagse Hogeschool

1.3 AFSTUDEERSTUDENT

In Tabel 3 zijn de gegevens van Milou van Luijk weergegeven.

Afstudeerstudent	
Naam	Milou van Luijk
Adres	Roosje Voshoeve 84
Postcode en plaats	2743 HS Waddinxveen
E-mailadres (student)	14077310@student.hhs.nl
E-mailadres (privé)	ml.van.luijk@gmail.com
Telefoonnummer	06 – 41 51 76 52
Specialisatie	Constructies
Studentnummer	14077310
Eerste stage	
Bedrijf	Besix NL
Locatie	De Groene Boog – Rotterdam
Werkzaamheden	Ontwerp integraalbrug
Periode	September 2019 – januari 2020
Tweede stage	
Bedrijf	Ballast Nedam
Locatie	Maarssen, uitvoering project in Delft
Werkzaamheden	Werkvoorbereiding en uitvoering paalfundering
Periode	September 2020 – november 2020

Tabel 3 - Contactgegevens afstudeerstudent

2. INLEIDING

2.1 AANLEIDING

Onderdoorgangen worden geregeld als integraalconstructie ontworpen en uitgevoerd. De onderdelen zijn: dragende en kerende damwanden of combiwanden, een landhoofdbalk en een dek bestaande uit prefab liggers. Bij een integraalconstructie worden alle onderdelen aan elkaar verbonden.

Er is een complexe verbinding nodig om een knoopverbinding tussen de grondkering (een damwand of combiwand) én de betonconstructie (de landhoofdsloof en het dek) te maken. Uiteindelijk moeten er krachten worden overgedragen tussen de grondkering en de betonconstructie. Om deze verbinding te maken zijn er verschillende methoden, namelijk:

- Verbinding door middel van stiftdeuvels;
- Verbinding door middel van aangelaste wapening;
- Verbinding door middel van aangelaste platen.

Afbeelding 1 - Stiftdeuvels (Köco, 2021)

Afbeelding 2 - Brug met damwand
(De Boer en de Groot, 2021)

2.2 PROBLEEMSTELLING

De vorm van een damwandprofiel en de wijze van verbinden leidt vaak tot een complexe uitvoering met hoge wapeningconcentraties. Dit maakt het ingewikkeld voor de ontwerpers, maar ook voor de uitvoering. De onderzoeksvraag is daarom:

Wat is de optimale constructieve verbinding tussen damwanden en het landhoofd of dek bij integraalconstructies?

Om deze vraag te beantwoorden, wordt gebruik gemaakt van de volgende deelvragen:

- Welke constructieve verbindingen zijn er?
- Welk gedrag hoort er bij de verbindingen?
- Wat is de krachtswerking in de knoop?
- Hoe worden verbindingen berekend?

2.3 DOELSTELLING

Het doel van het onderzoek is het vereenvoudigen van de verbindingen tussen damwanden en een landhoofd of dek, zodat het werkbaar is voor in de uitvoering. Het doel voor mijzelf is het leren berekenen van verbindingen en het weten wanneer welke verbinding toegepast moet worden.

2.4 RESULTAAT

Aan het einde van het afstudeeronderzoek wordt een onderzoeksrapport opgeleverd. Indien mogelijk wordt een keuzedocument opgesteld om snel tot de meest optimale verbinding te komen per situatie.

2.5 BELANGHEBBENDEN

Zoals de doelstelling al aangeeft, gaat het niet alleen om het optimaliseren voor het ontwerp, maar ook voor de uitvoering. Het ontwerpteam en de uitvoerder heeft hierdoor profijt van de optimalisatie.

2.6 PROJECTGRENZEN

Tijdens het onderzoek wordt een aantal grenzen gesteld.

Het onderzoek start op maandag 8 februari 2021 en duurt zeventien weken. Op de maandag in week achttien wordt het onderzoeksrapport ingeleverd. De student kiest ervoor om in de voorjaarsvakantie door te gaan.

Tijdens het onderzoek wordt alleen gefocust op de verbinding met damwanden. De verbinding met combiwanden wordt dus buiten beschouwing gelaten.

2.7 HAALBAARHEID

Er zijn risico's tijdens het afstuderen. Hieronder wordt een aantal genoemd met bijbehorende maaterelen.

De student is onbekend met de stof

Op dit moment weet de student nog niets over de verbinding met damwanden. Daarom zal de student voor de start van het onderzoek opzoek gaan naar literatuur. Ook gaat zij direct vragen stellen bij onduidelijkheden.

Het onderzoek komt niet tijdig af

Een volgend risico is dat het onderzoek te groot is, waardoor de student tijd te kort heeft. Een mogelijkheid is om al in de voorjaarsvakantie door te gaan, zodat er meer tijd beschikbaar is. Ook gaat zij gedurende het afstuderen een planning bijhouden met een overzicht wat er nog gedaan moet worden. Als het echt te veel werk is, dan zouden er in het beginstadium extra grenzen gesteld worden aan het onderzoek.

Het onderzoek is te klein

Een andere mogelijkheid is dat het onderzoek juist te klein is. Dan zal de student toch ook naar de verbinding met combiwanden gaan kijken en het onderzoek dus uitbreiden.

Er is weinig begeleiding mogelijk

Vanwege de huidige situatie omtrent Corona zal de student minder aanwezig kunnen zijn op het kantoor, waardoor de begeleiding niet face-to-face is. De begeleiding zal voornamelijk online zijn via bijvoorbeeld *Teams*. De student zal daardoor veel zelf uit moeten zoeken, omdat ze minder snel bij iemand langs kan lopen voor uitleg. Daarom zal ze heel regelmatig contact opnemen met de collega's. Ook wil zij eens per week met de begeleider kijken naar de voortgang. Indien het mogelijk is, wil zij graag twee dagen per week naar kantoor. Uit ervaring denkt de student dat de begeleiding online ook goed zal verlopen.

De student is ziek

Een risico is dat de student door ziekte (COVID-19 of anders) niet kan werken aan de afstudeeropdracht. Wanneer dit het geval is, wordt dit doorgegeven aan de bedrijfs- en docentbegeleiders. Indien het mogelijk is, wordt de tijd die gemist wordt, in het weekend ingehaald.

De student heeft nog niet alle vakken behaald

Tot en met periode 4.1 heeft de student alle vakken behaald. Als vakken uit periode 4.2 niet behaald worden, dan moet dat herkanst worden tijdens het afstuderen. Het gaat in alle gevallen om een opdracht. De student zal dan feedback vragen en de opdracht verbeteren.

3. HET BEDRIJF

In 2019 is Lievense onderdeel geworden van WSP en vanaf 1 januari 2021 is de naam veranderd naar WSP.

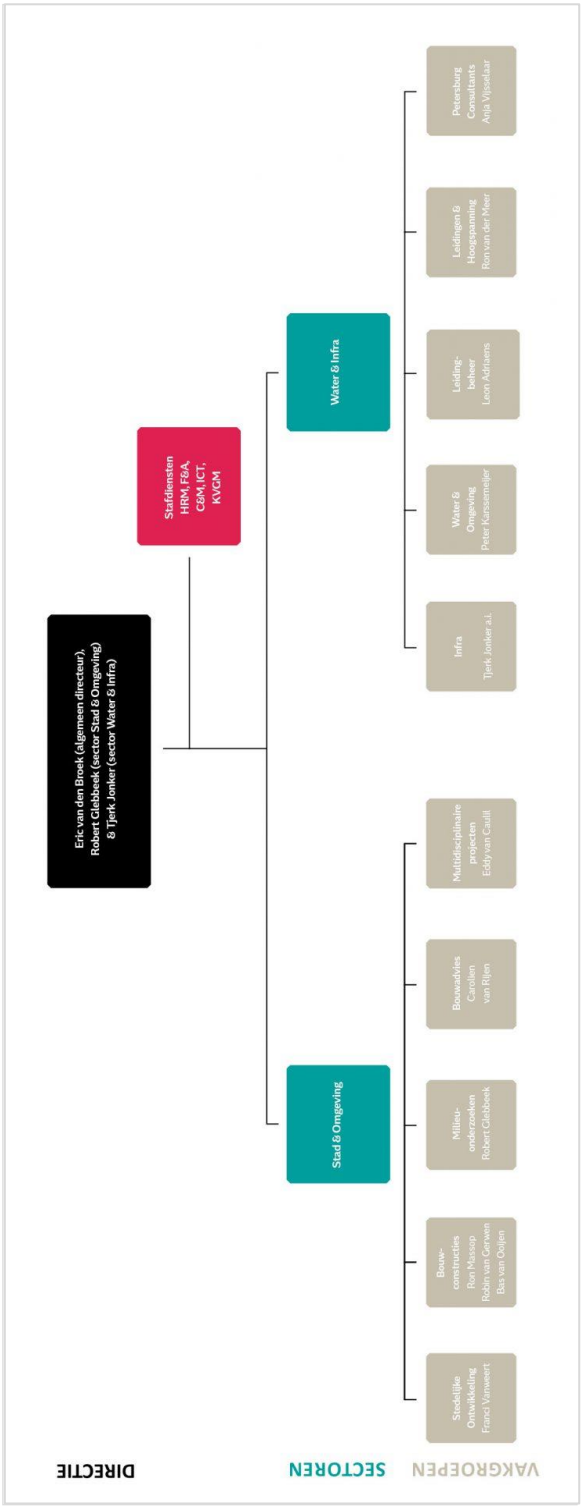
3.1 WSP INTERNATIONAAL

WSP is een wereldwijd advies- en ingenieursbureau met een hoofdkantoor in Montreal in Canada. Het bedrijf biedt advies in de sectoren milieu, vastgoed, transport, infrastructuur, water, industrie, grondstoffen en energie. Wereldwijd heeft zij 49.000 werknemers, waarvan 16.000 medewerkers in Europa en 1.000 medewerkers in Centraal-Europa (Duitsland, Spanje, Frankrijk, Zwitserland en Polen). Het bedrijf is betrokken bij bijvoorbeeld La Guardia Airport in New York en de bouw van de nieuwe metrolijn van Stockholm (WSP, 2021).

3.2 WSP NEDERLAND

In Nederland is het een advies- en ingenieursbureau op het gebied van bouw, infra, water en milieu. Het bedrijf heeft tien locaties met 375 medewerkers (Lievense, 2021).

Het bedrijf is opgedeeld in twee sectoren: Stad & Omgeving en Water & Infra. Het afstudeeronderzoek valt onder de afdeling Infra, in de sector Water & Infra. Dit thema valt onder het kantoor in Breda. Zie Figuur 1 voor de organisatiestructuur.



Figuur 1 - Organisatiestructuur WSP Nederland

4. DE OPDRACHT

4.1 AANPAK

De opdracht is om een optimalisatie te maken wat betreft de constructieve verbinding tussen damwanden en landhoofd of dek bij integraalconstructies. Het onderzoek wordt globaal in drie delen.

Het eerste deel bestaat uit het verdiepen in verbindingsmogelijkheden. Dit wordt vooral een literatuuronderzoek en wellicht is een van de verbindingen momenteel in uitvoering, waardoor ik in de praktijk kan kijken hoe de uitvoering gaat. Deze informatie komt grotendeels terug in de bijlage van het onderzoeksrapport. De volgende vragen wil de student in het eerste deel beantwoorden:

- Welke verbindingsmogelijkheden zijn er?
- Wat zijn de kenmerken van de verbinding?
- Wat zijn de voor- en nadelen van de verbinding?
- Hoe werkt de verbinding?

Het tweede deel bestaat uit het maken van een voorbeeldberekening van een fictieve onderdoorgang. Het is van belang om te weten hoe de constructie in elkaar zit. Deze berekening zal in de bijlage van het onderzoeksrapport komen. De volgende vragen wil de student in het tweede deel beantwoorden:

- Welke krachten zitten er in de constructie?
- Hoe verloopt de krachtswerking?

Het derde deel bestaat uit een berekening van de verbindingen. Aan de hand van de resultaten van deze berekening kan bepaald worden wat het meest optimale ontwerp is. De volgende vragen wil de student in het derde deel beantwoorden:

- Hoe moet de verbinding berekend worden?
- Wat is het meest optimaal?

Dit zijn globaal de stappen voor het onderzoek, maar dit wordt gespecificeerd tijdens het onderzoek. Tijdens het hele onderzoek wordt het onderzoeksrapport continu aangevuld. Iedere week wil de student de voortgang met haar bedrijfsbegeleider doornemen. Eens in de twee weken neemt zij de voortgang door met de eerste docentbegeleider.

4.2 PRODUCTEN

In Tabel 4 is de productentabel te zien. Deze tabel geeft aan welke producten er nodig zijn per deelvraag, welke informatie er nodig is, welke competenties erbij aansluiten en wat de tijdsbesteding is.

Deelvraag	Producten	Benodigde informatie	Competenties	Tijdsbesteding
1. Welke constructieve verbindingen zijn er?	Literatuuronderzoek	Soorten verbindingen, kenmerken per verbinding, voor- en nadelen per verbinding, werking van de verbinding.	G1, G6	Week 1-3
2. Welk gedrag hoort er bij de verbindingen?	Literatuuronderzoek	Wanneer wordt deze verbinding toegepast, hoe werkt de verbinding?	B3, G1, G6	Week 1-3
3. Wat is de krachtswerking in de knoop?	Literatuuronderzoek, meetrapport	Krachten in de constructie, krachtswerking door de constructie.	B3, G1, G6	Week 4-7
4. Hoe worden verbindingen berekend?	Literatuuronderzoek, meetrapport	Methode om verbinding te berekenen, hoeveelheid materiaal dat nodig is, advies.	B2, B5, G5, G6	Week 8-12

Tabel 4 – Productentabel

4.3 PLANNING

Voor het afstudeeronderzoek is een globale planning opgesteld. Hierin zijn belangrijke punten meegenomen, zoals weergegeven in Tabel 5 - Globale planning afstuderen. Zie Bijlage 2 – Strokenplanningvoor de strokenplanning.

Wanneer	Activiteit
Week -8	Aanmelden in Onstage en inschrijven in Osiris
Week -5	Bijeenkomst voorbereiding afstuderen
Week -2	Concept werkplan inleveren
Week 1	Definitief werkplan inleveren
Week 1	Startbijeenkomst met 1^{e} en 2^{e} begeleider (evt. bedrijfsbegeleider)
Week 8 of 9	Tussenpeiling
Maandag week 16	Concept onderzoeksrapport inleveren
Maandag week 18	Definitief onderzoeksrapport inleveren
Week 19	Presentatie en verdediging
Week 20	Beoordeling via Onstage
Week 22 of later	Diplomering

Tabel 5 - Globale planning afstuderen

Iedere twee weken wordt met de eerste docentbegeleider de voortgang besproken. De student wil proberen om iedere week de voortgang met de bedrijfsbegeleider door te nemen.

5. COMPETENTIES

Het is de bedoeling dat ik aan het einde van mijn afstudeerperiode laat zien hoe ik aan bepaalde competenties heb gewerkt. Er zijn technische en generieke competenties en van iedere soort moet ik minimaal drie competenties toelichten. In Tabel 6 heb ik aangegeven aan welke competenties ik denk te gaan werken en hoe dat gebeurt. Tijdens het afstuderen kan het zijn dat de keuze van competenties nog gaat veranderen, omdat nu nog niet helemaal bekend is wat je exact gaat doen.

	Competentie	Methode	Producten
Technische competenties	**B1 – Initiëren en sturen** *Je kunt maatschappelijk belangrijke ruimtelijke opgaven signaleren en agenderen. Deze vraagstukken kunnen op zowel een concrete als abstract niveau voorkomen en zullen meerdere componenten bevatten, zoals demografische, economische, sociale, technische, ecologische en politieke vragen. Je kunt de aanleiding van de opgave benoemen en de relevantie van het vraagstuk beschrijven. Je kunt daardoor de ruimtelijke opgave plaatsen in een bredere maatschappelijke context plaatsen.*	n.v.t.	n.v.t.
	B2 – Ontwerpen *Vanuit een beschrijving van de opgave en mogelijke kaders waarbinnen de opgave moet worden opgelost, kun je deze conceptualiseren, visualiseren en verder uitwerken tot een plan, model, advies, ruimtelijk of technisch ontwerp. Je werkt op basis van een programma van eisen en wensen en verwachtingen, via alternatieven naar een afgewogen keuze.*	WSP heeft een aantal kaders gegeven die ik in de projectgrenzen aangeef. Aan het begin van de stage ga ik de eisen en wensen van WSP en de uitvoering verzamelen. De alternatieven zijn de verschillende verbindings-mogelijkheden. De optimalisatie wordt bereikt door een afgewogen keuze die het beste is voor beide partijen.	Onderzoeksrapport (projectgrenzen, resultaten, conclusie)
	B3 – Specificeren *Op basis van gedefinieerde ruimtelijke vraagstukken kun je de doelstelling vertalen en uitwerken. Je doet dit vanuit het perspectief van de belanghebbenden. Dit veronderstelt inzicht in de problematiek, kennis van een procesmatige benadering en kennis van financiële en technische aspecten van mogelijke oplossingen en van instrumenten, en een integrale visie op*	De doelstelling beschrijf ik in de inleiding. Ik ga inzicht in de problematiek krijgen door aan WSP te vragen waar tegenaan gelopen wordt bij het ontwerp. Van de uitvoering wil ik weten waar zij tegenaan loopt. Technische aspecten zijn onderdeel van de oplossing.	Onderzoeksrapport (inleiding, bijlagen)

	oplossingsrichtingen en haalbaarheid.		
	B4 – Realiseren *Je kunt op basis van diverse plannen het implementatieproces vormgeven en aansturen. Dit betekent dat je (strategische) plannen en ontwerpen kunt vertalen naar uitwerkingsplannen en -processen. Je bent in staat belangen van betrokken partijen goed af te stemmen en een project van de initiatief- tot de realisatiefase te begeleiden. Je hebt bij dit alles aandacht voor duurzaam beheer.*	n.v.t.	n.v.t.
	B5 – Beheren *Maken van een beheer- en onderhoudsplan voor het behouden van de kwaliteit.*	n.v.t.	n.v.t.
	B6 – Monitoren, toetsen en evalueren *Je bent in staat de gekozen oplossingen en bereikte resultaten zo objectief mogelijk te evalueren. Je bent in staat de resultaten op verschillende abstractieniveaus en vanuit het perspectief van verschillende betrokken actoren uit te werken. Je bent in staat dit, waar mogelijk, met kwantitatieve en kwalitatieve gegevens te onderbouwen. Je kunt de effectiviteit en efficiëntie van de gekozen oplossingen aangeven. Op deze wijze ben je in staat aan te geven in hoeverre het ruimtelijk vraagstuk is opgelost, en in welke mate de ontstane ambities en verwachtingen zijn ingelost. Je kunt waar mogelijk of nodig vervolgacties definiëren.*	De uitkomsten van het onderzoek ga ik vanuit twee perspectieven bekijken: vanuit ontwerp en uitvoering. Ik kan het onderbouwen met bijvoorbeeld de hoeveelheden wapeningsstaal dat nodig. Ik ga kijken wanneer welke oplossing het beste is. Daarbij geef ik aan in hoeverre het een optimalisatie is.	Onderzoeksrapport (resultaten)
Generieke competenties	**G1 – Onderzoeken** *Je bent in staat een vraagstuk te analyseren en de vraag te identificeren. Je kunt praktijkgericht onderzoek methodisch opzetten en uitvoeren. Je kunt relevante gegevens verzamelen en interpreteren met het doel een oordeel te vormen.*	Vanuit WSP is een vraagstuk gegeven. Het analyseren van een vraagstuk is het doen van grondig onderzoek. Voor de berekening van de verbindingen wordt een methodiek opgesteld. Het verzamelen va relevante gegevens is noodzakelijk om een beeld te krijgen welke verbindingen er mogelijk zijn,	Onderzoeksrapport (achtergrondinformatie in bijlage, berekeningen, methodebeschrijving)

		wat de kenmerken ervan zijn en wat de voor- en nadelen zijn. De uitkomsten van de berekening moeten worden geïnterpreteerd om een optimalisatie te kunnen maken.	
	G2 – Communiceren *Je brengt beroepsgerichte informatie over naar betrokkenen het beroepenveld, collega's en de vast te stellen doelgroepen (klanten, opdrachtgevers, betrokkenen). Je bent in staat zowel intern als extern te communiceren op een, voor de doelgroep, passende wijze. Communiceren bevat het gehele spectrum waarop informatie ontvangen, gegeven en gedeeld wordt.*	Tijdens mijn onderzoek zal ik hulp moeten vragen aan collega's. In eerste instantie zal het voornamelijk gaan om het ontvangen van informatie, maar hoe verder ik in het onderzoek kom, zal ik ook kennis kunnen overdragen aan experts. Uiteindelijk moeten mijn resultaten ook naar collega's worden gecommuniceerd.	Reflectieverslag, weekrapporten, gespreksverslagen
	G3 – Samenwerken *Je bent gericht op samenwerken en constructief afstemmen met medeprofessionals, betrokkenen en de doelgroepen. Je kunt (bege)leiding geven aan samenwerkingsprocessen.*	n.v.t.	n.v.t.
	G4 – Managen *Je geeft richting en sturing aan processen om de doelen te realiseren. Je bent zelfsturend en reflectief op het eigen functioneren. Je bent proactief, neemt initiatief en kan buiten kaders denken en werken.*	n.v.t.	n.v.t.
	G5 – Innoveren *Je bent in staat een product of proces te innoveren. Innovatie kan variëren van optimalisering, via verbetering of verandering tot vernieuwing of transitie.*	De opdracht is om een optimalisatie te maken voor de verbinding. Ik ga dus bekijken wat de best passende oplossing is voor het ontwerp- en uitvoeringsteam. De optimalisatie moet ertoe leiden dat de keuze voor de verbindingen meer onderbouwd wordt en voor de beste optie wordt gekozen.	Onderzoeksrapport (resultaten, conclusie)
	G6 – Leren en verder ontwikkelen *Je demonstreert dat je in staat bent zelfstandig te leren en verder ontwikkelen voor de professionalisering van de eigen beroepsuitoefening. Je hebt inzicht in*	Vanwege de Corona-situatie zal ik echt helemaal zelfstandig moeten werken. Ik zal zelf veel onderzoek doen naar de mogelijke verbindingen. Door mij zo te verdiepen in deze	Reflectieverslag, weekrapporten

	je eigen ontwikkeling, kennis van leermethoden die voor jouw werken en vaardigheden om je te ontwikkelen.	stof, ga ik mij specialiseren in dit onderwerp. Het is een heel nieuw onderwerp voor mij. Ik moet uit gaan zoeken hoe ik het best de stof eigen maak. Als het kan, zou ik ook projecten willen bezoeken.	

Tabel 6 - Beschrijving competenties

BRONNENLIJST

De Boer en de Groot. (2021). *Brug over Achlumervaart*. Opgeroepen op januari 2, 2021, van De Boer en de Groot: https://www.deboerendegroot.nl/projecten/brug-over-achlumervaart

Köco. (2021). *Utiliteitsbouw*. Opgeroepen op januari 2, 2021, van Köco: https://www.stiftlassen.nl/sectoren/utiliteitsbouw/

Lievense. (2021). *Over Lievense*. Opgeroepen op januari 1, 2021, van Lievense: https://lievense.com/wie-we-zijn/

WSP. (2021). *Over WSP*. Opgeroepen op januari 2, 2021, van WSP: http://vacature.wsp.com/over-wsp/

BIJLAGE 1 – BESCHRIJVING COMPETENTIENIVEAU

In een competentiegerichte opleiding staat de beroepspraktijk centraal. In de beroepspraktijk worden taken altijd in een specifieke situatie (context) uitgevoerd en met een bepaalde zelfstandigheid.

Door de complexiteit van de context te bepalen en deze te combineren met de mate van zelfstandigheid, kun je het competentieniveau van de afstudeeropdracht bepalen. De onderstaande 3 stappen helpen om dit te doen.

B1.1 CONTEXT

De verschillende omgevingsfactoren die invloed uitoefenen op de taak die moet worden uitgevoerd, vormen de context. De aspecten die een context ingewikkeld of eenvoudig maken zijn opgedeeld in drie categorieën: opdrachtsituatie, impact en bekendheid met methoden en situatie.

De contextfactoren zijn verwerkt tot een scoringslijst. De student is nagegaan wat voor haar van toepassing is in de specifieke werksituatie.

Opdrachtsituatie	Ja	Nee
In je opdracht heb je te maken met conflicterende (product)eisen		X
Ik werk onder behoorlijke tijdsdruk	X	
Ik heb meerdere (informele) opdrachtgevers die verschillende wensen en/of eisen hebben.		X
Ik werk samen met veel professionals uit andere vakgebieden.		X
Er liggen zware kwaliteitseisen op de producten die ik aflever. Ik moet de kwaliteit duidelijk aantoonbaar maken.	X	
Mijn werk ligt in de politiek of de organisatie nogal gevoelig.		x

Tabel 7 – Opdrachtsituatie

Toelichting op Tabel 7:
'Ik zal onder tijdsdruk moeten werken, omdat het veel nieuwe stof is waarin ik mij moet verdiepen en vervolgens daarover een advies moet geven. Dit zal veel tijd in beslag nemen. WSP zal uiteindelijk gebruik gaan maken van de uitkomsten van de optimalisatie. Het is daarom van belang dat er juiste conclusies worden getrokken. Grove fouten zijn ongewenst.'

Impact	Ja	Nee
Als ik mijn opdracht verknal, kost dat de afdeling klanten.		X
Er is veel geld gemoeid met deze opdracht.		X
Er zal veel veranderen bij de opdrachtgever / gebruiker als mijn werk af is.	X	
De resultaten van mijn opdracht heeft het management nodig om te beslissen hoe het in de toekomst verder moet.	X	

Tabel 8 – Impact

Toelichting op Tabel 8:
'Na het afronden van het onderzoek zal WSP de optimalisatie meenemen bij het ontwerpen van nieuwe opdrachten. Het heeft impact op de werkwijze van het bedrijf. Het zal wat veranderen in het ontwerpproces.'

Bekendheid met methoden en situatie	Ja	Nee
Ik moet veel nieuwe methoden/instrumenten leren voor deze klus.	X	
Ik moet me met nieuwe vakgebieden gaan bezighouden.	X	
Ik heb veel nieuwe kennis nodig voor deze opdracht.	X	

Tabel 9 - Bekendheid met methoden en situatie

Toelichting op Tabel 9:
'Nooit eerder ben ik bezig geweest met de verbinding van damwanden aan een betonconstructie. Hoe dit wordt gedaan en de bijbehorende berekeningen zijn helemaal nieuw voor mij. Het is een verdieping op wat ik heb geleerd op school. Er is dus nieuwe kennis nodig.'

Het aantal keer dat 'ja' geantwoord is, bepaalt de moeilijkheidsgraad van de context. Het contextniveau ziet er als volgt uit:

≤ 2 : Eenvoudig
> 2 en ≤ 4 : Lastig
> 4 : Complex

B1.2 BEGELEIDING

De mate van begeleiding zegt iets over de positie die ingenomen wordt ten opzichte van de taak die moet worden uitgevoerd. Het zegt eveneens iets over de mate van vrijheid van handelen die binnen de taak wordt geboden. Er bestaan drie niveaus van taakrollen:

- sturend: Je werkt mee onder begeleiding van een deskundige volgens vastgestelde en gedocumenteerde werkmethoden, procedures, standaards.
- coachend: Je werkt enigszins zelfstandig of in teamverband aan globaal beschreven opdrachten zonder een van te voren vastgestelde methode, instructie of richtlijn. Een leidinggevende of opdrachtgever is beschikbaar om te overleggen over het proces en de inhoud.
- Zelfstandig: Je werkt volledig zelfstandig aan de opdracht. De methoden, procedures, instructies bepaal je zelf. Je geeft leiding aan anderen die taken voor jou uitvoeren, je draagt een zekere verantwoordelijkheid voor de resultaten die deze personen bereiken.

Doordat er veel nieuwe informatie vereist is bij het afstudeeronderzoek, zal de student collega's nodig hebben voor feedback en tips. Vanwege de Corona-situatie zal zij veel thuis moeten werken en wordt het onderzoek erg zelfstandig. Voor het opzetten van het onderzoek zal zij niet veel begeleiding nodig hebben. Wel zal zij voor de inhoud hulp nodig hebben.

B1.3 COMPETENTIENIVEAU BEPALEN

In het model worden vijf complexiteitsniveaus aangeduid. De complexiteit van een taak wordt in dit model bepaald door zowel de rol die je bij deze taak hebt (taakrol) als door de omgevingsfactoren die invloed op de taak hebben (context). Welk complexiteitsniveau bij welke taakrol en context hoort, is in onderstaande matrix te lezen.

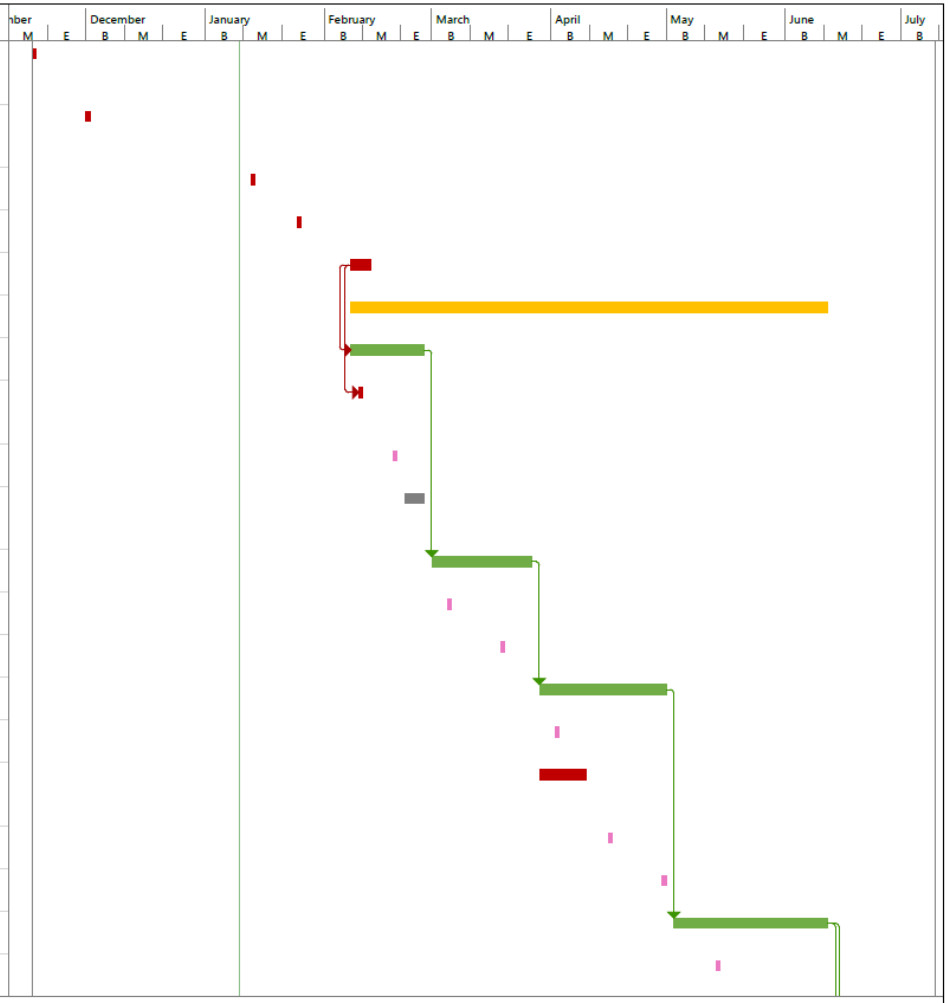
Context	Begeleiding			
		Sturend	Coachend	Zelfstandig
	Eenvoudig	1	2	3
	Lastig	2	3	4
	Complex	3	4	5

Tabel 10 – Competentieniveau

BIJLAGE 2 – STROKENPLANNING

22

ID	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Names
1	Aanmelden in Onstage en inschrijven in Osiris	1 day	Tue 17-11-20	Tue 17-11-20		
2	Bijeenkomst voorbereiding afstuderen	1 day	Tue 1-12-20	Tue 1-12-20		
3	Vragenuur afstuderen	1 day	Wed 13-1-21	Wed 13-1-21		
4	Concept werkplan inleveren	1 day	Mon 25-1-21	Mon 25-1-21		
5	Definitief werkplan inleveren	5 days	Mon 8-2-21	Fri 12-2-21		
6	Opstellen optimalisatierapport	90 days	Mon 8-2-21	Fri 11-6-21		
7	Literatuuronderzoek verbindingen	15 days	Mon 8-2-21	Fri 26-2-21	5SS	
8	Startbijeenkomst	1 day	Wed 10-2-21	Wed 10-2-21	5SS	
9	Voortgang eerste docentbegeleider	1 day	Fri 19-2-21	Fri 19-2-21		
10	Voorjaarsvakantie	5 days	Mon 22-2-21	Fri 26-2-21		
11	Krachtswerking in knopen	20 days	Mon 1-3-21	Fri 26-3-21	7	
12	Voortgang eerste docentbegeleider	1 day	Fri 5-3-21	Fri 5-3-21		
13	Voortgang eerste docentbegeleider	1 day	Fri 19-3-21	Fri 19-3-21		
14	Verbindingen doorrekenen	25 days	Mon 29-3-21	Fri 30-4-21	11	
15	Voortgang eerste docentbegeleider	1 day	Fri 2-4-21	Fri 2-4-21		
16	Tussenpeiling	10 days	Mon 29-3-21	Fri 9-4-21		
17	Voortgang eerste docentbegeleider	1 day	Fri 16-4-21	Fri 16-4-21		
18	Voortgang eerste docentbegeleider	1 day	Fri 30-4-21	Fri 30-4-21		
19	Optimalisatie maken	30 days	Mon 3-5-21	Fri 11-6-21	14	
20	Voortgang eerste docentbegeleider	1 day	Fri 14-5-21	Fri 14-5-21		



Project: Afstuderen - planning
Date: Sun 10-1-21

Task
Split
Milestone
Summary
Project Summary
Inactive Task
Inactive Milestone
Inactive Summary
Manual Task
Duration-only
Manual Summary Rollup
Manual Summary
Start-only
Finish-only
External Tasks
External Milestone
Deadline
Progress
Manual Progress

Page 1

ID	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Names
21	Voortgang eerste docentbegeleider	1 day	Fri 28-5-21	Fri 28-5-21		
22	Concept onderzoeksrapport inleveren	1 day	Mon 31-5-21	Mon 31-5-21		
23	Verwerken feedback	9 days	Tue 1-6-21	Fri 11-6-21	22;19FF	
24	Voortgang eerste docentbegeleider	1 day	Fri 11-6-21	Fri 11-6-21		
25	Definitief onderzoeksrapport inleveren	1 day	Mon 14-6-21	Mon 14-6-21	19;23	
26	Presentatie en verdediging	5 days	Mon 21-6-21	Fri 25-6-21	25	
27	Beoordeling	5 days	Mon 28-6-21	Fri 2-7-21	26	
28	Diplomering	5 days	Mon 5-7-21	Fri 9-7-21	27	

BIJLAGE 2 – REFLECTIEVERSLAG

B2.1 ERVARINGEN

In deze paragraaf geef ik mijn ervaringen bij het afstuderen bij WSP.

Mijn afstudeerperiode had een gek begin vanwege Corona: vanuit huis begon ik aan mijn eerste dag. In de ochtend heb ik Mark (bedrijfsbegeleider) en Willem (constructeur) gesproken over de opdracht. Wel voelde het vreemd, want het voelde helemaal niet als afstuderen. Ik merkte nauwelijks verschil tussen thuis werken aan huiswerk of afstuderen bij een bedrijf en dat vond ik jammer.

Vanaf de vijfde week zat ik in een dip. De voorgaande week hoorde ik van verschillende kanten allerlei onderdelen 'die ik écht in het onderzoek mee moet nemen', waardoor voor mijn gevoel de opdracht te groot werd en ik mij niet kon focussen op de hoofdvraag. Tot in week vijftien heb ik echt opgekeken tegen het afstuderen, omdat ik steeds weer tegenslagen had en ik mij steeds meer alleen ging voelen.

Doordat ik thuis alleen aan het werk was, had ik soms moeite om mijzelf te motiveren. Als ik niet goed wist wat ik kon doen, raakte ik afgeleid. Wanneer ik wél iets had waarmee ik vooruit kon, dan kon ik juist heel geconcentreerd werken.

B2.1.7 SAMENBRENGEN STAGIAIRS EN WELKOM DOOR HR

Bij BESIX, waar ik in mijn derde studiejaar stage heb gelopen, werden (afstudeer)stagiairs samengebracht door een paar keer in de stageperiode met zijn alle af te spreken en elkaar te vertellen hoe het gaat en wat zij aan het doen zijn. Dit vond ik toen leuk, omdat je dan van elkaar kan leren. Dat miste ik bij WSP. Ik zou WSP als tip willen meegeven om stagiairs samen te brengen per locatie. Met hen bespreek je sneller bepaalde dingen die je niet direct met jouw begeleider bespreekt. En zeker nu alles online is, is het belangrijk om naar de stagiairs en mogelijk nieuwe werknemers om te kijken.

B2.2 LEERMOMENTEN

In deze paragraaf beschrijf ik mijn leermomenten en zwakke punten.

B2.2.1 COMMUNICATIE

Een volgende keer moet ik meer communiceren met mijn bedrijfsbegeleider. Ik had bijvoorbeeld eerder al aan moeten geven dat de samenwerking tussen Willem en mijzelf niet helemaal goed ging en dat sommige dingen die gezegd werden, verkeerd vielen bij mij. Zo zou Mark een beter beeld hebben gekregen wat er speelt. Ook is het belangrijk om dit meerdere keren te delen met de docenten.

Als de samenwerking met een collega niet soepel loopt, moet ik opzoek naar een oplossing. Ik blijf dan erg in een dip en dat werkt niet voor de voortgang. Een volgende keer moet ik opzoek gaan naar een andere collega die me kan helpen.

B2.2.2. AFSTEMMEN OPDRACHT

Ik moet een volgende keer vaker de bedrijfsbegeleider en docenten bij elkaar brengen, omdat ik merkte dat de docenten soms heel ver door gingen op de basis wat prima is, maar dat kost ook weer extra tijd om alles uit te zoeken. Soms was niet meer duidelijk van wie een voorstel kwam. Ik heb hiervan geleerd om van ieder gesprek notulen te maken, zodat terug te lezen is wie wat heeft voorgesteld.

B2.2.3 UITLEGGEN WERKING

In de eerste weken heb ik geleerd hoe een integraalconstructie werkt. Ik had dat principe maar in het kort beschreven. De docenten vonden het verhaal ingewikkeld en wilden er plaatjes bij. Dat was een goede tip, want hierdoor kan je het beter uitleggen. Ik moet onthouden dat ik een principe van een constructie het best met plaatjes kan uitleggen, net als de bouwfasering.

B2.3 STERKE PUNTEN

In deze paragraaf beschrijf ik mijn sterke punten.

B2.3.1 ZELFSTANDIG WERKEN

Tijdens deze afstudeerperiode heb ik onwijs veel zelfstandig gewerkt. Omdat ik mijn collega's niet zag, was ik erg op mijzelf aangewezen. Voor het bepalen van de belastingen en het maken van het *SCIA*-model had ik wel voorbeelden, maar ik heb wel zelf alles uitgezocht. Ook het zoeken van fouten in het *SCIA*-model kostte mij best veel tijd, maar ik heb het wel helemaal zelf gedaan.

Ook heb ik in mijn zesde week aan Willem aangegeven dat ik zijn uitleg niet goed begrijp en dat ik meer hulp nodig heb. Ik heb benadrukt dat ik HBO doe en dat het onderwerp nieuw is voor mij. Dit was voor mij een hele stap en ik vind dat knap van mijzelf, omdat ik normaal gesproken heel veel accepteer en het op mijzelf betrek.

B2.3.2 VRAGEN STELLEN

Voor mijn doen heb ik snel en vaak vragen gesteld. Dat deed ik dan via *MS Teams*. Soms duurde het wel even voordat ik reactie kreeg. Dan heb ik nogmaals gevraagd of zij al tijd hadden voor mijn vraag. Ik merkte dat ik mij wat meer vertrouwd voelde bij Thom (constructeur) dan bij Willem. Ik kende Thom al van een vorige stage en de samenwerking met hem liep toen ook goed. Soms stelde ik mijn vragen liever aan Thom dan aan Willem, omdat ik vind dat Thom alles duidelijk kan uitleggen.

Ondanks dat ik de manier van communiceren van Willem niet fijn vond, heb ik toch steeds weer vragen aan hem gesteld. Het is nu eenmaal belangrijk dat er een goed resultaat uit het onderzoek komt. Daarom heb ik mijn gevoelens aan de kant gezet. Ik ben mij steeds minder aan gaan trekken van de toon. Ik kon niet anders, want ik had zijn hulp echt nodig.

B2.3.3 DOORZETTINGSVERMOGEN EN WILSKRACHT

Meerdere malen heb ik zitten twijfelen of ik nog wel verder moest met dit onderzoek, omdat ik continu tegen dichten deuren aan liep. Toch ben ik doorgegaan en heb ik een aantal verbindingen kunnen berekenen. Ik kan zeker zeggen dat ik doorzettingsvermogen en wilskracht heb getoond.

B2.3.4 VRAGEN NAAR BEGELEIDING

Op de eerste dag van mijn afstuderen heb ik Mark en Willem online gesproken. Ik heb toen zelf het initiatief genomen om wekelijks met Mark te spreken. Als ik op kantoor had kunnen werken, vind ik dat niet altijd nodig, maar omdat ik thuis moest werken, vond ik een wekelijks gesprek over de voortgang het minimale dat nodig was.

B2.4 WAT HEB IK OVER MIJZELF GELEERD?

Tijdens het afstuderen ben ik erachter gekomen dat ik nogal gevoelig ben voor de toon waarop mensen iets tegen mij zeggen. Ook weet ik dat ik door moet met het onderzoek en dan kan ik het uiteindelijk toch van mij afzetten.

Ik heb geleerd dat ik de sfeer binnen een bedrijf erg belangrijk vind. Het moet gezellig zijn en collega's moeten bereid zijn om je te helpen. Dat heb ik bij dit afstudeeronderzoek, ook grotendeels vanwege het thuiswerken ten gevolge van Corona, zo nu en dan gemist.

Door mijn afstudeerperiode ben ik te weten gekomen dat ik de komende tien jaar geen constructeur wil worden. Alle detailberekeningen die bij het ontwerp van de brug komen vind ik te ingewikkeld en niet interessant.

B2.5 COMPETENTIES

Tijdens het afstuderen is een aantal competenties aan bod gekomen: ontwerpen (B2), specificeren (B3), monitoren, toetsen en evalueren (B6), onderzoeken (G1), communiceren (G2) en leren en verder ontwikkelen (G6). Ik heb vooral aan het ontwerpen en monitoren, toetsen en evalueren gewerkt.

B2.5.1 ONTWERPEN

"Vanuit een beschrijving van de opgave en mogelijke kaders waarbinnen de opgave moet worden opgelost, kun je deze conceptualiseren, visualiseren en verder uitwerken tot een plan, model, advies, ruimtelijk of technisch ontwerp. Je werkt op basis van een programma van eisen en wensen en verwachtingen, via alternatieven naar een afgewogen keuze."

Tijdens het afstuderen heb ik een integraalconstructie en verbindingen tussen de damwand en de deksloof ontworpen.

Bij het ontwerpen van de integraalconstructie heb ik binnen kaders (een onderdoorgang in een snelweg, vier rijstroken) een concept gemaakt. Hiervan heb ik met de hand schetsen gemaakt om deze te laten controleren door de constructeur. Vervolgens heb ik het ontwerp getekend in *AutoCAD* en gemodelleerd in *SCIA Engineer*. Aan Mark heb ik de wensen gevraagd wat betreft het ontwerp. Hij stelde toen voor om K01 van De Groene Boog als voorbeeld te nemen en vergelijkbare afmetingen aan te houden. Hierbij kwamen alle aspecten van het ontwerpen aan bod. Het resultaat van het ontwerp is te zien in hoofdstuk 3 in dit rapport en bijlage 12.

Ook heb ik verbindingen ontworpen. Voor iedere verbinding heb ik binnen de kaders, bijvoorbeeld dat een aangelaste verbinding niet een grotere diameter mag hebben dan 20 mm, een ontwerp gemaakt. Dit ontwerp heb ik voor de meeste verbindingen gevisualiseerd door drie verschillende aanzichten te tekenen in *AutoCAD*. Vervolgens heb ik een conclusie getrokken dat de verbinding niet geoptimaliseerd kan worden met de onderzochte verbindingen. Dit is allemaal te lezen in hoofdstuk 5 van dit rapport.

Hieruit blijkt dat ik deze competentie heb behaald op niveau 3.

B2.5.2 SPECIFICEREN

"Op basis van gedefinieerde ruimtelijke vraagstukken kun je de doelstelling vertalen en uitwerken. Je doet dit vanuit het perspectief van de belanghebbenden. Dit veronderstelt inzicht in de problematiek, kennis van een procesmatige benadering en kennis van financiële en technische aspecten van mogelijke oplossingen en van instrumenten, en een integrale visie op oplossingsrichtingen en haalbaarheid."

De competentie 'specificeren' kom aan bod bij het vaststellen wanneer er sprake is van een optimalisatie. De vraag vanuit WSP is of er een optimalisatie van de verbindingen mogelijk is. Vervolgens heb ik geformuleerd wanneer een nieuwe verbinding een optimalisatie is. In hoofdstuk 5 van dit rapport is beschreven dat de verbinding bijvoorbeeld minder ruimte in beslag nemen. Een ander belangrijk aspect bij het vergelijken van de ontwerpen is de eenvoud van de montage. Ik heb inzicht in de problematiek gekregen door eerst een ontwerp te maken op de manier waarop WSP het zou doen. Op die manier weet ik wat het uitgangspunt is. De kennis van technische aspecten heb ik verkregen door gebruik te maken van de Eurocodes. Daarom is bijvoorbeeld de optie van de

aangelaste wapening afgevallen. Volgens een norm mag de diameter niet groter zijn dan 20 mm, waardoor deze verbinding niet mogelijk is. Dat is een technisch aspect. Dit is terug te lezen in hoofdstuk 5.

Hieruit blijkt dat ik de competentie heb behaald op niveau 3.

B2.5.3 MONITOREN, TOETSEN EN EVALUEREN

"Je bent in staat de gekozen oplossingen en bereikte resultaten zo objectief mogelijk te evalueren. Je bent in staat de resultaten op verschillende abstractieniveaus en vanuit het perspectief van verschillende betrokken actoren uit te werken. Je bent in staat dit, waar mogelijk, met kwantitatieve en kwalitatieve gegevens te onderbouwen. Je kunt de effectiviteit en efficiëntie van de gekozen oplossingen aangeven. Op deze wijze ben je in staat aan te geven in hoeverre het ruimtelijk vraagstuk is opgelost, en in welke mate de ontstane ambities en verwachtingen zijn ingelost. Je kunt waar mogelijk of nodig vervolgacties definiëren."

Deze competentie komt aan bod bij het vergelijken van de ontworpen verbindingen, zoals te zien is in tabel 10 in hoofdstuk 5. In deze tabel en bijbehorende onderbouwing heb ik de verschillende ontwerpen geëvalueerd. Per ontwerp zijn er kwantitatieve (ruimtebeslag en eenvoud om te monteren) en kwalitatieve gegevens (aantal verbindingen, breedte en hoogte beton) aangegeven. Het vergelijken gebeurt objectief, want de uitkomsten komen uit de berekeningen. Voor de kwantitatieve gegevens is beschreven hoe het ontwerp aan een bepaalde score komt. Een van de aspecten waarop de verbindingen worden vergeleken, heeft te maken met een andere betrokken partij, namelijk de vlechters van de wapening. De effectiviteit van de verbinding is per verbinding beschreven en vervolgens is aangegeven in hoeverre de verbinding een optimalisatie is van de stiftdeuvelverbinding. Dit is ook beschreven in de conclusie van dit rapport. In de aanbevelingen zijn vervolgacties geformuleerd om wellicht tot een optimalisatie te komen.

Hieruit blijkt dat ik de competentie heb behaald op niveau 3.

B2.5.4 ONDERZOEKEN

"Je bent in staat een vraagstuk te analyseren en de vraag te identificeren. Je kunt praktijkgericht onderzoek methodisch opzetten en uitvoeren. Je kunt relevante gegevens verzamelen en interpreteren met het doel een oordeel te vormen."

Een groot onderdeel van mijn afstudeeropdracht is het doen van onderzoek. Vanuit WSP is een vraagstuk gegeven en die heb ik geanalyseerd. Dat heb ik gedaan door alle onderdelen van de vraag te begrijpen. Daarom heb ik mij eerst gefocust op hoe een integraalconstructie werkt en hoe de krachtswerking werkt. Dit is te lezen in hoofdstuk 4 van dit rapport. Hierdoor heb ik goed inzicht in het onderwerp waar ik mee bezig ben. Vervolgens heb ik een case gemaakt, zodat ik een uitgangspunt heb. De hele methode van het ontwerp heb ik beschreven in bijlage 12. In deze bijlage zijn bijvoorbeeld alle belastingen volledig uitgeschreven. In hoofdstuk 2 van dit rapport heb ik beschreven welke onderzoeksmethoden ik gebruikt heb: literatuuronderzoek, deskresearch, ontwerpend onderzoek en vergelijkend onderzoek.

Hieruit blijkt dat ik de competentie heb behaald op niveau 3.

B2.5.5 COMMUNICEREN

"Je brengt beroepsgerichte informatie over naar betrokkenen in het beroepenveld, collega's en de vast te stellen doelgroepen (klanten, opdrachtgevers, betrokkenen). Je bent in staat zowel intern als extern te communiceren op een, voor de doelgroep, passende wijze. Communiceren bevat het gehele spectrum waarop informatie ontvangen, gegeven en gedeeld wordt."

Tijdens het afstuderen heb ik veel gecommuniceerd, voornamelijk met de constructeur en de docentbegeleiders. Alle communicatie is via de chat of een vergadering in *MS Teams* verlopen. Met Willem heb ik veel gesproken over het bepalen van de belastingen, het modelleren in *SCIA Engineer* en het ontwerpen van de verbindingen. Het gaat dan dus om beroepsgerichte informatie. Soms ging het communiceren niet soepel. Vanuit hem kreeg ik dan informatie die ik niet begreep. Toen heb ik hem uitgelegd dat ik HBO doe en dat dit onderwerp helemaal nieuw is voor mij, dus dat ik wat meer hulp nodig heb. Andere collega's heb ik ook gevraagd voor hulp bij het ontwerpen, maar niemand had ervaring met het onderwerp van mijn vraag. Bij deze collega's bleef de communicatie dus ook oppervlakkig.

Met de docentbegeleiders heb ik vrijwel wekelijks contact gehad. Deze communicatie zie ik als externe communicatie. Ik kon bepaalde dingen, zoals de afname van de opneembare spanning in het staal, niet goed uitleggen. De docenten wezen mij hier dan op om dit verder uit te zoeken. Dat heb ik dan ook gedaan. Ik heb bijvoorbeeld in hoofdstuk 4 en 5 uitleg gegeven over de afname van de opneembare spanning door vermoeiing. Via het rapport probeer ik nu de beroepsgerichte informatie over te dragen naar internen en externen.

Ik heb zeker aan deze competentie gewerkt en gaandeweg heb ik ook geprobeerd om de communicatie te verbeteren, bijvoorbeeld door duidelijk aan te geven dat ik de uitleg niet snap.

B2.5.6 LEREN EN VERDER ONTWIKKELEN

"Je demonstreert dat je in staat bent zelfstandig te leren en verder ontwikkelen voor de professionalisering van de eigen beroepsuitoefening. Je hebt inzicht in je eigen ontwikkeling, kennis van leermethoden die voor jouw werken en vaardigheden om je te ontwikkelen."

Zoals beschreven eerder in deze bijlage heb ik heel veel zelfstandig gewerkt. Bij mijn vragen naar hulp werd ik vaak verwezen naar Eurocodes of andere normen die ik dan zelf moest uitpluizen om op het antwoord van mijn vraag te komen. Dat is ingewikkeld en kost veel tijd, maar ik heb het wel allemaal zelf gedaan. Op maandagochtend sprak ik Mark een kwartiertje over de voortgang. Verder sprak ik Willem vaak eens per week over mijn vragen. De rest van de tijd zat ik zelfstandig achter de laptop.

Ik heb mij kunnen verdiepen in hoe een integraalconstructie werkt. Dit soort constructies hebben wij op school nooit gehad en het is zeker een verdieping in de stof. Het is een ingewikkelde constructie waar lang niet alle constructeurs kennis van hebben. Het uitzoeken hoe het kist-effect werkt en hoe de krachtswerking zit, vind ik onderwerpen waarmee ik kan aantonen dat ik mij heb geprofessionaliseerd. Ook weet ik meer van soorten verbindingen dan de meeste constructeurs, omdat ik mij daar erg in verdiept heb. Alles in dit afstudeerrapport is nieuw voor mij.

Tot slot weet ik dat ik veel kan leren door met collega's op kantoor te zijn. Vanwege COVID-19 is dat beperkt mogelijk geweest. Ik leer er vooral van als iemand even iets voor mij uittekent als ik een vraag heb. Dat is wat je online mist.

Hieruit blijkt dat ik de competentie heb behaald op niveau 3.

BIJLAGE 3 – BEGRIPPENUITLEG

B3.1 INTEGRAALCONSTRUCTIE

B3.1.1 WAT IS EEN INTEGRAALCONSTRUCTIE

Een integraalbrug is een brugsoort waarbij het brugdek momentvast wordt verbonden aan de onderbouw van de constructie, waardoor er geen voegovergangen zijn. Dit kan gaan om een brug, viaduct, ecoduct of onderdoorgang (Van Vught, 2015).

Er is een aantal verschillende soorten integraalconstructies. Bij een volledig integraalbrug wordt de deksloof en de fundering volledig buigstijf verbonden met het brugdek (Van Vught, 2015). Als de deksloven zijn gemaakt, wordt daarop een materiaal, bijvoorbeeld neopreen, kurk of stelspecie, als oplegging geplaatst. Hierop worden de prefab liggers gelegd. Vervolgens wordt op de prefab liggers en in de ruimte tussen de oplegging en het uiteinde van de ligger een druklaag gestort. Hierdoor is het brugdek met de deksloof geïntegreerd (Smetsers, 2020). Een andere variant is dat de grondkerende functie van het landhoofd ter hoogte van de aardebaan gescheiden wordt van de dragende functie voor de verticale belasting. In dit geval heeft het brugdek een grondkerende eindplaat. Door middel van oplegblokken wordt het brugdek opgelegd op de deksloof. Hierdoor worden de horizontale bewegingen en rotaties van het brugdek beperkt doorgegeven aan de fundering (Van Vught, 2015).

B3.1.2 INVLOED VAN INTEGRATIE OP CONSTRUCTIEONDERDELEN

Het integreren van de brug heeft invloed op het brugdek en de fundering. Ook veroorzaakt het een opspaneffect.

B3.1.2.1 Brugdek

De deksloven verhinderen de horizontale temperatuurbeweging van het brugdek. Bij uitzetting veroorzaakt dit een drukkracht in het brugdek en bij verkorting komt er een trekkracht in het brugdek. Het gaat hier om een kleine verhindering en dus kleine normaalkrachten in het brugdek (Van Vught, 2015).

De buigstijve verbinding met de deksloof heeft een grotere invloed op het brugdek. Aan de uiteinden van het brugdek treden er namelijk kopmomenten op (Van Vught, 2015).

Ook moet rekening worden gehouden met het verschil in buigstijfheid, indien de brug wordt uitgevoerd met voorgespannen prefab liggers. De voorspanning zorgt ervoor dat in het veld geen tot geringe scheurvorming optreedt. Nabij de oplegging moet de buigstijfheid wél worden gereduceerd door scheurvorming (Van Vught, 2015).

De krachtswerking in de dwarsrichting van het brugdek wordt ook beïnvloed door de integrale uitvoering. De deksloof en het brugdek hebben verschillend krimp-kruipgedrag en dit leidt tot trek- en drukkrachten in het brugdek én de deksloof (Van Vught, 2015).

B3.1.2.2 Fundering

Schoorpalen kunnen bij een integraalbrug beter niet toegepast worden. Ten aanzien van horizontale bewegingen gedragen schoorpalen zich namelijk stijf. De horizontale krachten op het dek, door het verkeer en wind, kunnen door het grondpakket achter de deksloof worden opgenomen (Van Vught, 2015).

B3.1.2.3 Opspaneffect

Door fluctuerende temperaturen wil een brugdek uitzetten en verkorten. Bij een traditionele brug worden deze vervormingen opgenomen in de voegen. Deze vervormingen worden bij integraalbruggen doorgegeven aan de deksloven die daardoor met het dek meebewegen. Bij het verkorten van het brugdek bewegen de deksloven iets van het grondlichaam af. Dan neemt de horizontale gronddruk af tot actief. Bij het opwarmen van het brugdek, wordt het brugdek verlengd en drukken de deksloven tegen de grond. Op dat moment neemt de horizontale gronddruk toe. Als het verkorten en verlengen veelvuldig herhaald wordt, dan wordt de gronddruk per cyclus steeds iets hoger. Dit komt doordat er in de winter, als het brugdek verkort wordt, een spleet achter de deksloof ontstaat die zich direct weer opvult met grond. In de zomer, als het brugdek zich gaat uitzetten, leidt dit tot steeds stijvere grond achter de deksloof. Hoe vaker dit gebeurt, des te meer opgespannen de grond achter de deksloof is en des te stijver de grond reageert. Dit wordt het opspaneffect genoemd (Van Vught, 2015).

B3.1.3 VOORDELEN

Het grootste voordeel van deze methode is dat er geen voegovergangen en oplegblokken zijn. Voegovergangen moeten namelijk regelmatig onderhouden of vervangen worden. Vervanging van een voegovergang is kostbaar en het zorgt voor de nodige verkeershinder. Ook kan bij een voegovergang lekkage naar de ondergelegen constructieonderdelen ontstaan, wat leidt tot corrosieschade (Van Vught, 2015) (Cement, 2016).

Doordat er geen voegovergangen zijn, wordt het rijcomfort verhoogd. Een voegovergang kan, door het rijdende verkeer, ook geluidsoverlast veroorzaken, dus een integraalbrug beperkt de geluidsoverlast (Van Vught, 2015) (TU Delft, 2021a).

Een constructietechnisch voordeel is dat er een kleiner veldmoment optreedt in de constructie, vanwege de inklemming in de deksloof. Hierdoor kan de hoogte van het brugdek beperkt worden (Van Vught, 2015) (Cement, 2016).

Bij een volledig integraalbrug zijn er geen oplegblokken van toepassing, waardoor dit in de toekomst geen onderhoud vraagt en geen onderhoudspost is (Van Vught, 2015). Doordat er geen oplegblokken nodig zijn, kan de deksloof smaller worden uitgevoerd, zodat de overspanning korter wordt (Smetsers, 2020) (Cement, 2016).

B3.1.4 NADELEN

De integraalbrug is met name geschikt bij het gebruik van volstortliggers en niet te grote overspanningen. Als de overspanning te groot is, moeten er andere liggertypes toegepast worden en hierbij is het opnemen van wapening moeilijker (Cement, 2016). Bij een grote overspanning worden ook de krachten uit de horizontale brugdekbewegingen groter. Hierdoor komen er grote krachten in de verbinding van het brugdek met de deksloof. De detaillering van deze knoop wordt dan vaak lastig uitvoerbaar (Van Vught, 2015).

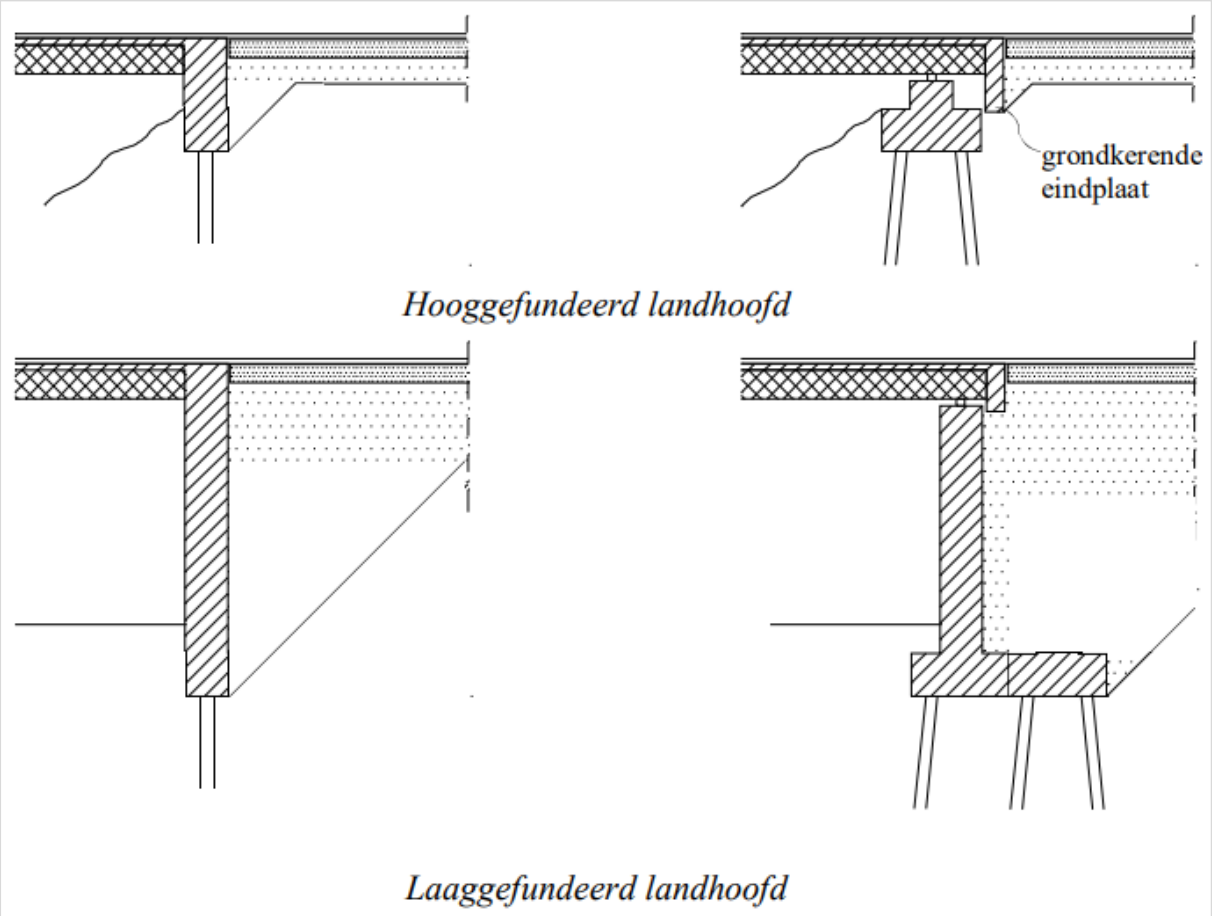
Vanwege het ontbreken van de voegovergangen worden de vervormingen in de constructie overgedragen naar de verhardingsconstructie op de aardebaan. Bij grotere overspanningen zijn daarom speciale voorzieningen nodig om te voorkomen dat het asfalt aan het einde van de stootplaten gaat scheuren. Een voorbeeld van een speciale voorziening is gewapend asfalt. Bij kleine overspanningen is dit niet van toepassing (Van Vught, 2015).

Tot slot is het ontwerp en de berekening van de integraalbrug veel complexer dan een traditionele brugconstructie (Van Vught, 2015). Temperatuurbelasting en krimp en kruip hebben bijvoorbeeld grote invloed.

B3.2 DEKSLOOF

Een deksloof of landhoofd is een eindsteunpunt van een brug, waarmee een overgang wordt gevormd van de brug naar de aardebaan. De deksloof geeft de krachten van het brugdek door aan de fundering.

Een deksloof kan hoog- of laaggefundeerd zijn en dit bepaalt de flexibiliteit van het deksloof. De horizontale temperatuurbeweging van het brugdek wordt bij een hooggefundeerd deksloof bijna in zijn geheel doorgegeven aan de fundering. De fundering moet daar op ontworpen worden. De horizontale beweging bij een laaggefundeerd deksloof kan worden gereduceerd door buigvervorming van de deksloofwand. Dit effect treedt met name op bij een slanke wand (Van Vught, 2015).



Figuur 45 - Hoog- en laaggefundeerd landhoofd (Van Vught, 2015)

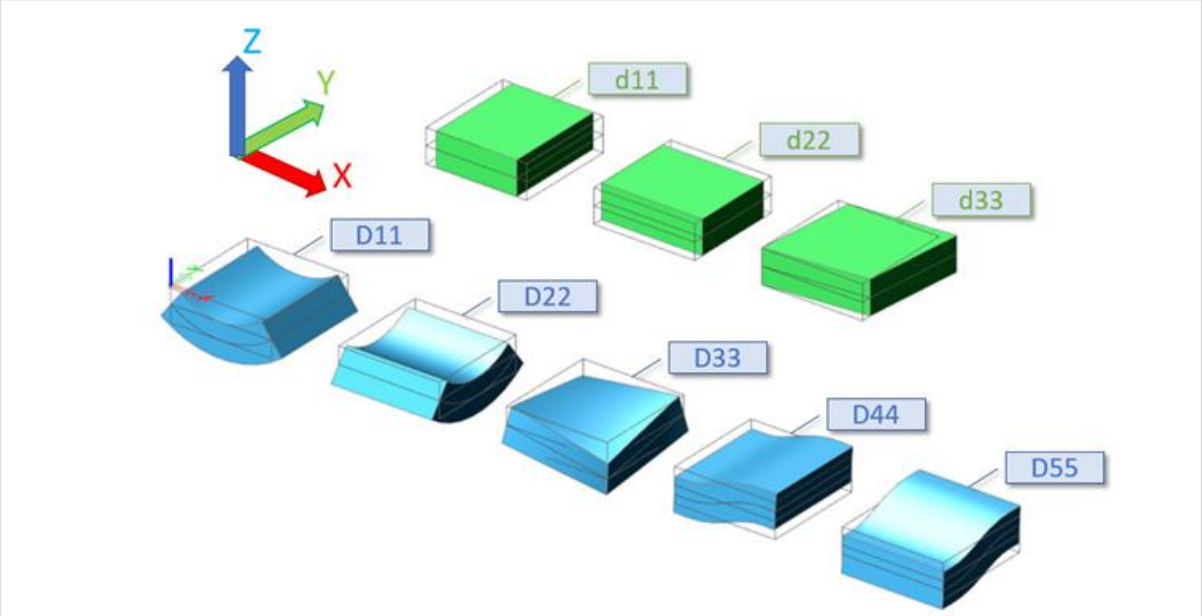
B3.3 ISOTROOP EN ORTHOTROOP

Een constructieonderdeel is orthotroop als de materiaaleigenschappen in de dwars- en lengterichting van elkaar verschillen. Het beton is bijvoorbeeld in een richting gescheurd en in de andere richting ongescheurd. Wanneer een constructieonderdeel isotroop is, dan zijn de eigenschappen in beide richtingen gelijk (Zandbergen, 2013).

Als een orthotrope plaat in *SCIA Engineer* ingevoerd moet worden, moet de onderstaande stijfheidsmatrix ingevoerd worden.

$$S_k = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & 0 & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & D_{33} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & D_{55} \end{bmatrix}$$

D_{11} = Buigstijfheid in de lengterichting
D_{12} = Buigstijfheid in de dwarsrichting
D_{22} = Stijfheid ten behoeve van de dwarscontractie
D_{33} = Stijfheid ten behoeve van wringing
D_{44} = Stijfheid ten behoeve van dwarskrachtvervorming
D_{55} = Stijfheid ten behoeve van dwarskrachtvervorming (Zandbergen, 2013)



Figuur 46 - Elementen voor invoer van orthotropie (SCIA Engineer, 2016)

B3.4 KRUIP EN KRIMP

In deze paragraaf wordt het verschil tussen kruip en krimp toegelicht.

B3.4.1 KRUIP

Beton vervormt als er een kracht op uitgeoefend wordt. Als de kracht groter wordt, neemt de vervorming toe. Deze vervorming is vaak elastisch, dus als de belasting wordt weggenomen, gaat het materiaal terug in de oorspronkelijke vorm. De verhouding tussen de opneembare spanning, veroorzaakt door een kracht, en de elastische vervorming wordt aangegeven met de elasticiteitsmodulus. Soms treedt echter blijvende en in de tijd toenemende vervorming op bij gelijkblijvende belasting en dit wordt kruip genoemd (Beton Lexicon, 2021). De grootte van de kruip wordt bepaald door:

- De relatieve vochtigheid;
- De ouderdom van het beton op het tijdstip van belasten;
- De sterkteklasse van het beton en cement;
- De dikte van het brugdek;
- De duur van de belasting (Vree, Kruip, 2021a).

Kruip veroorzaakt doorbuiging van de constructie. Bij het ontwerp wordt met hiermee rekening gehouden door bij een brugdek een zeeg toe te passen (Vree, Kruip, 2021a).

B3.4.2 KRIMP

Beton in de plastische en verhardingsfase gaat krimpen. Dit komt door de processen in het beton zelf en de wisselwerking met de omgeving. Bij de berekening van een integraalbrug wordt de uitdrogingskrimp en autogene krimp meegenomen. Deze twee soorten krimp kunnen bij een integraalbrug niet vrij optreden, waardoor spanningen in de constructie voorkomen. De uitdrogingskrimp komt door het verdampen van niet-gebonden water uit het beton. Doordat het water uit de poriën verdwijnt, trekken de poriën samen en gaat het beton krimpen. Autogene krimp is een vorm van verhardingskrimp en komt voornamelijk voor bij betonsoorten met een lage watercementfactor of betonsoorten met een hoog gehalte aan fijne stoffen. Een lage watercementfactor houdt in dat er relatief weinig water aanwezig is in het mengsel. In dit geval neemt het cement van het jonge beton grote hoeveelheden water op en dan ontstaan er snel poriën die gevuld zijn met lucht. Dit veroorzaakt capillaire druk, wat snelle krimp en volumevermindering van cementsteen teweegbrengt (Vree, 2021b).

Tussen de prefab liggers, de druklaag en de onderbouw kunnen krimpverschillen ontstaan. Dit komt door de verschillende momenten van storten en/of uitdrogingscondities. De ouderdom van de prefab liggers op het moment van het storten van de druklaag en de verbinding bepaalt hoeveel krimp er al is opgetreden en welk deel nog wordt verhinderd door het te werk gestorte beton. In de eindfase, na honderd jaar, is het verschil in krimp uit de bouwfase nauwelijks nog extra spanningen veroorzaken (Van Vught, 2015).

BIJLAGE 4 – UITKOMSTEN *SCIA*

	M_y [kNm]	N [kN]	$F_{deuvels\ grondzijde}$* [kN]	$F_{deuvels\ dekzijde}$* [kN]
ULS – Afschuifkracht op verbinding				
Maximale trek brugdekzijde	-225	-100	-552	452
Maximale druk brugdekzijde	400	-475	656	**-1131**
Maximale trek grondzijde	400	-275	**756**	-1031
Maximale druk grondzijde	-175	-625	-703	78
SLS Karakteristiek – Afschuifkracht op verbinding				
Maximale kracht	275	-325	**452**	**-777**
FAT – Spanningswisselingen deuvels dekzijde				
Maximale afschuifkracht	-10	-2	-23	21
Minimale afschuifkracht	70	-100	106	-206
Wisseling krachten deuvels	**-80**	**98**	**-130**	**228**
FAT – Spanningswisselingen deuvels grondzijde				
Maximale afschuifkracht	70	-85	114	-199
Minimale afschuifkracht	-29	-145	-137	-8
Wisseling krachten deuvels	**99**	**60**	**251**	**-191**

Tabel 14 – Uitkomsten SCIA ULS, SLS karakteristiek en FAT

* $F_{deuvels\ grondzijde} = N/2 + M_y/(h - t)$

* $F_{deuvels\ dekzijde} = N/2 - M_y/(h - t)$

	My [kNm]	N [kN]	Fdeuvels grondzijde* [kN]	Fdeuvels dekzijde* [kN]
Achter deksloof zuid	95	-15	199	-214
Boven deksloof zuid	1	-10	-3	-7
Midden dek	68	-84	106	-190
Boven deksloof noord	-4	-125	-71	-54
Op stootplaten noord	-18	-114	-96	-18
			295	**207**

Tabel 15 - Uitkomsten SCIA voor aangelaste wapening

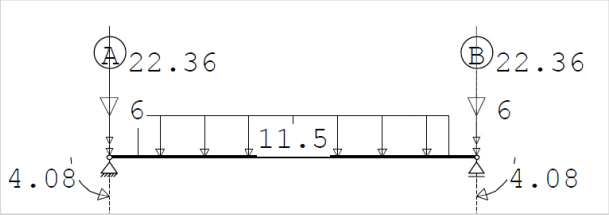
	M_y [kNm]	N [kN]	$\sigma_{grondzijde}$* [kN]
FAT – Spanningswisselingen damwand, onderste rij deuvels			
Maximale spanning	-20	-145	-6,7
Minimale spanning	45	-85	13,4
Spanningswisseling	x	x	**20,1**

Tabel 16 – Uitkomsten SCIA FAT spanningswisselingen

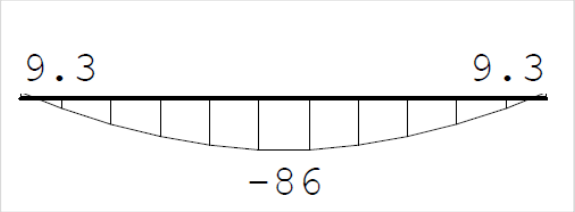
BIJLAGE 5 – CONTROLE UITKOMSTEN *SCIA*

B5.1 SCHADUWBEREKENING

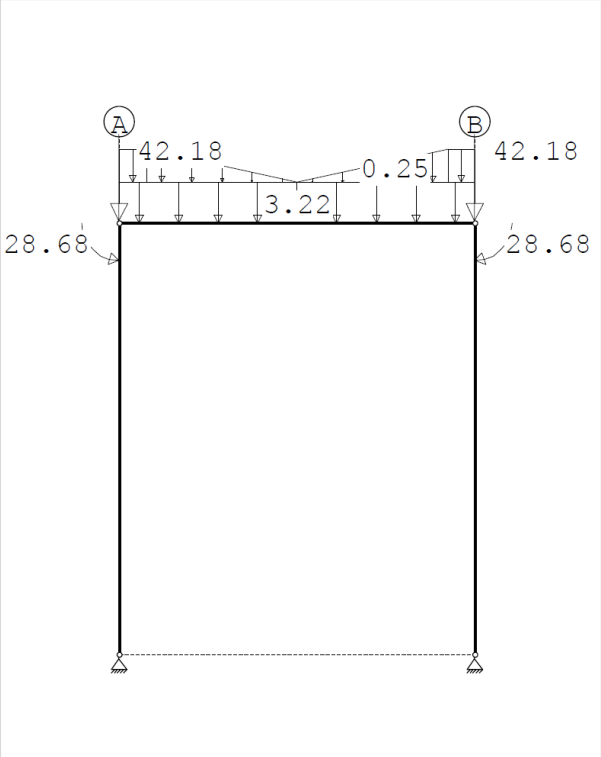
Om te kunnen controleren of de uitkomsten realistisch zijn, is een schaduwberekening gemaakt. Deze uitkomsten zijn vergelijken met de uitkomsten uit *SCIA Engineer*. Wel moet opgemerkt worden dat dit niet de maatgevende belastingcombinatie is. Een afwijking is te verwachten, omdat bij de schaduwberekening geen thermische belastingen zijn meegenomen. Onderstaande belastinggevallen zijn apart gecontroleerd, maar ook opgeteld en vervolgens vergeleken met *SCIA Engineer*.



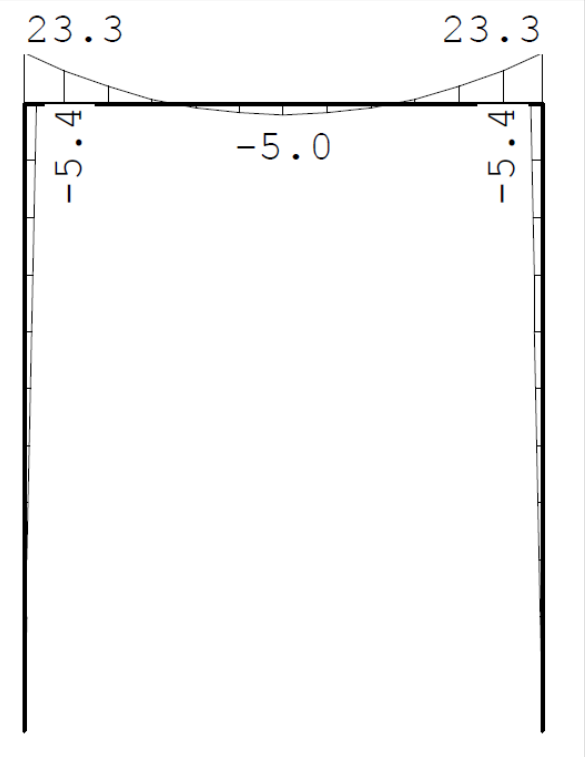
Figuur 47 - Belastinggeval eigengewicht



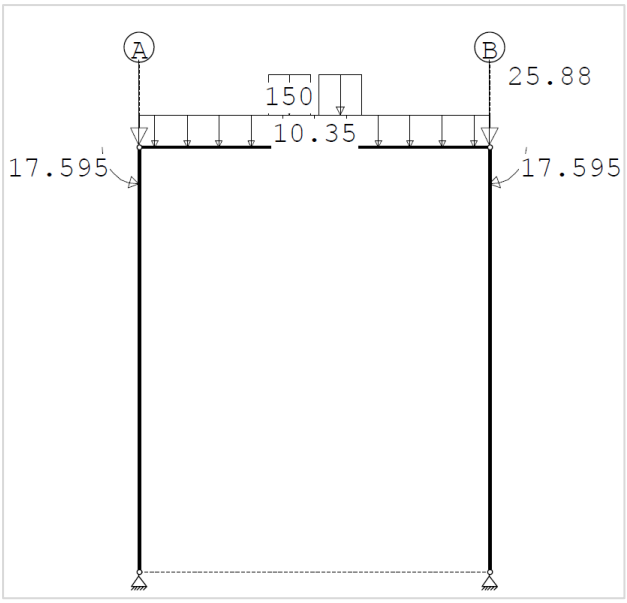
Figuur 48 - Momentenlijn eigengewicht



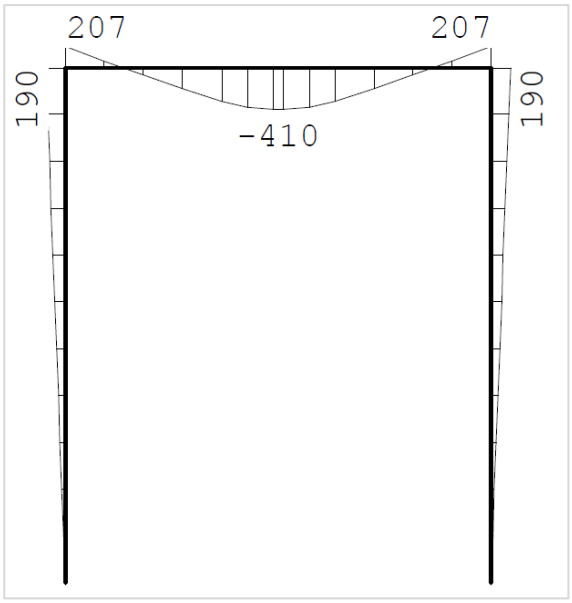
Figuur 49 - Belastinggeval rustende belasting



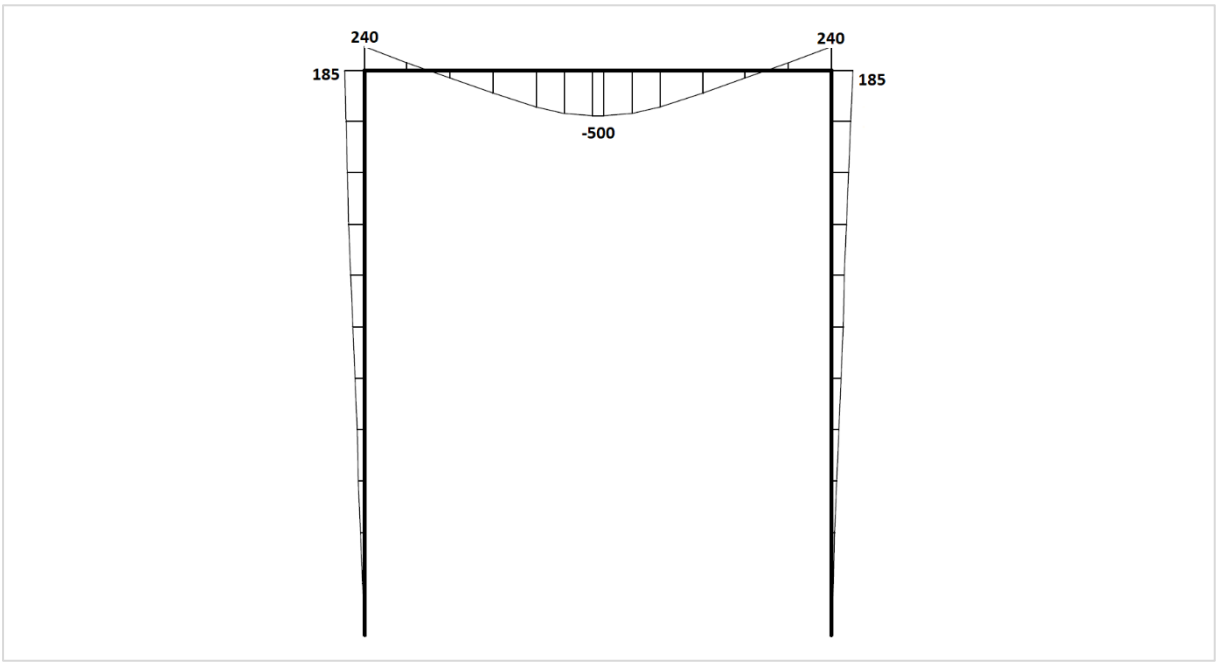
Figuur 50 - Momentenlijn rustende belasting



Figuur 51 - Momentenlijn veranderlijke belasting



Figuur 52 - Belastinggeval veranderlijke belasting



Figuur 53 - Gezamenlijke momentenlijn

B5.2 CONTROLE RESULTANTEN

Om te controleren of alle krachten die zijn ingevoerd in *SCIA Engineer* ook juist gekoppeld zijn aan de constructie, is de waarde van de ingevoerde belasting vergeleken met de resultante. Een afwijking van maximaal vijf procent wordt geaccepteerd. Zoals te zien is in onderstaande tabel is er één afwijking en die bedraagt drie procent. Geconcludeerd kan worden dat alle belastingen juist zijn ingevoerd.

Belastinggeval	Ingevoerde belasting *SCIA*	Uitvoer resultante *SCIA*	Verschil
[-]	[kN]	[kN]	[%]
LC1.1p/v + LC1.2p/v	5806	5791	0%
LC1.3p/v	2002	2002	0%
LC2p/v	734	714	-3%
LC3.1p/v	1772	1772	0%
LC4.1p/v	0	0	0%
LC4.2p/v	0	0	0%
LC5	0	0	0%
LC6p/v	0	0	0%
LC10	905	905	0%
LC11	905	905	0%
LC12 en LC13	223	223	0%
LC14 en LC15	220	220	0%
LC16.1	540	540	0%
LC16.2	600	600	0%
LC16.3	600	600	0%
LC16.4 t/m 17	600	600	0%
LC16.18	600	600	0%
LC16.19	600	600	0%
LC16.20	540	540	0%
LC17.1	360	360	0%
LC17.2	400	400	0%
LC17.3	400	400	0%
LC17.4 t/m 17.17	400	400	0%
LC17,18	400	400	0%
LC17.19	400	400	0%
LC17.20	360	360	0%
LC18.1	180	180	0%
LC18.2	200	200	0%
LC18.3	200	200	0%
LC18.4 t/m 18.17	200	200	0%
LC18.18	200	200	0%
LC18.19	200	200	0%
LC18.20	180	180	0%
LC19	453	453	0%
LC20	302	302	0%
LC21	151	151	0%
LC22	453	453	0%
LC23	302	302	0%
LC24	151	151	0%
LC25.1	540	540	0%
LC25.2	600	600	0%
LC25.3	600	600	0%
LC25.4 t/m 17	600	600	0%
LC25.18	600	600	0%
LC25.19	600	600	0%
LC25.20	540	540	0%

Belastinggeval	Ingevoerde belasting *SCIA*	Uitvoer resultante *SCIA*	Verschil
[-]	[kN]	[kN]	[%]
LC26.1	360	360	0%
LC26.2	400	400	0%
LC26.3	400	400	0%
LC26.4 t/m 26.17	400	400	0%
LC26.18	400	400	0%
LC26.19	400	400	0%
LC26.20	360	360	0%
LC27.1	180	180	0%
LC27.2	200	200	0%
LC27.3	200	200	0%
LC27.4 t/m 27.17	200	200	0%
LC27.18	200	200	0%
LC27.19	200	200	0%
LC27.20	180	180	0%
LC28	453	453	0%
LC29	302	302	0%
LC30	151	151	0%
LC31	453	453	0%
LC32	302	302	0%
LC33	151	151	0%
LC34.1	369	369	0%
LC34.2	369	369	0%
LC34.3	92	92	0%
LC34.4	92	92	0%
LC35.1	369	369	0%
LC35.2	369	369	0%
LC35.3	92	92	0%
LC35.4	92	92	0%
LC36 en LC37	673	673	0%
LC38.1 en 39.1	440	440	0%
LC38.2 en 39.2	462	462	0%
LC40 en LC41	673	673	0%
LC42.1 en 43.1	440	440	0%
LC42.2 en 43.2	461	461	0%
LC50.1	12	12	0%
LC50.2	12	12	0%
LC50.3	29	29	0%
LC50.4	29	29	0%
LC51.1	0	0	0%
LC51.2	0	0	0%
LC52.1	0	0	0%
LC52.2	0	0	0%
LC60.1	1500	1500	0%
LC61.1	225	225	0%
LC61.2	225	225	0%
LC62.1	570	570	0%

Belastinggeval	Ingevoerde belasting *SCIA*	Uitvoer resultante *SCIA*	Verschil
[-]	[kN]	[kN]	[%]
LC62.2	600	600	0%
LC62.3	540	540	0%
LC62.4 t/m 17	600	600	0%
LC62.18	540	540	0%
LC62.19	600	600	0%
LC62.20	570	570	0%
		Maximale afwijking	3%

Tabel 17 - Controle resultante in SCIA

BIJLAGE 6 – ONTWERP EN OPTIMALISATIE STIFTDEUVELVERBINDING

B6.1 TOELICHTING ONTWERP EN OPTIMALISATIE

De verbinding is in eerste instantie ontworpen aan de hand van de eisen uit EC4-2, art. 6.6.5. Dit ontwerp heet in tabel 19 ‘standaard’. Vervolgens is gekeken of wellicht aanpassingen mogelijk zijn om het ontwerp te optimaliseren. Dat is echter niet mogelijk.

B6.1.1 STIFTDEUVELS

Diameter stiftdeuvel

De grootte van de diameter van de stiftdeuvel is afhankelijk van de wanddikte van de damwandplank. De wanddikte moet worden vermenigvuldigd met 1,5. Dit komt neer op een maximale diameter van 18,3 mm. Vervolgens is gekeken welke diameter voor de stiftdeuvel geleverd kan worden en dat is 16 mm. Zie tabel 18. Bovendien is een diameter van 16 mm het maximale dat toepasbaar is op een verticale, stalen wand.

Voor alle deuvels is gekozen voor een stiftdeuveldiameter van 16 mm. Er is onderzocht of een kleinere diameter mogelijk is, bijvoorbeeld met een diameter van 13 mm. Echter moeten er verticaal veel meer deuvels toegepast worden dan bij de grotere diameter. Daarom is gekozen voor minder deuvels met een grotere diameter.

Diameter kop

De diameter van de kop is afhankelijk van de maximale diameter van de stiftdeuvel. De maximale diameter van de stiftdeuvel moet vermenigvuldigd worden met 1,5. Ook ben je afhankelijk van de stiftdeuvels die leverbaar zijn. Zie tabel 18. Vooral op basis van de mogelijkheden is de kopdiameter van 32 mm gekozen. Deze waarde voldoet ook aan de eis.

Hoogte kop

De hoogte van de kop is afhankelijk van de leverbare stiftdeuvels. Zie tabel 18. Uit onderzoek blijkt dat het aanpassen van de hoogte van de kop nauwelijks invloed heeft. Alleen de effectieve lengte van de stiftdeuvel verandert wat, maar die verandering is niet genoeg om een kortere of langere stiftdeuvel toe te passen.

Lengte stiftdeuvel

De lengte van de stiftdeuvel wordt bepaald nadat de ophangwapening is ontworpen. Hiermee wordt een minimale lengte van de stiftdeuvels berekend. Ook de lengte van de stiftdeuvels wordt gekozen op basis van de leverbare stiftdeuvels. Uit onderzoek blijkt dat het toepassen van een langere stiftdeuvel dan nodig geen positief effect heeft op het ontwerp.

Hart-op-hartafstand horizontaal

De totale breedte van twee flenzen tegen elkaar aan is 361 mm. Het slot van de damwand is 102 mm. De beschikbare ruimte voor de deuvels is niet gelijk verdeeld, doordat het slot niet symmetrisch is. De smalste flens is 120 mm breed. De hart-op-hartafstand horizontaal moet minimaal viermaal de diameter van de stiftdeuvel zijn en dat is 64 mm. Twee keer deze afstand past niet op de smalste flens en daarom zijn er maximaal twee deuvels horizontaal per flens mogelijk.

De horizontale afstand tussen de twee deuvels per flens is 78 mm. Zodra de hart-op-hartafstand groter wordt, moeten de stiftdeuvels aan de dekzijde langer worden. Door de stiftdeuvels zo ver mogelijk uit elkaar te plaatsen, is er meer ruimte voor de wapening.

Hart-op-hartafstand verticaal

Volgens de constructeur van WSP is minimaal 125 mm ruimte nodig in de verticale richting. Bij een grotere afstand zijn langere stiftdeuvels aan de brugdekzijde nodig. Ook moet een grotere diameter voor de ophangwapening worden gekozen.

Indien verticaal minder stiftdeuvels worden toegepast, wordt niet voldaan op een toetsing. Het minimale aantal stiftdeuvels verticaal is daarom 8.

B6.1.2 TOELICHTING OPHANGWAPENING

Het ontwerp van de ophangwapening hangt samen met het ontwerp van de stiftdeuvels. Eerst moeten de afmetingen van de stiftdeuvels bepaald worden, waarna de ophangwapening berekend kan worden. Vervolgens wordt aan de hand van de ophangwapening de lengte van de stiftdeuvels berekend.

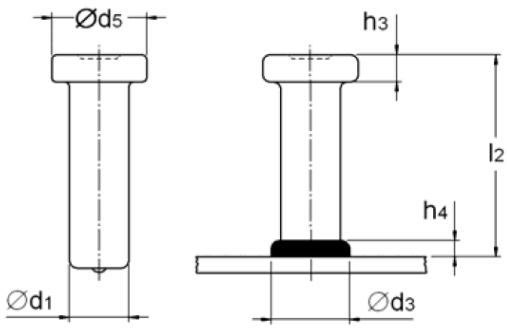
Door een grotere diameter voor de ophangwapening te kiezen, neemt de lengte van de stiftdeuvels toe. Daarom wordt voor het optimale ontwerp de kleinst mogelijke diameter gekozen.

B6.1.3 TOELICHTING WAPENING TEGEN AFSCHUIVEN

Tot slot is de wapening tegen afschuiving ontworpen. Deze wapening kan berekend worden nadat de stiftdeuvels en de ophangwapening zijn bepaald. Deze wapening kan niet geoptimaliseerd worden.

B6.1.4 VERGELIJKING

In tabel 19 worden verschillende varianten met elkaar vergeleken. Hierin is te zien dat iedere aanpassing vrijwel altijd een negatief effect heeft op de dimensionering van de verbinding. Hieruit wordt geconcludeerd dat de ‘standaard’-variant, waarbij afmetingen zo dicht mogelijk bij de eisen zijn gekozen, het meest optimaal is.



d_1	l_2	h_4	d_5	d_3	h_3
12	30	3	25	17	8
13	25	3	25	17	8
	50				
	75				
	100				
	125				
	150				
	175				
	200				
	225				
	250				
16	35	4,5	32	21	8
	50				
	75				
	100				
	125				
	150				
	175				
	200				
	225				
	250				
19	50	6	32	23	10
	60				
	75				
	80				
	90				
	100				
	125				
	150				
	175				
	200				
	225				
	250				

Tabel 18 - Köco Shear connector – leverbare stiftdeuvels

	Stiftdeuvels										Ophangwapening			Wapening tegen afschuiving			
	Deuvels verticaal	**Deuvels horizontaal**	**Diameter stift-deuvel**	**H.o.h. verticaal**	**H.o.h. horizontaal**	**Diameter kop**	**Hoogte kop**	**Lengte stiftdeuvel grondzijde**	**Lengte stiftdeuvel brugdekzijde**	**Hoogte beton**	**Diameter grondzijde**	**Diameter brugdekzijde**	**Verticale afstand**	**Diameter horizontaal, buiten**	**Diameter horizontaal, binnen**	**Diameter beugel**	**Verticale afstand**
	[n_{vert}]	[n_{hor}]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Standaard	8	4	16	125	78	32	8	175	175	1150	12	10	125	8	16	16	125
Kleinere diameter deuvel	**12**	4	**13**	125	78	**25**	8	175	**200**	**1625**	12	10	125	8	16	16	125
Hogere kop	8	4	16	125	78	32	**10**	175	**200**	1150	12	10	125	8	16	16	125
Langere deuvel	8	4	16	125	78	32	8	**200**	**200**	1150	12	10	125	8	16	16	125
Grotere h.o.h.-afstand verticaal	8	4	16	**150**	78	32	8	175	**200**	**1300**	12	**12**	150	8	16	16	150
Grotere h.o.h.-afstand horizontaal	8	4	16	125	**115**	32	8	175	**200**	1150	12	10	125	8	16	16	125
Vergroten ophang-wapening	8	4	16	125	78	32	8	175	**200**	1150	**14**	**12**	125	8	16	16	125

Tabel 19 - Ontwerp verbinding stiftdeuvels met aanpassingen
Grijs gearceerd = aanpassing
Licht rood gearceerd = daar waar de aanpassing invloed op heeft

B6.2 *EXCEL*-SHEETS STIFTDEUVELVERBINDING

In deze paragraaf zijn de *Excel*-sheets weergegeven voor de berekening van de stiftdeuvels waarbij de damwand aan de brugdekzijde staat. De lichtgele cellen zijn cellen die ingevuld moeten worden. De witte cellen worden automatisch berekend.

Gegevens - deel 1			
Damwand			
Damwandprofiel		AZ26-700	
Flensdikte	$t_{damwand}$	12,2	mm
Hoogte damwandprofiel	$h_{damwand}$	460	mm
Breedte dubbele flens	$b_{damwand;dubbele\ flens}$	361	mm
Breedte damwandplanken	$b_{damwand}$	1400	mm/dubbele plank
Oppervlakte dubbele plank	$A_{damwand}$	262100	mm²/dubbele plank
Tolerantie bovenkant damwand, horizontaal	$T_{damwand,horizontaal}$	50	mm
Tolerantie bovenkant damwand, verticaal	$T_{damwand,verticaliteit}$	20	mm
Verticaliteit		10	mm/m
Totale tolerantie damwand, horizontaal (grond-onderdoorgang)	$T_{damwand,horizontaal,grond\text{-}onderdoorgang}$	50	mm
Totale tolerantie damwand, horizontaal (grond-onderdoorgang)	$T_{damwand,horizontaal,grond\text{-}onderdoorgang}$	40	mm
Tolerantie bovenkant damwand, verticaal	$T_{damwand,verticaal}$	20	mm
Totale horizontale tolerantie grondzijde	$T_{damwand,horizontaal,totaal;grondzijde}$	64	mm
Afwijking in vervorming damwand		12,5	mm
Weerstandsmoment elastisch	$W_{elastisch}$	3635000	mm³/dubbele plank
Corrosie	c	1,2	mm/zijde
Aantal zijden met corrosie	$n_{zijden\ corrosie}$	1	stuks
Flensdikte na corrosie	$t_{damwand,corrosie}$	11	mm
Weerstandsmoment na corrosie	$W_{elastisch,corrosie}$	3277459	mm³/dubbele plank
Oppervlakte na corrosie	$A_{damwand,corrosie}$	236320	mm²/dubbele plank
Stiftdeuvels			
Uiterste treksterkte deuvel	f_u	450	N/mm²
Aantal deuvels per zijde (grond/dek)	$n_{stiftdeuvels}$	32	stuks
Aantal deuvels verticaal	$n_{stiftdeuvels;vert}$	8	stuks
Aantal deuvels horizontaal per dubbele plank	$n_{stiftdeuvels;hor}$	4	stuks
Deksloof			
Milieuklasse		XC2	-
Beton			
Betonklasse		C30/37	-
Karakteristieke cilinderdruksterkte beton	f_{ck}	30	N/mm²
Secans korte termijn elasticiteitsmodulus beton	E	33000	N/mm²
Deksloof			
Opleglengte volstortliggers	$h_{liggers}$	300	mm
Totale hoogte dek	h_{dek}	460	mm
Breedte beton naar damwand	$b_{beton\text{-}damwand}$	300	mm
Maximale hoogte doorsnede	$h_{doorsnede,max}$	824	mm
Minimale hoogte doorsnede	$h_{doorsnede,min}$	671	mm
Maximale hoogte flens	$h_{flens,max}$	377	mm
Minimale hoogte flens	$h_{flens,min}$	224	mm
Gegevens - deel 2			
Minimale afstand tussen damwand en grondzijde deksloof	$b_{damwand\text{-}deksloof,min}$	297	mm
Afstand tussen damwand en grondzijde deksloof	$b_{damwand\text{-}deksloof;toegepast;max\ na\ tolerantie}$	300	mm
Minimale afstand tussen dekzijde sloof en damwand	$a_{dekzijde\ sloof\text{-}damwand,min}$	364	mm
Afstand tussen dekzijde sloof en damwand	$a_{dekzijde\ sloof\text{-}damwand}$	400	mm

Tabel 20 - Gegevens voor stiftdeuvelberekening

De gebruikte krachten in ULS, SLS karakteristiek en FAT zijn gegeven in hoofdstuk 4.

1. Gegevens				
Gegevens damwand				
Flensdikte	$t_{damwand}$	12,2	mm	
Tolerantie bovenkant damwand, verticaal	$T_{damwand,verticaal}$	20	mm	
Gegevens stiftdeuvels				
Uiterste treksterkte deuvel	f_u	450	N/mm²	
Aantal deuvels per zijde (grond/dek)	$n_{stiftdeuvels}$	32	stuks	
Gegevens deksloof				
Karakteristieke cilinderdruksterkte beton	f_{ck}	30	N/mm²	
Secans korte termijn elasticiteitsmodulus beton	E	33000	N/mm²	
Breedte beton naar damwand	$b_{beton-damwand}$	300	mm	
Milieuklasse		XC2	-	

2. Dekking bepalen				
Levensduur deksloof		100	jaar	
Plaatelement		ja	-	
Constructieklasse	S	5	-	
Minimale dekking (EC2-1-1, NB, tabel 4.4N)	$c_{min,dur}$	30	mm	
Nabewerkt		nee	-	
Slecht inspecteerbaar/onderhoudbaar		ja	-	
Onbekist/nabehandeld		nee	-	
	c_{min}	35	mm	
	Δc_{dev}	10	mm	
Nominale dekking	c_{nom}	45	mm	
Dekking toegepast - deksloof - tegen flenzen damwand	$c_{damwand,flens}$	60	mm	
Dekking toegepast - deksloof - tegen lijven damwand	$c_{damwand,lijf}$	50	mm	

3. Eisen detaillering stiftdeuvels				
Diameter stiftdeuvels				
Maximaal toelaatbare diameter stiftdeuvels	$d_{stiftdeuvel,max}$	18,3	mm	
Maximale bestaande diameter stiftdeuvels	$d_{stiftdeuvel,max}$	16,0	mm	**Eis 1**
Minimale afstand hart deuvel tot rand flens				
Minimaal toelaatbare afstand	a_{min}	25,0	mm	
Tolerantie bovenkant damwand, verticaal	$T_{damwand,vert}$	20,0	mm	
Straal doorsnede stiftdeuvel	$s_{stiftdeuvel}$	8,0	mm	
Minimale afstand hart deuvel tot rand flens	$a_{hart\ deuvel-flens,min}$	53,0	mm	**Eis 2**
Minimale afmetingen stiftdeuvels				
Minimale totale lengte stiftdeuvels	$L_{stiftdeuvel,min}$	48,0	mm	**Eis 3**
Minimale diameter kop stiftdeuvel	$d_{stiftdeuvel,kop,min}$	24,0	mm	**Eis 4**
Minimale hoogte kop stiftdeuvel	$h_{stiftdeuvel,kop,min}$	6,4	mm	**Eis 5**
Minimale afstanden				
Minimale hart-op-hartafstand verticaal	$h.o.h._{vert,min}$	80,0	mm	**Eis 6**
Minimale hart-op-hartafstand horizontaal	$h.o.h._{hor,min}$	64,0	mm	**Eis 7**
Minimale afstand onderkant kop en wapening	$a_{kop-wapening,min}$	40,0	mm	**Eis 8**

4. Verbinding ontwerpen					
Afmetingen stiftdeuvels					
Diameter stiftdeuvels	$d_{stiftdeuvel,toegepast}$	16	mm		
Voldoet aan eis 1?		16	≤	16	ja
Afstand hart deuvel tot rand damwand (verticaal)	$a_{hart\ deuvel-flens,\ toegepast}$	60	mm		
Voldoet aan eis 2?		60	≥	53	ja
Lengte stiftdeuvels	$L_{stiftdeuvel,toegepast}$	175	mm		
Voldoet aan eis 3?		175	≥	48	ja
Diameter kop stiftdeuvels	$d_{stiftdeuvel,kop,toegepast}$	32	mm		
Voldoet aan eis 4?		32	≥	24	ja
Hoogte kop stiftdeuvel	$h_{stiftdeuvel,kop,toegepast}$	8	mm		
Voldoet aan eis 5?		8	≥	6,4	ja
Afstanden					
Hart-op-hartafstand verticaal	$h.o.h._{vert}$	125	mm		
Voldoet aan eis 6?		125	≥	80	ja
Hart-op-hartafstand horizontaal	$h.o.h._{hor}$	78	mm		
Voldoet aan eis 7?		78	≥	64	ja
Hart-op-hartafstand horizontaal binnenste deuvels	$h.o.h._{hor;binnenste\ deuvels}$	144	mm		
Afstand onderkant kop en wapening	$a_{kop-wapening}$	99	mm		
Voldoet aan eis 8?		99	≥	40	ja

Tabel 21 – Ontwerp stiftdeuvels deel 1

Vervolgens moet eerst de ophangwapening worden bepaald, waarna de lengte van de stiftdeuvels bepaald kan worden.

Gegevens				
Dekking toegepast - deksloof - tegen flenzen damwand	$c_{damwand,flens}$	60	mm	
Hart-op-hartafstand verticaal	$h.o.h._{vert}$	125	mm	
Aantal deuvels dicht bij lijf	$n_{deuvels,lijf}$	4	stuks	
Aantal deuvels dicht bij lijf, flens 1	$n_{deuvels,lijf,flens\ 1}$	2	stuks	
Aantal deuvels dicht bij lijf, flens 2	$n_{deuvels,lijf,flens\ 2}$	2	stuks	
Hoek tussen buitenste deuvel en as damwand		55,2	°	
Oppervlakte wapening bij flens dekzijde	$A_{ophangwapening;dekzijde}$	79	mm²	
Oppervlakte wapening bij flens grondzijde	$A_{ophangwapening;grondzijde}$	113	mm²	
Oppervlakte horizontale beugelwapening	$A_{wapening;hor;beugel}$	201	mm²	
Diameter ophangwapening dekzijde (zie afbeelding: geel)	$d_{ophangwapening;dekzijde}$	10	mm	
Diameter ophangwapening grondzijde (zie afbeelding: paars)	$d_{ophangwapening;grondzijde}$	12	mm	
Diameter horizontale beugelwapening (zie afbeelding: roze)	$d_{wapening;hor;beugel}$	16	mm	
Ophangwapening				
Grondzijde				
	M_y	400	kNm	
Zwaartepunt drukzone	$z_{drukzone}$	50	mm	
Maximaal optredende trekkracht per deuvel	$F_{trek,optredend}$	39	kN	
Maximale toegestane trekkracht per deuvel	$N_{Rd,s}$	63	kN	
Voldoet aan voorwaarde trekkracht dat deuvel op kan nemen?		39 ≤ 63		ja
Maximale trekkracht op 4 deuvels	$F_{trek,optredend,totaal}$	157	kN	
Opneembare kracht toegepaste ophangwapening grondzijde		49	kN	
Voldoet aan voorwaarde trekkracht dat ophangwapening op kan nemen?		39 ≤ 49		ja
Toetsing op hoeveelheid wapening				
Benodigd ophangwapening deuvels dekzijde	$A_{s,deuvel}$	90	mm²	
Maximaal optredende normaalkracht totaal	N	475	kN	
Benodigde wapening t.b.v. voorkomen afschuiving beton rondom deuvels	$A_{s,damwand\ naar\ deuvel}$	0,5	mm²/mm	
	z_{min}	531	mm²	
Minimaal benodigde dwarskracht- en ophangwapening	$A_{wapening,minimaal}$	3,6	mm²/mm	
Toegepaste hoeveelheid dwarskracht- en ophangwapening	$A_{wapening,toegepast}$	3,9	mm²/mm	
Voldoet aan de voorwaarde de deuvel?		3,9 ≥ 3,6		ja

Rij	z	$L_{tot\ zwpt\ drukzone}$	F_{trek} op rij	Moment	F_{trek} op deuvel	Dwarskracht	Ophang+dwarskrachtwap.
[-]	[mm]	[mm]	[-]	[kNm]	[kN]	[kN]	[mm²/mm]
1	60	10	2	0	0	634	2,8
2	185	135	24	3	6	632	3,0
3	310	260	46	12	12	608	3,1
4	435	385	68	26	17	562	3,1
5	560	510	90	46	23	494	3,0
6	685	635	112	71	28	404	2,8
7	810	760	135	102	34	291	2,5
8	935	885	157	139	39	157	2,1
			634	**400**			**3,1**

Tabel 22 - Ontwerp ophangwapening

Nu kan de lengte van de stiftdeuvels worden bepaald. Vervolgens kunnen de stiftdeuvels worden getoetst op de uiterste grenstoestand en vermoeiing.

5. Lengte stiftdeuvels					
Dekking	$c_{damwand,flens}$	60	mm		
Hoogte kop stiftdeuvel	$h_{stiftdeuvel,kop,toegepast}$	8	mm		
Diameter kop stiftdeuvels	$d_{stiftdeuvel,kop,toegepast}$	32	mm		
Helling uitbreekkegel	$H_{uitbreekkegel}$	1:	1,5		
Grondzijde					
Diameter ophangwapening grondzijde (zie afbeelding: paars)	$D_{ophangwapening,grondzijde}$	12	mm		
Minimale lengte wapening in uitbreekkegel	$l_{uitbreekkegel,min}$	48	mm		
Horizontale afstand deuvel-wapening	$a_{horizontaal;deuvel-wapening}$	56,5	mm		
Verticale afstand deuvel-wapening	$a_{verticaal;deuvel-wapening}$	63	mm		
Totale afstand	a_{totaal}	84	mm		
Voldoet aan eis effectieve hoogte?		84	≤	125	**ja**
Effectieve hoogte grondzijde	h_{eff}	167	mm		
Afstand	x	46	mm		
Totale minimale lengte stiftdeuvel incl. kop	$l_{stifdeuvel,min}$	162	mm		
Toegepaste lengte stiftdeuvel	$h_{sc,grondzijde}$	175	mm		
Voldoet aan de dekking?		49	≥	45	**ja**
Dekzijde					
Diameter ophangwapening dekzijde (zie afbeelding: geel)	$D_{ophangwapening,dekzijde}$	10	mm		
Minimale lengte wapening in uitbreekkegel	$l_{uitbreekkegel,min}$	40	mm		
Horizontale afstand deuvel-wapening	$a_{horizontaal;deuvel-wapening}$	88	mm		
Verticale afstand deuvel-wapening	$a_{verticaal;deuvel-wapening}$	76	mm		
Totale afstand	a_{totaal}	116	mm		
Afstand	x	67	mm		
Totale minimale lengte stiftdeuvel incl. kop	$l_{stifdeuvel,min}$	175	mm		
Toegepaste lengte stiftdeuvel	$h_{sc,dekzijde}$	175	mm		
6. Toetsing op ULS					
Rekenwaarde afschuifsterkte deuvel					**EC4-2, 6.6.3.1**
Veiligheidsfactor	γ_v	1,25	-		
Afschuifweerstand stiftdeuvel	$P_{Rd;1}$	57,9	kN		
Verbrijzelen beton	$P_{Rd;2}$	59,1	kN		
Rekenwaarde afschuifsterkte deuvel	P_{Rd}	57,9	kN		
Toetsing afschuifkracht ULS					
Maximale toegestane afschuifkracht	$P_{Rd,toegestaan}$	1853	kN		
Maximaal optredende afschuifkracht	$P_{Rd,optredend}$	1131	kN		
Unity Check	$uc_{afschuifkracht;ULS}$	0,61	-		
Voldoet op afschuifkracht ULS?		0,61	≤1,0		**ja**
7. Toetsing op vermoeiing					
Toetsing afschuifkracht SLS-karakteristiek					**EC4-2, 6.8.1**
Factor	k_s	0,6	-		
Maximaal toegestane afschuifkracht	$P_{Rd,toegestaan}$	1112	kN		
Maximaal optredende afschuifkracht	$P_{Rd,optredend}$	777	kN		
Unity Check	$uc_{afschuifkracht;SLS-kar}$	0,70	-		
Voldoet op afschuifkracht, SLS-karakteristiek?		0,70	≤1,0		**ja**
Maximale spanningswisseling deuvels FAT					**EC4-2, 6.8.3**
Veiligheidsfactor	γ_{Ff}	1,00	-		
Maximaal optredende afschuifkracht	$P_{Rd,optredend}$	251	kN		
Verandering schuifspanning	$\Delta\tau_E$	39,0	N/mm²		
		39,0	N/mm²		
Referentiewaarde	$\Delta\tau_C$	90,0	N/mm²		
Spanningswisselingen	N_C	2000000	-		
Helling van de kromme	m	8	-		
Partiele factor voor vermoeiingssterkte van stiftdeuvels op afschuiving	$\gamma_{Mf,s}$	1,25	-		
Spanningswisselingen	N_R	200000000	-		
Afschuifvermoeiingssterkte		50,6	N/mm²		
Rekenwaarde afschuifvermoeiingssterkte	$\Delta\tau_R$	40,5	N/mm²		

Maximale spanningswisseling damwand FAT				EC4-2, 6.8.7.2
Spanningswisseling	$\Delta\sigma_E$	20,1	N/mm²	
Veiligheidsfactor	γ_{Ff}	1,00	-	
Referentiewaarde van vermoeiingssterkte bij 2 miljoen wisselingen	$\Delta\sigma_c$	80,0	N/mm²	
Spanningswisselingen	N_c	2000000	-	
	$\Delta\sigma_d$	58,9	N/mm²	
		24,0		
Partiele factor voor vde vermoeiingssterkte	γ_{MF}	1,35	-	
Spanningswisselingen	N_R	200000000	-	
		24,0	N/mm²	
Rekenwaarde vermoeiingssterkte normaalspanning damwand	$\Delta\sigma_d$	17,8	N/mm²	
Toetsing vermoeiingssterkte deuvels en damwand FAT				**EC4-2, 6.8.7.2**
Toetsen met		0,0	N/mm²	
Waarde uit formule 6.56, voldoet aan eis?		0,96	≤1,3	**ja**
Waarde uit formule 6.57, deel 1, voldoet aan eis?		0,00	≤1,0	**ja**
Waarde uit formule 6.57, deel 2, voldoet aan eis?		0,96	≤1,0	**ja**

8. Lengte beton				
Afstand bovenste stiftdeuvel tot bovenkant damwand	$a_{bovenste\ deuvel\text{-}damwand}$	60	mm	
Hart-op-hartafstand onderste en bovenste stiftdeuvel	$h.o.h._{onderste\text{-}bovenste\ stiftdeuvel}$	875	mm	
Afstand verticale wapening - deuvel	$a_{wapening\ verticaal\text{-}deuvel}$	100	mm	
Dekking onderzijde deksloof	$d_{deksloof;onderzijde}$	60	mm	
Minimale lengte wapening in uitbreekkegel	$L_{uitbreekkegel,min}$	48	mm	
Afstand onderkant beton tot onderste deuvel	$a_{beton\ onder\ onderste\ deuvel}$	175	mm	
Minimale hoogte beton bij deuvels	$h_{beton\ bij\ deuvels;min}$	1110	mm	
Hoogte beton bij deuvels toegepast	$h_{beton\ bij\ deuvels;toegepast}$	1150	mm	

Tabel 23 - Ontwerp stiftdeuvels deel 2

Gegevens				
Belastingen				
ULS snede 1	$\Delta F_{d;ULS;snede\ 1}$	756	kN	
FAT snede 1	$\Delta F_{d;FAT;snede\ 1}$	251	kN	
ULS snede 2	$\Delta F_{d;ULS;snede\ 2}$	378	kN	
FAT snede 2	$\Delta F_{d;FAT;snede\ 2}$	126	kN	
ULS snede 3	$\Delta F_{d;ULS;snede\ 3}$	1131	kN	
FAT snede 3	$\Delta F_{d;FAT;snede\ 3}$	228	kN	
Afmetingen				
	f_{ck}	30	N/mm²	
	γ_C	1,5	-	
	f_{cd}	20	N/mm²	
	ν	0,53	-	
	f_{yk}	500	N/mm²	
	f_{yd}	435	N/mm²	
Nominale hoogte stiftdeuvels grondzijde	$h_{sc;grondzijde}$	175	mm	
Nominale hoogte stiftdeuvels dekzijde	$h_{sc;dekzijde}$	175	mm	
Hart-op-hartafstand buitenste deuvels	$h.o.h._{buitenste\ deuvels}$	300	mm	
Afstand deuvel - lijf damwand		135	mm	
Diameter kop deuvel	$D_{deuvel;kop}$	32	mm	
Aantal deuvels verticaal	$n_{stiftdeuvels;vert}$	8	stuks	
Aantal deuvels horizontaal per dubbele plank	$n_{stiftdeuvels;hor}$	4	stuks	
Hart-op-hartafstand verticaal	$h.o.h._{vert}$	125	mm	

Toetsing deuvels grondzijde snede 1				
Uiterste grenstoestand ULS				
Dikte van flens bij aansluiting	h_f	682	mm	
Verandering van normaalkracht in de flens, ULS snede 1	ΔF_d	756	kN	
Beschouwde lengte	Δx	1000	mm	
Schuifspanning optredend in snede 1, ULS	$v_{Ed;ULS}$	1,11	N/mm²	
Diameter horizontale wapening, binnen (zie afbeelding: blauw)	$\varnothing_{wap;hor;binnen}$	16	mm	
Oppervlakte van de doorsnede van dwarswapening	A_{sf}	402	mm²	
Vrije afstand tussen de bovenflenzen van de damwand met beton	s_f	125	mm	
Wapeningsverhouding voor de dwarskracht	ρ_w	0,0047	-	
Hoek flens	θ_f	45	°	
Toegestane schuifspanning	$\sigma_{schuif,toegestaan}$	2,05	N/mm²	
Voldoet aan voorwaarde schuifspanning (EC2-1-1, art.6.2.4, formule 6.21)	VW_1	0,54	≤ 1,0	ja
Toegestane drukspanning	$\sigma_{druk,toegestaan}$	5,28	N/mm²	
Voldoet aan voorwaarde bezwijken drukstaven in flens (EC2-1-1, art.6.2.4, formule 6.22)	VW_2	0,21	≤ 1,0	ja
Minimaal wapeningspercentage	$\rho_{w,min}$	0,0009		-
Voldoet aan voorwaarde hoeveelheid wapening	VW_3	0,19	≤ 1,0	ja

Vermoeiing FAT				
Verandering van normaalkracht in de flens, FAT snede 1	ΔF_d	251	kN	
Schuifspanning optredend in snede 1, FAT	$v_{Ed;fat}$	0,37	N/mm²	
Spanningswisselingen	N_R	200000000	stuks	
	$f_{fat} = x*Ds_{Rsk}/g_{S,fat}$	78,4		
Toegestane schuifspanning	$(A_{sf}\, f_{fat}\, cotq_f)/(s_f h_f)$	0,37	-	
	$v_{Ed;fat}$ / $[(A_{sf}\, f_{fat}\, cotq_f)/(s_f h_f)]$	1,00	≤ 1,0	ja
	k_1	1	-	
Ouderdom van het beton bij belasten	t_0	28	dagen	
	$b_{cc}(t_0)$	1	-	
	$f_{cd,fat}$	18,5	N/mm²	
	$s_{c,min}$	0		
	$s_{c,max}$ / $f_{cd,fat}$ ≤	0,5		
	$v\, 0{,}5 f_{cd,fat}\, sinq_f\, cosq_f$	2,44	N/mm²	
	$v_{Ed;UGT}$ / $[n\, 0{,}5 f_{cd,fat}\, sinq_f\, cosq_f]$	0,45	≤ 1,0	ja
Toetsing deuvels grondzijde snede 2				
Uiterste grenstoestand ULS				
Minimale schildikte	h_f	224	mm	
Verandering van normaalkracht in de flens, ULS snede 2	ΔF_d	378	kN	
Beschouwde lengte	Δx	1000	mm	
Schuifspanning optredend in snede 2, ULS	$v_{Ed;ULS}$	1,69	N/mm²	
Diameter horizontale wapening, binnen (zie afbeelding: oranje)	$\varnothing_{wap;hor;buiten}$	8	mm	
Diameter horizontale wapening, binnen (zie afbeelding: blauw)	$\varnothing_{wap;hor;binnen}$	16	mm	
Oppervlakte van de doorsnede van dwarswapening 1	$A_{sf;1}$	50	mm²	
Oppervlakte van de doorsnede van dwarswapening 2	$A_{sf;2}$	201	mm²	
Vrije afstand tussen de bovenflenzen van de damwand met beton 1	$s_{f;1}$	125	mm	
Vrije afstand tussen de bovenflenzen van de damwand met beton 2	$s_{f;2}$	125	mm	
Wapeningsverhouding voor de dwarskracht	ρ_w	0,009	-	
Hoek flens	θ_f	45	°	
Toegestane schuifspanning	$\sigma_{schuif,toegestaan}$	3,91	N/mm²	
Voldoet aan voorwaarde schuifspanning (EC2-1-1, art.6.2.4, formule 6.21)	VW_1	0,43	≤ 1,0	ja
Toegestane drukspanning	$\sigma_{druk,toegestaan}$	5,28		
Voldoet aan voorwaarde bezwijken drukstaven in flens (EC2-1-1, art.6.2.4, formule 6.22)	VW_2	0,32	≤ 1,0	ja
Minimaal wapeningspercentage	$\rho_{w,min}$	0,0009		
Voldoet aan voorwaarde hoeveelheid wapening	VW_3	0,10	≤ 1,0	ja
Vermoeiing FAT				
Verandering van normaalkracht in de flens, FAT snede 2	ΔF_d	126	kN	
Schuifspanning optredend in snede 2, FAT	$v_{Ed;fat}$	0,56	N/mm²	
	$f_{fat} = \xi*\Delta\sigma_{Rsk}/\gamma_{S,fat}$	78,40	N/mm²	
	$(A_{sf}\, f_{fat}\, cot\theta_f)/(s_f h_f)$	0,71	N/mm²	
	$v_{Ed;fat}$ / $[(A_{sf}\, f_{fat}\, cot\theta_f)/(s_f h_f)]$	0,80	≤ 1,0	ja
	$\nu\, 0{,}5 f_{cd,fat}\, sin\theta_f\, cos\theta_f$	2,44		
	$v_{Ed;UGT}$ / $[\nu\, 0{,}5 f_{cd,fat}\, sin\theta_f\, cos\theta_f]$	0,45	≤ 1,0	ja
Toetsing deuvels grondzijde snede 3				
Uiterste grenstoestand ULS				
Nominale hoogte	h_{sc}	175	mm	
Hart-op-hartafstand buitenste deuvels	$h.o.h._{buitenste\ deuvels}$	300	mm	
Diameter kop deuvel	$D_{deuvel;kop}$	32	mm	
Afstand deuvel - lijf damwand	$a_{deuvel-lijf\ damwand}$	135	mm	
Minimale schildikte	h_f	602	mm	
Verandering van normaalkracht in de flens, ULS snede 3	ΔF_d	1131	kN	
Beschouwde lengte	Δx	1000	mm	
Schuifspanning optredend in snede 1, ULS	$v_{Ed;ULS}$	1,88	N/mm²	
Diameter horizontale wapeningbeugels (zie afbeelding: roze)	$\varnothing_{wap;hor;beugel}$	16	mm	
Oppervlakte van de doorsnede van dwarswapening	A_{sf}	402	mm²	
Vrije afstand tussen de bovenflenzen van de damwand met beton	s_f	125	mm	
Wapeningsverhouding voor de dwarskracht	ρ_w	0,005	-	
Hoek flens	θ_f	45	°	
Toegestane schuifspanning	$\sigma_{schuif,toegestaan}$	2,32	N/mm²	
Voldoet aan voorwaarde schuifspanning (EC2-1-1, art.6.2.4, formule 6.21)	VW_1	0,81	≤ 1,0	ja
Toegestane drukspanning	$\sigma_{druk,toegestaan}$	5,28	N/mm²	
Voldoet aan voorwaarde bezwijken drukstaven in flens (EC2-1-1, art.6.2.4, formule 6.22)	VW_2	0,36	≤ 1,0	ja
Minimaal wapeningspercentage	$\rho_{w,min}$	0,0009	-	
Voldoet aan voorwaarde hoeveelheid wapening	VW_3	0,16	≤ 1,0	ja

Vermoeiing FAT				
Verandering van normaalkracht in de flens, FAT snede 3	ΔF_d	228	kN	
Schuifspanning optredend in snede 1, FAT	$v_{Ed;fat}$	0,38	N/mm²	
Spanningswisselingen	N_R	200000000	stuks	
	$f_{fat} = \xi * \Delta\sigma_{Rsk}/\gamma_{S,fat}$	78,40	N/mm²	
	$(A_{sf}\, f_{fat}\, \cot\theta_f)/(s_f h_f)$	0,42	N/mm²	
	$v_{Ed;fat} / [(A_{sf}\, f_{fat}\, \cot\theta_f)/(s_f h_f)]$	0,90	≤ 1,0	ja
	$\nu\ 0{,}5 f_{cd,fat} \sin\theta_f \cos\theta_f$	2,44	N/mm²	
	$v_{Ed;UGT} / [\nu\ 0{,}5 f_{cd,fat} \sin\theta_f \cos\theta_f]$	0,77	≤ 1,0	ja

Tabel 24 - Ontwerp wapening tegen afschuiving

BIJLAGE 7 – ONTWERP EN OPTIMALISATIE LUSSEN EN ANKERS

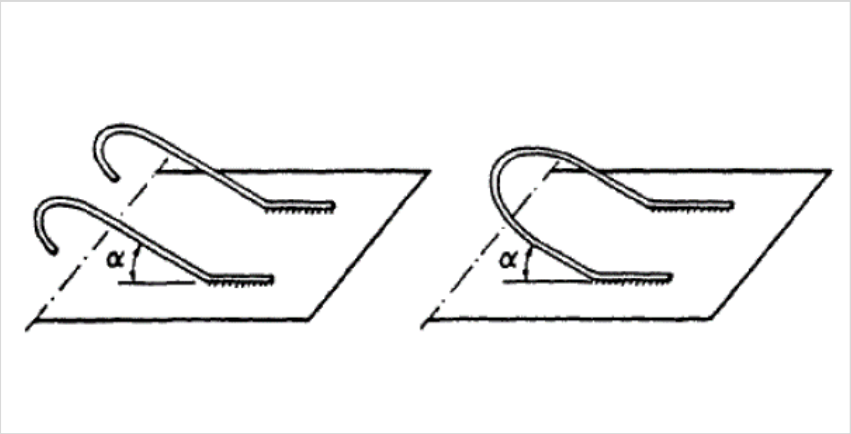
B7.1 TOELICHTING ONTWERP EN OPTIMALISATIE

Voor de lussen en ankers is gezocht naar het best passende ontwerp. In deze paragraaf wordt een toelichting gegeven bij keuzes die gemaakt zijn.

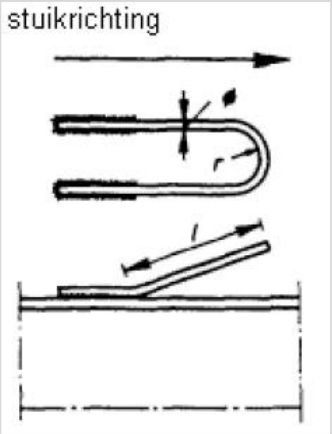
B7.1.1 LUSSEN

Diameter

Voor de verbinding met lussen is een berekening gemaakt voor twee verschillende staafdiameters van de lussen: 16 en 20 mm. Een grotere diameter is wel onderzocht, maar uit de NPR 2053 blijkt dat een grotere diameter dan 20 mm niet toegestaan is bij een staaf-plaatverbinding. De diameter van de lus bepaalt direct de straal r, zoals aangegeven in figuur 55. De grootte van de straal is namelijk 7,5 maal de diameter. Dit betekent dat er bij een staaf met een diameter van 16 mm een afstand van 120 mm moet zijn. Wanneer een diameter van 20 mm wordt gekozen, dan past de lus niet meer op één flens. Bij deze diameter moet één lus gedeeltelijk op de ene flens en voor het andere deel op de naastgelegen flens worden bevestigd.



Figuur 54 - Anker- en lusverbinding



Figuur 55 - Eisen lusverbinding

Hoek alfa

Een lusverbinding heeft de minste afschuifweerstand bij een hoek van 90 graden. Wel neemt een lusverbinding met een zo groot mogelijke hoek minder ruimte verticaal in. Omdat de toetsing op vermoeiing steeds maatgevend is en daarbij alleen de diameter van de staaf en het aantal lussen meespeelt, is het niet noodzakelijk om een kleinere hoek dan 90 graden te nemen, maar voor de lusverbinding is dat wel gedaan om ruimte te besparen. Met een hoek van 50 graden wordt in de breedte beton bespaard.

Verankeringslengte

Bij beide staafdiameters is de verankeringslengte erg groot. Deze lengte kan niet bespaard worden.

Vergelijking

In tabel 25 zijn de resultaten van vier verschillende staafdiameters weergegeven. Hieruit wordt duidelijk dat een staafdiameter van 16 mm gekozen moet worden. Het voordeel van de diameter

van 16 mm is dat de verankeringslengte relatief kort is. Hierdoor neemt de verbinding horizontaal en verticaal minder ruimte in dan de staaf met een diameter van 20 mm.

Diameter	Aantal lussen per zijde (grond/brugdek)	Laslengte	Verankerings-lengte	Breedte lus (t.o.v. damwand)	Hoogte lus	Totale hoogte beton H
[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
16	16 (2x8)	48	480	164	452	1.803
20	10 (1x10)	48	600	205	564	2.226
25	8 (1x8)	48	750	257	705	1.977
32	4 (1x4)	48	960	328	903	1.420

Tabel 25 - Ontwerp lusverbinding

B7.1.2 ANKERS

De ankerverbinding wordt op dezelfde manier ontworpen als de lusverbinding. Het verschil is dat een lusverbinding bestaat uit twee aangelaste stekken en een ankerverbinding bestaat uit één aangelaste stek. Daarnaast is bij de ankerverbinding een andere hoek aangehouden. Ook is de verankeringslengte verkort door het toepassen van HRC-koppen. Verder komt de onderbouwing van het ontwerp overeen met die van de lusverbinding.

Hoek alfa

Een lusverbinding heeft de minste afschuifweerstand bij een hoek van 90 graden. Wel neemt een lusverbinding met een zo groot mogelijke hoek minder ruimte verticaal in. Omdat de toetsing op vermoeiing steeds maatgevend is en daarbij alleen de diameter van de staaf en het aantal lussen meespeelt, is het niet noodzakelijk om een kleinere hoek dan 90 graden te nemen. Dan wordt er namelijk alleen maar overgedimensioneerd. Om deze reden staat de lus haaks op de damwand. Hierdoor is het vlechten van wapening rondom de verbinding eenvoudiger, omdat je gemakkelijker tussen de verbindingen kunt komen.

Verankeringslengte

De verankeringslengte zou wellicht verkort kunnen worden door het toepassen van een HRC-kop. Echter is binnen WSP niet bekend hoe dit berekend moet worden en daarom is dit buiten beschouwing gelaten.

Vergelijking

In tabel 26 zijn de beide staafdiameters voor de ankerverbinding onder elkaar gezet. Net als bij de lusverbinding is de ankerverbinding met een staafdiameter van 16 mm het meest optimaal, vanwege de verankeringslengte.

Diameter	Aantal ankers per zijde (grond/brugdek)	Laslengte	Verankerings-lengte	Breedte anker (t.o.v. damwand)	Hoogte anker	Totale hoogte beton H
[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
16	32 (4x8)	48	480	480	0	1.494
20	20 (4x5)	48	600	600	0	975
25	16 (4x4)	48	750	750	0	802
32	8 (4x2)	48	960	960	0	456

Tabel 26 - Ontwerp ankerverbinding

B7.2 *EXCEL*-SHEETS LUS- EN ANKERVERBINDING

B7.2.1 LUSVERBINDING

In deze paragraaf zijn de *Excel*-sheets weergegeven voor de berekening van de lusverbinding waarbij de damwand aan de brugdekzijde staat. De lichtgele cellen zijn cellen die ingevuld moeten worden. De witte cellen worden automatisch berekend.

Gegevens				
Soort beton		Normaalbeton		
Factor voor beton	C_A	2,5	-	
Materiaalfactor voor beton	γ_c		-	
Betonklasse		C30/37	-	
Karakteristieke cilinderdruksterkte beton	f_{ck}	30	N/mm²	
Gegevens lus				
Diameter stek	D_{stek}	16	mm	
Oppervlakte doorsnede stek	A_{stek}	201	mm²	
Rekenwaarde van de materiaalsterkte	f_{yd}	435	N/mm²	
Hoek tussen ankerstaaf en wand T-deuvel en hoefijzerdeuvel	$\alpha_{T\text{-deuvel/hoefijzerdeuvel}}$	60	°	
Aantal lussen per dubbele damwandplank		32	stuks	

Tabel 27 - Gegevens bij ontwerp lusverbinding

Afschuifweerstand					
ULS					
Rekenwaarde afschuifweerstand lussen	$P_{Rd;lussen}$	66,1	kN		
Maximaal toegestane afschuifkracht	$P_{Rd;lussen\ totaal}$	2116	kN		
Maximaal optredende afschuifkracht	$P_{Rd;optredend}$	1131	kN		
Voldoet op ULS?		2116	≥	1131	**ja**
SLS - karakteristiek					
Maximaal toegestane afschuifkracht	$P_{Rd;lussen\ totaal}$	1269	kN		
Maximaal optredende afschuifkracht	$P_{Rd;optredend}$	777	kN		
Voldoet op SLS - karakteristiek?		1269	≥	777	**ja**
Maximale spanningswisseling deuvels FAT					**EC4-2, 6.8.3**
Veiligheidsfactor	γ_{Ff}	1,00	-		
Maximaal optredende afschuifkracht	$P_{Rd,optredend}$	251	kN		
Verandering schuifspanning	$\Delta\tau_E$	39,0	N/mm²		
		39,0	N/mm²		
Referentiewaarde	$\Delta\tau_C$	90,0	N/mm²		
Spanningswisselingen	N_C	2000000	-		
Helling van de kromme	m	8	-		
Partiele factor voor vermoeiingssterkte van stiftdeuvels op afschuiving	$\gamma_{Mf,s}$	1,25	-		
Spanningswisselingen	N_R	200000000	-		
Afschuifvermoeiingssterkte		50,6	N/mm²		
Rekenwaarde afschuifvermoeiingssterkte	$\Delta\tau_R$	40,5	N/mm²		
Maximale spanningswisseling damwand FAT					**EC4-2, 6.8.7.2**
Spanningswisseling	$\Delta\sigma_E$	20,1	N/mm²		
Veiligheidsfactor	γ_{Ff}	1,00	-		
Referentiewaarde van vermoeiingssterkte bij 2 miljoen wisselingen	$\Delta\sigma_C$	80,0	N/mm²		
Spanningswisselingen	N_C	2000000	-		
	$\Delta\sigma_d$	58,9	N/mm²		
		24,0			
Partiele factor voor vde vermoeiingssterkte	γ_{MF}	1,35	-		
Spanningswisselingen	N_R	200000000	-		
		24,0	N/mm²		
Rekenwaarde vermoeiingssterkte normaalspanning damwand	$\Delta\sigma_d$	17,8	N/mm²		
Toetsing vermoeiingssterkte deuvels en damwand FAT					**EC4-2, 6.8.7.2**
Toetsen met		0,0	N/mm²		
Waarde uit formule 6.56, voldoet aan eis?		0,96	≤1,3		**ja**
Waarde uit formule 6.57, deel 1, voldoet aan eis?		0,00	≤1,0		**ja**
Waarde uit formule 6.57, deel 2, voldoet aan eis?		0,96	≤1,0		**ja**

Tabel 28 – Ontwerp lusverbinding

Afmeting beton			
Beton aan grondzijde, minimum breedte	$b_{beton,min}$	489	mm
Beton aan grondzijde, toegepaste breedte	$b_{beton,toegepast}$	500	mm

Tabel 29 - Breedte beton naast damwand

Berekening laslengte en keeldoorsnede					
	f_u	435	N/mm²		
	Staalkwaliteit	S235			
		235	N/mm²		
	β	0,8	-		
	f_u	360	N/mm²		
Eis 1		360	N/mm²		
Schuifspanning parallel	τ_{II}	208	N/mm²		
Keeldoorsnede	a	8	mm		
	F_{Ed}	35	kN		
Berekende laslengte	$l_{eff,berekend}$	11	mm		
Minimale laslengte volgens EC3-1-8	$l_{eff,min}$	48	mm		
Toe te passen laslengte	$l_{eff,toepassen}$	48	mm		
Toets wapeningsstaaf	T1	180	kN		
		180	≥	35	ja
Toets damwand	T2	516	kN		
		516	≥	35	ja

Tabel 30 - Laslengte bepalen

Detaillering lus			
Diameter lus	D	16	mm
Straal minimaal	$r_{minimaal}$	120	mm
Verankeringslengte minimaal	$l_{minimaal}$	480	mm
Betondekking minimaal	$d_{minimaal}$	48	mm

Tabel 31 - Detaillering lusverbinding

B7.2.2 ANKERVERBINDING

In deze paragraaf zijn de *Excel*-sheets weergegeven voor de berekening van de ankerverbinding waarbij de damwand aan de brugdekzijde staat. De lichtgele cellen zijn cellen die ingevuld moeten worden. De witte cellen worden automatisch berekend.

Gegevens			
Soort beton		Normaalbeton	
Factor voor beton	C_A	2,5	-
Materiaalfactor voor beton	γ_c		-
Betonklasse		C30/37	-
Karakteristieke cilinderdruksterkte beton	f_{ck}	30	N/mm²
Gegevens lus			
Diameter stek	D_{stek}	16	mm
Oppervlakte doorsnede stek	A_{stek}	201	mm²
Rekenwaarde van de materiaalsterkte	f_{yd}	435	N/mm²
Hoek tussen ankerstaaf en wand T-deuvel en hoefijzerdeuvel	$\alpha_{T\text{-deuvel/hoefijzerdeuvel}}$	20	°
Aantal lussen per dubbele damwandplank		32	stuks

Tabel 32 - Gegevens bij ontwerp ankerverbinding

Afschuifweerstand					
ULS					
Rekenwaarde afschuifweerstand lussen	$P_{Rd;lussen}$	83	kN		
Maximaal toegestane afschuifkracht	$P_{Rd;lussen\ totaal}$	2648	kN		
Maximaal optredende afschuifkracht	$P_{Rd;optredend}$	1131	kN		
Voldoet op ULS?		2648	≥	1131	**ja**
SLS - karakteristiek					
Maximaal toegestane afschuifkracht	$P_{Rd;lussen\ totaal}$	1589	kN		
Maximaal optredende afschuifkracht	$P_{Rd;optredend}$	777	kN		
Voldoet op SLS - karakteristiek?		1589	≥	777	**ja**
Maximale spanningswisseling deuvels FAT					**EC4-2, 6.8.3**
Veiligheidsfactor	γ_{Ff}	1,00	-		
Maximaal optredende afschuifkracht	$P_{Rd,optredend}$	251	kN		
Verandering schuifspanning	$\Delta\tau_E$	39,0	N/mm²		
		39,0	N/mm²		
Referentiewaarde	$\Delta\tau_C$	90,0	N/mm²		
Spanningswisselingen	N_C	2000000	-		
Helling van de kromme	m	8	-		
Partiele factor voor vermoeiingssterkte van stiftdeuvels op afschuiving	$\gamma_{Mf,s}$	1,25	-		
Spanningswisselingen	N_R	200000000	-		
Afschuifvermoeiingssterkte		50,6	N/mm²		
Rekenwaarde afschuifvermoeiingssterkte	$\Delta\tau_R$	40,5	N/mm²		
Maximale spanningswisseling damwand FAT					**EC4-2, 6.8.7.2**
Spanningswisseling	$\Delta\sigma_E$	20,1	N/mm²		
Veiligheidsfactor	γ_{Ff}	1,00	-		
Referentiewaarde van vermoeiingssterkte bij 2 miljoen wisselingen	$\Delta\sigma_C$	80,0	N/mm²		
Spanningswisselingen	N_C	2000000	-		
	$\Delta\sigma_d$	58,9	N/mm²		
		24,0			
Partiele factor voor vde vermoeiingssterkte	γ_{MF}	1,35	-		
Spanningswisselingen	N_R	200000000	-		
		24,0	N/mm²		
Rekenwaarde vermoeiingssterkte normaalspanning damwand	$\Delta\sigma_d$	17,8	N/mm²		
Toetsing vermoeiingssterkte deuvels en damwand FAT					**EC4-2, 6.8.7.2**
Toetsen met		0,0	N/mm²		
Waarde uit formule 6.56, voldoet aan eis?		0,96	≤1,3		**ja**
Waarde uit formule 6.57, deel 1, voldoet aan eis?		0,00	≤1,0		**ja**
Waarde uit formule 6.57, deel 2, voldoet aan eis?		0,96	≤1,0		**ja**

Tabel 33 – Ontwerp ankerverbinding

Afmeting beton				
Beton aan grondzijde, minimum breedte	$b_{beton,min}$	602	mm	
Beton aan grondzijde, toegepaste breedte	$b_{beton,toegepast}$	610	mm	

Tabel 34 – Detaillering ankerverbinding

BIJLAGE 8 – ONTWERP EN OPTIMALISATIE BLOKDEUVELS

De onderbouwing van de blokdeuvelverbinding komt overeen met die van de lusverbinding in bijlage 7.

Gegevens				
Soort beton		Normaalbeton		
Factor voor beton	C_A	2,5	-	
Materiaalfactor voor beton	γ_c	1,5	-	
Betonklasse		C30/37	-	
Karakteristieke cilinderdruksterkte beton	f_{ck}	30	N/mm²	
Gegevens blok				
Oppervlak aan de voorkant	A_{f1}	2400	mm²	
Lijfdikte hoefijzerdeuvel	$d_{lijd,hoefijzer}$	8	mm	
Gegevens lus				
Diameter stek	D_{stek}	16	mm	
Oppervlakte doorsnede stek	A_{stek}	201	mm²	
Rekenwaarde van de materiaalsterkte	f_{yd}	435	N/mm²	
Hoek tussen ankerstaaf en wand T-deuvel en hoefijzerdeuvel	$\alpha_{T\text{-deuvel/hoefijzerdeuvel}}$	15	°	
Aantal lussen per dubbele damwandplank		32	stuks	

Tabel 35 - Gegevens bij blokdeuvelverbinding

Afschuifweerstand						
ULS						
Rekenwaarde afschuifweerstand blokdeuvel	$P_{Rd;blok}$	120,0	kN			
Rekenwaarde afschuifweerstand lussen	$P_{Rd;lussen}$	84,7	kN			
Maximaal toegestane afschuifkracht	$P_{Rd;lussen\ totaal}$	5736,7	kN			
Maximaal optredende afschuifkracht	$P_{Rd;optredend}$	1131	kN			
Voldoet op ULS?		5737	≥	1131		**ja**
SLS - karakteristiek						
Maximaal toegestane afschuifkracht	$P_{Rd;lussen\ totaal}$	3442	kN			
Maximaal optredende afschuifkracht	$P_{Rd;optredend}$	777	kN			
Voldoet op SLS - karakteristiek?		3442	≥	777		**ja**
Maximale spanningswisseling deuvels FAT						**EC4-2, 6.8.3**
Veiligheidsfactor	γ_{Ff}	1,00	-			
Maximaal optredende afschuifkracht	$P_{Rd,optredend}$	251	kN			
Verandering schuifspanning	$\Delta\tau_E$	39,0	N/mm²			
		39,0	N/mm²			
Referentiewaarde	$\Delta\tau_C$	90,0	N/mm²			
Spanningswisselingen	N_C	2000000	-			
Helling van de kromme	m	8	-			
Partiele factor voor vermoeiingssterkte van stiftdeuvels op afschuiving	$\gamma_{Mf,s}$	1,25	-			
Spanningswisselingen	N_R	200000000	-			
Afschuifvermoeiingssterkte		50,6	N/mm²			
Rekenwaarde afschuifvermoeiingssterkte	$\Delta\tau_R$	40,5	N/mm²			
Maximale spanningswisseling damwand FAT						**EC4-2, 6.8.7.2**
Spanningswisseling	$\Delta\sigma_E$	20,1	N/mm²			
Veiligheidsfactor	γ_{Ff}	1,00	-			
Referentiewaarde van vermoeiingssterkte bij 2 miljoen wisselingen	$\Delta\sigma_C$	80,0	N/mm²			
Spanningswisselingen	N_C	2000000	-			
	$\Delta\sigma_d$	58,9	N/mm²			
		24,0				
Partiele factor voor vde vermoeiingssterkte	γ_{MF}	1,35	-			
Spanningswisselingen	N_R	200000000	-			
		24,0	N/mm²			
Rekenwaarde vermoeiingssterkte normaalspanning damwand	$\Delta\sigma_d$	17,8	N/mm²			
Toetsing vermoeiingssterkte deuvels en damwand FAT						**EC4-2, 6.8.7.2**
Toetsen met		0,0	N/mm²			
Waarde uit formule 6.56, voldoet aan eis?		0,96	≤1,3			**ja**
Waarde uit formule 6.57, deel 1, voldoet aan eis?		0,00	≤1,0			**ja**
Waarde uit formule 6.57, deel 2, voldoet aan eis?		0,96	≤1,0			**ja**

Tabel 36 - Ontwerp blokdeuvelverbinding

BIJLAGE 9 – ONTWERP AANGELASTE WAPENING

B9.1 TOELICHTING ONTWERP

De verbinding is ontworpen voor twee staafdiameters: 16 en 20 mm. Volgens de NPR 2053 mag de staafdiameter maximaal 20 mm zijn. Bij een staafdiameter van 16 mm zijn er 54 staven nodig per dubbele flens. Bij het toepassen van een staafdiameter van 20 mm zijn 34 staven vereist. Dit is onmogelijk om te plaatsen op de damwand. De staven zitten dan veel te dicht op elkaar.

B9.2 *EXCEL*-SHEETS AANGELASTE WAPENING

In deze paragraaf is de berekening te zien bij een staafdiameter van 20 mm.

Gegevens aangelaste wapening			
Diameter aangelaste wapening (maximaal 20 mm)	$D_{wapening}$	20	mm
Oppervlakte aangelaste wapening	$A_{wapening}$	314	mm²
Hoogte damwand	$h_{damwand}$	460	mm
Breedte per flens	$b_{damwand}$	180	mm
Flensdikte damwand	$d_{damwand,flens}$	12,2	mm
Staal	f_{yk}	500	N/mm²
	f_{yd}	435	N/mm²

Tabel 37 - Gegevens aangelaste wapening

Berekening aantal staven			
Toetsing ULS			
Oppervlakte doorsnede per stek	A_{stek}	314	mm²
Toegestane kacht per stek	$F_{stek;toegestaan}$	136,6	kN
Minimaal aantal deuvels per dubbele plank	$n_{minimaal}$	5,5	stuks
Toegepast aantal deuvels per dubbele plank	$n_{toepassen}$	6	stuks
Toetsing vermoeiing			
Krachtsverandering	ΔF	295	kN
Factor	$\Delta\tau_k$	27,9	N/mm²
Oppervlakte doorsnede per stek	A_{stek}	314	mm²
Minimaal aantal deuvels per dubbele plank	$n_{minimaal}$	33,6	stuks
Toegepast aantal deuvels per dubbele plank	$n_{toepassen}$	34	stuks
Maatgevend			
Aantal staven toepassen	$n_{toepassen}$	34	stuks

Tabel 38 - Berekening aantal staven per dubbele flens

BIJLAGE 10 - OPTIMALISATIE STIFTDEUVELS – VARIANT 1 EN 2

B10.1 SCHEURWIJDTE VARIANT 1

Bepalen scheurwijdte variant 1			
	f_{yd}	435	N/mm²
	f_{cd}	2,21	N/mm²
Berekening scheurwijdte			
	M_{Rd}	400	kN
Breedte	b	1,40	m
Dekking	d	0,255	m
		4488	mm²
Minimale wapeningspercentage	ρ	0,77	%
Minimale oppervlakte wapening	$A_{s,req}$	2749	mm²
Toegepaste oppervlakte wapening (rond 16-70)	$A_{s,prov}$	2872	mm²
Eigengewicht	G	18,3	kN/m
Veranderlijke belasting	Q	32,1	kN/m
Belasting SLS	q_{freq}	34,4	kN/m
Belasting ULS	q_d	70,1	kN/m
	σ_s	204	N/mm²
Ondergrens		200	N/mm²
Bovengrens		240	N/mm²
Diameter ondergrens	$Ø_{ondergrens}$	25	mm
Diameter bovengrens	$Ø_{bovengrens}$	16	mm
Maximale staafdiameter	$Ø_{maximum}$	16,7	mm
Toegepaste staafdiameter	$Ø_{toegepast}$	16	mm
		voldoet	
Aantal verticale staven per dubbele damwand	n	20	stuks

Tabel 39 - Toets op scheurwijdte variant 1

B10.2 SCHEURWIJDTE VARIANT 2

Bepalen scheurwijdte variant 2			
	f_{yd}	435	N/mm²
	f_{cd}	2,21	N/mm²
Berekening scheurwijdte			
	M_{Rd}	400	kN
Breedte	b	1,40	m
Dekking	d	0,224	m
		4488	mm²
Minimale wapeningspercentage	ρ	0,77	%
Minimale oppervlakte wapening	$A_{s,req}$	2415	mm²
Toegepaste oppervlakte wapening (rond 16-80)	$A_{s,prov}$	2513	mm²
Eigengewicht	G	21,1	kN/m
Veranderlijke belasting	Q	32,1	kN/m
Belasting SLS	q_{freq}	37,2	kN/m
Belasting ULS	q_d	73,5	kN/m
	σ_s	211	N/mm²
Ondergrens		200	N/mm²
Bovengrens		240	N/mm²
Diameter ondergrens	$Ø_{ondergrens}$	25	mm
Diameter bovengrens	$Ø_{bovengrens}$	16	mm
Maximale staafdiameter	$Ø_{maximum}$	17,9	mm
Toegepaste staafdiameter	$Ø_{toegepast}$	16	mm
		voldoet	
Aantal verticale staven per dubbele damwand	n	17,5	stuks

Tabel 40 - Toets op scheurwijdte variant 2

BIJLAGE 11 – OPNEEMBARE SPANNING STAAL

Bij de berekening met de uiterste grenstoestand (ULS/UGT) wordt aangenomen dat het staal de maximale spanning kan opnemen. Bij alle berekeningen is uitgegaan van f_{yd} = 435 N/mm². Ook zijn berekeningen gemaakt voor vermoeiing. Hierbij neemt de opneembare spanning veel af. Er zijn twee verschillende berekeningen: een voor deuvels en een voor aangelaste wapening.

B11.1 OPNEEMBARE SPANNING DEUVELS

Eerst zijn de benodigde waarden voor deze berekening bepaald. Hiervoor is tabel 6.3N uit EC2-1-1 gebruikt. In art. 6.8.7.2 van EC4-2 staan de waarden voor $\Delta\sigma_c$ en $\gamma_{mf,s}$. De formules om de opneembare spanning te bepalen, volgens EC3-1-9 art. 7.1, zijn:

$$\Delta\sigma_d = (\frac{2}{5})^{\frac{1}{3}} \cdot \Delta\sigma_c$$

$$\sigma_{FAT;stiftdeuvel;n} = \frac{\frac{5}{100}^{\frac{1}{5}} \cdot \Delta\sigma_d}{\gamma_{mf}}$$

Type wapening	N^*	Spanningsexponent		$\Delta\sigma_{Rsk}$ (MPa)
		k_1	k_2	bij N^* wisselingen
Rechte en gebogen staven [1]	10^6	5	9	162,5
Gelaste staven en wapeningsnetten	10^7	3	5	58,5
Koppelingen	10^7	3	5	35

OPMERKING 1

Waarden voor $\Delta\sigma_{Rsk}$ zijn die voor rechte staven. Waarden voor gebogen staven behoren te zijn verkregen door gebruikmaking van een reductiefactor $\zeta = 0{,}35 + 0{,}026\ D / \Phi$.

waarin:

- D doorndiameter
- Φ staafdiameter

Tabel 41 - Tabel 6.3N uit EC2-1-1

Toelaatbare spanning bij vermoeiing - stiftdeuvels				
Vermoeiingssterkte	$\Delta\sigma_c$	80,0	N/mm²	EC4-2, art. 6.8.7.2
Vermoeiingssterkte	$\Delta\sigma_d$	58,9	N/mm²	
Partiele factor voor vermoeiingssterkte van stiftdeuvels op afschuiving	γ_{mf}	1,35	-	
Opneembare spanning bij n wisselingen	**σ_n**	**24,0**	**N/mm²**	
Opneembare spanning ULS	σ_{ULS}	435	N/mm²	
Opneembare spanning t.o.v. spanning bij ULS	$\Delta\sigma$	5,5	%	

Tabel 42 – Bepalen toelaatbare spanning bij vermoeiing – stiftdeuvels

Door het lassen van de stiftdeuvels neemt de opneembare trekspanning af tot 5,5 procent van de opneembare spanning bij de uiterste grenstoestand.

B11.2 OPNEEMBARE SPANNING AANGELASTE WAPENING

Voor het bepalen van de afname van spanning bij aangelaste wapening dienen andere factoren te worden gebruikt, zoals te zien is in tabel 43.

De case KM01 valt onder verkeerscategorie 1 – autosnelwegen en wegen met twee of meer rijstroken per rijrichting en met intensief vrachtverkeer. Het verwachte aantal zware voertuigen per jaar en per rijstrook voor zwaar verkeer is daarom 2.000.000 stuks en voor de hele levensduur van 100 jaar is het 200.000.000 stuks. De overige waarden worden overgenomen uit tabel 6.3N uit EC2-1-1, 'gelaste staven en wapeningsnetten'. Overige formules:

$$Als\ n \leq N^*:\ \ k = -1 \cdot k_1$$
$$Als\ n > N^*:\ \ k = -1 \cdot k_2$$

$$\zeta = 0{,}35 + 0{,}026 \cdot \frac{D}{\phi}$$

$$\sigma_{FAT;aangelast;N^*} = \zeta \cdot \Delta\sigma_{R,sk}/\gamma_{s,FAT}$$

$$\sigma_{FAT;aangelast;n} = 10^{\frac{\log\left(\sigma_{FAT;aangelast;N^*}\right)+\log(n)-\log(N^*)}{k}}$$

Door aangelaste wapeningsstaven te gebruiken, is de opneembare spanning slechts 6,4 procent van de opneembare spanning bij de uiterste grenstoestand.

Toelaatbare spanning bij vermoeiing – aangelaste staven				
Werkelijk aantal spanningswisselingen over 100 jaar (hele levensduur)	n	$2x10^8$	wisselingen	
Spanningscomponent 1	k_1	3	-	*Zie tabel 6.3N, EC2-1-1*
Spanningscomponent 2	k_2	5	-	*Zie tabel 6.3N, EC2-1-1*
Opneembaar aantal spanningswisselingen	N*	10^7	wisselingen	*Zie tabel 6.3N, EC2-1-1*
Opneembare spanningsbereik	$\Delta\sigma_{Rsk}$	58,5	N/mm²	*Zie tabel 6.3N, EC2-1-1*
Factor betonstaal	$\gamma_{s,fat}$	1,15	-	*Zie EC2-1-1, art.2.4.2.4*
Verhouding doorndiameter/staafdiameter	D/Ø	25	-	
Reductiefactor	ζ	1	-	
Opneembare spanning bij N* wisselingen	σ_{N^*}	50,9	N/mm²	
Opneembare spanning bij n wisselingen	**σ_n**	**27,9**	**N/mm²**	
Opneembare spanning ULS	σ_{ULS}	435	N/mm²	
Opneembare spanning t.o.v. spanning bij ULS	$\Delta\sigma$	6,4	%	

Tabel 43 - Bepalen toelaatbare spanning bij vermoeiing – aangelaste staven

BIJLAGE 12 – MODELLERINGS- EN BEREKENINGSNOTA KM01

OPTIMALE VERBINDINGEN IN INTEGRAALCONSTRUCTIES

Modellering en berekening

KM01

MILOU L. VAN LUIJK
14077310
30 MAART 2021

DE HAAGSE HOGESCHOOL | CIVIELE TECHNIEK

wsp

DE HAAGSE HOGESCHOOL

Optimale verbindingen in integraalconstructies

Modellering en berekening KM01

Milou L. van Luijk (studentnummer 14077310)
Student Civiele Techniek – De Haagse Hogeschool
14077310@student.hhs.nl
Bedrijfsbegeleider: dhr. Hermans
Docentbegeleiders: dhr. Kousemaker en dhr. Klein

6 mei 2021
WSP Breda
Tramsingel 2
4814 AB Breda

Civiele Techniek – De Haagse Hogeschool
Johanna Westerdijkplein 75
2521 EN Den Haag

VOORWOORD

In dit rapport wordt uitleg gegeven bij het SCIA-model van KM01. De modellering, belastingen, belastingcombinaties en gronddrukken worden in dit rapport toegelicht. Dit rapport hoort bij het afstudeeronderzoek 'Optimale verbindingen in integraalconstructies'.

Milou van Luijk
6 mei 2021

INHOUDSOPGAVE

1. Normen en richtlijnen 5
   1.1 Normen 5
   1.2 Richtlijnen 5
2. Materiaalkarakteristieken en duurzaamheid 6
   2.1 Beton 6
   2.2 staal 6
3. Modellering 7
   3.1 Uitgangspunten 7
   3.2 Objectenboom 8
   3.3 Beddingen 15
4. Belastingen 17
   4.1 Permanente belastingen 18
   4.2 Variabele belastingen door wegverkeer 37
   4.3 Overige variabele belastingen 53
   4.4 Buitengewone belastingen 59
5. Belastingcombinaties 63
   5.1 Uitgangspunten 63
   5.2 Overzicht belastingcombinaties 71
6. Grondopbouw en -drukken 82
   6.1 Grondopbouw 82
   6.2 Controle gronddrukken 82

1. NORMEN EN RICHTLIJNEN

In dit hoofdstuk wordt aangegeven aan welke normen en richtlijnen is voldaan.

1.1 NORMEN

In de onderstaande tabel is een overzicht gegeven van relevante normen.

Norm		Titel
NEN-EN 1990		Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991		Belasting op constructies:
	Deel 1-1	volumieke gewichten
	Deel 1-2	Belasting bij brand
	Deel 1-3	Sneeuwbelasting
	Deel 1-4	Windbelasting
	Deel 1-5	Thermische belasting
	Deel 1-6	Belastingen tijdens uitvoering
	Deel 1-7	Buitengewone belastingen
	Deel 2	Verkeersbelasting op bruggen
NEN-EN 1992		Ontwerp en berekening van betonconstructies
	Deel 2-1	Algemene regels en regels voor gebouwen [let op: NB 2016?]
	Deel 2-2	Algemene regels – ontwerp en berekening van constructies bij brand
	Deel 2	Betonnen bruggen
NEN-EN 1993		Ontwerp en berekening van staalconstructies
	Deel 1-1	Algemene regels en regels voor gebouwen
	Deel 1-2	Algemene regels – ontwerp en berekening van constructies bij brand
	Deel 1-3	Aanvullende regels voor koudgevormde dunwandige profielen en platen
	Deel 1-8	Ontwerp en berekening van verbindingen
	Deel 5	Palen en damwanden
NEN-EN 1337		Opleggingen voor bouwkundige civieltechnische toepassingen
NEN-EN 206		Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit
NEN-EN 8005: 2016		Nederlandse invulling van NEN-EN 206

Tabel 1 - Normen voor KM01

1.2 RICHTLIJNEN

In de onderstaande tabel is een overzicht gegeven van relevante richtlijnen.

Richtlijn	Titel	Datum
ROK 1.4	Richtlijnen Ontwerpen Kunstwerken	2017
RTD 1010	Standaarddetails voor betonnen bruggen	2017

Tabel 2 - Richtlijnen voor KM01

2. MATERIAALKARAKTERISTIEKEN EN DUURZAAMHEID

In deze paragraaf wordt meer informatie gegeven over het beton, staal en voorspanstaal.

2.1 BETON

Het landhoofd, de prefab-voorspanliggers, de randliggers en de druklaag zijn van beton. Het eigengewicht van gewapend beton is 25,0 kN/m^3. De materiaaleigenschappen van het toegepaste beton zijn dikgedrukt in onderstaande tabel weergegeven.

Betonkwaliteit	f_{ck}	f_{cm}	f_{ctm}	E_{cm}
	[N/mm^2]	[N/mm^2]	[N/mm^2]	[N/mm^2]
C20/25	20	28	2,2	30.000
C30/37	**30**	**38**	**2,9**	**33.000**
C35/45	35	43	3,2	34.000
C40/50	40	48	3,5	35.000
C45/55	45	53	3,8	36.000
C53/65	53	61	4,2	38.000
C60/75	**60**	**68**	**4,4**	**39.000**

Tabel 3 - Materiaaleigenschappen beton

2.2 STAAL

Het eigengewicht van wapenings- en voorspanstaal is 78,5 kN/m^3.

2.2.1 DAMWANDEN

Voor de damwanden is uitgegaan van staalkwaliteit S355. Overige materiaaleigenschappen zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Constructiestaal	f_{yk}	f_{yd}	E_s
	[N/mm^2]	[N/mm^2]	[N/mm^2]
S355 GP	355	355	210.000

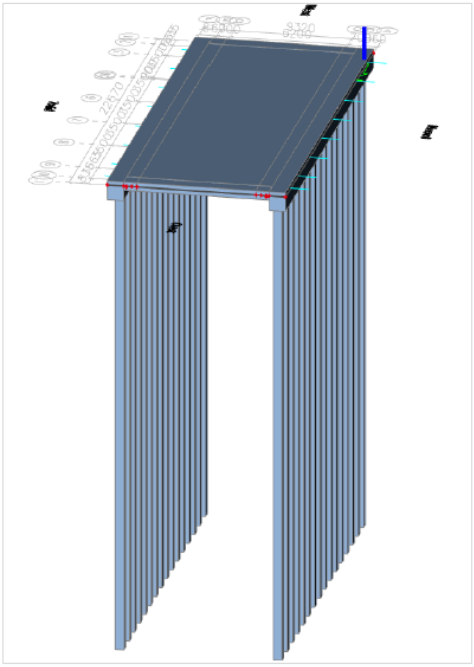
Tabel 4 - Materiaaleigenschappen damwanden

3. MODELLERING

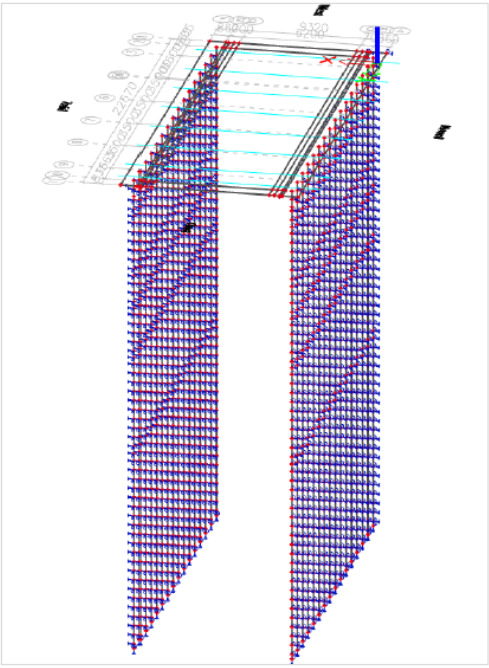
In dit hoofdstuk wordt beschreven welke onderdelen er ingevoerd zijn in SCIA, wat daarvan de afmetingen en kenmerken zijn, welke uitgangspunten er aangehouden zijn en welke overige onderdelen, zoals orthotropie en de bedding, ingevoerd zijn.

3.1 UITGANGSPUNTEN

Het rekenmodel is opgezet met het eindige elementenprogramma SCIA, waarin 2D-elementen worden gebruikt voor het brugdek en een combinatie van 1D- en 2D-elementen voor de onderbouw en de fundering. Er zijn lineaire berekeningen gemaakt, waarbij uitgegaan is van de lage stijfheden. In voorgaande berekeningen van WSP is gebleken dat de lage stijfheid bij deze soort constructie maatgevend is.



Figuur 1 - SCIA-model 3D



Figuur 2 - SCIA-model grondveren

De volgende uitgangspunten zijn aangenomen:

- Damwand als hol staafelement (1D-element) met equivalente stijfheid van een damwandplank;
- Starre verbinding tussen het staafelement van de damwand en het plaatelement van de deksloof;
- In de langsrichting is een scharnierende verbinding tussen de deksloof en de damwand aangebracht;
- Op de damwand staan lineair horizontale, verende steunpunten vanaf de onderkant van de stootplaat tot de teen van de damwand;
- Dek als orthotrope 2D-plaat;
- Deksloof als isotrope plaat;

- De doorsneden van het brugdek in de langsrichting zijn in de basis ter plaatse van de steunpunten gescheurd en in het veld ongescheurd. In de dwarsrichting zijn de doorsneden gescheurd. De deksloven zijn niet voorgespannen en zijn in beide richtingen gescheurd.
- Voor de gescheurde doorsnedes wordt 0,5 maal de elasticiteitsmodulus aangehouden.

3.2 OBJECTENBOOM

In deze paragraaf wordt aangegeven hoe de onderdelen in SCIA zijn ingevoerd. Het kunstwerk wordt opgedeeld in verschillende objecten. Deze objecten zijn weergegeven in tabel 5. De integraalbrug valt in gevolgklasse CC3 en dit voldoet aan ROK1.4 en EC0. De stootplaten vallen in gevolgklasse CC2 en dit is volgens de RTD1011 en EC0. Per constructieonderdeel is de ontwerplevensduur bepaald. Dit is weergegeven in onderstaande tabel.

Objectenboom KM01			
Onderdeel	**Object**	**Invoer in SCIA**	**Opmerking**
Onderbouw	Fundering	1D-elementen	
	Landhoofd	2D-plaat met lijnlast	C30/37
	Stootplaten	Lijnlast met lijnmoment	C30/37
Bovenbouw	Prefab-liggers met druklaag	2D-plaat	Prefab: C60/75 Druklaag: C30/37
	Randliggers	2D-plaat	C60/75
Afwerking en weguitrusting	Schampkanten	Gelijkmatig verdeelde belasting	
	Geleiderails	Lijnlast	
	Leuningen	Lijnlast	

Tabel 5 - Objectenboom KM01

Onderdeel	Ontwerplevensduur	Voldoet aan
Integraalbrug	100 jaar	ROK1.4 / EC0
Stootplaten	100 jaar	RTD 1011 / EN 1990

Tabel 6 - Ontwerplevensduur KM01

3.2.1 ONDERDELEN ONDERBOUW

De onderbouw bestaat uit de fundering, het landhoofd en de stootplaten. De vleugelwanden worden buiten beschouwing gelaten.

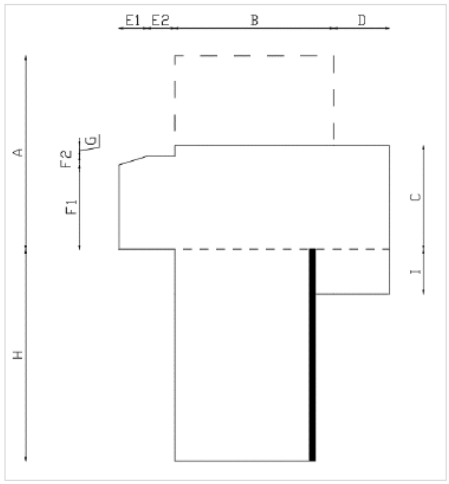
Damwanden

De fundering bestaat uit damwanden die afgewerkt worden met voorzetwanden. Tijdens dit onderzoek wordt uitgegaan van het profiel AZ 26-700. Dit profiel is bij een vergelijkbare constructie toegepast. De damwand heeft een dragende en grondkerende functie.

In SCIA is de fundering als staafelementen met een fictieve kokervormige doorsnede met stijfheden gelijk aan die van een dubbele damwandplank gemodelleerd. De hoogte en oppervlakte van de koker zijn gelijk gehouden aan de hoogte en oppervlakte van de werkelijke damwandplank. Hierdoor komen de door het EE-model bepaalde spanningen in de uiterste vezel overeen met de werkelijke spanningen en kan de maatgevende belastingcombinatie bepaald worden m.b.v. de spanningen.

Deksloof

Het landhoofd wordt ter plekke gestort en dit wordt in twee fases gedaan. De betonklasse is C30/37. Op de landhoofden rusten stootplaten met een lengte van 5,0 m, een breedte van 1,0 m en een hoogte van 0,5 m. Deze aanname is gedaan, omdat dit de meest voorkomende stootplaten zijn.



Figuur 3 – Deksloof

Zijde	Afmeting
[-]	[mm]
A	1280
B	860
C	550
D	300
E1	150
E2	150
F1	460
F2	50
G	60
H	1140
I	250

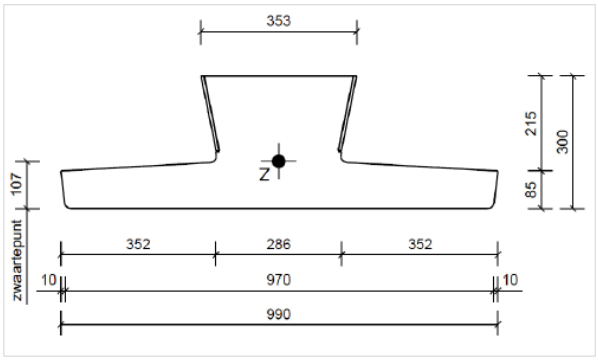
Tabel 7 - Maatvoering deksloof

De deksloof is ingevoerd als plaat exclusief de console en de oplegging voor de prefab-volstortliggers. De belasting ten gevolge van de console en oplegging voor de liggers zijn ingevoerd als lijnlast en -moment op de deksloof. Ook het eigengewicht van de stootplaten is als lijnlast en -moment ingevoerd op de deksloof.

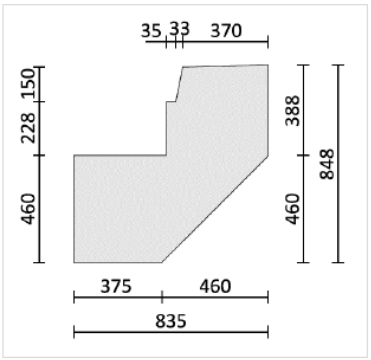
3.2.2 ONDERDELEN BOVENBOUW

De bovenbouw is het brugdek en bestaat uit voorgespannen prefab-volstortliggers met daarop een gewapende druklaag. De prefab-ligger is 0,30 m hoog en 0,99 m breed. Voor KM01 worden 21 liggers naast elkaar geplaatst. De prefab-onderdelen hebben betonklasse C60/75. De druklaag is minimaal 0,16 m hoog en heeft betonklasse C30/37. Aan de randen van het brugdek worden prefab-randliggers toegepast van traditioneel gewapend beton. Deze liggers zijn 0,85 m hoog en 0,84 m breed.

Het brugdek bestaat uit plaatelementen. In de langsrichting van de liggers van het brugdek gedraagt zich ongescheurd en nabij de oplegging gedraagt het brugdek zich gescheurd. Op het brugdek is daarom orthotropie van toepassing. De waarden die ingevoerd zijn in SCIA zijn afkomstig van Romein Beton. Zie figuur 6 tot en met 10. De randliggers zijn overal gescheurd.



Figuur 4 - Maatvoering tussenligger



Figuur 5 - Maatvoering randligger

Ten behoeve van de tijdelijke situatie, wanneer de prefab-liggers op de deksloof worden geplaatst, is een oplegging nodig. Het materiaal kan rubber, kurk of hout zijn en er is aangenomen dat dit 20 mm dik is.

3.2.3 AFWERKING EN WEGUITRUSTING

De schampkanten zijn 0,25 m hoog. Op de schampkant wordt de geleiderails geplaatst. Voor de leuningen wordt uitgegaan van een eigengewicht van 1,0 kN/m.

3 ORTHOTROPE EIGENSCHAPPEN

Tussenligger (ongescheurd):

Shape orthotropic plate — Plates with the effect of transverse shear taken into account / Versie: mei-19

algemene gegevens:

buigstijfheid langsrichting ongescheurd beton:			traagheidsmoment langsrichting:		
$(EI)_1$	2,72E+14	Nmm²	I_1	8,05E+09	mm⁴
rekstijfheid langsrichting ongescheurd beton:			h.o.h. ribben langsrichting:		
$(EA)_1$	1,54E+10	N	L	1000	mm
plaathoogte dwarsrichting:			reductiecoëfficient wringstijheid:		
h_2	375	mm	γ_{t1}	0,4	-
poissonverhouding ongescheurd beton:			reductiecoëfficient afschuifstijfheid:		
v	0,2	-	β	1,2	-
elasticiteitsmodulus dwarsrichting ongescheurd beton:			reductiefactoren elasticiteitsmodulus:		
E_{cm}	32.800	MPa	k_1	1,0	-
			k_2	0,5	-

algemene factoren:

elasticiteitsmodulus langsrichting:			
E_1	3,38E+04	N/mm²	$= (EI)_1 / I_1 \cdot k_1$
elasticiteitsmodulus dwarsrichting:			
E_2	1,64E+04	N/mm²	$= E_{cm} \cdot k_2$
dwarscontractiecoëfficiënt langsrichting:			
ν_{12}	2,00E-01	-	$= \nu_{21} \cdot D_{11} / D_{22}$
dwarscontractiecoëfficiënt dwarsrichting:			
ν_{21}	5,30E-02	-	$= \nu_{12} \cdot D_{22} / D_{11}$
glijdingsmodulus:			
G_1	1,41E+04	kN/m²	$= E_1 / (2 \cdot (1 + \nu_{12}))$
G_2	7,79E+03	kN/m²	$= E_2 / (2 \cdot (1 + \nu_{21}))$
afschuifoppervlakte langsrichting:			
A_{s1}	4,56E+05	mm²	$= (EA)_1 \cdot k_1 / E_1$

factoren ten behoeve van invoer in "SCIA Engineer":

buigstijfheid langsrichting:			
D_{11}	2,75E+02	MNm	$= E_1 \cdot I_1 / [L \cdot (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})]$
buigstijfheid dwarsrichting:			
D_{22}	7,28E+01	MNm	$= 1/12 \cdot E_2 \cdot h_2^3 / (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})$
dwarscontractie-buigstijfheid:			
$D_{12} = D_{21}$	1,46E+01	MNm	$= \nu_{21} \cdot D_{11} = \nu_{12} \cdot D_{22}$
wringstijfheid:			
D_{33}	2,54E+01	MNm	$= 1/2 \cdot [1 - \nu(\nu_{12} \cdot \nu_{21})] \cdot \nu(D_{11} \cdot D_{22}) \cdot \gamma_{t1}$
afschuifstijfheid langsrichting:			
D_{44}	6,42E+03	MN/m	$= G_1 \cdot A_{s1} / L$
afschuifstijfheid dwarsrichting:			
D_{55}	2,43E+03	MN/m	$= G_2 \cdot h_2 / \beta$

Figuur 6 – Orthotropie tussenligger ongescheurd

Tussenligger (gescheurd):

Op aanvraag van de opdrachtgever zijn de orthotrope eigenschappen voor de gescheurde tussenligger opgenomen in deze nota van uitgangspunten. Omdat deze niet gebruikt worden voor het berekenen van het brugdek zullen deze niet in de berekening opgenomen worden.

Shape orthotropic plate — Plates with the effect of transverse shear taken into account / Versie: mei-19

algemene gegevens:

buigstijfheid langsrichting ongescheurd beton:			*traagheidsmoment langsrichting:*		
$(EI)_1$	2,72E+14	Nmm²	I_1	8,05E+09	mm⁴
rekstijfheid langsrichting ongescheurd beton:			*h.o.h. ribben langsrichting:*		
$(EA)_1$	1,54E+10	N	L	1000	mm
plaathoogte dwarsrichting:			*reductiecoëfficient wringstijfheid:*		
h_2	375	mm	γ_{t1}	0,4	-
poissonverhouding ongescheurd beton:			*reductiecoëfficient afschuifstijfheid:*		
v	0,2	-	β	1,2	-
elasticiteitsmodulus dwarsrichting ongescheurd beton:			*reductiefactoren elasticiteitsmodulus:*		
E_{cm}	32.800	MPa	k_1	0,5	-
			k_2	0,5	-

algemene factoren:

elasticiteitsmodulus langsrichting:			
E_1	1,69E+04	N/mm²	$= (EI)_1 / I_1 \cdot k_1$
elasticiteitsmodulus dwarsrichting:			
E_2	1,64E+04	N/mm²	$= E_{cm} \cdot k_2$
dwarscontractiecoëfficiënt langsrichting:			
ν_{12}	0,00E+00	-	$= \nu_{21} \cdot D_{11} / D_{22}$
dwarscontractiecoëfficiënt dwarsrichting:			
ν_{21}	0,00E+00	-	$= \nu_{12} \cdot D_{22} / D_{11}$
glijdingsmodulus:			
G_1	8,45E+03	kN/m²	$= E_1 / (2 \cdot (1 + \nu_{12}))$
G_2	8,20E+03	kN/m²	$= E_2 / (2 \cdot (1 + \nu_{21}))$
afschuifoppervlakte langsrichting:			
A_{s1}	4,56E+05	mm²	$= (EA)_1 \cdot k_1 / E_1$

factoren ten behoeve van invoer in "SCIA Engineer":

buigstijfheid langsrichting:			
D_{11}	1,36E+02	MNm	$= E_1 \cdot I_1 / [L \cdot (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})]$
buigstijfheid dwarsrichting:			
D_{22}	7,21E+01	MNm	$= {}^1/_{12} \cdot E_2 \cdot h_2^3 / (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})$
dwarscontractie-buigstijfheid:			
$D_{12} = D_{21}$	0,00E+00	MNm	$= \nu_{21} \cdot D_{11} = \nu_{12} \cdot D_{22}$
wringstijfheid:			
D_{33}	1,98E+01	MNm	$= {}^1/_2 \cdot [1 - \sqrt{(\nu_{12} \cdot \nu_{21})}] \cdot \sqrt{(D_{11} \cdot D_{22})} \cdot \gamma_{t1}$
afschuifstijfheid langsrichting:			
D_{44}	3,85E+03	MN/m	$= G_1 \cdot A_{s1} / L$
afschuifstijfheid dwarsrichting:			
D_{55}	2,56E+03	MN/m	$= G_2 \cdot h_2 / \beta$

Figuur 7 - Orthotropie tussenligger gescheurd

Tussenligger (membraamstijfheid):

Op aanvraag van de ontwerpend constructeur zijn de orthotrope eigenschappen voor de membraamstijfheid opgenomen in deze nota van uitgangspunten. Omdat deze niet gebruikt worden voor het berekenen van het tunneldek zullen deze niet in de berekening opgenomen worden.

Shape orthotropic plate — Membranes with the effect of transverse shear taken into account / Versie: mei-19

algemene gegevens:

rekstijfheid langsrichting ongescheurd beton:			*oppervlakte langsrichting:*		
$(EA)_1$	1,54E+10	N	A_c	4,58E+05	mm^2
plaathoogte dwarsrichting:			*h.o.h. ribben langsrichting:*		
h_2	375	mm	L	1000	mm
poissonverhouding ongescheurd beton:			*reductiecoëfficient afschuifstijfheid:*		
v	0,2	-	γ_{G1}	1,0	-
elasticiteitsmodulus dwarsrichting ongescheurd beton:			*reductiefactoren elasticiteitsmodulus:*		
E_{cm}	32.800	MPa	k_1	1,0	-
			k_2	1,0	-

algemene factoren:

elasticiteitsmodulus langsrichting:			
E_1	3,36E+04	N/mm^2	$= (EA)_1 / A_c \cdot k_1$
elasticiteitsmodulus dwarsrichting:			
E_2	3,28E+04	N/mm^2	$= E_{cm} \cdot k_2$
dwarscontractiecoëfficiënt langsrichting:			
ν_{12}	2,00E-01	-	$= \nu_{21} \cdot d_{11} / d_{22}$
dwarscontractiecoëfficiënt dwarsrichting:			
ν_{21}	1,60E-01	-	$= \nu_{12} \cdot d_{22} / d_{11}$

factoren ten behoeve van invoer "SCIA Engineer":

rekstijfheid langsrichting:			
d_{11}	1,59E+04	MN/m	$= E_1 \cdot A_c / [L \cdot (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})]$
rekstijfheid dwarsrichting:			
d_{22}	1,27E+04	MN/m	$= E_2 \cdot h_2 / (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})$
dwarscontractie-rekstijfheid:			
$d_{12} = d_{21}$	2,54E+03	MN/m	$= \nu_{21} \cdot d_{11} = \nu_{12} \cdot d_{22}$
membraam-afschuifstijfheid:			
d_{33}	5,84E+03	MN/m	$= 1/2 \cdot [1 - \sqrt{(\nu_{12} \cdot \nu_{21})}] \cdot \sqrt{(d_{11} \cdot d_{22})} \cdot \gamma_{G1}$

Figuur 8 - Membraamstijfheid tussenligger

Randligger:

Shape orthotropic plate — Plates with the effect of transverse shear taken into account / Versie: mei-19

algemene gegevens:

buigstijfheid langsrichting ongescheurd beton:			*traagheidsmoment langsrichting:*		
$(EI)_1$	7,64E+14	Nmm²	I_1	2,17E+10	mm⁴
rekstijfheid langsrichting ongescheurd beton:			*h.o.h. ribben langsrichting:*		
$(EA)_1$	1,54E+10	N	L	840	mm
plaathoogte dwarsrichting:			*reductiecoëfficient wringstijfheid:*		
h_2	375	mm	γ_{t1}	0,4	-
poissonverhouding ongescheurd beton:			*reductiecoëfficient afschuifstijfheid:*		
v	0,2	-	β	1,2	-
elasticiteitsmodulus dwarsrichting ongescheurd beton:			*reductiefactoren elasticiteitsmodulus:*		
E_{cm}	35.200	MPa	k_1	0,5	-
			k_2	0,5	-

algemene factoren:

elasticiteitsmodulus langsrichting:			
E_1	1,76E+04	N/mm²	$= (EI)_1 / I_1 \cdot k_1$
elasticiteitsmodulus dwarsrichting:			
E_2	1,76E+04	N/mm²	$= E_{cm} \cdot k_2$
dwarscontractiecoëfficiënt langsrichting:			
v_{12}	0,00E+00	-	$= v_{21} \cdot D_{11} / D_{22}$
dwarscontractiecoëfficiënt dwarsrichting:			
v_{21}	0,00E+00	-	$= v_{12} \cdot D_{22} / D_{11}$
glijdingsmodulus:			
G_1	8,80E+03	kN/m²	$= E_1 / (2 \cdot (1 + v_{12}))$
G_2	8,80E+03	kN/m²	$= E_2 / (2 \cdot (1 + v_{21}))$
afschuifoppervlakte langsrichting:			
A_{c1}	4,38E+05	mm²	$= (EA)_1 \cdot k_1 / E_1$

factoren ten behoeve van invoer in "SCIA Engineer":

buigstijfheid langsrichting:			
D_{11}	4,55E+02	MNm	$= E_1 \cdot I_1 / [L \cdot (1 - v_{12} \cdot v_{21})]$
buigstijfheid dwarsrichting:			
D_{22}	7,73E+01	MNm	$= {}^1/_{12} \cdot E_2 \cdot h_2^3 / (1 - v_{12} \cdot v_{21})$
dwarscontractie-buigstijfheid:			
$D_{12} = D_{21}$	0,00E+00	MNm	$= v_{21} \cdot D_{11} = v_{12} \cdot D_{22}$
wringstijfheid:			
D_{33}	3,75E+01	MNm	$= {}^1/_2 \cdot [1 - v(v_{12} \cdot v_{21})] \cdot v(D_{11} \cdot D_{22}) \cdot \gamma_{t1}$
afschuifstijfheid langsrichting:			
D_{44}	4,59E+03	MN/m	$= G_1 \cdot A_{c1} / L$
afschuifstijfheid dwarsrichting:			
D_{55}	2,75E+03	MN/m	$= G_2 \cdot h_2 / \beta$

Figuur 9 - Orthotropie randligger

Randligger (membraamstijfheid):

Op aanvraag van de ontwerpend constructeur zijn de orthotrope eigenschappen voor de membraamstijfheid opgenomen in deze nota van uitgangspunten. Omdat deze niet gebruikt worden voor het berekenen van het tunneldek zullen deze niet in de berekening opgenomen worden.

Shape orthotropic plate — Membranes with the effect of transverse shear taken into account / Versie: mei-19

algemene gegevens:

rekstijfheid langsrichting ongescheurd beton:			*oppervlakte langsrichting:*		
$(EA)_1$	1,54E+10	N	A_c	4,38E+05	mm^2
plaathoogte dwarsrichting:			*h.o.h. ribben langsrichting:*		
h_2	375	mm	L	840	mm
poissonverhouding ongescheurd beton:			*reductiecoëfficient afschuifstijfheid:*		
v	0,2	-	γ_{t1}	1,0	-
elasticiteitsmodulus dwarsrichting ongescheurd beton:			*reductiefactoren elasticiteitsmodulus:*		
E_{cm}	35.200	MPa	k_1	1,0	-
			k_2	1,0	-

algemene factoren:

elasticiteitsmodulus langsrichting:			
E_1	3,52E+04	N/mm^2	$= (EA)_1 / A_c \cdot k_1$
elasticiteitsmodulus dwarsrichting:			
E_2	3,52E+04	N/mm^2	$= E_{cm} \cdot k_2$
dwarscontractiecoëfficiënt langsrichting:			
ν_{12}	2,00E-01	-	$= \nu_{21} \cdot d_{11} / d_{22}$
dwarscontractiecoëfficiënt dwarsrichting:			
ν_{21}	1,44E-01	-	$= \nu_{12} \cdot d_{22} / d_{11}$

factoren ten behoeve van invoer "SCIA Engineer":

rekstijfheid langsrichting:			
d_{11}	1,89E+04	MN/m	$= E_1 \cdot A_c / [L \cdot (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})]$
rekstijfheid dwarsrichting:			
d_{22}	1,36E+04	MN/m	$= E_2 \cdot h_2 / (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21})$
dwarscontractie-rekstijfheid:			
$d_{12} = d_{21}$	2,72E+03	MN/m	$= \nu_{21} \cdot d_{11} = \nu_{12} \cdot d_{22}$
membraam-afschuifstijfheid:			
d_{33}	6,65E+03	MN/m	$= 1/2 \cdot [1 - \sqrt{(\nu_{12} \cdot \nu_{21})}] \cdot \sqrt{(d_{11} \cdot d_{22})} \cdot \gamma_{t1}$

Figuur 10 - Membraamstijfheid randligger

3.3 BEDDINGEN

In het model zijn verschillende beddingen toegepast. Deze beddingen worden in deze paragraaf toegelicht.

3.3.1 EXTRA BEDDING BRUGDEK

Onder het brugdek is een bedding aangebracht. Dit is gedaan om het model als ligger op twee steunpunten te kunnen uitrekenen. Deze bedding is alleen van toepassing bij belastinggeval LC1.3. Dit is het belastinggeval met het eigengewicht in het oorspronkelijk statisch systeem.

3.3.2 BEDDING TEGEN DAMWANDPLANKEN

Op de hele damwand hebben de damwandplanken bedding vanwege de naastgelegen grond. In SCIA zijn horizontale puntveren ingevoerd in plaats van beddingen, omdat beddingen niet als afwezigheden kunnen worden toegevoegd aan de belastinggevallen. De grondlagen worden opgedeeld in lagen van 0,5 m plus een resterende laagdikte. Per laag wordt een puntveer ingevoerd. De waarden zijn te zien in tabel 8. hoe aan deze waarden is gekomen, wordt toegelicht in hoofdstuk 6.

Grondsoort	Laagdikte	$K_{haag,dwars}$	$K_{laag,dwars,resterend}$	$K_{laag,langs}$	$K_{laag,langs,resterend}$
[-]	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
Zand, matig vast	1,74	4,20	0,028	-	-
Zand, matig vast	4,04	7,00	0,028	0,56	0,002
Zand, los/siltig/kleiig	3,30	4,20	0,103	2,52	0,062
Klei, zandig	1,70	0,35	0,243	0,14	0,097
Zand, los/siltig/kleiig	2,70	1,05	0,331	-	-
Zand, los/siltig/kleiig	2,70	4,20	0,331	1,68	0,133
Klei, humeus	1,00	0,56	0,393	-	-
Klei, siltig	2,50	0,56	0,467	-	-
Klei, zandig	0,50	2,80	0,419	-	-
Zand, los/siltig/kleiig	1,30	4,20	0,607	2,52	0,364
Basisveen	0,50	0,35	0,243	-	-
Zand, los/siltig/kleiig	1,00	4,20	0,675	-	-
Zand, matig vast	9,00	7,00	0,993	-	-

Tabel 8 - Veerstijfheden horizontale steunpunten incl. correctie

3.3.3 VEERWAARDE ONDERKANT DAMWAND

De veerstijfheden van de verticale veren ter plaatse van de teen van de damwand worden overgenomen van een vergelijkbare integraalconstructie in Rotterdam. Voor de boven- en ondergrens van deze parameters wordt een variatiefactor (delen of vermenigvuldigen met √2) toegepast. De veerwaarden worden met de breedte van een dubbele damwandplank vermenigvuldigd. Die breedte is 1,4 m.

Type veer	Gemiddelde	Ondergrens (delen door √2)	Bovengrens (vermenigvuldigen met √2)
	[MN/m]	[MN/m]	[MN/m]
Verticale veer teen damwand	1,4 x 841 = 1.177	1,4 x 595 = 833	1,4 x 1.189 = 1.665

Tabel 9 - Veerwaarde teen damwand

4. BELASTINGEN

In SCIA is een aantal belastinggevallen ingevoerd. Deze belastinggevallen zijn benoemd in onderstaande tabel. Verderop in deze paragraaf wordt per belastinggeval aangegeven welke belastingen er ingevoerd zijn en hoe die zijn berekend.

Belastinggevallen	Beschrijving
Permanente belastingen	
LC1.1	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem
LC1.2	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden
LC1.3	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek
LC2	Rustende belasting
LC3	Rustende belasting stootplaten
LC4	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling
LC5	Krimp
LC6	Kist-effect - voorspanning
Variabele belastingen door wegverkeer	
LC10	LM1 - rand west - UDL
LC11	LM1 - midden - UDL
LC12	LM1 - rand west - UDL - stootplaten noord
LC13	LM1 - rand west - UDL - stootplaten zuid
LC14	LM1 - midden - UDL - stootplaten noord
LC15	LM1 - midden - UDL - stootplaten zuid
LC16.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1
LC17.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 2
LC18.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 3
LC19	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten noord
LC20	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten noord
LC21	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten noord
LC22	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten zuid
LC23	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten zuid
LC24	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten zuid
LC25.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 1
LC26.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 2
LC27.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 3
LC28	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten noord
LC29	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten noord
LC30	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten noord
LC31	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten zuid
LC32	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten zuid
LC33	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten zuid
LC34.1	Rem-/aanzetbelasting - rand NZ
LC34.2	Rem-/aanzetbelasting - rand ZN
LC34.3	Rem-/aanzetbelasting - rand WO
LC34.4	Rem-/aanzetbelasting - rand OW
LC35.1	Rem-/aanzetbelasting - midden NZ

LC35.2	Rem-/aanzetbelasting - midden ZN
LC35.3	Rem-/aanzetbelasting - midden WO
LC35.4	Rem-/aanzetbelasting - midden OW
LC36	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - noord
LC37	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - zuid
LC38	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord
LC39	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid
LC40	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - noord
LC41	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - zuid
LC42	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord
LC43	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - zuid
Overige variabele belastingen	
LC50.1	Wind NZ
LC50.2	Wind ZN
LC50.3	Wind WO
LC50.4	Wind OW
LC51.1	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging
LC51.2	Gelijkmatige temperatuurcomponent - daling
LC52.1	Temperatuurverschilcomponent - opwarming bovenzijde
LC52.2	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde
Buitengewone belastingen	
LC60	Aanrijdbelasting bovenbouw - zijkant dek
LC61.1	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand
LC61.2	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand
LC62.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1 - verkeersongeval

Tabel 10 - Belastinggevallen KM01

Voor een aantal permanente belastinggevallen is ook een 'variabel' belastinggeval ingevoerd, bijvoorbeeld LC1.1p en LC1.1v. In de belastinggevallen zitten dezelfde belastingen. Het verschil zit in de belastingfactoren. Met variabel wordt het verschil tussen de belastingfactoren voor gunstig werkende en ongunstig werkende belastingen in rekening gebracht.

4.1 PERMANENTE BELASTINGEN

4.1.1 EIGEN GEWICHT - NIEUW STATISCH SYSTEEM

Dit belastinggeval bestaat uit het eigengewicht van de prefab-liggers, randliggers en het landhoofd.

Belasting prefab-liggers

Hoogte brugdek incl. druklaag	0,46 m
Eigengewicht beton	25,00 kN/m^3
Oppervlaktebelasting (hoogte x eigengewicht)	11,50 kN/m^2

Belasting randliggers

Oppervlakte doorsnede randligger (bron: Romein Beton)	437.989 mm^2
Breedte randligger (bron: Romein Beton)	835 mm
Eigengewicht beton	25,00 kN/m^3
Oppervlaktebelasting (oppervlakte / breedte x eigengewicht)	13,11 kN/m^2

Belasting deksloof – kern

Hoogte deksloof	1,28 m
Eigengewicht beton	25,00 kN/m^3
Oppervlaktebelasting (hoogte x eigengewicht)	32,00 kN/m^3

Belasting deksloof – console onder stootplaten

Gemiddelde hoogte console	0,49 m
Breedte console	0,30 m
Eigengewicht beton	25,00 kN/m^3
Lijnlast console (hoogte x breedte x eigengewicht)	3,69 kN/m
Lijnmoment console (½ breedte x lijnlast console)	0,55 kNm/m

Belasting deksloof – onder prefab-ligger

Hoogte onder prefab-ligger	0,80 m
Breedte onder prefab-ligger	0,30 m
Eigengewicht beton	25,00 kN/m^3
Lijnlast (hoogte x breedte x eigengewicht)	6,00 kN/m
Lijnmoment (½ breedte x lijnlast)	0,90 kNm/m

Belasting deksloof – beton in damwandkas

Oppervlakte doorsnede beton	730.549 mm^2
Eigengewicht beton	25,00 kN/m^3
Lijnlast beton in damwandkas (oppervlakte x eigengewicht)	18,26 kN/m

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC1.1	Prefab-ligger	Oppervlakte	11,50 kN/m^2	-
	Randligger	Oppervlakte	13,11 kN/m^2	-
	Deksloof – kern	Oppervlakte	32,00 kN/m^2	-
	Deksloof – console	Lijnlast	3,69 kN/m	Rand deksloof – kern
		Lijnmoment	0,55 kNm/m	Rand deksloof – kern
	Deksloof – prefab-ligger	Lijnlast	6,00 kN/m	Rand deksloof – kern
		Lijnmoment	0,90 kNm/m	Rand deksloof – kern
	Deksloof - damwandkas	Lijnlast	18,26 kN/m	Excentrisch: hart beton – hart damwand

Tabel 11 - Belastingen LC1.1

4.1.2 EIGEN GEWICHT - OORSPRONKELIJK STATISCH SYSTEEM - LANDHOOFDEN

Bij dit belastinggeval is nog geen inklemming ontstaan. Daarom worden de belastingen van het eigengewicht symmetrisch verdeeld naar de landhoofden. Op het landhoofd staan dezelfde belastingen zoals bij LC1.1 beschreven is.

Belasting prefab-liggers

Hoogte brugdek incl. druklaag	0,46 m
Overspanning incl. oplegging	7,60 m
Breedte oplegging	0,30 m
Eigengewicht beton	25,00 kN/m^3
Lijnlast (½ overspanning x hoogte x eigengewicht)	43,70 kN/m^2
Lijnmoment (½ breedte oplegging x lijnlast)	6,56 kNm/m

Belasting randliggers

Overspanning incl. oplegging	7,60 m
Breedte oplegging	0,30 m
Oppervlakte doorsnede randligger (bron: Romein Beton)	437.989 mm^2
Breedte randligger (bron: Romein Beton)	835 mm
Eigengewicht beton	25,00 kN/m^3
Lijnlast (½ overspanning x [oppervlakte / breedte randligger] x eigengewicht)	49,83 kN/m^2
Lijnmoment (½ breedte oplegging x lijnlast)	7,47 kNm/m

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC1.2	Prefab-ligger	Lijnlast	43,70 kN/m	-
		Lijnmoment	6,56 kNm/m	
	Randligger	Lijnlast	49,83 kN/m	-
		Lijnmoment	7,47 kNm/m	
	Deksloof – kern	Oppervlakte	32,00 kN/m^2	-
	Deksloof – console	Lijnlast	3,69 kN/m	Rand deksloof – kern
		Lijnmoment	0,55 kNm/m	Rand deksloof – kern
	Deksloof – prefab-ligger	Lijnlast	6,00 kN/m	Rand deksloof – kern
		Lijnmoment	0,90 kNm/m	Rand deksloof – kern
	Deksloof – damwandkas	Lijnlast	18,26 kN/m	Excentrisch: hart beton – hart damwand

Tabel 12 - Belastingen LC1.2

4.1.3 EIGEN GEWICHT - OORSPRONKELIJK STATISCH SYSTEEM – DEK

De belastingen die bij dit belastinggeval horen, zijn bij LC1.1 berekend.

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC1.3	Prefab-ligger	Oppervlakte	11,50 kN/m^2	-
	Randligger	Oppervlakte	13,11 kN/m^2	-

Tabel 13 - Belastingen LC1.3

4.1.4 LC2 RUSTENDE BELASTING

In dit belastinggeval zit de belasting van het asfalt, de schampkanten, de geleiderails en de uitvullaag verwerkt.

Belasting asfalt

Volgens de ROK1.4 - §5.1 – 5.2.3 is het eigengewicht van het asfalt bepaald. Het asfalt bevindt zich tussen de schampkanten, dus op 1,29 m vanaf de zijkanten van de brug.

Overspanning excl. oplegging	7,00 m
Uitvulling a (tussen 0 en 30 mm) = (L - 30) / 4	0 mm
Dikte asfaltpakket = 140 + a	140 mm
Eigengewicht asfalt	23,00 kN/m^3
Oppervlaktebelasting (dikte x eigengewicht)	3,22 kN/m^2

Belasting schampkanten

De schampkant begint tegen de randligger aan en is 0,45 m breed.

Hoogte schampkant	0,25 m
Eigengewicht beton	25,00 kN/m^3
Oppervlaktebelasting (hoogte x eigengewicht)	6,25 kN/m^2

Belasting geleiderails

De geleiderails staat op 86 mm vanaf de binnenzijde van de schampkant.

Standaard RWS geleiderails	0,60 kN/m

Belasting leuning

Het hart van de leuning komt op 0,20 m vanaf de rand van de brug. Er is uitgegaan van een standaard leuning.

Standaard leuning	1,00 kN/m

Belasting uitvullaag

De prefab-liggers worden geleverd met een zeeg. Om ervoor te zorgen dat op de snelweg geen drempel ontstaat, wordt een uitvullaag toegepast. Ter plaatste van het uiteinde van de prefab-liggers wordt dan meer beton gestort dan bij de bolling in het midden van deze liggers.

Bij het ontwerp is rekening gehouden met een zeeg van 1/1000 maal de lengte. Dat betekent een hoogteverschil van 7 mm. De uitvullaag boven het steunpunt is ongeveer 10 mm.

Hoogte uitvullaag	10 mm
Eigengewicht beton	25,00 kN/m^3
Oppervlaktebelasting (hoogte x eigengewicht)	0,25 kN/m^2

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC2	Asfalt	Oppervlakte	3,22 kN/m^2	Over het hele brugdek
	Schampkanten	Oppervlakte	6,25 kN/m^2	0,45 m breed, op 0,835 m vanaf de rand van het brugdek
	Geleiderails	Lijnlast	0,60 kN/m	Op 1,2 m vanaf de rand van het brugdek
	Leuning	Lijnlast	1,00 kN/m	Op 0,2 m vanaf de rand van het brugdek
	Uitvullaag	Oppervlakte	0,25 kN/m^2	0,25 kN/m^2 bij uiteinde overspanning en 0,00 in het midden van dek

Tabel 14 - Belastingen LC2

4.1.5 LC3 RUSTENDE BELASTING STOOTPLATEN

De stootplaten worden niet gemodelleerd, maar als lijnlast en -moment ingevoerd. Volgens de ROK1.4 mag je de stootplaat zien als een ligger op twee steunpunten, waardoor de belastingen gedeeld worden door twee.

Lengte stootplaat	5,00 m
Breedte stootplaat	1,00 m
Hoogte stootplaat	0,50 m
Asfaltdikte op stootplaat	190 mm
Breedte console	300 mm
Lijnlast ([hoogte stootplaat x lengte stootplaat x eigengewicht beton / 2] + [asfaltdikte x lengte stootplaat x eigengewicht asfalt / 2])	42,18 kN/m
Lijnmoment (½ breedte console x lijnlast)	6,33 kNm/m

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC3	Stootplaten	Lijnlast	42,18 kN/m^2	Rand deksloof – kern
		Lijnmoment	6,33 kN/m^2	Rand deksloof – kern

Tabel 15 - Belastingen LC3

4.1.6 GRONDDRUK T.G.V. GRONDAANVULLING

De gronddruk is ingevoerd als puntlast met een moment. De waarden zijn overgenomen uit een vorig project om tijd te besparen.

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC4	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	Puntlast	19,61 kN	Op iedere damwandplank
		Moment	24,01 kNm	Op iedere damwandplank

Tabel 16 - Belastingen LC4

4.1.7 KRIMP

De krimp wordt berekend voor de volstortliggers met druklaag, het landhoofd met druklaag en de randligger. Samengevat worden de onderstaande thermische belastingen ingevoerd.

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC5	Volstortligger incl. druklaag	Oppervlakte	-10,9 K	Thermische belasting boven
		Oppervlakte	- 7,8 K	Thermische belasting onder
	Deksloof incl. druklaag	Oppervlakte	-11,3 K	Thermische belasting boven
		Oppervlakte	- 9,3 K	Thermische belasting onder
	Randligger	Oppervlakte	-15,4 K	Thermische belasting constant

Tabel 17 – Belastingen LC5

Volstortliggers met druklaag

Bij het berekenen van de krimp in de volstortliggers zijn onderstaande gegevens gebruikt. Aan de hand van onderstaande berekeningen is de uitdrogingskrimp, de autogene krimp en de totale krimp bepaald.

Uitdrogingskrimp (tussen 28 dagen en t = ∞)	0,278 – 0,096 = 0,182 ‰
Autogene krimp (tussen 28 dagen en t = ∞)	0,075 – 0,049 = 0,026 ‰
Totale krimp (tussen 28 dagen en t = ∞)	0,208 ‰

Alleen krimp en kruip ná storten druklaag zijn van belang. De relaxatiefactor t.g.v. kruip conform EC2-1-1, 5.4(4) wordt daarom gebaseerd op de totale hoogte van prefab en druklaag. De kruipfactor voor het prefab wordt gebaseerd op e ouderdom van het prefab op moment van storten druklaag (28 dagen):

Relaxatiefactor volstortligger met druklaag ($k\varphi = [1 - e^{-\varphi}] / \varphi = [1 - e^{-1,39}] / 1,39$)	0,54 -
Relaxatiefactor druklaag op volstortligger ($k\varphi = [1 - e^{-\varphi}] / \varphi = [1 - e^{-3,16}] / 3,16$)	0,30 -

Volstortligger - tijdstip = 28 dagen

Breedte prefab-volstortligger	1.000 mm
Omtrek prefab-volstortligger	2.606 mm
Oppervlakte prefab-volstortligger	155.568 mm^2
Betondruksterkte	C40/50
Cementklasse	R
Relatieve vochtigheid	75%
Ouderdom bij belasten	28 dagen
Ouderdom aan begin van uitdrogingskrimp	1 dag
Ouderdom op beschouwde tijdstip	28 dagen

Berekening kruip en krimp conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2011

Gegevens

Betonkwaliteit	C40/50		$E_c = 1{,}05 \times E_{cm}$		36981	N/mm^2	
cementklasse	R	-	u		2606	mm	(omtrek direct beinvloed door temp)
t_0=	28	dagen (ouderdom bij belasten)	A_c		155568	mm^2	
t=	28	dagen (ouderdom op beschouwde tijdstip)	RH		75	%	(relatieve luchvochtigheid)
t_s=	1	dagen (ouderdom aan het begin van uitdrogingskrimp)					

Berekening Kruip (conform EC2 Bijlage B.1 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de kruipcoëfficiënt)

Lineair kruip verloop

				f_{cm}	48	N/mm^2
$h_0 = 2 \times A_c / u$	119	mm		$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0,7}$	= 0,80	-
$\beta(t_0) = 1 / (0{,}1 + t_0^{0,20})$	0,49	-		$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0,2}$	= 0,94	-
$\beta(f_{cm}) = 16{,}8 / \sqrt{(f_{cm})}$	2,42	-		$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0,5}$	= 0,85	-
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \leq 1500$	456	≤	1500	(voor $f_{cm} \leq 35$)		
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \times \alpha_3 \leq 1500 \times \alpha_3$	419	≤	1281	(voor $f_{cm} \geq 35$)		
$\beta_c(t,t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3}$	0	-				
$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0})$	1,51	(voor $f_{cm} \geq 35$)				
$\varphi_{RH} = [1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0}) \times \alpha_1] \times \alpha_2$	1,32	(voor $f_{cm} \geq 35$)				
$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$	1,56	-	kruipfactor			
$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t,t_0)$	0,00	-	kruipfactor op t			
$\varepsilon_{cc}(\infty,t_0) = \varphi(\infty,t_0) \times (\sigma c / E_c)$	0,000	‰	totale kruipvervorming			
$\varepsilon_{cc}(t,t_0) = \varphi(t,t_0) \times (\sigma_c / E_c)$	0,000	‰	kruipvervorming op t			

Berekening uitdrogingskrimp (conform EC2 Bijlage B.2 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de uitdrogingskrimp)

$\beta_{RH} = 1{,}55 \times [1 - (RH / RH_0)^3]$	0,90	-		f_{cmo}	10	N/mm^2
$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85 [(220 + 110 \times \alpha_{ds1}) \times \exp(-\alpha_{ds2} \times f_{cm} / f_{cmo})] \times 10^{-6} \times \beta_{RH}$	0,395	‰	totale uitdrogingskrimp	a_{ds1}	6	-
$\beta_{ds(t,ts)} = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0{,}04 \times \sqrt{h_0^3}]$	0,341	-		a_{ds2}	0,11	-
$\varepsilon_{cd(t)} = \beta_{ds(t,ts)} \times k_h \times \varepsilon_{cd,0}$	0,131	‰	uitdrogingskrimp op t	k_h	0,97	-

Berekening autogene krimpverkorting (conform EC2 art. 3.1.4 (6))

$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6}$	0,08	‰	totale autogene krimp	f_{ck}	40	N/mm^2
$\beta_{as(t)} = 1 - \exp(-0{,}2 \times t^{0,5})$	0,65	-				
$\varepsilon_{ca(t)} = \beta_{as(t)} \times \varepsilon_{ca}(\infty)$	0,049	‰	autogene krimp op t			

Kruip- en krimpverkorting

$\varepsilon_{tot}(t=\infty) = \varepsilon_{cc}(\infty,t_0) + \varepsilon_{cd(\infty)} \times k_h + \varepsilon_{ca(\infty)}$	0,459	‰	totale krimp en kruip op t=∞
$\varepsilon_{tot}(t) = \varepsilon_{cc}(t,t_0) + \varepsilon_{cd(t)} + \varepsilon_{ca(t)}$	0,180	‰	totale kruip en krimp op t
$\varepsilon_{tot}(t_\infty - t) = \varepsilon_{tot}(t=\infty) - \varepsilon_{tot}(t)$	0,279	‰	kruip- en krimpverschil tussen t=∞ en t

Figuur 11 - Krimp volstortligger t=28 dagen

Volstortligger - tijdstip = 205 dagen

Breedte prefab-volstortligger	1.000 mm
Hoogte doorsnede brugdek incl. druklaag	460 mm
Omtrek in contact met buitenlucht	2.000 mm
Oppervlakte brugdek (breedte x hoogte)	460.000 mm^2
Betondruksterkte	C40/50
Cementklasse	R
Relatieve vochtigheid	75%
Ouderdom bij belasten	28 dagen
Ouderdom aan begin van uitdrogingskrimp	1 dag
Ouderdom op beschouwde tijdstip	205 dagen

Berekening kruip en krimp conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2011

Gegevens

Betonkwaliteit	C40/50	$E_c = 1{,}05 \times E_{cm}$	36981	N/mm^2	
cementklasse	R -	u	2000	mm	(omtrek direct beinvloed door temp)
t_0=	28 dagen	(ouderdom bij belasten)	A_c	460000	mm^2
t=	205 dagen	(ouderdom op beschouwde tijdstip)	RH	75	% (relatieve luchvochtigheid)
t_s=	1 dagen	(ouderdom aan het begin van uitdrogingskrimp)			

Berekening Kruip (conform EC2 Bijlage B.1 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de kruipcoëfficiënt)

Lineair kruip verloop — f_{cm} 48 N/mm^2

$h_0 = 2 \times A_c / u$	460 mm			$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0,7}$	= 0,80 -
$\beta(t_0) = 1 / (0{,}1 + t_0^{0,20})$	0,49 -			$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0,2}$	= 0,94 -
$\beta(f_{cm}) = 16{,}8 / \sqrt{(f_{cm})}$	2,42 -			$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0,5}$	= 0,85 -
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \le 1500$	1044	≤	1500	(voor $f_{cm} \le 35$)	
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \times \alpha_3 \le 1500 \times \alpha_3$	1007	≤	1281	(voor $f_{cm} \ge 35$)	
$\beta_c(t,t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3}$	0,57 -				
$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0})$	1,32	(voor $f_{cm} \ge 35$)			
$\varphi_{RH} = [1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0}) \times \alpha_1] \times \alpha_2$	1,18	(voor $f_{cm} \ge 35$)			
$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$	1,40 -	kruipfactor			
$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t,t_0)$	0,79 -	kruipfactor op t			
$\varepsilon_{cc}(\infty,t_0) = \varphi(\infty,t_0) \times (\sigma c / E_c)$	0,000 ‰	totale kruipvervorming			
$\varepsilon_{cc}(t,t_0) = \varphi(t,t_0) \times (\sigma_c / E_c)$	0,000 ‰	kruipvervorming op t			

Berekening uitdrogingskrimp (conform EC2 Bijlage B.2 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de uitdrogingskrimp)

$\beta_{RH} = 1{,}55 \times [1 - (RH / RH_0)^3]$	0,90 -			f_{cmo}	10 N/mm^2
$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85 [(220 + 110 \times \alpha_{ds1}) \times \exp(-\alpha_{ds2} \times f_{cm} / f_{cmo})] \times 10^{-6} \times \beta_{RH}$	0,395 ‰	totale uitdrogingskrimp		a_{ds1}	6 -
$\beta_{ds(t,ts)} = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0{,}04 \times \sqrt{h_0^3}]$	0,341 -			a_{ds2}	0,11 -
$\varepsilon_{cd(t)} = \beta_{ds(t,ts)} \times k_h \times \varepsilon_{cd,0}$	0,096 ‰	uitdrogingskrimp op t		k_h	0,71 -

Berekening autogene krimpverkorting (conform EC2 art. 3.1.4 (6))

$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6}$	0,08 ‰	totale autogene krimp		f_{ck}	40 N/mm^2
$\beta_{as(t)} = 1 - \exp(-0{,}2 \times t^{0,5})$	0,94 -				
$\varepsilon_{ca(t)} = \beta_{as(t)} \times \varepsilon_{ca}(\infty)$	0,071 ‰	autogene krimp op t			

Kruip- en krimpverkorting

$\varepsilon_{tot}(t=\infty) = \varepsilon_{cc}(\infty,t_0) + \varepsilon_{cd(\infty)} \times k_h + \varepsilon_{ca(\infty)}$	0,356 ‰	totale krimp en kruip op $t=\infty$
$\varepsilon_{tot}(t) = \varepsilon_{cc}(t,t_0) + \varepsilon_{cd(t)} + \varepsilon_{ca(t)}$	0,166 ‰	totale kruip en krimp op t
$\varepsilon_{tot}(t_\infty - t) = \varepsilon_{tot}(t=\infty) - \varepsilon_{tot}(t)$	0,189 ‰	kruip- en krimpverschil tussen $t=\infty$ en t

Figuur 12 – Krimp volstortligger t=205 dagen

Volstortligger - tijdstip = 36.670 dagen (einde levensduur)

Breedte prefab-volstortligger	1.000 mm
Hoogte doorsnede brugdek incl. druklaag	460 mm
Omtrek in contact met buitenlucht	2.000 mm
Oppervlakte brugdek (breedte x hoogte)	460.000 mm^2
Betondruksterkte	C40/50
Cementklasse	R
Relatieve vochtigheid	75%
Ouderdom bij belasten	28 dagen
Ouderdom aan begin van uitdrogingskrimp	1 dag
Ouderdom op beschouwde tijdstip (205 dagen + 100 x 365 dagen)	36.670 dagen

Berekening kruip en krimp conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2011

Gegevens

Betonkwaliteit	C40/50		$E_c = 1{,}05 \times E_{cm}$		36981	N/mm^2	
cementklasse	R	-	u		2000	mm	(omtrek direct beinvloed door temp)
t_0=	28	dagen (ouderdom bij belasten)	A_c		460000	mm^2	
t=	36670	dagen (ouderdom op beschouwde tijdstip)	RH		75	%	(relatieve luchvochtigheid)
t_s=	1	dagen (ouderdom aan het begin van uitdrogingskrimp)					

Berekening Kruip (conform EC2 Bijlage B.1 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de kruipcoëfficiënt)

Lineair kruip verloop

				f_{cm}	48	N/mm^2
$h_0 = 2 \times A_c / u$	460	mm		$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0,7}$	= 0,80	-
$\beta(t_0) = 1 / (0{,}1 + t_0^{0,20})$	0,49	-		$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0,2}$	= 0,94	-
$\beta(f_{cm}) = 16{,}8 / \sqrt{(f_{cm})}$	2,42	-		$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0,5}$	= 0,85	-
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \leq 1500$	1044	≤	1500	(voor $f_{cm} \leq 35$)		
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \times \alpha_3 \leq 1500 \times \alpha_3$	1007	≤	1281	(voor $f_{cm} \geq 35$)		
$\beta_c(t,t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3}$	0,99	-				
$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0})$	1,32	(voor $f_{cm} \geq 35$)				
$\varphi_{RH} = [1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0}) \times \alpha_1] \times \alpha_2$	1,18	(voor $f_{cm} \geq 35$)				
$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$	1,40	-	kruipfactor			
$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t,t_0)$	**1,39**	-	kruipfactor op t			
$\varepsilon_{cc}(\infty,t_0) = \varphi(\infty,t_0) \times (\sigma c / E_c)$	0,000	‰	totale kruipvervorming			
$\varepsilon_{cc}(t,t_0) = \varphi(t,t_0) \times (\sigma_c / E_c)$	0,000	‰	kruipvervorming op t			

Berekening uitdrogingskrimp (conform EC2 Bijlage B.2 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de uitdrogingskrimp)

$\beta_{RH} = 1{,}55 \times [1 - (RH / RH_0)^3]$	0,90	-		f_{cmo}	10	N/mm^2
$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85 [(220 + 110 \times \alpha_{ds1}) \times \exp(-\alpha_{ds2} \times f_{cm} / f_{cmo})] \times 10^{-6} \times \beta_{RH}$	0,395	‰	totale uitdrogingskrimp	α_{ds1}	6	-
$\beta_{ds}(t,t_s) = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0{,}04 \times \sqrt{h_0^3}]$	0,989	-		α_{ds2}	0,11	-
$\varepsilon_{cd(t)} = \beta_{ds}(t,t_s) \times k_h \times \varepsilon_{cd,0}$	**0,278**	‰	uitdrogingskrimp op t	k_h	0,71	-

Berekening autogene krimpverkorting (conform EC2 art. 3.1.4 (6))

$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6}$	0,08	‰	totale autogene krimp	f_{ck}	40	N/mm^2
$\beta_{as(t)} = 1 - \exp(-0{,}2 \times t^{0,5})$	1,00	-				
$\varepsilon_{ca(t)} = \beta_{as(t)} \times \varepsilon_{ca}(\infty)$	**0,075**	‰	autogene krimp op t			

Kruip- en krimpverkorting

$\varepsilon_{tot}(t=\infty) = \varepsilon_{cc}(\infty,t_0) + \varepsilon_{cd(\infty)} \times k_h + \varepsilon_{ca(\infty)}$	0,356	‰	totale krimp en kruip op $t=\infty$
$\varepsilon_{tot}(t) = \varepsilon_{cc}(t,t_0) + \varepsilon_{cd(t)} + \varepsilon_{ca(t)}$	0,353	‰	totale kruip en krimp op t
$\varepsilon_{tot}(t_\infty - t) = \varepsilon_{tot}(t=\infty) - \varepsilon_{tot}(t)$	0,003	‰	kruip- en krimpverschil tussen $t=\infty$ en t

Figuur 13 - Krimp volstortligger T=36.670 dagen

Druklaag – tijdstip = 365.000 dagen (einde levensduur)

Breedte prefab-volstortligger	1.000 mm
Hoogte doorsnede brugdek incl. druklaag	460 mm
Omtrek in contact met buitenlucht	2.000 mm
Oppervlakte brugdek (breedte x hoogte)	460.000 mm^2
Betondruksterkte	C30/37
Cementklasse	N
Relatieve vochtigheid	75%
Ouderdom bij belasten	1 dag
Ouderdom aan begin van uitdrogingskrimp	1 dag
Ouderdom op beschouwde tijdstip (205 dagen + 100 x 365 dagen)	36.500 dagen

Berekening kruip en krimp conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2011

Gegevens

Betonkwaliteit	C30/37	$E_c = 1{,}05 \times E_{cm}$	34478	N/mm^2	
cementklasse	N -	u	2000	mm	(omtrek direct beinvloed door temp)
t_0=	1	dagen (ouderdom bij belasten)	A_c	460000	mm^2
t=	36500	dagen (ouderdom op beschouwde tijdstip)	RH	75	% (relatieve luchvochtigheid)
t_s=	1	dagen (ouderdom aan het begin van uitdrogingskrimp)			

Berekening Kruip (conform EC2 Bijlage B.1 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de kruipcoëfficiënt)

Lineair kruip verloop — f_{cm} 38 N/mm^2

$h_0 = 2 \times A_c / u$	460	mm		$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0,7}$	= 0,94 -
$\beta(t_0) = 1 / (0{,}1 + t_0^{0,20})$	0,91	-		$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0,2}$	= 0,98 -
$\beta(f_{cm}) = 16{,}8 / \sqrt{(f_{cm})}$	2,73	-		$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0,5}$	= 0,96 -
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \leq 1500$	1044	≤	1500	(voor $f_{cm} \leq 35$)	
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \times \alpha_3 \leq 1500 \times \alpha_3$	1033	≤	1440	(voor $f_{cm} \geq 35$)	
$\beta_c(t,t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3}$	0,99	-			
$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0})$	1,32	(voor $f_{cm} \geq 35$)			
$\varphi_{RH} = [1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0}) \times \alpha_1] \times \alpha_2$	1,28	(voor $f_{cm} \geq 35$)			
$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$	3,18	-	kruipfactor		
$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t,t_0)$	3,16	-	kruipfactor op t		
$\varepsilon_{cc}(\infty,t_0) = \varphi(\infty,t_0) \times (\sigma c / E_c)$	0,000	‰	totale kruipvervorming		
$\varepsilon_{cc}(t,t_0) = \varphi(t,t_0) \times (\sigma_c / E_c)$	0,000	‰	kruipvervorming op t		

Berekening uitdrogingskrimp (conform EC2 Bijlage B.2 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de uitdrogingskrimp)

$\beta_{RH} = 1{,}55 \times [1 - (RH / RH_0)^3]$	0,90	-		f_{cmo}	10 N/mm^2
$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85 [(220 + 110 \times \alpha_{ds1}) \times \exp(-\alpha_{ds2} \times f_{cm} / f_{cmo})] \times 10^{-6} \times \beta_{RH}$	0,319	‰	totale uitdrogingskrimp	a_{ds1}	4 -
$\beta_{ds(t,ts)} = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0{,}04 \times \sqrt[3]{h_0}]$	0,989	-		a_{ds2}	0,12 -
$\varepsilon_{cd(t)} = \beta_{ds(t,ts)} \times k_h \times \varepsilon_{cd,0}$	0,224	‰	uitdrogingskrimp op t	k_h	0,71 -

Berekening autogene krimpverkorting (conform EC2 art. 3.1.4 (6))

$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6}$	0,05	‰	totale autogene krimp	f_{ck}	30 N/mm^2
$\beta_{as(t)} = 1 - \exp(-0{,}2 \times t^{0,5})$	1,00	-			
$\varepsilon_{ca(t)} = \beta_{as(t)} \times \varepsilon_{ca}(\infty)$	0,050	‰	autogene krimp op t		

Kruip- en krimpverkorting

$\varepsilon_{tot}(t=\infty) = \varepsilon_{cc}(\infty,t_0) + \varepsilon_{cd(\infty)} \times k_h + \varepsilon_{ca(\infty)}$	0,276	‰	totale krimp en kruip op $t=\infty$
$\varepsilon_{tot}(t) = \varepsilon_{cc}(t,t_0) + \varepsilon_{cd(t)} + \varepsilon_{ca(t)}$	0,274	‰	totale kruip en krimp op t
$\varepsilon_{tot}(t_\infty - t) = \varepsilon_{tot}(t=\infty) - \varepsilon_{tot}(t)$	0,002	‰	kruip- en krimpverschil tussen $t=\infty$ en t

Figuur 14 - Krimp druklaag op volstortligger t=36.500 dagen

	Element, h.o.h. 1000 mm					Samengesteld profiel, druklaag 120 mm				
Profiel	B	Ab	v	I	Q_{eg}	Ab_s	Hs	v_s	EI_s	Q_{egs}
HKO	mm	mm^2	mm	mm^4	kN/m	mm^2	mm	mm^3	Nmm^2	kN/m
300	354	1,57E+05	110	1,20	3,93	2,63+05	420	204	2,18	10,50
350	376	1,75E+05	133	1,96	4,38	2,94+05	470	229	3,05	11,75
400	397	1,95E+05	157	2,99	4,88	3,25+05	520	254	4,14	13,00
450	419	2,15E+05	182	4,32	5,38	3,55+05	570	279	5,45	14,25
500	441	2,37E+05	209	6,01	5,93	3,83+05	620	304	7,01	15,50
550	462	2,59E+05	236	8,07	6,48	4,11+05	670	329	8,84	16,75
600	484	2,83E+05	265	10,57	7,08	4,37+05	720	354	10,98	18,00
650	505	3,07E+05	294	13,27	7,68	4,62+05	770	379	13,44	19,25
700	527	3,33E+05	324	16,95	8,33	4,86+05	820	404	16,24	20,50

- *Grafiekwaarden gebaseerd op betonkwaliteit elelementen, betonkwaliteit druklaag C30/37*
- *Profiel is tevens profielhoogte H.*
- *v (vs) = Zwaartepuntsafstand (samengesteld) profiel vanaf onderzijde.*
- *Op aanvraag grotere overspanningen mogelijk.*

Figuur 15 - Tabel Haitsma

Vervolgens is de krimp en de relaxatiefactor van de totale doorsnede, dus de volstortligger plus de druklaag, bepaald. Aan de hand van onderstaande formules is de belasting in Kelvin bepaald.

$N = \varepsilon_{prefab} \times EA_{prefab} + \varepsilon_{in\ situ} \times EA_{in\ situ}$

$M = \varepsilon_{prefab} \times EA_{prefab} \times (V_{prefab} - V_{samengesteld}) + \varepsilon_{in\ situ} \times EA_{in\ situ} \times (V_{in\ situ} - V_{samengesteld})$

De belasting die op de volstortliggers worden ingevoerd zijn:

Thermische belasting boven	-10,9 K
Thermische belasting onder	-7,8 K

Doorsnede-eigenschappen samengestelde doorsnede, exclusief kruip

	Breedte	Hoogte	Opper-vlakte	Zwaartepunts-afstand	Traagheids-moment	Relaxatie-factor	E	EA	Aandeel EAsamengesteld	Eleigen	Elsamengesteld	Aandeel Elsamengesteld
	[mm]	[mm]	[mm²]	[mm]	[mm⁴]	[-]	[N/mm²]	[N]	[-]	[Nmm²]	[Nmm²]	[-]
Prefab	1.000	300	157.000	110	1,20E+09	1	35.200	5,53E+09	36%	4,22E+13	1,18E+14	43%
Druklaag	1.000	160	303.000	292	3,48E+09	1	32.800	9,94E+09	64%	1,14E+14	1,56E+14	57%
Samengesteld	1.000	460	460.000	227	8,11E+09	-	Variabel	1,55E+10	100%	2,74E+14	2,74E+14	100%
			1. Zie tabel Haitsma	*1. Zie tabel Haitsma*	*1. Zie tabel Haitsma*							

Doorsnede-eigenschappen samengestelde doorsnede, inclusief kruip

	Breedte	Hoogte	Opper-vlakte	Zwaartepunts-afstand	Traagheids-moment	Relaxatie-factor	E	EA	Aandeel EAsamengesteld	Eleigen	Elsamengesteld	Aandeel Elsamengesteld
	[mm]	[mm]	[mm²]	[mm]	[mm⁴]	[-]	[N/mm²]	[N]	[-]	[Nmm²]	[Nmm²]	[-]
Prefab	1.000	300	157.000	110	1,20E+09	0,54	19.022	2,99E+09	50%	2,28E+13	4,78E+13	45%
Druklaag	1.000	160	303.000	292	3,48E+09	0,30	9.951	3,02E+09	50%	3,46E+13	5,94E+13	55%
Samengesteld	1.000	460	460.000	202	8,11E+09	-	Variabel	6,00E+09	100%	1,07E+14	1,07E+14	100%

Tabel 18 en Tabel 19 – Doorsnede-eigenschappen van samengestelde doorsnede volstortligger

	Excl. Kruip	Incl. kruip	
ϵ_{prefab}	0,208		‰
$\epsilon_{druklaag}$	0,274		‰
Constant deel			
N	3871	1447	kN
$k_{\varphi,N}$	0,374		-
ϵ_N	0,250		‰
Lineair verlopend deel			
M	42,5	18,0	Nmm
$k_{\varphi,M}$	0,422		-
ϵ_M	0,036		‰
Overige gegevens			
$\epsilon_N * k_{\varphi,N}$	-0,094		-
$\epsilon_{M,boven} * k_{\varphi,M}$	-0,015		-
$\epsilon_{M,onder} * k_{\varphi,M}$	0,015		-
Invoer SCIA			
ϵ_{boven}	**-10,9**		K
ϵ_{onder}	**-7,8**		K

Tabel 20 – Krimpbelasting SCIA volstortliggers

Deksloof met druklaag

Bij het berekenen van de krimp in de deksloof zijn onderstaande gegevens gebruikt. Aan de hand van onderstaande berekeningen is de uitdrogingskrimp, de autogene krimp en de totale krimp bepaald.

Uitdrogingskrimp (tussen 28 dagen en t = ∞)	0,218 – 0,012 = 0,206 ‰
Autogene krimp (tussen 28 dagen en t = ∞)	0,050 – 0,033 = 0,017 ‰
Totale krimp (tussen 28 dagen en t = ∞)	0,223 ‰

Alleen krimp en kruip ná storten druklaag zijn van belang. De relaxatiefactor t.g.v. kruip conform EC2-1-1, 5.4(4) wordt daarom gebaseerd op de totale hoogte van prefab en druklaag. De kruipfactor voor het prefab wordt gebaseerd op e ouderdom van het prefab op moment van storten druklaag (28 dagen):

Relaxatiefactor deksloof met druklaag ($k\varphi = [1 - e^{-\varphi}] / \varphi = [1 - e^{-1,63}] / 1,63$)	0,49 -
Relaxatiefactor druklaag op deksloof ($k\varphi = [1 - e^{-\varphi}] / \varphi = [1 - e^{-3,03}] / 3,03$)	0,31 -

Deksloof - tijdstip = 28 dagen

Omtrek deksloof (breedte excl. console x 2 + hoogte onder ligger x 2)	3.420 mm
Oppervlakte prefab-volstortligger	928.000 mm^2
Betondruksterkte	C30/37
Cementklasse	N
Relatieve vochtigheid	75%
Ouderdom bij belasten	28 dagen
Ouderdom aan begin van uitdrogingskrimp	1 dag
Ouderdom op beschouwde tijdstip	28 dagen

Berekening kruip en krimp conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2011

Gegevens

Betonkwaliteit	C30/37	$E_c = 1{,}05 \times E_{cm}$	34478	N/mm^2	
cementklasse	N -	u	3420	mm	(omtrek direct beinvloed door temp)
t_0=	28 dagen	(ouderdom bij belasten)	A_c 928000	mm^2	
t=	28 dagen	(ouderdom op beschouwde tijdstip)	RH 75	%	(relatieve luchvochtigheid)
t_s=	1 dagen	(ouderdom aan het begin van uitdrogingskrimp)			

Berekening Kruip (conform EC2 Bijlage B.1 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de kruipcoëfficiënt)

Lineair kruip verloop — f_{cm} 38 N/mm^2

$h_0 = 2 \times A_c / u$	543	mm	$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0,7}$	= 0,94	-
$\beta(t_0) = 1 / (0{,}1 + t_0^{0,20})$	0,49	-	$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0,2}$	= 0,98	-
$\beta(f_{cm}) = 16{,}8 / \sqrt{(f_{cm})}$	2,73	-	$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0,5}$	= 0,96	-
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \leq 1500$	1186	≤ 1500	(voor $f_{cm} \leq 35$)		
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \times \alpha_3 \leq 1500 \times \alpha_3$	1176	≤ 1440	(voor $f_{cm} \geq 35$)		
$\beta_c(t,t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3}$	0	-			
$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0})$	1,31	(voor $f_{cm} \geq 35$)			
$\varphi_{RH} = [1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0}) \times \alpha_1] \times \alpha_2$	1,27	(voor $f_{cm} \geq 35$)			
$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$	1,69	-	kruipfactor		
$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t,t_0)$	0,00	-	kruipfactor op t		
$\varepsilon_{cc}(\infty,t_0) = \varphi(\infty,t_0) \times (\sigma c / E_c)$	0,000	‰	totale kruipvervorming		
$\varepsilon_{cc}(t,t_0) = \varphi(t,t_0) \times (\sigma_c / E_c)$	0,000	‰	kruipvervorming op t		

Berekening uitdrogingskrimp (conform EC2 Bijlage B.2 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de uitdrogingskrimp)

$\beta_{RH} = 1{,}55 \times [1 - (RH / RH_0)^3]$	0,90	-		f_{cmo} 10	N/mm^2
$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85 [(220 + 110 \times \alpha_{ds1}) \times \exp(-\alpha_{ds2} \times f_{cm} / f_{cmo})] \times 10^{-6} \times \beta_{RH}$	0,319	‰	totale uitdrogingskrimp	a_{ds1} 4	-
$\beta_{ds(t,ts)} = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0{,}04 \times \sqrt{h_0^3}]$	0,051	-		a_{ds2} 0,12	-
$\varepsilon_{cd(t)} = \beta_{ds(t,ts)} \times k_h \times \varepsilon_{cd,0}$	0,011	‰	uitdrogingskrimp op t	k_h 0,70	-

Berekening autogene krimpverkorting (conform EC2 art. 3.1.4 (6))

$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6}$	0,05	‰	totale autogene krimp	f_{ck} 30	N/mm^2
$\beta_{as(t)} = 1 - \exp(-0{,}2 \times t^{0,5})$	0,65	-			
$\varepsilon_{ca(t)} = \beta_{as(t)} \times \varepsilon_{ca}(\infty)$	0,033	‰	autogene krimp op t		

Kruip- en krimpverkorting

$\varepsilon_{tot}(t=\infty) = \varepsilon_{cc}(\infty,t_0) + \varepsilon_{cd(\infty)} \times k_h + \varepsilon_{ca(\infty)}$	0,273	‰	totale krimp en kruip op t=∞
$\varepsilon_{tot}(t) = \varepsilon_{cc}(t,t_0) + \varepsilon_{cd(t)} + \varepsilon_{ca(t)}$	0,044	‰	totale kruip en krimp op t
$\varepsilon_{tot}(t_\infty - t) = \varepsilon_{tot}(t=\infty) - \varepsilon_{tot}(t)$	0,229	‰	kruip- en krimpverschil tussen t=∞ en t

Figuur 16 – Krimp deksloof t=28

Deksloof - tijdstip = 47 dagen

Omtrek deksloof (omtrek t=28 dagen + hoogte brugdek incl. druklaag en oplegging)	3.900 mm
Oppervlakte deksloof incl. druklaag	1.484.800 mm^2
Betondruksterkte	C30/37
Cementklasse	N
Relatieve vochtigheid	75%
Ouderdom bij belasten	28 dagen
Ouderdom aan begin van uitdrogingskrimp	1 dag
Ouderdom op beschouwde tijdstip	47 dagen

Berekening kruip en krimp conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2011

Gegevens

Betonkwaliteit	C30/37	$E_c = 1{,}05 \times E_{cm}$	34478	N/mm^2	
cementklasse	N -	u	3900	mm	(omtrek direct beinvloed door temp)
t_0=	28 dagen	(ouderdom bij belasten)	A_c	1484800	mm^2
t=	47 dagen	(ouderdom op beschouwde tijdstip)	RH	75	% (relatieve luchvochtigheid)
t_s=	1 dagen	(ouderdom aan het begin van uitdrogingskrimp)			

Berekening Kruip (conform EC2 Bijlage B.1 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de kruipcoëfficiënt)

Lineair kruip verloop — f_{cm} 38 N/mm^2

$h_0 = 2 \times A_c / u$	761	mm		$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0,7}$	= 0,94 -
$\beta(t_0) = 1 / (0{,}1 + t_0^{0,20})$	0,49	-		$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0,2}$	= 0,98 -
$\beta(f_{cm}) = 16{,}8 / \sqrt{(f_{cm})}$	2,73	-		$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0,5}$	= 0,96 -
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \leq 1500$	1564	≤	1500	(voor $f_{cm} \leq 35$)	
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \times \alpha_3 \leq 1500 \times \alpha_3$	1554	≤	1440	(voor $f_{cm} \geq 35$)	
$\beta_c(t,t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3}$	0,27	-			
$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0})$	1,27	(voor $f_{cm} \geq 35$)			
$\varphi_{RH} = [1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0}) \times \alpha_1] \times \alpha_2$	1,24	(voor $f_{cm} \geq 35$)			
$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$	1,65	-	kruipfactor		
$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t,t_0)$	0,45	-	kruipfactor op t		
$\varepsilon_{cc}(\infty,t_0) = \varphi(\infty,t_0) \times (\sigma c / E_c)$	0,000	‰	totale kruipvervorming		
$\varepsilon_{cc}(t,t_0) = \varphi(t,t_0) \times (\sigma_c / E_c)$	0,000	‰	kruipvervorming op t		

Berekening uitdrogingskrimp (conform EC2 Bijlage B.2 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de uitdrogingskrimp)

$\beta_{RH} = 1{,}55 \times [1 - (RH / RH_0)^3]$	0,90	-		f_{cmo}	10 N/mm^2
$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85 [(220 + 110 \times \alpha_{ds1}) \times \exp(-\alpha_{ds2} \times f_{cm} / f_{cmo})] \times 10^{-6} \times \beta_{RH}$	0,319	‰	totale uitdrogingskrimp	a_{ds1}	4 -
$\beta_{ds(t,ts)} = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0{,}04 \times \sqrt{h_0^3}]$	0,052	-		a_{ds2}	0,12 -
$\varepsilon_{cd(t)} = \beta_{ds(t,ts)} \times k_h \times \varepsilon_{cd,0}$	0,012	‰	uitdrogingskrimp op t	k_h	0,70 -

Berekening autogene krimpverkorting (conform EC2 art. 3.1.4 (6))

$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6}$	0,05	‰	totale autogene krimp	f_{ck}	30 N/mm^2
$\beta_{as(t)} = 1 - \exp(-0{,}2 \times t^{0,5})$	0,75	-			
$\varepsilon_{ca(t)} = \beta_{as(t)} \times \varepsilon_{ca}(\infty)$	0,037	‰	autogene krimp op t		

Kruip- en krimpverkorting

$\varepsilon_{tot}(t=\infty) = \varepsilon_{cc}(\infty,t_0) + \varepsilon_{cd(\infty)} \times k_h + \varepsilon_{ca(\infty)}$	0,273	‰	totale krimp en kruip op t=∞
$\varepsilon_{tot}(t) = \varepsilon_{cc}(t,t_0) + \varepsilon_{cd(t)} + \varepsilon_{ca(t)}$	0,049	‰	totale kruip en krimp op t
$\varepsilon_{tot}(t_\infty - t) = \varepsilon_{tot}(t=\infty) - \varepsilon_{tot}(t)$	0,224	‰	kruip- en krimpverschil tussen t=∞ en t

Figuur 17 - Krimp deksloof t=47 dagen

Deksloof - tijdstip = 36547 dagen

Omtrek deksloof (omtrek t=28 dagen + hoogte brugdek incl. druklaag en oplegging)	3.900 mm
Oppervlakte deksloof incl. druklaag	1.484.800 mm^2
Betondruksterkte	C30/37
Cementklasse	N
Relatieve vochtigheid	75%
Ouderdom bij belasten	28 dagen
Ouderdom aan begin van uitdrogingskrimp	1 dag
Ouderdom op beschouwde tijdstip (47 dagen + 100 x 365 dagen)	36.547 dagen

Berekening kruip en krimp conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2011										
Gegevens										
Betonkwaliteit	C30/37			$E_c = 1{,}05 \times E_{cm}$		34478	N/mm^2			
cementklasse	N	-		u		3900	mm (omtrek direct beinvloed door temp)			
t_0=	28	dagen (ouderdom bij belasten)		A_c		1484800	mm^2			
t=	36547	dagen (ouderdom op beschouwde tijdstip)		RH		75	% (relatieve luchvochtigheid)			
t_s=	1	dagen (ouderdom aan het begin van uitdrogingskrimp)								
Berekening Kruip (conform EC2 Bijlage B.1 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de kruipcoëfficiënt)										
Lineair kruip verloop								f_{cm}	38	N/mm^2
		$h_0 = 2 \times A_c / u$	761	mm			$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0,7}$	= 0,94	-	
		$\beta(t_0) = 1 / (0{,}1 + t_0^{0,20})$	0,49	-			$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0,2}$	= 0,98	-	
		$\beta(f_{cm}) = 16{,}8 / \sqrt{(f_{cm})}$	2,73	-			$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0,5}$	= 0,96	-	
		$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \leq 1500$	1564	≤	1500	(voor $f_{cm} \leq 35$)				
		$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \times \alpha_3 \leq 1500 \times \alpha_3$	1554	≤	1440	(voor $f_{cm} \geq 35$)				
		$\beta_c(t,t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3}$	0,99	-						
		$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0})$	1,27	(voor $f_{cm} \geq 35$)						
		$\varphi_{RH} = [1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0}) \times \alpha_1] \times \alpha_2$	1,24	(voor $f_{cm} \geq 35$)						
		$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$	1,65	-		kruipfactor				
		$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t,t_0)$	**1,63**	-		kruipfactor op t				
		$\varepsilon_{cc}(\infty,t_0) = \varphi(\infty,t_0) \times (\sigma c / E_c)$	0,000	‰		totale kruipvervorming				
		$\varepsilon_{cc}(t,t_0) = \varphi(t,t_0) \times (\sigma_c / E_c)$	0,000	‰		kruipvervorming op t				
Berekening uitdrogingskrimp (conform EC2 Bijlage B.2 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de uitdrogingskrimp)										
		$\beta_{RH} = 1{,}55 \times [1 - (RH / RH_0)^3]$	0,90	-				f_{cmo}	10	N/mm^2
$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85 [(220 + 110 \times \alpha_{ds1}) \times \exp(-\alpha_{ds2} \times f_{cm} / f_{cmo})] \times 10^{-6} \times \beta_{RH}$			0,319	‰		totale uitdrogingskrimp		a_{ds1}	4	-
		$\beta_{ds(t,ts)} = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0{,}04 \times \sqrt[3]{h_0}]$	0,978	-				a_{ds2}	0,12	-
		$\varepsilon_{cd(t)} = \beta_{ds(t,ts)} \times k_h \times \varepsilon_{cd,0}$	**0,218**	‰		uitdrogingskrimp op t		k_h	0,70	-
Berekening autogene krimpverkorting (conform EC2 art. 3.1.4 (6))										
		$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6}$	0,05	‰		totale autogene krimp		f_{ck}	30	N/mm^2
		$\beta_{as(t)} = 1 - \exp(-0{,}2 \times t^{0,5})$	1,00	-						
		$\varepsilon_{ca(t)} = \beta_{as(t)} \times \varepsilon_{ca}(\infty)$	**0,050**	‰		autogene krimp op t				
Kruip- en krimpverkorting										
		$\varepsilon_{tot}(t=\infty) = \varepsilon_{cc}(\infty,t_0) + \varepsilon_{cd(\infty)} \times k_h + \varepsilon_{ca(\infty)}$	0,273	‰		totale krimp en kruip op t=∞				
		$\varepsilon_{tot}(t) = \varepsilon_{cc}(t,t_0) + \varepsilon_{cd(t)} + \varepsilon_{ca(t)}$	0,268	‰		totale kruip en krimp op t				
		$\varepsilon_{tot}(t_\infty - t) = \varepsilon_{tot}(t=\infty) - \varepsilon_{tot}(t)$	0,005	‰		kruip- en krimpverschil tussen t=∞ en t				

Figuur 18 - Krimp deksloof t=36.547 dagen

Druklaag – tijdstip = 365.000 dagen (einde levensduur)

Omtrek deksloof (omtrek t=28 dagen + hoogte brugdek incl. druklaag en oplegging)	3.900 mm
Oppervlakte deksloof incl. druklaag	1.484.800 mm^2
Betondruksterkte	C30/37
Cementklasse	N
Relatieve vochtigheid	75%
Ouderdom bij belasten	1 dag
Ouderdom aan begin van uitdrogingskrimp	1 dag
Ouderdom op beschouwde tijdstip (47 dagen + 100 x 365 dagen)	36.547 dagen

Berekening kruip en krimp conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2011

Gegevens

Betonkwaliteit	C30/37	$E_c = 1{,}05 \times E_{cm}$	34478	N/mm^2	
cementklasse	N -	u	3900	mm	(omtrek direct beinvloed door temp)
t_0=	1 dagen	(ouderdom bij belasten)	A_c	1484800	mm^2
t=	36547 dagen	(ouderdom op beschouwde tijdstip)	RH	75	% (relatieve luchvochtigheid)
t_s=	1 dagen	(ouderdom aan het begin van uitdrogingskrimp)			

Berekening Kruip (conform EC2 Bijlage B.1 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de kruipcoëfficiënt)

Lineair kruip verloop — f_{cm} 38 N/mm^2

$h_0 = 2 \times A_c / u$	761	mm		$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0,7}$	= 0,94 -
$\beta(t_0) = 1 / (0{,}1 + t_0^{0,20})$	0,91	-		$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0,2}$	= 0,98 -
$\beta(f_{cm}) = 16{,}8 / \sqrt{(f_{cm})}$	2,73	-		$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0,5}$	= 0,96 -
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \le 1500$	1564	≤	1500	(voor $f_{cm} \le 35$)	
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \times \alpha_3 \le 1500 \times \alpha_3$	1554	≤	1440	(voor $f_{cm} \ge 35$)	
$\beta_c(t,t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3}$	0,99	-			
$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0})$	1,27	(voor $f_{cm} \ge 35$)			
$\varphi_{RH} = [1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0}) \times \alpha_1] \times \alpha_2$	1,24	(voor $f_{cm} \ge 35$)			
$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$	3,07	-	kruipfactor		
$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t,t_0)$	3,03	-	kruipfactor op t		
$\varepsilon_{cc}(\infty,t_0) = \varphi(\infty,t_0) \times (\sigma c / E_c)$	0,000	‰	totale kruipvervorming		
$\varepsilon_{cc}(t,t_0) = \varphi(t,t_0) \times (\sigma_c / E_c)$	0,000	‰	kruipvervorming op t		

Berekening uitdrogingskrimp (conform EC2 Bijlage B.2 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de uitdrogingskrimp)

$\beta_{RH} = 1{,}55 \times [1 - (RH / RH_0)^3]$	0,90	-		f_{cmo}	10 N/mm^2
$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85 [(220 + 110 \times \alpha_{ds1}) \times \exp(-\alpha_{ds2} \times f_{cm} / f_{cmo})] \times 10^{-6} \times \beta_{RH}$	0,319	‰	totale uitdrogingskrimp	a_{ds1}	4 -
$\beta_{ds(t,ts)} = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0{,}04 \times \sqrt[3]{h_0}]$	0,978	-		a_{ds2}	0,12 -
$\varepsilon_{cd(t)} = \beta_{ds(t,ts)} \times k_h \times \varepsilon_{cd,0}$	0,218	‰	uitdrogingskrimp op t	k_h	0,70 -

Berekening autogene krimpverkorting (conform EC2 art. 3.1.4 (6))

$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6}$	0,05	‰	totale autogene krimp	f_{ck}	30 N/mm^2
$\beta_{as(t)} = 1 - \exp(-0{,}2 \times t^{0,5})$	1,00	-			
$\varepsilon_{ca(t)} = \beta_{as(t)} \times \varepsilon_{ca}(\infty)$	0,050	‰	autogene krimp op t		

Kruip- en krimpverkorting

$\varepsilon_{tot}(t=\infty) = \varepsilon_{cc}(\infty,t_0) + \varepsilon_{cd(\infty)} \times k_h + \varepsilon_{ca(\infty)}$	0,273	‰	totale krimp en kruip op t=∞
$\varepsilon_{tot}(t) = \varepsilon_{cc}(t,t_0) + \varepsilon_{cd(t)} + \varepsilon_{ca(t)}$	0,268	‰	totale kruip en krimp op t
$\varepsilon_{tot}(t_\infty - t) = \varepsilon_{tot}(t=\infty) - \varepsilon_{tot}(t)$	0,005	‰	kruip- en krimpverschil tussen t=∞ en t

Figuur 19 - Krimp druklaag op dekvloof t=36.547 dagen

Vervolgens is de krimp en de relaxatiefactor van de totale doorsnede, dus de volstortligger plus de druklaag, bepaald. Aan de hand van onderstaande formules is de belasting in Kelvin bepaald.

$N = \varepsilon_{prefab} \times EA_{prefab} + \varepsilon_{in\ situ} \times EA_{in\ situ}$

$M = \varepsilon_{prefab} \times EA_{prefab} \times (V_{prefab} - V_{samengesteld}) + \varepsilon_{in\ situ} \times EA_{in\ situ} \times (V_{in\ situ} - V_{samengesteld})$

De belasting die op de volstortliggers worden ingevoerd zijn:

Thermische belasting boven	-11,3 K
Thermische belasting onder	-9,3 K

Doorsnede-eigenschappen samengestelde doorsnede, exclusief kruip

	Breedte	Hoogte	Opper-vlakte	Zwaartepunts-afstand	Traagheids-moment	Relaxatie-factor	E	EA	Aandeel EAsamengesteld	Eleigen	Elsamengesteld	Aandeel Elsamengesteld
	[mm]	[mm]	[mm²]	[mm]	[mm⁴]	[-]	[N/mm²]	[N]	[-]	[Nmm²]	[Nmm²]	[-]
Stort 1	1.400	900	1.260.000	450	8,51E+10	1	32.800	4,13E+10	70%	2,79E+15	4,51E+15	50%
Stort 2	1.100	480	528.000	1.140	1,01E+10	1	32.800	1,73E+10	30%	3,33E+14	4,43E+15	50%
Samengesteld	1.400	1.380	1.788.000	654	2,72E+11	-	Variabel	5,86E+10	100%	8,93E+15	8,93E+15	100%

Doorsnede-eigenschappen samengestelde doorsnede, inclusief kruip

	Breedte	Hoogte	Opper-vlakte	Zwaartepunts-afstand	Traagheids-moment	Relaxatie-factor	E	EA	Aandeel EAsamengesteld	Eleigen	Elsamengesteld	Aandeel Elsamengesteld
	[mm]	[mm]	[mm²]	[mm]	[mm⁴]	[-]	[N/mm²]	[N]	[-]	[Nmm²]	[Nmm²]	[-]
Stort 1	1.400	900	1.260.000	450	8,51E+10	0,49	16.102	2,03E+10	79%	1,37E+15	1,80E+15	51%
Stort 2	1.100	480	528.000	1.140	1,01E+10	0,31	10.222	5,40E+09	21%	1,04E+14	1,71E+15	49%
Samengesteld	1.400	1.380	1.788.000	595	9,52E+10	-	Variabel	2,57E+10	100%	3,50E+15	3,50E+15	100%

Tabel 21 en Tabel 22 – Doorsnede-eigenschappen van samengestelde doorsnede deksloof

	Excl. Kruip	Incl. kruip	
ε_{prefab}	0,224		‰
$\varepsilon_{druklaag}$	0,268		‰
Constant deel			
N	13.891	6.022	kN
$k_{\varphi,N}$	0,433		-
ε_N	0,237		‰
Lineair verlopend deel			
M	372,4	131,0	Nmm
$k_{\varphi,M}$	0,352		-
ε_M	0,029		‰
Overige gegevens			
$\varepsilon_N * k_{\varphi,N}$	-0,103		-
$\varepsilon_{M,boven} * k_{\varphi,M}$	-0,010		-
$\varepsilon_{M,onder} * k_{\varphi,M}$	0,010		-
Invoer SCIA			
ε_{boven}	**-11,3**		K
ε_{onder}	**-9,3**		K

Tabel 23 - Krimpbelasting SCIA deksloof

Deksloof met druklaag

Bij het berekenen van de krimp in de randligger zijn onderstaande gegevens gebruikt. Aan de hand van onderstaande berekeningen is de uitdrogingskrimp, de autogene krimp en de totale krimp bepaald.

Totale krimp (tussen 28 dagen en t = ∞)	0,290 ‰

Alleen krimp en kruip ná storten druklaag zijn van belang. De kruipfactor wordt daarom gebaseerd op de ouderdom van het prefab op moment van storten druklaag (28 dagen).

Relaxatiefactor randligger ($k\varphi = [1 - e^{-\varphi}] / \varphi = [1 - e^{-1,43}] / 1,43$)	0,53 –

De thermische belasting die in SCIA wordt ingevoerd is:

Thermische belasting constant ([totale krimp x 100] x relaxatiefactor)	-15,4 K

Randligger – tijdstip = 28 dagen

Omtrek randligger	2.660 mm
Oppervlakte deksloof incl. druklaag	437.989 mm^2
Betondruksterkte	C40/50
Cementklasse	R
Relatieve vochtigheid	75%
Ouderdom bij belasten	28 dagen
Ouderdom aan begin van uitdrogingskrimp	1 dag
Ouderdom op beschouwde tijdstip (47 dagen + 100 x 365 dagen)	28 dagen

Berekening kruip en krimp conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2011

Gegevens

Betonkwaliteit	C40/50	$E_c = 1{,}05 \times E_{cm}$	36981	N/mm^2	
cementklasse	R -	u	2660	mm	(omtrek direct beinvloed door temp)
t_0=	28 dagen	(ouderdom bij belasten) A_c	437989	mm^2	
t=	28 dagen	(ouderdom op beschouwde tijdstip) RH	75	%	(relatieve luchvochtigheid)
t_s=	1 dagen	(ouderdom aan het begin van uitdrogingskrimp)			

Berekening Kruip (conform EC2 Bijlage B.1 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de kruipcoëfficiënt)

Lineair kruip verloop f_{cm} = 48 N/mm^2

$h_0 = 2 \times A_c / u$	329	mm		$\alpha_1 = [35 / f_{cm}]^{0,7}$	= 0,80 -
$\beta(t_0) = 1 / (0{,}1 + t_0^{0,20})$	0,49	-		$\alpha_2 = [35 / f_{cm}]^{0,2}$	= 0,94 -
$\beta(f_{cm}) = 16{,}8 / \sqrt{(f_{cm})}$	2,42	-		$\alpha_3 = [35 / f_{cm}]^{0,5}$	= 0,85 -
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \le 1500$	818	≤	1500	(voor $f_{cm} \le 35$)	
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \times \alpha_3 \le 1500 \times \alpha_3$	782	≤	1281	(voor $f_{cm} \ge 35$)	
$\beta_c(t,t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3}$	0	-			
$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0})$	1,36	(voor $f_{cm} \ge 35$)			
$\varphi_{RH} = [1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0}) \times \alpha_1] \times \alpha_2$	1,21	(voor $f_{cm} \ge 35$)			
$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$	1,43	-	kruipfactor		
$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t,t_0)$	0,000	-	kruipfactor op t		
$\varepsilon_{cc}(\infty,t_0) = \varphi(\infty,t_0) \times (\sigma c / E_c)$	0,000	‰	totale kruipvervorming		
$\varepsilon_{cc}(t,t_0) = \varphi(t,t_0) \times (\sigma_c / E_c)$	0,000	‰	kruipvervorming op t		

Berekening uitdrogingskrimp (conform EC2 Bijlage B.2 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de uitdrogingskrimp)

$\beta_{RH} = 1{,}55 \times [1 - (RH / RH_0)^3]$	0,90	-		f_{cmo}	10 N/mm^2
$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85 [(220 + 110 \times \alpha_{ds1}) \times \exp(-\alpha_{ds2} \times f_{cm} / f_{cmo})] \times 10^{-6} \times \beta_{RH}$	0,395	‰	totale uitdrogingskrimp	a_{ds1}	6 -
$\beta_{ds(t,ts)} = (t - t_s) / [(t - t_s) + 0{,}04 \times \sqrt[3]{h_0^3}]$	0,101	-		a_{ds2}	0,11 -
$\varepsilon_{cd(t)} = \beta_{ds(t,ts)} \times k_h \times \varepsilon_{cd,0}$	0,030	‰	uitdrogingskrimp op t	k_h	0,74 -

Berekening autogene krimpverkorting (conform EC2 art. 3.1.4 (6))

$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2{,}5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6}$	0,08	‰	totale autogene krimp	f_{ck}	40 N/mm^2
$\beta_{as(t)} = 1 - \exp(-0{,}2 \times t^{0,5})$	0,65	-			
$\varepsilon_{ca(t)} = \beta_{as(t)} \times \varepsilon_{ca}(\infty)$	0,049	‰	autogene krimp op t		

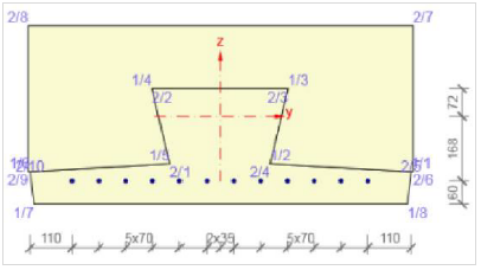
Kruip- en krimpverkorting

$\varepsilon_{tot}(t=\infty) = \varepsilon_{cc}(\infty,t_0) + \varepsilon_{cd(\infty)} \times k_h + \varepsilon_{ca(\infty)}$	0,369	‰	totale krimp en kruip op $t=\infty$
$\varepsilon_{tot}(t) = \varepsilon_{cc}(t,t_0) + \varepsilon_{cd(t)} + \varepsilon_{ca(t)}$	0,079	‰	totale kruip en krimp op t
$\varepsilon_{tot}(t_\infty\text{-}t) = \varepsilon_{tot}(t=\infty) - \varepsilon_{tot}(t)$	0,290	‰	kruip- en krimpverschil tussen $t=\infty$ en t

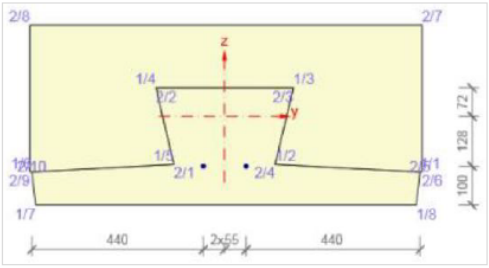
Figuur 20 - Krimp randligger t=28 dagen

4.1.8 LC6 KIST-EFFECT - VOORSPANNING

De grootte van de krachten ten gevolge van de voorspanning zijn gebaseerd op de toegepaste voorspanning bij kunstwerk 01 bij de Groene Boog in Rotterdam. Bij deze onderdoorgang met vergelijkbare afmetingen zijn de volgende voorspanningen toegepast. De gebruikte waarden zijn afkomstig van Romein Beton. Het aangrijppunt van de belasting ligt op de helft van de overdrachtslengte.



Figuur 21 – Spanelement 060



Figuur 22 – Spanelement 100

Hoogte spanelement 1	60 mm
Aantal strengen spanelement 1	12 stuks
Oppervlakte voorspanstreng 1	100 mm²
Hoogte spanelement 2	100 mm
Aantal strengen spanelement 2	2 stuks
Oppervlakte voorspanstreng 2	100 mm²
Overdrachtslengte	850 mm
Dekhoogte incl. druklaag	460 mm
Lange termijnverliezen spanelement 1 bij overdrachtslengte (Romein Beton)	1.140 MPa
Lange termijnverliezen spanelement 1 maximaal (Romein Beton)	1.175 MPa
Lange termijnverliezen spanelement 2 bij overdrachtslengte (Romein Beton)	1.161 MPa
Lange termijnverliezen spanelement 2 maximaal (Romein Beton)	1.180 MPa
Lijnlast (12 x [1.140 + 1.175 / 2] / 10) + (2 x [1.161 + 1.180 / 2] / 10)	1.622,80 kN/m
Lijnmoment {(12 x [1.140 + 1.175 / 2] / 10) x 460 / 2 – 60} + {(2 x [1.161 + 1.180 / 2] / 10) x 460 / 2 – 60}	266,50 kNm/m

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC6	Voorspanning	Lijnlast	1.622,8 kN/m²	Op helft overdrachtslengte vanaf uiteinde dek
		Lijnmoment	266,5 kN/m²	Op helft overdrachtslengte vanaf uiteinde dek

Tabel 24 - Belasting LC6

4.2 VARIABELE BELASTINGEN DOOR WEGVERKEER

4.2.1 LM1 – UDL OP BRUGDEK

Bij het ontwerp is belastingmodel 1 (LM1) toegepast op basis van artikel 4.3 uit EC1-2. Dit houdt in dat er een gelijkmatig verdeelde belasting (UDL) en een belasting ten gevolge van de wielprenten van het tandemstelsel (TS) is.

De maximale rijstrookbreedte die aangehouden moet worden volgens de EC1-7 is 3,0 m. Dit houdt in dat het wegdek voor SCIA opnieuw ingedeeld moet worden, omdat in de werkelijke situatie de rijstroken 3,5 m breed zijn.

De grootte van de belasting is gebaseerd op tabel 4.2 uit EC1-2. Deze waarden worden vermenigvuldigd met een correctiefactor. De belasting op de eerste rijstrook wordt vermenigvuldigd met α_{q1}, de belasting op de overige rijstroken worden vermenigvuldigd met $\alpha_{q>1}$ en de belasting op de overige delen van het brugdek worden vermenigvuldigd met α_{Q1}. De waarden van de correctiefactoren zijn bepaald aan de hand van tabel NB.1 uit EC-1.2 NB.

Positie	Tandemstelsel (TS)	Gelijkmatig verdeelde last (UDL)
[-]	[kN]	[kN/m²]
Rijstrook 1	300	9,0
Rijstrook 2	200	2,5
Rijstrook 3	100	2,5
Overige stroken		2,5
Resterend oppervlakte		2,5

Tabel 25 - Belastingen TS en UDL volgens EC1-2

Aantal vrachtwagens per jaar	α_{Q1} en α_{q1}				α_{qr}
	Lengte van de overspanning of invloedslengte				
	20 m	50 m	100 m	> 200 m	
>2.000.000	1,00	1,00	1,00	1,00	
200.000	0,97	0,97	0,95	0,95	0,90
20.000	0,95	0,94	0,89	0,88	0,80
2.000	0,91	0,91	0,82	0,81	0,70
200	0,88	0,87	0,75	0,74	0,60
In aanvulling op deze tabel moeten voor de correctiefactor α_{qi} de volgende waarden zijn aangehouden: ○ Bij doelgroep rijstroken voor vrachtverkeer geldt α_{qi} = 1,15. De doelgroep rijstrook voor vrachtverkeer is gelijk aan rijstrook nummer 1. ○ Bij een rijweg met drie of meer theoretische rijstroken en meer dan 2.000.000 vrachtwagens per jaar geldt α_{q1} = 1,15 en voor i>1 geldt α_{qi} = 1,40.					

Tabel 26 – Correctiefactoren volgens EC-1.2 NB

Correctiefactor eerste rijstrook	1,40 -
Correctiefactor overige rijstroken	1,15 -
Correctiefactor overig brugdek	1,00 -
UDL rijstrook 1 (9,0 x 1,40)	10,35 kN/m²
UDL overige rijstroken (2,5 x 1,15)	3,50 kN/m²
UDL overig oppervlakte brugdek (2,5 x 1,00)	2,50 kN/m²

De berekende belastingen worden ingevoerd in belastinggeval LC10 en LC11. Bij LC10 is de rijstrook aan de rand belast met de grootste belasting. Bij LC11 is de middelste rijstrook belast met de grootste belasting.

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC10	UDL rand	Oppervlakte	10,35 kN/m²	Rijstrook 1 vanaf rand
		Oppervlakte	3,50 kN/m²	Overige rijstroken
		Oppervlakte	2,50 kN/m²	Overig oppervlakte brugdek
LC11	UDL midden	Oppervlakte	10,35 kN/m²	Rijstrook 1 in het midden
		Oppervlakte	3,50 kN/m²	Overige rijstroken
			2,50 kN/m²	Overig oppervlakte brugdek

Tabel 27 - Belastingen LC10 en LC11

4.2.2 LM1 – UDL OP STOOTPLATEN

Ook wordt de UDL op stootplaten meegenomen. Aangenomen mag worden dat de stootplaat de krachten verdeelt als een ligger op twee steunpunten. Deze belasting wordt aan beide uiteinden van het brugdek geplaatst in afzonderlijke belastinggevallen. Ook wordt de hoogste belasting aan de rand en in het midden van het brugdek gezet.

UDL rijstrook 1	10,35 kN/m²
UDL overige rijstroken	3,50 kN/m²
UDL overig oppervlakte brugdek	2,50 kN/m²
Lengte stootplaat	5,00 m
Breedte console	300 mm
Lijnlast rijstrook 1 (UDL rijstrook 1 x ½ lengte stootplaat)	25,88 kN/m
Lijnmoment rijstrook 1 (lijnlast rijstrook 1 x ½ breedte console)	3,88 kNm/m
Lijnlast overige rijstroken (UDL overige rijstroken x ½ lengte stootplaat)	8,75 kN/m
Lijnmoment overige rijstroken (lijnlast overige rijstroken x ½ breedte console)	1,31 kNm/m
Lijnlast overige oppervlakte (UDL overige oppervlakte x ½ lengte stootplaat)	6,25 kN/m
Lijnmoment overige oppervlakte (lijnlast overige oppervlakte x ½ breedte console)	0,94 kNm/m

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC12 en LC13	UDL op stootplaat rand	Lijnlast	25,88 kN/m²	Rijstrook 1 vanaf rand
		Lijnmoment	3,88 kNm/m	Rijstrook 1 vanaf rand
		Lijnlast	8,75 kN/m²	Overige rijstroken
		Lijnmoment	1,31 kNm/m	Overige rijstroken
		Lijnlast	6,25 kN/m²	Overig oppervlakte brugdek
		Lijnmoment	0,94 kNm/m	Overig oppervlakte brugdek
LC14 en LC15	UDL op stootplaat midden	Lijnlast	25,88 kN/m²	Middelste rijstrook
		Lijnmoment	3,88 kNm/m	Middelste rijstrook
		Lijnlast	8,75 kN/m²	Overige rijstroken
		Lijnmoment	1,31 kNm/m	Overige rijstroken
		Lijnlast	6,25 kN/m²	Overig oppervlakte brugdek
		Lijnmoment	0,94 kNm/m	Overig oppervlakte brugdek

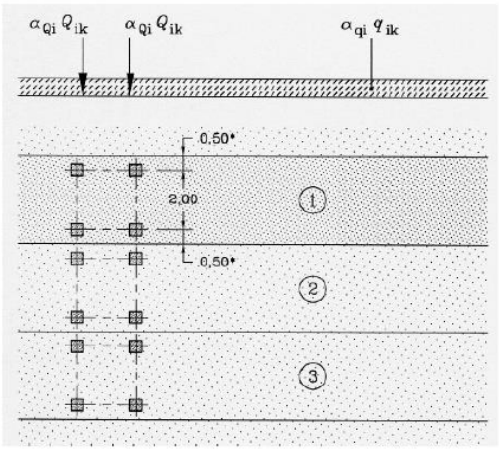
Tabel 28 - Belastingen LC12 t/m LC15

4.2.3 LM1 – TS OP BRUGDEK

Rijstrook 1

De belasting van het tandemstelsel is weergegeven in figuur 23. Deze belasting is voor de hele as, dus per wielprent is de belasting de helft. De wielprent ongecorrigeerd is 400 bij 400 mm. De wielprent wordt met 45° gespreid door het asfalt en de helft van het betonnen brugdek. Het hart van de wielprenten is in de lengte 1,2 m en in de breedte 2,0 m.

Belastinggeval LC16 en LC25 bestaan beide uit twintig belastinggevallen. Het tandemstelsel wordt namelijk op iedere halve meter van het brugdek gezet.



Verklaring

(1) rijstrook nummer 1 : Q_{1k} = 300 kN ; q_{1k} = 9 kN/m^2
(2) rijstrook nummer 2 : Q_{2k} = 200 kN ; q_{2k} = 2,5 kN/m^2
(3) rijstrook nummer 3 : Q_{3k} = 100 kN ; q_{3k} = 2,5 kN/m^2; tussenafstand assen in tandemstelsel = 1,2 m
* Voor w_l = 3,00 m

Figuur 23 - Afstanden TS op brugdek

Wielprenten op brugdek

Bij belastinggeval LC16.4 tot en met LC16.17 en LC25.4 tot en met LC25.17 staan de wielprenten volledig op het brugdek en daarom kunnen de hieronder benoemde belastingen worden ingevoerd met een wielprent van 1,0 bij 1,0 m.

Hoogte brugdek	460 mm
Voegen tussen volstortliggers	85 mm
Dikte asfalt	120 mm
Lengte en breedte gespreide last (400 + [hoogte brugdek – voegen] + 2 x asfaltdikte)	1.015 mm
In het ontwerp wordt de spreiding afgerond naar 1.000 bij 1.000 mm.	
Oppervlaktebelasting rijstrook 1 (150 / [1,0 x 1,0])	150,00 kN/m²
Oppervlaktebelasting rijstrook 2 (100 / [1,0 x 1,0])	100,00 kN/m²
Oppervlaktebelasting rijstrook 3 (50 / [1,0 x 1,0])	50,00 kN/m²

Wielprenten op brugdek én stootplaten

Bij de overige belastinggevallen in LC16 en LC25 staat een aslast (gedeeltelijk) op de stootplaat. Hierdoor is de spreiding van de kracht anders. Ook wordt de belasting omgerekend naar een lijnlast en -moment, omdat de stootplaten niet zijn gemodelleerd in SCIA.

Voor belastinggevallen LC16.3, LC16.18, LC25.3 en LC25.18 staat de achterste aslast voor tweederde deel op het brugdek. Naast deze belasting wordt voor de andere aslast de eerder berekende belasting ingevoerd.

Oppervlaktebelasting achterste aslast (150 x 2/3)	250,00 kN/m²
Oppervlaktebelasting rijstrook 1 (150 / [1,0 x 1,0])	150,00 kN/m²

Voor belastinggevallen LC16.2, LC16.19, LC25.2 en LC25.19 staan twee wielprenten op het uiteinde van de stootplaten. Het hart van de andere twee wielprenten ligt op 1,0 m vanaf de rand van de deksloof. De belasting kan zich wel in de lengte spreiden, maar niet in de breedte, omdat daar voegen zitten. De breedte van de belasting wordt daarom opnieuw bepaald. Op een stootplaat wordt enkel gespreid tot de onderkant van het asfalt in verband met de voegen tussen de stootplaten. Naast deze belasting wordt voor de andere aslast de eerder berekende belasting ingevoerd.

Dikte asfalt	120 mm
Breedte wielprent op stootplaat (400 + 2 x 120)	640 mm
Breedte console	300 mm
Lijnlast rijstrook 1 (150 / 0,64)	234,38 kN/m
Lijnmoment rijstrook 1 (lijnlast rijstrook 1 x ½ breedte console)	35,16 kNm/m
Oppervlaktebelasting rijstrook 1 (150 / [1,0 x 1,0])	150,00 kN/m²

Voor belastinggevallen LC16.1, LC16.20, LC25.1 en LC25.20 staan de wielprenten op de stootplaat op 1,0 m vanaf het uiteinde van de stootplaten. De wielprenten die op het brugdek staan, staan tegen de rand van de deksloof. Ook hier kan de belasting zich niet helemaal spreiden. Naast deze belasting wordt voor de andere aslast de eerder berekende belasting ingevoerd.

Breedte wielprent op stootplaat	400 mm
Afstand tot einde stootplaat	1,0 m
Lengte stootplaat	5,0 m
Breedte console	300 mm
Lijnlast rijstrook 1 (150 x {[lengte – afstand tot einde stootplaat] / lengte} / 0,64)	187,50 kN/m
Lijnmoment rijstrook 1 (lijnlast rijstrook 1 x ½ breedte console)	28,13 kNm/m
Oppervlaktebelasting rijstrook 1 (150 / [1,0 x 0,4])	375,00 kN/m²

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC16.1, LC16.20, LC25.1 en LC25.20	TS deels op stootplaat	Oppervlakte	375,00 kN/m²	Tegen rand deksloof (1,0 x 0,4 m)
		Lijnlast	187,50 kN/m²	Over 0,64 m
		Lijnmoment	28,13 kN/m²	Over 0,64 m
LC16.2, LC16.19, LC25.2 en LC25.19	TS deels op stootplaat	Oppervlakte	150,00 kN/m²	1,0 m vanaf rand deksloof (1,0 x 0,4 m)
		Lijnlast	234,38 kN/m²	Over 0,64 m
		Lijnmoment	35,16 kN/m²	Over 0,64 m
LC16.3, LC16.18, LC25.3 en LC25.18	TS deels op stootplaat	Oppervlakte	250,00 kN/m²	1,0 x 0,6 m
		Oppervlakte	150,00 kN/m²	1,0 x 1,0 m
LC16.4 t/m LC16.17 LC25.4 t/m LC25.17	TS op brugdek	Oppervlakte	150,00 kN/m²	1,0 x 1,0 m

Tabel 29 - Belastingen LC16 en LC25

Rijstrook 2

Voor meer uitleg bij deze belastingen wordt verwezen naar paragraaf 4.2.2. Belastinggeval LC17 en LC26 bestaan beide uit twintig belastinggevallen.

Wielprenten op brugdek

Bij belastinggeval LC17.4 tot en met LC17.17 en LC26.4 tot en met LC26.17 staan de wielprenten volledig op het brugdek en daarom kunnen de hieronder benoemde belastingen worden ingevoerd voor vier wielprent van 1,0 bij 1,0 m.

Oppervlaktebelasting rijstrook 2 (100 / [1,0 x 1,0])	100,00 kN/m²

Wielprenten op brugdek én stootplaten

Bij de overige belastinggevallen in LC17 en LC26 staat een aslast (gedeeltelijk) op de stootplaat. Hierdoor is de spreiding van de kracht anders. Ook wordt de belasting omgerekend naar een lijnlast en -moment, omdat de stootplaten niet zijn gemodelleerd in SCIA.

Voor belastinggevallen LC17.3, LC17.18, LC26.3 en LC26.18 staat de achterste aslast voor tweederde deel op het brugdek. Naast deze belasting wordt voor de andere aslast de eerder berekende belasting ingevoerd.

Oppervlaktebelasting achterste aslast (150 x 2/3)	166,67 kN/m²
Oppervlaktebelasting rijstrook 2 (150 / [1,0 x 1,0])	100,00 kN/m²

Voor belastinggevallen LC17.2, LC17.19, LC26.2 en LC26.19 staan twee wielprenten op het uiteinde van de stootplaten. Het hart van de andere twee wielprenten ligt op 1,0 m vanaf de rand van de deksloof. Naast deze belasting wordt voor de andere aslast de eerder berekende belasting ingevoerd.

Dikte asfalt	120 mm
Breedte wielprent op stootplaat (400 + 2 x 120)	640 mm
Breedte console	300 mm
Lijnlast rijstrook 2 (150 / 0,64)	156,25 kN/m
Lijnmoment rijstrook 2 (lijnlast rijstrook 2 x ½ breedte console)	23,44 kNm/m
Oppervlaktebelasting rijstrook 2 (150 / [1,0 x 1,0])	100,00 kN/m²

Voor belastinggevallen LC17.1, LC17.20, LC26.1 en LC26.20 staan de wielprenten op de stootplaat op 1,0 m vanaf het uiteinde van de stootplaten. De wielprenten die op het brugdek staan, staan tegen de rand van de deksloof. Ook hier kan de belasting zich niet helemaal spreiden. Naast deze belasting wordt voor de andere aslast de eerder berekende belasting ingevoerd.

Breedte wielprent op stootplaat (400 + 2 x 120)	640 mm
Afstand tot einde stootplaat	1,0 m
Lengte stootplaat	5,0 m
Breedte console	300 mm
Lijnlast rijstrook 2 (150 x {[lengte – afstand tot einde stootplaat] / lengte} / 0,64)	125,00 kN/m
Lijnmoment rijstrook 2 (lijnlast rijstrook 2 x ½ breedte console)	18,75 kNm/m
Oppervlaktebelasting rijstrook 2 (150 / [1,0 x 0,4])	250,00 kN/m²

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC17.1, LC17.20, LC26.1 en LC26.20	TS deels op stootplaat	Oppervlakte	250,00 kN/m²	Tegen rand deksloof (1,0 x 0,4 m)
		Lijnlast	125,00 kN/m²	Over 0,64 m
		Lijnmoment	18,75 kN/m²	Over 0,64 m
LC17.2, LC17.19, LC26.2 en LC26.19	TS deels op stootplaat	Oppervlakte	100,00 kN/m²	1,0 m vanaf rand deksloof (1,0 x 0,4 m)
		Lijnlast	156,25 kN/m²	Over 0,64 m
		Lijnmoment	23,44 kN/m²	Over 0,64 m
LC17.3, LC17.18, LC26.3 en LC26.18	TS deels op stootplaat	Oppervlakte	166,67 kN/m²	1,0 x 0,6 m
		Oppervlakte	100,00 kN/m²	1,0 x 1,0 m
LC17.4 t/m LC17.17 LC26.4 t/m LC26.17	TS op brugdek	Oppervlakte	100,00 kN/m²	1,0 x 1,0 m

Tabel 30 - Belastingen LC17 en LC26

Rijstrook 3

Voor meer uitleg bij deze belastingen wordt verwezen naar paragraaf4.2.2. Belastinggeval LC18 en LC27 bestaan beide uit twintig belastinggevallen.

Wielprenten op brugdek

Bij belastinggeval LC18.4 tot en met LC18.17 en LC27.4 tot en met LC27.17 staan de wielprenten volledig op het brugdek en daarom kunnen de hieronder benoemde belastingen worden ingevoerd voor vier wielprent van 1,0 bij 1,0 m.

Oppervlaktebelasting rijstrook 3 (100 / [1,0 x 1,0])	50,00 kN/m²

Wielprenten op brugdek én stootplaten

Bij de overige belastinggevallen in LC18 en LC27 staat een aslast (gedeeltelijk) op de stootplaat. Hierdoor is de spreiding van de kracht anders. Ook wordt de belasting omgerekend naar een lijnlast en -moment, omdat de stootplaten niet zijn gemodelleerd in SCIA.

Voor belastinggevallen LC18.3, LC18.18, LC27.3 en LC27.18 staat de achterste aslast voor tweederde deel op het brugdek. Naast deze belasting wordt voor de andere aslast de eerder berekende belasting ingevoerd.

Oppervlaktebelasting achterste aslast (150 x 2/3)	83,33 kN/m²
Oppervlaktebelasting rijstrook 3 (150 / [1,0 x 1,0])	50,00 kN/m²

Voor belastinggevallen LC18.2, LC18.19, LC27.2 en LC27.19 staan twee wielprenten op het uiteinde van de stootplaten. Het hart van de andere twee wielprenten ligt op 1,0 m vanaf de rand van de deksloof. Naast deze belasting wordt voor de andere aslast de eerder berekende belasting ingevoerd.

Dikte asfalt	120 mm
Breedte wielprent op stootplaat (400 + 2 x 120)	640 mm
Breedte console	300 mm
Lijnlast rijstrook 3 (150 / 0,64)	78,13 kN/m
Lijnmoment rijstrook 3 (lijnlast rijstrook 3 x ½ breedte console)	11,72 kNm/m
Oppervlaktebelasting rijstrook 3 (150 / [1,0 x 1,0])	50,00 kN/m²

Voor belastinggevallen LC18.1, LC18.20, LC27.1 en LC27.20 staan de wielprenten op de stootplaat op 1,0 m vanaf het uiteinde van de stootplaten. De wielprenten die op het brugdek staan, staan tegen

de rand van de deksloof. Ook hier kan de belasting zich niet helemaal spreiden. Naast deze belasting wordt voor de andere aslast de eerder berekende belasting ingevoerd.

Breedte wielprent op stootplaat (400 + 2 x 120)	640 mm
Afstand tot einde stootplaat	1,0 m
Lengte stootplaat	5,0 m
Breedte console	300 mm
Lijnlast rijstrook 3 (150 x {[lengte – afstand tot einde stootplaat] / lengte} / 0,64)	62,50 kN/m
Lijnmoment rijstrook 3 (lijnlast rijstrook 3 x ½ breedte console)	9,38 kNm/m
Oppervlaktebelasting rijstrook 3 (150 / [1,0 x 0,4])	125,00 kN/m²

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC18.1, LC18.20, LC27.1 en LC27.20	TS deels op stootplaat	Oppervlakte	125,00 kN/m²	Tegen rand deksloof (1,0 x 0,4 m)
		Lijnlast	62,50 kN/m²	Over 0,64 m
		Lijnmoment	9,38 kN/m²	Over 0,64 m
LC18.2, LC18.19, LC27.2 en LC27.19	TS deels op stootplaat	Oppervlakte	50,00 kN/m²	1,0 m vanaf rand deksloof (1,0 x 0,4 m)
		Lijnlast	78,13 kN/m²	Over 0,64 m
		Lijnmoment	11,72 kN/m²	Over 0,64 m
LC18.3, LC18.18, LC27.3 en LC27.18	TS deels op stootplaat	Oppervlakte	83,33 kN/m²	1,0 x 0,6 m
		Oppervlakte	50,00 kN/m²	1,0 x 1,0 m
LC18.4 t/m LC18.17 en LC27.4 t/m LC27.17	TS op brugdek	Oppervlakte	50,00 kN/m²	1,0 x 1,0 m

Tabel 31 - Belastingen LC18 en LC27

4.2.4 LM1 – TS OP STOOTPLAAT

Indien de tandemstelsels volledig op de stootplaten staan, levert dat de volgende lijnlasten en lijnmomenten.

Tandemlast rijstrook 1	300,00 kN
Tandemlast rijstrook 2	200,00 kN
Tandemlast rijstrook 3	100,00 kN
Lengte stootplaat	5,00 m
Afstand tussen wielprenten	1,20 m
Rijstrookbreedte in SCIA	3,00 m
Breedte console	300 mm
Lijnlast rijstrook 1	176,00 kN/m
(tandemlast x [1 + {lengte stootplaat – afstand} / lengte stootplaat] / rijstrookbreedte)	
Lijnmoment rijstrook 1 (lijnlast x ½ breedte console)	26,40 kNm/m
Lijnlast rijstrook 2	117,33 kN/m
(tandemlast x [1 + {lengte stootplaat – afstand} / lengte stootplaat] / rijstrookbreedte)	
Lijnmoment rijstrook 2 (lijnlast x ½ breedte console)	17,60 kNm/m
Lijnlast rijstrook 3	58,67 kN/m
(tandemlast x [1 + {lengte stootplaat – afstand} / lengte stootplaat] / rijstrookbreedte)	
Lijnmoment rijstrook 3 (lijnlast x ½ breedte console)	8,80 kNm/m

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC19, LC22, LC28 en LC31	TS volledig op stootplaat	Lijnlast	176,00 kN/m	Rijstrook 1, op rand deksloof
		Lijnmoment	26,40 kNm/m	Rijstrook 1, op rand deksloof
LC20, LC23, LC29 en LC32	TS volledig op stootplaat	Lijnlast	117,33 kN/m	Rijstrook 2, op rand deksloof
		Lijnmoment	17,60 kNm/m	Rijstrook 2, op rand deksloof
LC21, LC24, LC30 en LC33	TS volledig op stootplaat	Lijnlast	58,67 kN/m	Rijstrook 3, op rand deksloof
		Lijnmoment	8,80 kNm/m	Rijstrook 3, op rand deksloof

Tabel 32 - Belastingen LC19 t/m LC24 en LC28 t/m LC33

4.2.5 REM- EN AANZETBELASTING

De rem- en aanzetbelasting bestaat uit een belasting in de langs- en dwarsrichting.

Langsrichting

De belasting in de langsrichting wordt bepaald aan de hand van art. 4.4.1 in EC1-2. De formule hiervoor is:

$Q_{lk} = 0{,}6 \times \alpha_{Q;1} \times (2 \times Q_{1;k}) + 0{,}10 \times \alpha_{q;1} \times q_{1;k} \times w_{th;1} \times L$

Correctiefactor overige rijstroken	1,15 -
Correctiefactor overig brugdek	1,00 -
Oppervlaktebelasting TS rijstrook 1	300 kN/m²
Oppervlaktebelasting UDL rijstrook 1	9,00 kN/m²
Rijstrookbreedte in SCIA	3,00 m
Lengte (begin stootplaat noord tot einde stootplaat zuid)	20,91 m
Rem- en aanzetbelasting langsrichting (maximaal 800 kN)	420,00 kN
(0,6 x 1,00 x 2 x 300 + 0,10 x 1,15 x 9,00 x 3,00 x 20,91)	
Oppervlaktebelasting langsrichting	15,02 kN/m²
(belasting / [rijstrookbreedte x {overspanning + 2 x breedte deksloof}])	

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC34.1, LC34.2, LC35.1 en LC35.2	Rem- en aanzetbelasting	Oppervlakte	15,02 kN/m	Op rijstrook 1 (rand en midden), van noord naar zuid en andersom

Tabel 33 - Belastingen LC34.1, LC34.2, LC35.1 en LC35.2

Dwarsrichting

De rem- en aanzetbelasting wordt conform art. 4.4.2 in EC1-2.

Rem- en aanzetbelasting dwarsrichting (25% x belasting langsrichting)	105,00 kN
Rijstrookbreedte in SCIA	3,00 m
Lijnlast dwarsrichting (belasting / rijstrookbreedte)	35,00 kN/m

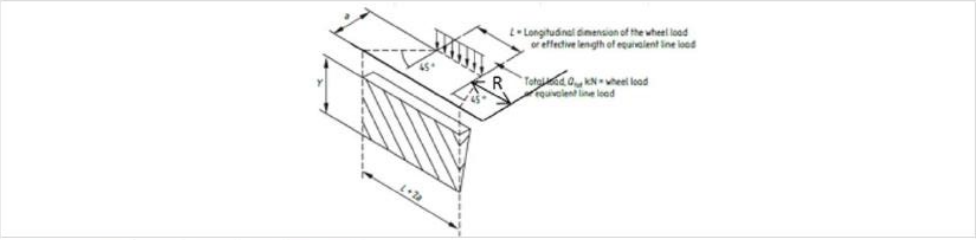
	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC34.3, LC34.4, LC35.3 en LC35.4	Rem- en aanzetbelasting	Lijnlast	35,00 kN/m	Op rijstrook 1 (rand en midden), van oost naar west en andersom

Tabel 34 - Belastingen LC34.1, LC34.2, LC35.1 en LC35.2

4.2.6 VERKEER ACHTER LANDHOOFD

Bij dit belastinggeval staat het hele tandemstelsel op de stootplaten. Hierbij wordt uitgegaan van een directe overdracht van de belasting naar de grond onder de stootplaten. Er is dus gerekend alsof de stootplaten afwezig zijn. Tevens is de situatie mét aanwezigheid van de stootplaten beschouwd. Daarbij is ervan uitgegaan dat de stootplaten de belasting afdragen aan de deksloof en de grond aan de andere zijde van de stootplaat.

Aantal wielprenten per rijstrook	4 stuks
Belasting rijstrook 1 (4 x 150 kN)	600,00 kN
Belasting rijstrook 2 (4 x 100 kN)	400,00 kN
Belasting rijstrook 3 (4 x 50 kN)	200,00 kN
Breedte console	300 mm
Hoogte stootplaat	500 mm
Afstand tussen last en damwand (breedte console + 2 x hoogte stootplaat)	1,30 m



Figuur 24 - Spreiding aslast richting damwand

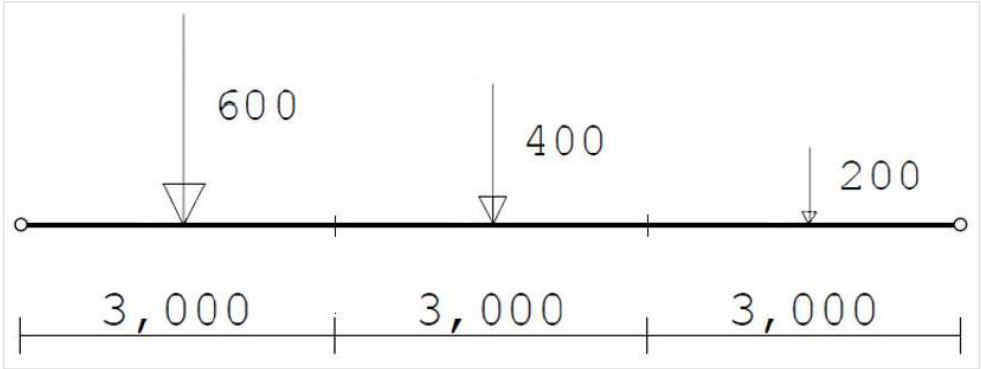
De drie tandemstelsels van rijstrook 1, 2 en 3 worden omgerekend naar een vervangende, uniforme belasting met hetzelfde zwaartepunt als de oorspronkelijke belasting.

Voertuig aan zijkant van wegdek

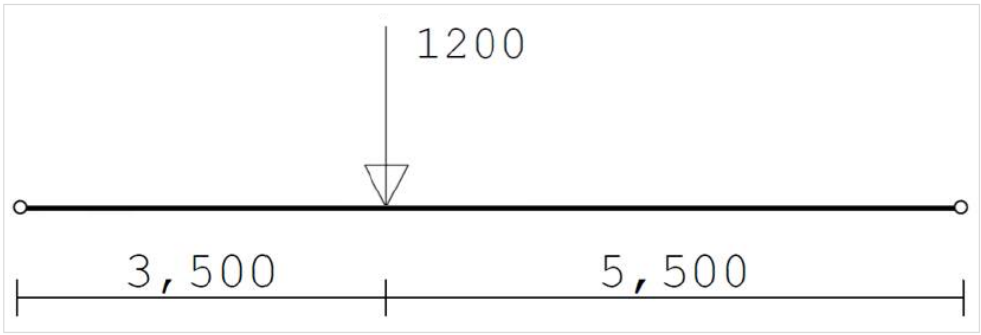
Het zwaartepunt is berekend aan de hand van de belastingen in figuur 28.

$$Zwaartepunt = \frac{600 \cdot 7{,}5 + 400 \cdot 4{,}5 + 200 \cdot 1{,}5}{600 + 400 + 200} = 5{,}5\ m$$

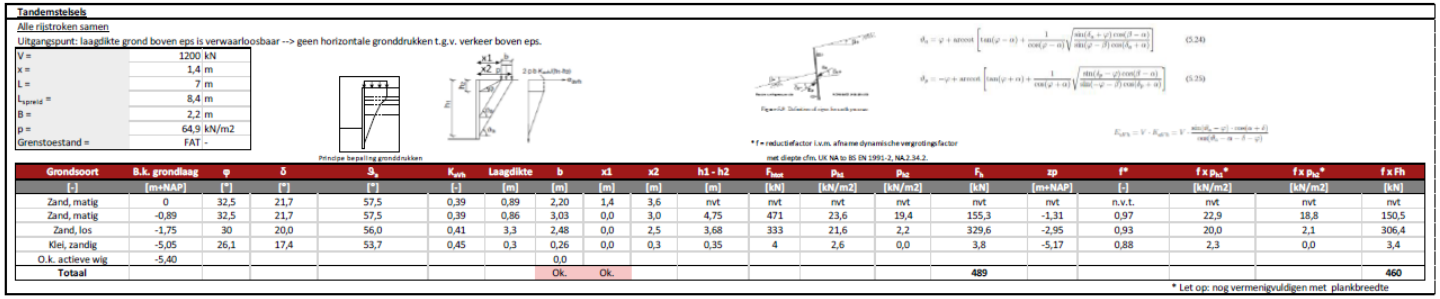
De resultante van 1.200 kN komt op 5,5 m vanaf rechts. Vervolgens is deze kracht over 7,0 m verticaal over de damwand verspreid. Dat komt uit op 171,4 kN/m.



Figuur 25 – Belastingen bij voertuig op de zijkant van het wegdek



Figuur 26 - Resultante op zwaartepunt



Tandemstelsels

Alle rijstroken samen

Uitgangspunt: laagdikte grond boven eps is verwaarloosbaar --> geen horizontale gronddrukken t.g.v. verkeer boven eps.

V =	1200 kN
x =	1,4 m
L =	7 m
L_{spreid} =	8,4 m
B =	2,2 m
p =	64,9 kN/m2
Grenstoestand =	FAT -

Principe bepaling gronddrukken

* f = reductiefactor i.v.m. afname dynamische vergrotingsfactor met diepte cfm. UK NA to BS EN 1991-2, NA.2.34.2.

Grondsoort	B.k. grondlaag	φ	δ	ϑ_a	K_{wh}	Laagdikte	b	x1	x2	h1 - h2	F_{hor}	p_{h1}	p_{h2}	F_h	zp	f*	f x p_{h1}*	f x p_{h2}*	f x Fh
[-]	[m+NAP]	[°]	[°]	[°]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN]	[m+NAP]	[-]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN]
Zand, matig	0	32,5	21,7	57,5	0,39	0,89	2,20	1,4	3,6	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	n.v.t.	nvt	nvt	nvt
Zand, matig	-0,89	32,5	21,7	57,5	0,39	0,86	3,03	0,0	3,0	4,75	471	23,6	19,4	155,3	-1,31	0,97	22,9	18,8	150,5
Zand, los	-1,75	30	20,0	56,0	0,41	3,3	2,48	0,0	2,5	3,68	333	21,6	2,2	329,6	-2,95	0,93	20,0	2,1	306,4
Klei, zandig	-5,05	26,1	17,4	53,7	0,45	0,3	0,26	0,0	0,3	0,35	4	2,6	0,0	3,8	-5,17	0,88	2,3	0,0	3,4
O.k. actieve wig	-5,40						0,0												
Totaal							Ok.	Ok.						489					460

* Let op: nog vermenigvuldigen met plankbreedte

Figuur 27 - Gronddruk TS rand van wegdek

			Zand, matig		Zand, los		Klei, siltig	
	$b_{bel.}$	b_{ef}	f x $p_{h;1}$ x b_{ef}	f x $p_{h;2}$	f x $p_{h;1}$	f x $p_{h;2}$	f x $p_{h;1}$	f x $p_{h;2}$
	[m]	[m]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN/m2]
Plank 1	1,4	1,4	32,1	26,3	28,1	2,9	3,2	0,0
Plank 2	1,4	1,4	32,1	26,3	28,1	2,9	3,2	0,0
Plank 3	1,4	1,4	32,1	26,3	28,1	2,9	3,2	0,0
Plank 4	1,4	1,4	32,1	26,3	28,1	2,9	3,2	0,0
Plank 5	1,4	1,4	32,1	26,3	28,1	2,9	3,2	0,0
Plank 6	1,4	1,4	32,1	26,3	28,1	2,9	3,2	0,0
	8,4	8,4						

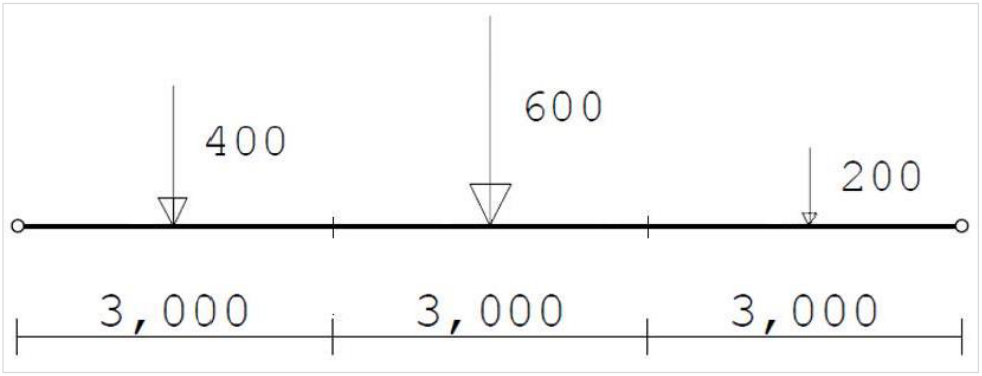
Tabel 35 – Belasting TS rand van wegdek

Voertuig in het midden

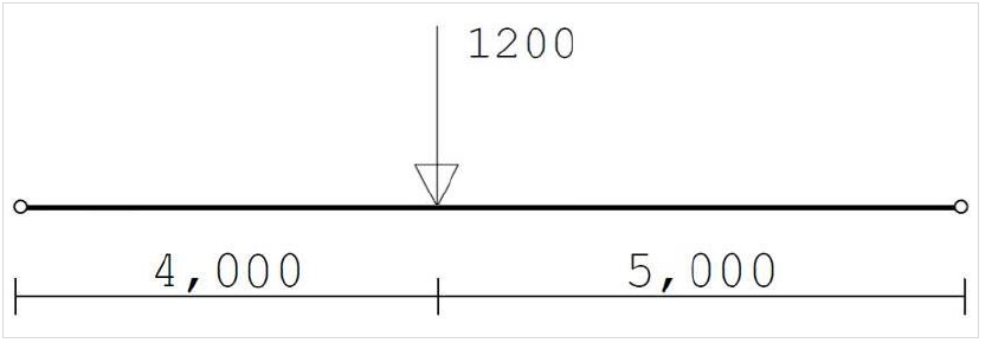
Het zwaartepunt is berekend aan de hand van de belastingen in figuur 29.

$$Zwaartepunt = \frac{400 \cdot 7{,}5 + 600 \cdot 4{,}5 + 200 \cdot 1{,}5}{400 + 600 + 200} = 5{,}0\ m$$

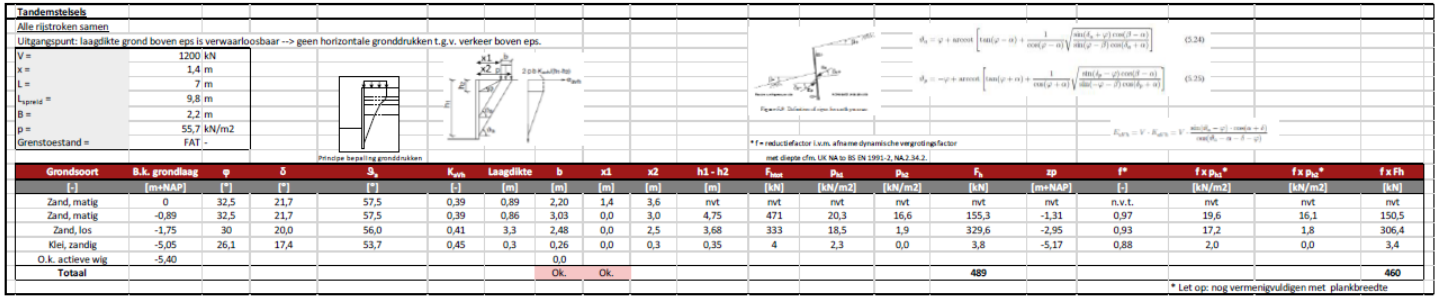
De resultante van 1.200 kN komt op 5,0 m vanaf rechts. Vervolgens is deze kracht over 7,0 m verticaal over de damwand verspreid. Dat komt uit op 171,4 kN/m.



Figuur 28 - Belastingen bij voertuig in het midden van het wegdek



Figuur 29 - Resultante op zwaartepunt



Tandemstelsels

Alle rijstroken samen

Uitgangspunt: laagdikte grond boven eps is verwaarloosbaar --> geen horizontale gronddrukken t.g.v. verkeer boven eps.

V =	1200	kN
x =	1,4	m
L =	7	m
L_{spreid} =	9,8	m
B =	2,2	m
p =	55,7	kN/m2
Grenstoestand =	FAT	-

Principe bepaling gronddrukken

* f = reductiefactor i.v.m. afname dynamische vergrotingsfactor met diepte cfm. UK NA to BS EN 1991-2, NA.2.34.2.

Grondsoort	B.k. grondlaag	φ	δ	ϑ_k	K_{wh}	Laagdikte	b	x1	x2	h1 - h2	F_{hor}	p_{h1}	p_{h2}	F_h	zp	f*	f x p_{h1}*	f x p_{h2}*	f x Fh
[-]	[m+NAP]	[°]	[°]	[°]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN]	[m+NAP]	[-]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN]
Zand, matig	0	32,5	21,7	57,5	0,39	0,89	2,20	1,4	3,6	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	n.v.t.	nvt	nvt	nvt
Zand, matig	-0,89	32,5	21,7	57,5	0,39	0,86	3,03	0,0	3,0	4,75	471	20,3	16,6	155,3	-1,31	0,97	19,6	16,1	150,5
Zand, los	-1,75	30	20,0	56,0	0,41	3,3	2,48	0,0	2,5	3,68	333	18,5	1,9	329,6	-2,95	0,93	17,2	1,8	306,4
Klei, zandig	-5,05	26,1	17,4	53,7	0,45	0,3	0,26	0,0	0,3	0,35	4	2,3	0,0	3,8	-5,17	0,88	2,0	0,0	3,4
O.k. actieve wig	-5,40						0,0												
Totaal							Ok.	Ok.						489					460

* Let op: nog vermenigvuldigen met plankbreedte

Figuur 30 - Gronddruk TS midden op wegdek

			Zand, matig		Zand, los		Klei, siltig	
	$b_{bel.}$	b_{ef}	f x $p_{h;1}$ x b_{ef}	f x $p_{h;2}$	f x $p_{h;1}$	f x $p_{h;2}$	f x $p_{h;1}$	f x $p_{h;2}$
	[m]	[m]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN/m2]	[kN/m2]
Plank 1	1,4	1,4	27,5	22,5	24,0	2,5	2,8	0,0
Plank 2	1,4	1,4	27,5	22,5	24,0	2,5	2,8	0,0
Plank 3	1,4	1,4	27,5	22,5	24,0	2,5	2,8	0,0
Plank 4	1,4	1,4	27,5	22,5	24,0	2,5	2,8	0,0
Plank 5	1,4	1,4	27,5	22,5	24,0	2,5	2,8	0,0
Plank 6	1,4	1,4	27,5	22,5	24,0	2,5	2,8	0,0
Plank 7	1,4	1,4	27,5	22,5	24,0	2,5	2,8	0,0
	9,8	**9,8**						

Tabel 36 – Belasting TS midden op wegdek

Gelijkmatig verdeelde belasting

Gelijkmatig verdeelde belasting

B = 1,40 m

Grondsoort	B.k. grondlaag	φ	δ	$K_{r;ack}$	K_{surzck}	$p_{v;1}$	$p_{v;rest.\ opp.}$			h	z_{gem}	$K_{surzck} \times h \times z_{gem}$	$K_{surzck;gem}$ *	$K_{surzckgem} \times h \times z_{gem}$	$p_{h;1}$ **	$p_{h;rest.\ opp.}$ **
[-]	[m+NAP]	[°]	[°]	[-]	[-]	[kN/m2]	[kN/m2]			[m]	[m]	[m2]	[-]	[m2]	[kN/m2]	[kN/m2]
Zand, matig	0	32,5	21,7	0,25	0,25	10,35	3,50			1,75	5,875	2,58	0,27	2,77	2,79	0,94
Zand, los	-1,75	30	20,0	0,28	0,28	10,35	3,50			3,3	3,35	3,09	0,27	2,98	2,79	0,94
Klei, zandig	-5,05	26,1	17,4	0,33	0,33	10,35	3,50			1,7	0,85	0,48	0,27	0,39	2,79	0,94
Zand, los	-6,75	30	20,0	0,28	0,28	10,35	3,50			**6,75**		**6,14**	0,27	**6,14**	2,79	0,94
Klei, humeus	-9,45	18,8	12,5	0,45	0,45	10,35	3,50						0,27		2,79	0,94
Klei, siltig	-10,45	22,5	15,0	0,38	0,38	10,35	3,50						0,27		2,79	0,94
Klei, zandig	-12,95	26,1	17,4	0,33	0,33	10,35	3,50						0,27		2,79	0,94
Zand, los	-13,45	30	20,0	0,28	0,28	10,35	3,50						0,27		2,79	0,94
Basisveen	-14,75	17,5	0,0	0,54	0,54	10,35	3,50						0,27		2,79	0,94
Zand, los	-15,25	30	20,0	0,28	0,28	10,35	3,50						0,27		2,79	0,94
Zand, matig	-16,25	32,5	21,7	0,25	0,25	10,35	3,50						0,27		2,79	0,94
O.k. damwand	-25,25															

Voor de actieve gronddruk:

$$K_{r;ack} = \frac{\cos^2(\varphi_k + \alpha)}{\cos^2(\alpha)\cdot\cos(\delta_k - \alpha)\cdot\left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi_k + \delta_{ak})\cdot\sin(\varphi_k - \beta_k)}{\cos(\alpha - \delta_{ak})\cdot\cos(\alpha - \beta_k)}}\right)^2}$$

$$K_{surzck} = K_{r;ack}\cdot\frac{\cos(\alpha)}{\cos(\alpha - \beta_k)}$$

* Gewogen gemiddelde van bovenste 3 grondlagen wordt aangehouden.
** Let op: nog vermenigvuldigen met plankbreedte

Tabel 37 – Gronddrukken ten gevolge van gelijkmatig verdeelde belasting (UDL)

UDL - rand	$b_{bel.,rijstrook\ 1}$ [m]	$p_{h;1}$ [kN/m2]	$p_{h;rest.\ opp.}$ [kN/m2]	Δp [kN/m2]	$b_{ef,rijstrook1}$ [m]	q [kN/m']
Plank 1	0,79	2,79	0,94	1,85	0,62	2,46
Plank 2	1,40	2,79	0,94	1,85	1,74	4,54
Plank 3	0,81	2,79	0,94	1,85	0,64	2,50
Overig	0,00	2,79	0,94	1,85	0,00	1,32
	3				3,00	

Tabel 38 - UDL rand

UDL - midden	$b_{bel.,rijstrook\ 1}$ [m]	$p_{h;1}$ [kN/m2]	$p_{h;rest.\ opp.}$ [kN/m2]	Δp [kN/m2]	$b_{ef,rijstrook}$ [m]	q [kN/m']
Plank 1	0,80	2,79	0,94	1,85	0,63	2,48
Plank 2	1,40	2,79	0,94	1,85	1,74	4,54
Plank 3	0,80	2,79	0,94	1,85	0,63	2,48
Overig	0,00	2,79	0,94	1,85	0,00	1,32
	3				3,00	

Tabel 39 - UDL midden

De onderstaande belastingen zijn vervolgens ingevoerd in SCIA.

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC36 en LC37	Verkeer achter landhoofd – UDL rand	Lijnlast (plank 1)	2,46 kN/m	Over hele damwandplank, op planken noord en zuid
		Lijnlast (plank 2)	4,54 kN/m	Over hele damwandplank, op planken noord en zuid
		Lijnlast (plank 3)	2,50 kN/m	Over hele damwandplank, op planken noord en zuid
		Lijnlast (overige planken)	1,32 kN/m	Over hele damwandplank, op planken noord en zuid
LC38 en LC39	Verkeer achter landhoofd – TS rand	Lijnlast verlopend	Van 32,10 kN/m naar 26,30 kN/m	Op 7 planken vanaf rand, over 0,865 m, op planken noord en zuid
		Lijnlast verlopend	Van 28,10 kN/m naar 2,90 kN/m	Op 7 planken vanaf rand, over 3,3 m, op planken noord en zuid
		Lijnlast verlopend	Van 3,20 kN/m naar 0,00 kN/m	Op 7 planken vanaf rand, over 0,34 m, op planken noord en zuid
LC40 en LC41	Verkeer achter landhoofd – UDL midden	Lijnlast (middelste plank)	4,54 kN/m	Over hele damwandplank, op planken noord en zuid
		Lijnlast (planken naast middelste plank)	2,48 kN/m	Over hele damwandplank, op planken noord en zuid
		Lijnlast (overige planken)	1,32 kN/m	Over hele damwandplank, op planken noord en zuid
LC42 en LC43	Verkeer achter landhoofd – TS midden	Lijnlast verlopend	Van 27,50 kN/m naar 22,50 kN/m	Op middelste 7 planken, over 0,865 m, op planken noord en zuid
		Lijnlast verlopend	Van 24,00 kN/m naar 2,50 kN/m	Op middelste 7 planken, over 3,3 m, op planken noord en zuid
		Lijnlast verlopend	Van 2,80 kN/m naar 0,00 kN/m	Op middelste 7 planken, over 0,34 m, op planken noord en zuid

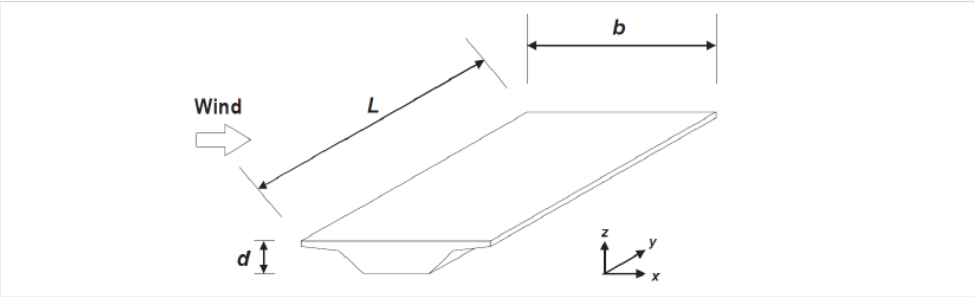
Tabel 40 - Belastingen LC36 t/m LC43

4.3 OVERIGE VARIABELE BELASTINGEN

4.3.1 WIND

De windbelasting wordt bepaald op basis van EC1-1-4 en aanvulling vanuit de ROK1.4. Er is een aantal aannames gedaan die hieronder zijn aangegeven. Voor de omschrijving van de windbelasting wordt de notatie toegepast die te zien is in onderstaande figuur.

Windgebied	2 -
Terreincategorie	2 -
Hoogte boven maaiveld	5,00 m
Constructiehoogte	0,71 m
Hoogte gesloten leuning	0,90 m
Aantal leuningen (2 x leuning en 2 x geleiderails)	4 stuks



Figuur 31 – Gebruik van symbolen voor windbelasting op bruggen

Volgens art. 8.2 van EC1-1-4 is een dynamische responsieberekening niet nodig voor verkeersdekken met een kleinere overspanning van 40,0 m. Bij de bepaling van het referentieoppervlak moet rekening worden gehouden met de aanwezigheid van leuningen en geleiderails. Per open leuning of geleiderails moet een hoogte van 0,3 m worden toegepast. Via een *Excel*-sheet is de basisstuwdruk en de blootstellingsfactor bepaald.

Windbelasting bruggen conform NEN-EN 1991-1-4+C2:2011/NB:2011

Gegevens

windgebied	II				windgebied	I	II	III	
gebied	onbebouwd gebied				v_b	29,5	27,0	24,5	m/s
Ontwerplevensduur	100 jaar	p	0,01	-					
z_e	5 m				$v^*_{b,0}$	23,0	m/s (conform art. 8.1 (4))		
d	0,845 m (dek)	b	22,67	m	ρ	1,25	kg/m^3		
verkeersband	2 m (hoogte)				d_1	0,9	m (hoogte dichte kering)		
d_{tot}	2,0 m (zonder verkeer)				type leuning/kering	open leuning of kering			
d_{tot}	2,845 m (met verkeer)				aantal zijden	4	st.		

Windbelasting (conform EC1-1-4 art. 8.3.2)

$c_{prob} = ([1 - K \times \ln(-\ln(1-p))] / [1 - K \times \ln(-\ln(1-p))])^n$ 1,0418 -

$v_{b,\rho} = v_b \times c_{prob}$ 28,13 m/s

$C_{zonderverkeer}$ 3,00 (zonder verkeer, met b/dtot = 11,09)

$C_{met\ verkeer}$ 3,00 (met verkeer, met b/dtot = 7,97)

$F_w = 1/2 \times \rho \times v_b^2 \times C \times A_{ref,x}$

$F_{w,zonderverkeer}$ 3,0 kN/m^1

$F_{w,met\ verkeer}$ 4,2 kN/m^1

F^*_w 3,1 kN/m^1

windgebied	I	II	III	
K	0,200	0,234	0,281	-
n	0,50	0,50	0,50	-

C	$z_e \leq 20$ m		$z_e = 50$ m	
b/d_{tot}	kust	onbebouwd	kust	onbebouwd
≤ 0,5	8,0	5,6	9,4	7,3
≥ 4,0	4,3	3,0	5,1	4,0

Figuur 32 - Berekening windbelasting

Correctiefactor	0,30 -
Windbelasting zonder verkeer ($F_{w;x}$)	3,00 kN/m
Windbelasting met verkeer, verkeer dominant, maximum van:	
- Correctiefactor x windbelasting met verkeer ($F_{w;x}$)	1,26 kN/m
- 1,0 x windbelasting delen met verkeer (F^*_w)	3,10 kN/m
Windbelasting met verkeer, wind dominant, maximum van:	
- Delen zonder verkeer ($F_{w;x}$)	3,00 kN/m
- Delen met verkeer ($F_{w;x}$)	3,10 kN/m

In alle belastingcombinaties wordt de maximale windbelasting van 3,10 kN/m in de dwarsrichting toegepast. Dit is conservatief, maar hierdoor wordt het aantal belastingcombinaties beperkt. Aan de hand van de windbelasting in de dwarsrichting is de windbelasting in de langsrichting bepaald.

Lijnbelasting wind dwarsrichting	3,10 kN/m
Lengte prefab incl. deksloof	9,32 m
Breedte brugdek	22,67 m
Lijnbelasting wind langsrichting	0,51 kN/m
(40% x wind dwarsrichting x lengte prefab incl. deksloof / breedte brugdek)	

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC50.1 en LC50.2	Wind – dwarsrichting	Lijnlast	0,51 kN/m	Van noord naar zuid en van zuid naar noord. Op zijkant brugdek
LC50.3 en LC50.4	Wind – langsrichting	Lijnlast	3,10 kN/m	Van oost naar west en van west naar oost. Op zijkant brugdek.

Tabel 41 - Belastingen LC50

4.3.2 GELIJKMATIGE TEMPERATUURCOMPONENT

Voor dit belastinggeval (LC51) wordt gebruik gemaakt van EC1-1-5. Hierbij is dektype 3 (betonnen dek) van toepassing. De gelijkmatige temperatuurcomponent heeft te maken met de jaarlijkse temperatuurinvloeden. Via een *Excel*-sheet is de temperatuurstijging en -daling bepaald. De waarde van de jaarlijkse temperatuurwisselingen is gebaseerd op een referentieperiode van 100 jaar en dus een overschrijdingskans van 0,01.

Temperatuurstijging

Referentietemperatuur (T_0)	10,0 °C
Maximale temperatuur in de schaduw (T_{max})	30,0 °C
Maximale temperatuur in de schaduw met jaarlijkse overschrijdingskans ($T_{max,c}$)	31,2 °C
Maximale gelijkmatige brugtemperatuurcomponent ($T_{e,max}$)	33,2 °C
Maximaal bereik gelijkmatige brugtemperatuurcomponent voor uitzetting ($\Delta T_{N,exp}$)	23,2 °C

Temperatuurdaling

Referentietemperatuur (T_0)	10,0 °C
Minimale temperatuur in de schaduw (T_{min})	-25,0 °C
Minimale temperatuur in de schaduw met jaarlijkse overschrijdingskans ($T_{min,c}$)	-27,5 °C
Minimale gelijkmatige brugtemperatuurcomponent ($T_{e,min}$)	-19,5 °C
Minimale bereik gelijkmatige brugtemperatuurcomponent voor uitzetting ($\Delta T_{N,exp}$)	29,5 °C

Thermische belasting in betonnen dekken (dektype 3) conform NEN-EN 1991-1-5 (versie 1.0)					
Gelijkmatige temperatuurcomponent art. 6.1.3					
Temperatuurstijging			Temperatuurdaling		
T_{max}	30 °C		T_{min}	-25 °C	
$T_{max,c}$	31,2 °C	$T_{max,c} = 1{,}04 \times T_{max}$ (>50jr)	$T_{min,c}$	-27,5 °C	$T_{min,c} = 1{,}1 \times T_{min}$ (>50jr)
$T_{e,max}$	33,2 °C	$T_{e,max} = T_{max,c} + 2$	$T_{e,min}$	-19,5 °C	$T_{e,min} = T_{min,c} + 8$
$\Delta T_{N,exp}$	23,2 °C	$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0$	$\Delta T_{N,con}$	29,5 °C	$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min}$

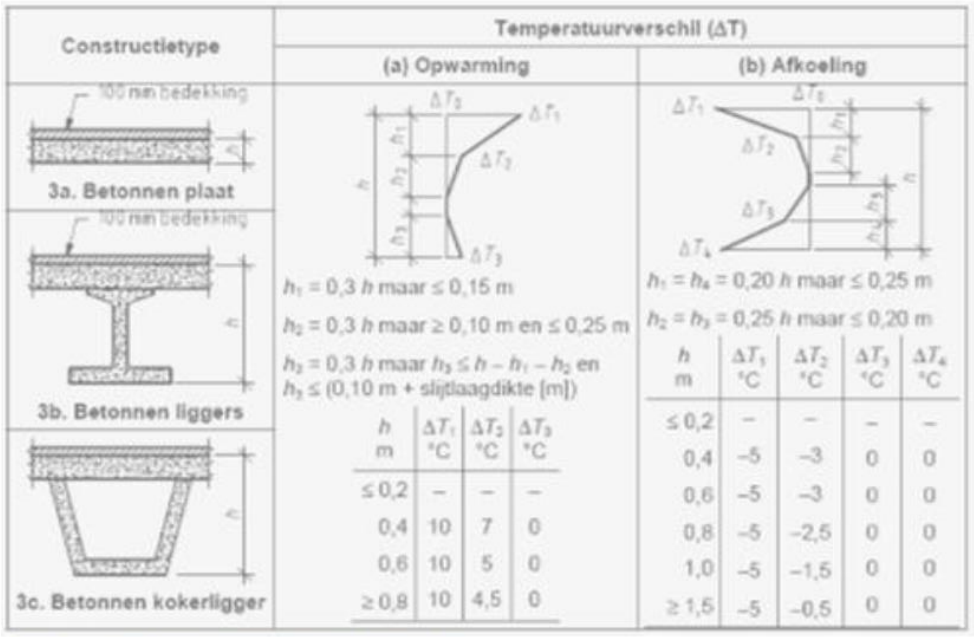
Figuur 33 - Berekening gelijkmatige temperatuurcomponent

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC51.1	Gelijkmatige temperatuurcomponent – stijging	Temperatuur - constant	23,20 K	Op alle onderdelen van het brugdek
LC51.2	Gelijkmatige temperatuurcomponent – daling	Temperatuur - constant	-29,50 K	Op alle onderdelen van het brugdek

Tabel 42 - Belasting LC51

4.3.3 TEMPERATUURVERSCHILCOMPONENT

De dagelijkse temperatuurinvloeden worden ingevoerd in belastinggeval LC52. Hierbij is afzonderlijk gekeken naar het dek en de dekskloof.



Figuur 34 – Invloed dagelijkse temperatuurbelasting dektype 3

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC51.1	Temperatuurverschil-component – brugdek – stijging	Temperatuur – lineair – bovenkant	8,40 K	Op het hele dek
		Temperatuur – lineair – onderkant	-2,40 K	Op het hele dek
	Temperatuurverschil-component – deksloof – stijging	Temperatuur – lineair – bovenkant	5,30 K	Op de deksloof
		Temperatuur – lineair – onderkant	-2,10 K	Op de deksloof
LC51.2	Temperatuurverschil-component – brugdek – daling	Temperatuur – lineair – bovenkant	-3,50 K	Op het hele dek
		Temperatuur – lineair – onderkant	1,20 K	Op het hele dek
	Temperatuurverschil-component – deksloof – daling	Temperatuur – lineair – bovenkant	-2,90 K	Op de deksloof
		Temperatuur – lineair – onderkant	1,10 K	Op de deksloof

Tabel 43 - Belasting LC52

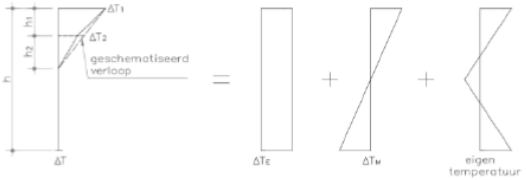
Thermische belasting in betonnen dekken (dektype 3) conform NEN-EN 1991-1-5 (versie 1.0)

Gegevens

Dekdikte	h	460 mm	Ontwerplevensduur		100 jaar
Slijtlaagdikte		100 mm	Referentietemperatuur	T_0	10 °C

Temperatuurverschilcomponent art. 6.1.4

Opwarming bovenzijde			Afkoeling bovenzijde		
ΔT_1	10,0 °C	*Tabel NB.7-B.3-ΔT*	ΔT_1	-5,0 °C	*Tabel NB.7-B.3-ΔT*
ΔT_2	6,4 °C	*Tabel NB.7-B.3-ΔT*	ΔT_2	-3,0 °C	*Tabel NB.7-B.3-ΔT*
h_1	138 mm	$h_1 = 0{,}3h \leq 150$	h_1	92 mm	$h_1 = 0{,}2h \leq 250$
h_2	138 mm	$100 \leq h_2 = 0{,}3h \leq 250$	h_2	115 mm	$h_2 = 0{,}25h \leq 200$
a	276 mm	$a = h_1 + h_2$	a	207 mm	$a = h_1 + h_2$
ΔT_E	3,0 °C	$\Delta T_E = a / 2h \times \Delta T_1$	ΔT_E	-1,1 °C	$\Delta T_E = a / 2h \times \Delta T_1$
ΔT_M	10,8 °C	$\Delta T_M = [3a/h - 2(a/h)^2] \times \Delta T_1$	ΔT_M	-4,7 °C	$\Delta T_M = [3a/h - 2(a/h)^2] \times \Delta T_1$
$T_{M,heat,bk}$	8,4 °C	$T_{M,heat,bk} = \Delta T_E + \frac{1}{2}\Delta T_M$	$T_{M,cool,bk}$	-3,5 °C	$T_{M,cool,bk} = \Delta T_E + \frac{1}{2}\Delta T_M$
$T_{M,heat,ok}$	-2,4 °C	$T_{M,heat,ok} = \Delta T_E - \frac{1}{2}\Delta T_M$	$T_{M,cool,ok}$	1,2 °C	$T_{M,cool,ok} = \Delta T_E - \frac{1}{2}\Delta T_M$

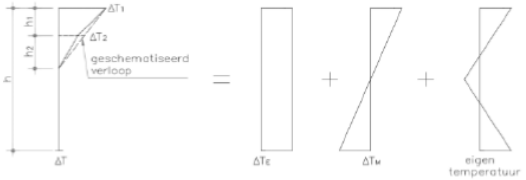


Gelijktijdigheid van gelijkmatige component en verschilcomponenten art. 6.1.5

$\Delta T = 0{,}75 \times \Delta T_{M,heat}(of\ \Delta T_{M,cool}) + \Delta T_{N,exp}(of\ \Delta T_{N,con})$ en $\Delta T = \Delta T_{M,heat}(of\ \Delta T_{M,cool}) + 0{,}35 \times \Delta T_{N,exp}(of\ \Delta T_{N,con})$

Temperatuurstijging met gelijkmatige component extreem										
ΔT_{boven}	=	0,75	x	8,4 °C	+			23,2 °C	=	29,5 °C
ΔT_{onder}	=	0,75	x	-2,4 °C	+			23,2 °C	=	21,4 °C
$\Delta T_{gemiddeld}$									=	25,5 °C
Temperatuurstijging met verschilcomponent extreem										
ΔT_{boven}	=			8,4 °C	+	0,35	x	23,2 °C	=	16,5 °C
ΔT_{onder}	=			-2,4 °C	+	0,35	x	23,2 °C	=	5,7 °C
$\Delta T_{gemiddeld}$									=	11,1 °C
Temperatuurdaling met gelijkmatige component extreem										
ΔT_{boven}	=	0,75	x	-3,5 °C	+			-29,5 °C	=	-32,1 °C
ΔT_{onder}	=	0,75	x	1,2 °C	+			-29,5 °C	=	-28,6 °C
$\Delta T_{gemiddeld}$									=	-30,3 °C
Temperatuurdaling met verschilcomponent extreem										
ΔT_{boven}	=			-3,5 °C	+	0,35	x	-29,5 °C	=	-13,8 °C
ΔT_{onder}	=			1,2 °C	+	0,35	x	-29,5 °C	=	-9,1 °C
$\Delta T_{gemiddeld}$									=	-11,5 °C

Figuur 35 - Berekening invloed op brugdek

Thermische belasting in betonnen dekken (dektype 3) conform NEN-EN 1991-1-5 (versie 1.0)								
Gegevens								
Dekdikte		h	1280 mm		Ontwerplevensduur		100 jaar	
Slijtlaagdikte			100 mm		Referentietemperatuur	T_0	10 °C	
Gelijkmatige temperatuurcomponent art. 6.1.3								
Temperatuurstijging					Temperatuurdaling			
T_{max}	30 °C				T_{min}	-25 °C		
$T_{max,c}$	31,2 °C	$T_{max,c} = 1,04 \times T_{max}$ (>50jr)			$T_{min,c}$	-27,5 °C	$T_{min,c} = 1,1 \times T_{min}$ (>50jr)	
$T_{e,max}$	33,2 °C	$T_{e,max} = T_{max,c} + 2$			$T_{e,min}$	-19,5 °C	$T_{e,min} = T_{min,c} + 8$	
$\Delta T_{N,exp}$	23,2 °C	$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0$			$\Delta T_{N,con}$	29,5 °C	$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min}$	
Temperatuurverschilcomponent art. 6.1.4								
Opwarming bovenzijde					Afkoeling bovenzijde			
ΔT_1	10,0 °C	Tabel NB.7-B.3-ΔT			ΔT_1	-5,0 °C	Tabel NB.7-B.3-ΔT	
ΔT_2	4,5 °C	Tabel NB.7-B.3-ΔT			ΔT_2	-0,9 °C	Tabel NB.7-B.3-ΔT	
h_1	150 mm	$h_1 = 0,3h \leq 150$			h_1	250 mm	$h_1 = 0,2h \leq 250$	
h_2	250 mm	$100 \leq h_2 = 0,3h \leq 250$			h_2	200 mm	$h_2 = 0,25h \leq 200$	
a	400 mm	$a = h_1 + h_2$			a	450 mm	$a = h_1 + h_2$	
ΔT_E	1,6 °C	$\Delta T_E = a / 2h \times \Delta T_1$			ΔT_E	-0,9 °C	$\Delta T_E = a / 2h \times \Delta T_1$	
ΔT_M	7,4 °C	$\Delta T_M = [3a/h - 2(a/h)^2] \times \Delta T_1$			ΔT_M	-4,0 °C	$\Delta T_M = [3a/h - 2(a/h)^2] \times \Delta T_1$	
$T_{M,heat,bk}$	5,3 °C	$T_{M,heat,bk} = \Delta T_E + ½\Delta T_M$			$T_{M,cool,bk}$	-2,9 °C	$T_{M,cool,bk} = \Delta T_E + ½\Delta T_M$	
$T_{M,heat,ok}$	-2,1 °C	$T_{M,heat,bk} = \Delta T_E - ½\Delta T_M$			$T_{M,cool,ok}$	1,1 °C	$T_{M,cool,ok} = \Delta T_E - ½\Delta T_M$	
								
Gelijktijdigheid van gelijkmatige component en verschilcomponenten art. 6.1.5								
$\Delta T = 0,75 \times \Delta T_{M,heat}$ (of $\Delta T_{M,cool}$) + $\Delta T_{N,exp}$ (of $\Delta T_{N,con}$) en					$\Delta T = \Delta T_{M,heat}$ (of $\Delta T_{M,cool}$) + 0,35 x $\Delta T_{N,exp}$ (of $\Delta T_{N,con}$)			
Temperatuurstijging met gelijkmatige component extreem								
ΔT_{boven}	=	0,75	x 5,3 °C	+		23,2 °C	=	27,2 °C
ΔT_{onder}	=	0,75	x -2,1 °C	+		23,2 °C	=	21,6 °C
$\Delta T_{gemiddeld}$							=	24,4 °C
Temperatuurstijging met verschilcomponent extreem								
ΔT_{boven}	=		5,3 °C	+	0,35	x 23,2 °C	=	13,4 °C
ΔT_{onder}	=		-2,1 °C	+	0,35	x 23,2 °C	=	6,0 °C
$\Delta T_{gemiddeld}$							=	9,7 °C
Temperatuurdaling met gelijkmatige component extreem								
ΔT_{boven}	=	0,75	x -2,9 °C	+		-29,5 °C	=	-31,7 °C
ΔT_{onder}	=	0,75	x 1,1 °C	+		-29,5 °C	=	-28,6 °C
$\Delta T_{gemiddeld}$							=	-30,2 °C
Temperatuurdaling met verschilcomponent extreem								
ΔT_{boven}	=		-2,9 °C	+	0,35	x -29,5 °C	=	-13,2 °C
ΔT_{onder}	=		1,1 °C	+	0,35	x -29,5 °C	=	-9,2 °C
$\Delta T_{gemiddeld}$							=	-11,2 °C

Figuur 36 – Berekening invloed op dekslooof

4.4 BUITENGEWONE BELASTINGEN

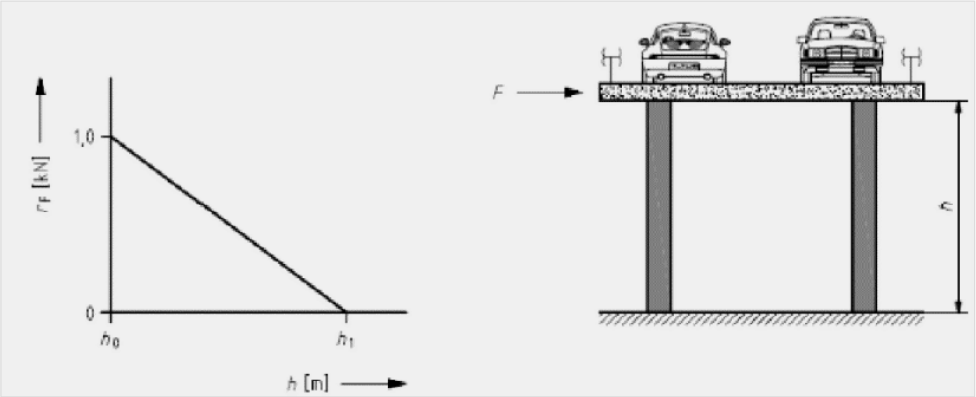
4.4.1 AANRIJDBELASTING BOVENBOUW

De aanrijdbelasting bestaat uit de kracht ten gevolge van de aanrijding tegen de zijkant van het brugdek en de giekbelasting.

Aanrijding zijkant dek

Dit belastinggeval is bepaald aan de hand van NB art.4.3.2 in EC1-1-7. De aanrijdbelasting tegen de zijkant van het brugdek grijpt aan op de meest ongunstige plaats op de zijkant van de bovenbouw.

Soort weg	Rijksweg in landelijk gebied
Aangrijpingsvlak hoogte	0,25 m
Aangrijpingsvlak breedte	2,00 m
Rekenwaarde bij soort weg	1.500,00 kN
Minimale vrije hoogte tussen wegoppervlak en onderzijde brugdek (gegeven)	4,80 m
Hoogte tussen wegoppervlak en onderzijde van brugdek zonder botskracht (gegeven)	7,00 m
Hoogte tussen wegoppervlak en onderzijde brugdek	3,60 m
Reductiefactor	1,00 -
Horizontale statisch equivalente kracht (rekenwaarde x reductiefactor)	1.500,00 kN
Lijnlast aanrijding (kracht / aangrijpingsvlak breedte)	750,00 kN



Figuur 37 – Reductiefactor botsbelasting conform EC1-2

Giekbelasting

Ook voor dit belastinggeval is NB art. 4.3.2 van EC1-1-7 gebruikt. De giekbelasting grijpt aan tegen de onderkant van de bovenbouw op de meest ongunstige plaats.

Belasting onder een hoek bij aanrijding (gegeven)	450,00 kN
Ongunstige hoek (tussen 0 en 30 graden)	30 °
Aangrijpingsoppervlak breedte	0,25 m
Aangrijpingsoppervlak hoogte	0,25 m
Opwaartse component (sinus[ongunstige hoek] x belasting)	225,00 kN
Aangrijpingsoppervlak op onderkant dek (hoogte / sinus[ongunstige hoek])	0,50 m
Oppervlaktebelasting (opwaartse component / [breedte x nieuwe hoogte])	1.800,00 kN/m²

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC60	Aanrijding zijkant brugdek	Lijnlast	750,00 kN/m	0,80 m vanaf rand brugdek, over 2,00 m belasten
LC61	Giekbelasting	Oppervlakte	1.800,00 kN/m²	Oppervlakte 0,25 x 0,50 m. Aan rand en in het midden van brugdek plaatsen

Tabel 44 - Belasting LC60 en LC61

4.4.2 VERKEERSONGEVAL OP BRUGDEK

In het ontwerp is rekening gehouden met een tandemstelsel conform LM1 die met de buitenste wielen op de rand van het brugdek, evenwijdig met de as van de weg, staat. Op de rest van het brugdek wordt de belasting volgens paragraaf 4.2.3 in rekening gebracht.

Belastinggeval LC62 bestaat uit twintig belastinggevallen.

Wielprenten op brugdek

Bij belastinggeval LC62.4 tot en met LC62.17 staan twee wielprenten volledig op het brugdek en daarom kunnen de worden ingevoerd voor twee wielprent van 1,0 bij 1,0 m. De andere twee wielprenten staan voor de helft op de rand van het brugdek. Daarom wordt de belasting in de breedte niet gespreid en is de oppervlakte van deze wielprenten 1,0 bij 0,4 m. Een voorwiel en een achterwiel staan dus op de rand.

Oppervlaktebelasting wiel links voor en achter (100 / [1,0 x 1,0])	150,00 kN/m²
Oppervlaktebelasting wiel rechts voor en achter (150 / [1,0 x 0,4])	375,00 kN/m²

Wielprenten op brugdek én stootplaten

Bij de overige belastinggevallen in LC62 staat een aslast (gedeeltelijk) op de stootplaat. Hierdoor is de spreiding van de kracht anders. Ook wordt de belasting omgerekend naar een lijnlast en -moment, omdat de stootplaten niet zijn gemodelleerd in SCIA.

Voor belastinggevallen LC62.3 en LC62.18 staat de achterste aslast voor tweederde deel op het brugdek. Naast deze belasting wordt voor de andere aslast de eerder berekende belasting ingevoerd. De belasting van de voorste wielprenten zijn hierboven al bepaald.

Oppervlaktebelasting wiel links voor (100 / [1,0 x 1,0])	150,00 kN/m²
Oppervlaktebelasting wiel rechts voor (150 / [1,0 x 0,4])	375,00 kN/m²
Oppervlaktebelasting wiel links achter (150 x 2/3)	250,00 kN/m²
Oppervlaktebelasting wiel rechts achter (375 x 5/3)	625,00 kN/m²

Voor belastinggevallen LC62.2 en LC62.19 staan twee wielprenten op het uiteinde van de stootplaten. Het hart van de andere twee wielprenten ligt op 1,0 m vanaf de rand van de deksloof. Naast deze belasting wordt voor de andere aslast de eerder berekende belasting ingevoerd.

Dikte asfalt	120 mm
Breedte wielprent op stootplaat (400 + 2 x 120)	640 mm
Breedte console	300 mm
Lijnlast wielprent links achter (150 / 0,64)	234,38 kN/m
Lijnmoment rijstrook links achter (lijnlast wielprent links achter x ½ breedte console)	35,16 kNm/m
Oppervlaktebelasting wielprent links voor (150 / [1,0 x 1,0])	150,00 kN/m²

Lijnlast wielprent rechts achter (150 / 1,0)	375,00 kN/m
Lijnmoment wielprent rechts achter (lijnlast wielprent rechts achter x ½ breedte console)	35,16 kNm/m
Oppervlaktebelasting wielprent rechts voor	375,00 kN/m²

Voor belastinggevallen LC62.1 en LC62.20 staan de wielprenten op de stootplaat op 1,0 m vanaf het uiteinde van de stootplaten. De wielprenten die op het brugdek staan, staan tegen de rand van de deksloof. Ook hier kan de belasting zich niet helemaal spreiden. Naast deze belasting wordt voor de andere aslast de eerder berekende belasting ingevoerd.

Breedte wielprent op stootplaat	400 mm
Afstand tot einde stootplaat	1,0 m
Lengte stootplaat	5,0 m
Breedte console	300 mm
Lijnlast wielprent links achter (150 x {[lengte – afstand tot einde stootplaat] / lengte} / 0,64)	187,50 kN/m
Lijnmoment wielprent links achter (lijnlast wielprent links achter x ½ breedte console)	28,13 kNm/m
Oppervlaktebelasting wielprent links voor (150 / [1,0 x 0,4])	375,00 kN/m²
Lijnlast wielprent rechts achter (150 / 0,4)	375,00 kN/m
Lijnmoment wielprent rechts achter (lijnlast wielprent rechts achter x ½ breedte console)	56,25 kNm/m
Oppervlaktebelasting wielprent rechts voor (150 / [0,4 x 0,4])	937,50 kN/m²

	Belasting	Soort belasting	Grootte belasting	Plaatsing
LC62.1 en LC62.20	TS deels op stootplaat en rand	Oppervlakte (links voor)	375,00 kN/m^2	Tegen rand deksloof (1,0 x 0,4 m)
		Lijnlast (links achter)	187,50 kN/m	Over 0,64 m
		Lijnmoment (links achter)	28,13 kNm/m	Over 0,64 m
		Oppervlakte (rechts voor)	937,50 kN/m^2	Tegen rand deksloof (0,4 x 0,4 m)
		Lijnlast (rechts achter)	375,00 kN/m	Over 0,64 m
		Lijnmoment (rechts achter)	56,25 kNm/m	Over 0,64 m
LC62.2 en LC62.19	TS deels op stootplaat en rand	Oppervlakte (links voor)	150,00 kN/m^2	1,0 m vanaf rand deksloof (1,0 x 0,4 m)
		Lijnlast (links achter)	234,38 kN/m	Over 0,64 m
		Lijnmoment (links achter)	35,16 kNm/m	Over 0,64 m
		Oppervlakte (rechts voor)	375,00 kN/m^2	1,0 x 0,33 m
		Lijnlast (rechts achter)	375,00 kN/m	Over 0,33 m
		Lijnmoment (rechts achter)	56,25 kNm/m	Over 0,33 m
LC62.3 en LC62.18	TS deels op stootplaat en rand	Oppervlakte (links voor)	150,00 kN/m^2	1,0 x 1,0 m
		Oppervlakte (links achter)	250,00 kN/m^2	1,0 x 0,6 m
		Oppervlakte (rechts voor)	375,00 kN/m^2	1,0 x 0,33 m
		Oppervlakte (rechts achter)	625,00 kN/m^2	0,6 x 0,33 m
LC62.4 t/m LC62.17	TS op brugdek en rand	Oppervlakte (links voor en achter)	150,00 kN/m^2	1,0 x 1,0 m
		Oppervlakte (rechts voor en achter)	375,00 kN/m^2	1,0 x 0,33 m

Tabel 45 - Belastingen LC17 en LC26

5. BELASTINGCOMBINATIES

5.1 UITGANGSPUNTEN

In deze paragraaf worden de toegepaste, globale belastingcombinaties toegelicht en wordt uitleg gegeven over de belastinggroepen, afwezigheden en factoren voor in de belastingcombinaties.

5.1.1 GLOBALE COMBINATIES

De volgende belastingcombinaties zijn beschouwd:

- UGT/ULS
  - STR/GEO — EC0, vergelijking 6.10a
  - STR/GEO — EC0, vergelijking 6.10b
  - CAL (buitengewoon) — EC0, vergelijking 6.11b
- BGT/SLS
  - Karakteristiek — EC0, vergelijking 6.14b
  - Frequent — EC0, vergelijking 6.15b
- FAT (vermoeiing)
  - Basiscombinatie — EC2-1-1, vergelijking 6.67
  - Ongunstige basiscombinatie + wisselende belasting — EC2-1-1, vergelijking 6.69

Bij het opstellen van de belastingcombinaties zijn de volgende uitgangspunten toegepast:

- *Kruip*
  Zowel de situatie vóór als ná het optreden van kruip van het beton is beschouwd in verband met het wijzigen van het statisch systeem. Vóór de kruip worden LC1.2 en LC1.3 vermenigvuldigd met 1,0 en doet LC6 niet mee.
  $Combinatie$: $1{,}00 \cdot LC1.2 + 1{,}00 \cdot LC1.3 + 0{,}00 \cdot LC6$
  Ná kruip worden de waarden van het kist-effect toegepast. De waarden hiervoor worden besproken in paragraaf 3.2.1. Het kist-effect ten gevolge van voorspanning en het eigengewicht zijn
  $Combinatie$: $0{,}65 \cdot LC1.1 + 0{,}35 \cdot LC1.2 + 1{,}00 \cdot LC1.3 + 0{,}65 \cdot LC6$
- *Krimp en Kruip*
  Krimp en kruip (ten gevolge van het kist-effect) nemen beide toe in de tijd en hebben vrijwel hetzelfde verloop. Ze treden dus beide wel of niet op. In de belastingcombinaties wordt deze relatie meegenomen. De belastingfactoren zijn conform EC2-1-1:
  - Voorspanning — 1,0/1,2 (gunstig/ongunstig)
  - Krimp — 1,0/1,0
- *Temperatuur*
  Temperatuurbelastingen zijn alleen opgenomen in de BGT-combinaties en niet in de UGT- en buitengewone belastingcombinaties.

5.1.2 BELASTINGGROEPEN

In het model is gebruik gemaakt van omhullende lineaire belastingcombinaties. Deze combinaties bevatten de resultaten voor alle mogelijke combinaties van de belastinggevallen, met aan- of afwezigheid van veranderlijke belastingen. Om de belastinggevallen op de juiste manier te combineren en te voorkomen dat belastinggevallen worden gecombineerd die niet tegelijkertijd kunnen optreden, is gebruik gemaakt van belastinggroepen. Er zijn vier soorten groepen aangemaakt.

P Permanent
V Variabel
E Variabel en exclusief. Dit houdt in dat belastinggevallen in een exclusieve groep niet gelijktijdig kunnen optreden.
T Variabel en together. Dit betekent dat belastinggevallen in deze groep allemaal wel of allemaal niet optreden.

Belastinggroep	Omschrijving
P	Permanente belastingen
T1	'Variabel' deel van permanente belastingen. Dit zijn de belastinggevallen met een 'v' achter de naam: LC1.1v, LC1.2v, LC1.3v, LC2v, LC3v
T2	'Variabel' deel van de gronddruk ten gevolge van grondaanvulling. Alleen LC4v valt hieronder.
V	Variabele belasting
E1	LM1 – UDL op brugdek
E2	LM1 – UDL op stootplaten noord
E3	LM1 – UDL op stootplaten zuid
E4	LM1 – TS rijstrook 1
E5	LM1 – TS rijstrook 2
E6	LM1 – TS rijstrook 3
E7	Rem-/aanzetbelasting langsrichting
E8	Rem-/aanzetbelasting dwarsrichting
E9	Wind langsrichting
E10	Wind dwarsrichting
E11	Gelijkmatige temperatuurcomponent
E12	Temperatuurverschilcomponent

Tabel 46 - Belastinggroepen KM01

5.1.3 AFWEZIGHEDEN

In het model is gebruik gemaakt van het invoeren van afwezigheden.

Er zijn twee groepen gebruikt voor de beschouwing van het oorspronkelijk statisch systeem. De eerste variant is voor het dek als ligger op twee steunpunten. Dit is te zien in belastinggeval LC1.1. De andere variant is voor de onderbouw, waarbij de onderbouw niet door het dek wordt gesteund en die is te zien in belastinggeval LC1.2. De bijbehorende afwezigheid is A1.

Er zijn afwezigheden gebruikt om het model te kunnen doorrekenen als ligger op twee steunpunten. Alles wordt daarvoor op afwezig gezet, behalve het brugdek en de extra steunpunten onder het brugdek. De bijbehorende afwezigheid is A2.

De overige groepen van afwezigheden hebben betrekking op de grondbedding. Grond kan alleen druk opnemen. De constructie wordt als lineair model gemodelleerd. Om trek te voorkomen worden afwezigheden toegepast.

Ten gevolge van alle mogelijke combinaties van de permanente belastingen treedt alleen trek op in het deel boven het niveau van het maaiveld in de tunnel. Bij deze belastinggevallen worden daarom de steunpunten bovenin als afwezig toegevoegd.

Ten gevolge van rembelasting en gronddrukken ten gevolge van de verkeersbelasting achter het landhoofd treden horizontale verplaatsingen van het brugdek op. Hierdoor treedt aan één zijde druk op in de beddingen. Aan de andere zijde beweegt de want van de grond af. De trek treedt weer

alleen op in het bovenste deel van de bedding. Dat deel wordt aan beide zijden afzonderlijk ingevoerd als afwezigheid.

Bij de belastinggevallen met tandemstelsels op de stootplaten treedt trek op in de bovenste bedding. Ook hier wordt afwezigheid A4 toegepast.

Bij de afzonderlijke belastinggevallen met de tandemstelsels op het brugdek en bij de belastinggevallen 'gelijkmatige temperatuurcomponent – stijging' en 'temperatuurverschilcomponent – afkoeling' treedt druk op in de bedding. Of daadwerkelijk druk optreedt is mede afhankelijk van de andere belastingen die tegelijkertijd op de constructie werken. Wordt bijvoorbeeld tegelijkertijd geremd, dan treedt aan de zijde waar de wand van de grond af beweegt, geen druk op. Daarom worden voor deze belastinggevallen zowel de situatie met als zonder bedding beschouwd. De belastinggevallen worden dus twee maal beschouwd: eenmaal met de bedding bovenin en eenmaal zonder bedding bovenin.

Modificication group	Afwezigheden	Belastinggeval
A1	Extra steunpunt brugdek t.b.v. beschouwing oorspronkelijk statisch systeem brugdek	LC1.2
	Dek (prefab-liggers incl. druklaag)	
	Horizontale steunpunten op damwand boven -5,6 m NAP	
	Steunpunt op dek t.b.v. verhindering rotatie door gronddrukken	
A2	Alles afwezig, behalve:	LC1.3p
	Extra steunpunt brugdek t.b.v. beschouwing oorspronkelijk statisch systeem brugdek	
	Dek (prefab-liggers incl. druklaag)	
A3	Extra steunpunt brugdek t.b.v. beschouwing oorspronkelijk statisch systeem brugdek	LC4
	Alle horizontale steunpunten op de damwand	
A4	Extra steunpunt brugdek t.b.v. beschouwing oorspronkelijk statisch systeem brugdek	LC1.1, LC2, LC3, LC5, LC6, LC10 t/m LC33, LC34.3, LC34.4, LC35.3, LC35.4, LC36, LC37, LC40, LC41, LC50, LC51.1, LC51.2, LC52.1, LC52.2, LC60 t/m LC62
	Horizontale steunpunten op damwand boven -5,6 m NAP	
	Steunpunt op dek t.b.v. verhindering rotatie door gronddrukken	
A5	Extra steunpunt brugdek t.b.v. beschouwing oorspronkelijk statisch systeem brugdek	LC35.1, LC42
	Horizontale steunpunten op damwand noordzijde boven -5,6 m NAP	
	Steunpunt op dek t.b.v. verhindering rotatie door gronddrukken	
A6	Extra steunpunt brugdek t.b.v. beschouwing oorspronkelijk statisch systeem brugdek	LC35.2, LC43
	Horizontale steunpunten op damwand zuidzijde boven -5,6 m NAP	
	Steunpunt op dek t.b.v. verhindering rotatie door gronddrukken	
A7	Extra steunpunt brugdek t.b.v. beschouwing oorspronkelijk statisch systeem brugdek	LC34.1, LC38
	Horizontale steunpunten op westelijke 11 damwandplanken noordzijde boven -5,6 m NAP	
	Horizontale steunpunten op oostelijke 5 damwandplanken zuidzijde boven -5,6 m NAP	
	Steunpunt op dek t.b.v. verhindering rotatie door gronddrukken	
A8	Extra steunpunt brugdek t.b.v. beschouwing oorspronkelijk statisch systeem brugdek	LC34.2, LC39
	Horizontale steunpunten op westelijke 11 damwandplanken zuidzijde boven -5,6 m NAP	
	Horizontale steunpunten op oostelijke 5 damwandplanken noordzijde boven -5,6 m NAP	
	Steunpunt op dek t.b.v. verhindering rotatie door gronddrukken	
A9	Extra steunpunt brugdek t.b.v. beschouwing oorspronkelijk statisch systeem brugdek	LC16b, LC17b,LC18b, LC25b, LC26b, LC27b
	Steunpunt op dek t.b.v. verhindering rotatie door gronddrukken	

Tabel 47 - Groepen afwezigheden

5.1.4 WAARDEN BIJ COMBINATIES

De waarden die in de belastingcombinaties zijn toegevoegd, zijn in deze paragraaf toegelicht.

Kist-effect

Het kist-effect is van toepassing op het eigengewicht, dus de liggers en de druklaag, én alle belastingen die al voor de verandering van het systeem aanwezig waren. Hieronder valt ook de voorspanning in de prefab liggers (Van Vught, 2015). Om dit te kunnen verwerken in een rekenmodel wordt de krachtsverdeling in het statisch bepaalde model met $e^{-\varphi(\infty,t_0)}$ vermenigvuldigd. De krachtsverdeling in het statisch onbepaalde model ten gevolge van de oorspronkelijke belasting, wordt vermenigvuldigd met $1 - e^{-\varphi(\infty,t_0)}$.

Het kist-effect is bepaald aan de hand van figuur 38.

$$e^{-\varphi(\infty,t_0)} = e^{-1,04} = 0,35$$

$$1 - e^{-\varphi(\infty,t_0)} = 1 - e^{-1,04} = 0,65$$

De waarde van 0,35 wordt toegepast op LC1.1 en LC6. De waarde van 0,65 wordt toegepast op LC1.2 en LC1.3.

Berekening kruip en krimp conform NEN-EN 1992-1-1+C2:2011/NB:2011

Gegevens

Betonkwaliteit	C60/75	$E_c = 1{,}05 \times E_{cm}$	41055	N/mm^2	
cementklasse	R -	u	2000	mm	(omtrek direct beinvloed door temp)
t_0=	28	dagen (ouderdom bij belasten)	A_c	460000	mm^2
t=	36500	dagen (ouderdom op beschouwde tijdstip)	RH	75	% (relatieve luchvochtigheid)
t_s=	1	dagen (ouderdom aan het begin van uitdrogingskrimp)			

Berekening Kruip (conform EC2 Bijlage B.1 Basisvergelijkingen voor het bepalen van de kruipcoëfficiënt)

Lineair kruip verloop

				f_{cm}	68 N/mm^2
$h_0 = 2 \times A_c / u$	460	mm		$a_1 = [35 / f_{cm}]^{0,7}$	= 0,63 -
$\beta(t_0) = 1 / (0{,}1 + t_0^{0,20})$	0,49	-		$a_2 = [35 / f_{cm}]^{0,2}$	= 0,88 -
$\beta(f_{cm}) = 16{,}8 / \sqrt{(f_{cm})}$	2,04	-		$a_3 = [35 / f_{cm}]^{0,5}$	= 0,72 -
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \leq 1500$	1044	≤	1500	(voor $f_{cm} \leq 35$)	
$\beta_H = 1{,}5 \times [1 + (0{,}012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250 \times \alpha_3 \leq 1500 \times \alpha_3$	973	≤	1076	(voor $f_{cm} \geq 35$)	
$\beta_c(t,t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3}$	0,99	-			
$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0})$	1,32	(voor $f_{cm} \leq 35$)			
$\varphi_{RH} = [1 + (1 - RH / 100) / (0{,}1 \times \sqrt[3]{h_0}) \times \alpha_1] \times \alpha_2$	1,05	(voor $f_{cm} \geq 35$)			
$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0)$	1,05	-		kruipfactor	
$\varphi(t,t_0) = \varphi_0 \times \beta_c(t,t_0)$	1,040	-		kruipfactor op t	
$\varepsilon_{cc}(\infty,t_0) = \varphi(\infty,t_0) \times (\sigma c / E_c)$	0,000	‰		totale kruipvervorming	
$\varepsilon_{cc}(t,t_0) = \varphi(t,t_0) \times (\sigma_c / E_c)$	0,000	‰		kruipvervorming op t	

Figuur 38 - Berekening kist-effect

Overige factoren

De overige belasting- en momentaanfactoren zijn bepaald aan de hand van EC0. De gebruikte waarden staan in tabel 48 en 49. Hoe de waarden uit het overzicht met belastingcombinaties zijn bepaald, is in deze paragraaf te lezen.

ULS – Vergelijking 6.10a

De volgende waarden zijn toegepast:

- Permanente belasting
  - Gunstig 0,90 -
  - Ongunstig (1,40 – 0,90) 0,50 -
  - Gunstig incl. kist-effect nieuw (0,90 x 0,65) 0,59 -
  - Ongunstig incl. kist-effect nieuw ([1,40 – 0,90] x 0,65) 0,33 -
  - Gunstig incl. kist-effect oorspronkelijk (0,90 x 0,65) 0,32 -
  - Ongunstig incl. kist-effect oorspronkelijk ([1,40 – 0,90] x 0,65) 0,18 -
  - Voorspanning permanent 0,65 -
  - Voorspanning variabel ([1,20 – 1,00] x 0,65) 0,13 -
- Verkeer
  - Waarde 1 (1,50 x 0,80) 1,20 -
  - Waarde 2 (1,50 x 0,80 x 0,80) 0,96 -
- Wind
  - Waarde 1 1,65 -

Belastinggeval	ULS		
	(STR / GEO) verg. 6.10a	(STR / GEO) verg. 6.10b	Buitengewoon verg. 6.11a
Permanente belasting:			
- ongunstig werkend	1,4	1,25	1,0
- gunstig werkend	0,9	0,9	1,0
- voorspanning	1,0	1,0	1,0
- zettingen (lineair)	1,2	1,2	1,0
Verkeersbelasting	1,5 x Ψ_0	1,5 (x Ψ_0)	1,0 (x $\Psi_{1 \text{ of } 2}$)
Overige veranderlijke belastingen	1,65 x Ψ_0	1,65 (x Ψ_0)	1,0 (x $\Psi_{1 \text{ of } 2}$)
Buitengewone belasting			1,0

Tabel 48 – Belastingfactoren EC0

Belasting			Ψ-factoren		
			Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Verkeers-belastingen	gr1a	TS	0,8	0,8	0,4
		UDL		0,8	
		Horizontale belasting		0,8	
		Voetgangers + fietspad - belastingen		0,8	
	gr1b (enkele as)		0	0,8	0
	gr2 (horizontale krachten dominant)		0,8	0,8	0
	gr3 (voetgangers belastingen)		0	0,8	0
	gr4 (LM4 – belasting door een menigte)		0	0,8	0
	gr5 (LM3 – speciale voertuigen)	TS UDL horizontale belast. Speciaal voertuig	0	0,8 0,8 0,8 1,0	0
Windkrachten			0,3	0,6	0
Thermische belastingen			0,3	0,8	0,3
Sneeuwbelastingen			0	0	0
Belastingen tijdens de bouw			1,0	0	1,0

Tabel 49 – Momentaanfactoren EC0

Gegevens	
Kist-effect op statisch systeem 1	0,35
Kist-effect op statisch systeem 2	0,65
ULS 6.10a - permanent ongunstig	1,40
ULS 6.10a - permanent gunstig	0,90
ULS 6.10a - voorspanning gunstig	1,00
ULS 6.10a - voorspanning ongunstig	1,20
ULS 6.10a - verkeer	1,50
ULS 6.10a - overige veranderlijke belastingen	1,65
ULS 6.10b - permanent ongunstig	1,25
ULS 6.10b - permanent gunstig	0,90
ULS 6.10b - voorspanning	1,00
ULS 6.10b - verkeer	1,50
ULS 6.10b - overige veranderlijke belastingen	1,65
ULS 6.11a - permanent ongunstig	1,00
ULS 6.11a - permanent gunstig	1,00
ULS 6.11a - voorspanning	1,00
ULS 6.11a - verkeer	1,00
ULS 6.11a - overige veranderlijke belastingen	1,00
ULS 6.11a - buitengewone belasting	1,00
SLS - permanent ongunstig	1,00
SLS - verkeer	1,00
SLS - overige veranderlijke belastingen	1,00
Momentaanfactor verkeer gr1a - ψ0	0,80
Momentaanfactor verkeer gr1a - ψ1	0,80
Momentaanfactor verkeer gr1a - ψ2	0,40
Momentaanfactor windkracht - ψ0	0,30
Momentaanfactor windkracht - ψ1	0,60
Momentaanfactor windkracht - ψ2	0,00
Momentaanfactor thermische belasting - ψ0	0,30
Momentaanfactor thermische belasting - ψ1	0,80
Momentaanfactor thermische belasting - ψ2	0,30

Tabel 50 – Belasting- en momentaanfactoren

ULS – Vergelijking 6.10b

De volgende waarden zijn toegepast:

- Permanente belasting
  - Gunstig 0,90 -
  - Ongunstig (1,25 – 0,90) 0,35 -
  - Gunstig incl. kist-effect nieuw (0,90 x 0,65) 0,59 -
  - Ongunstig incl. kist-effect nieuw (0,35 x 0,65) 0,23 -
  - Gunstig incl. kist-effect oorspronkelijk (0,90 x 0,65) 0,32 -
  - Ongunstig incl. kist-effect oorspronkelijk (0,35 x 0,35) 0,12 -
  - Voorspanning permanent 0,65 -
  - Voorspanning variabel ([1,20 – 1,00] x 0,65) 0,13 -
- Verkeer
  - Waarde 1 1,50 -
  - Waarde 2 (1,50 x 0,80) 1,20 -

- Wind
  - Waarde 1 1,65 -

CAL – Vergelijking 6.11b

De volgende waarden zijn toegepast:

- Permanente belasting
  - Bijna alle permanente belastingen 1,00 -
  - Voorspanning permanent 0,65 -
- Verkeer
  - Waarde 1 1,00 -
  - Waarde 2 (1,00 x 0,80) 0,80 -
- Aanrijdbelasting
  - Waarde 1 1,00 -

SLS FREQ – Vergelijking 6.15b 1a/2

De volgende waarden zijn toegepast:

- Permanente belasting
  - Algemeen 1,00 -
  - Incl. kist-effect nieuw (1,00 x 0,65) 0,65 -
  - Incl. kist-effect oorspronkelijk (1,00 x 0,35) 0,35 -
  - Voorspanning permanent 0,65 -
- Verkeer
  - Waarde 1 (1,00 x 0,80) 0,80 -
- Temperatuur
  - Waarde 1 (1,00 x 0,30) 0,30 -
  - Waarde 2 (1,00 x 0,30 x 0,75) 0,225 -
    De factor van 0,75 komt uit EC1-1-5
  - Waarde 3 (1,00 x 0,30 x 0,35) 0,105 -
    De factor van 0,75 komt uit EC1-1-5

SLS FREQ– Vergelijking 6.15b

De volgende waarden zijn toegepast:

- Permanente belasting
  - Algemeen 1,00 -
  - Incl. kist-effect nieuw (1,00 x 0,65) 0,65 -
  - Incl. kist-effect oorspronkelijk (1,00 x 0,35) 0,35 -
  - Voorspanning permanent 0,65 -
- Verkeer
  - Waarde 1 (1,00 x 0,40) 0,40 -
- Temperatuur
  - Waarde 1 (1,00 x 0,80) 0,80 -
  - Waarde 2 (1,00 x 0,80 x 0,75) 0,60 -
    De factor van 0,75 komt uit EC1-1-5
  - Waarde 3 (1,00 x 0,80 x 0,35) 0,28 -
    De factor van 0,75 komt uit EC1-1-5

SLS KAR – Vergelijking 6.14b 1a en 2

De volgende waarden zijn toegepast:

- Permanente belasting
  - Algemeen 1,00 -
  - Incl. kist-effect nieuw (1,00 x 0,65) 0,65 -
  - Incl. kist-effect oorspronkelijk (1,00 x 0,35) 0,35 -
  - Voorspanning permanent 0,65 -
- Verkeer
  - Waarde 1 1,00 -
  - Waarde 2 (1,00 x 0,80) 0,80 -
- Wind
  - Waarde 1 1,00 -
- Temperatuur
  - Waarde 1 (1,00 x 0,30) 0,30 -
  - Waarde 2 (1,00 x 0,30 x 0,75) 0,225 -
    De factor van 0,75 komt uit EC1-1-5
  - Waarde 3 (1,00 x 0,30 x 0,35) 0,105 -
    De factor van 0,75 komt uit EC1-1-5

SLS KAR – Vergelijking 6.14b T+1a en T+2

De volgende waarden zijn toegepast:

- Permanente belasting
  - Algemeen 1,00 -
  - Incl. kist-effect nieuw (1,00 x 0,65) 0,65 -
  - Incl. kist-effect oorspronkelijk (1,00 x 0,35) 0,35 -
  - Voorspanning permanent 0,65 -
- Verkeer
  - Waarde 1 (1,00 x 0,80) 0,80 -
  - Waarde 2 (1,00 x 0,80 x 0,80) 0,64 -
- Wind
  - Waarde 1 1,00 -
- Temperatuur
  - Waarde 1 1,00 -
  - Waarde 2 (1,00 x 0,75) 0,75 -
    De factor van 0,75 komt uit EC1-1-5
  - Waarde 3 (1,00 x 0,35) 0,35 -
    De factor van 0,75 komt uit EC1-1-5

SLS FAT

De volgende waarden zijn toegepast:

- Permanente belasting
  - Algemeen 1,00 -
  - Incl. kist-effect nieuw (1,00 x 0,65) 0,65 -
  - Incl. kist-effect oorspronkelijk (1,00 x 0,35) 0,35 -
  - Voorspanning permanent 0,65 -

- Temperatuur
  - Waarde 1 (1,00 x 0,80) 0,80 -
  - Waarde 2 (1,00 x 0,80 x 0,75) 0,60 -
    De factor van 0,75 komt uit EC1-1-5
  - Waarde 3 (1,00 x 0,80 x 0,35) 0,28 -
    De factor van 0,75 komt uit EC1-1-5

FAT

De volgende waarden zijn toegepast:

- Verkeer
  - Waarde 1 0,26 -
  - Waarde 2 (1,00 x 0,80) 0,70 -

5.2 OVERZICHT BELASTINGCOMBINATIES

Op de volgende pagina zijn de belastingcombinaties te zien, waarbij de waarden uit paragraaf 3.1 zijn gebruikt.

			Result class:	ULS - 6.10a - 1a - γ_{vk} = 1,20								ULS - 6.10a - 2 - γ_{vk} = 0,96							
			Combinatie:	ULS1	ULS2	ULS3	ULS4	ULS5	ULS6	ULS7	ULS8	ULS9	ULS10	ULS11	ULS12	ULS13	ULS14	ULS15	ULS16
			Lineair/niet-lineair:	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
			Vergelijking:	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a	6.10a
Belasting	Naam	Afwezigheden***	Belastinggroep/groep:	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	2	2	2	2	2	2	2	2
LC1.1p	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	P		0,59		0,59		0,59		0,59		0,59		0,59		0,59		0,59
LC1.1v	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	T1		0,33		0,33		0,33		0,33		0,33		0,33		0,33		0,33
LC1.2p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	P	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32
LC1.2v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	T1	0,50	0,18	0,50	0,18	0,50	0,18	0,50	0,18	0,50	0,18	0,50	0,18	0,50	0,18	0,50	0,18
LC1.3p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	P	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32
LC1.3v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	T1	0,50	0,18	0,50	0,18	0,50	0,18	0,50	0,18	0,50	0,18	0,50	0,18	0,50	0,18	0,50	0,18
LC2p	Rustende belasting	A4	P	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
LC2v	Rustende belasting	A4	T1	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
LC3p	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	P	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
LC3v	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	T1	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
LC4p	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	P	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
LC4v	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	T2	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
LC5	Krimp	A4	P		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00
LC6p	Kist-effect - voorspanning	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC6v	Kist-effect - voorspanning	A4	V		0,13		0,13		0,13		0,13		0,13		0,13		0,13		0,13
LC10	LM1 - rand west - UDL	A4	E1	1,20	1,20			1,20	1,20			0,96	0,96			0,96	0,96		
LC11	LM1 - midden - UDL	A4	E1			1,20	1,20			1,20	1,20			0,96	0,96			0,96	0,96
LC12	LM1 - rand west - UDL - stootplaten noord	A4	E2	1,20	1,20							0,96	0,96						
LC13	LM1 - rand west - UDL - stootplaten zuid	A4	E3	1,20	1,20							0,96	0,96						
LC14	LM1 - midden - UDL - stootplaten noord	A4	E2			1,20	1,20							0,96	0,96				
LC15	LM1 - midden - UDL - stootplaten zuid	A4	E3			1,20	1,20							0,96	0,96				
LC16.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1	A4	E4	1,20	1,20							0,96	0,96						
LC17.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 2	A4	E5	1,20	1,20							0,96	0,96						
LC18.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 3	A4	E6	1,20	1,20							0,96	0,96						
LC19	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4	1,20	1,20							0,96	0,96						
LC20	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5	1,20	1,20							0,96	0,96						
LC21	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6	1,20	1,20							0,96	0,96						
LC22	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4	1,20	1,20							0,96	0,96						
LC23	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5	1,20	1,20							0,96	0,96						
LC24	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6	1,20	1,20							0,96	0,96						
LC25.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 1	A4	E4			1,20	1,20							0,96	0,96				
LC26.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 2	A4	E5			1,20	1,20							0,96	0,96				
LC27.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 3	A4	E6			1,20	1,20							0,96	0,96				
LC28	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4			1,20	1,20							0,96	0,96				
LC29	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5			1,20	1,20							0,96	0,96				
LC30	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6			1,20	1,20							0,96	0,96				
LC31	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4			1,20	1,20							0,96	0,96				
LC32	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5			1,20	1,20							0,96	0,96				
LC33	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6			1,20	1,20							0,96	0,96				
LC34.1	Rem-/aanzetbelasting - rand NZ	A4	E7	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
LC34.2	Rem-/aanzetbelasting - rand ZN	A4	E7	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
LC34.3	Rem-/aanzetbelasting - rand WO	A4	E8	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
LC34.4	Rem-/aanzetbelasting - rand OW	A4	E8	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
LC35.1	Rem-/aanzetbelasting - midden NZ	A4	E7	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
LC35.2	Rem-/aanzetbelasting - midden ZN	A4	E7	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
LC35.3	Rem-/aanzetbelasting - midden WO	A4	E8	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
LC35.4	Rem-/aanzetbelasting - midden OW	A4	E8	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
LC36	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - noord	A4	E2	1,20	1,20			1,20	1,20			0,96	0,96			0,96	0,96		
LC37	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - zuid	A4	E3	1,20	1,20			1,20	1,20			0,96	0,96			0,96	0,96		
LC38.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord UGT	A4	E4					1,20	1,20							0,96	0,96		
LC38.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord FAT	A4	E4					1,20	1,20							0,96	0,96		
LC39.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid UGT	A4	E4					1,20	1,20							0,96	0,96		
LC39.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid FAT	A4	E4					1,20	1,20							0,96	0,96		
LC40	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - noord	A4	E2			1,20	1,20			1,20	1,20			0,96	0,96			0,96	0,96
LC41	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - zuid	A4	E3			1,20	1,20			1,20	1,20			0,96	0,96			0,96	0,96
LC42.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4							1,20	1,20							0,96	0,96
LC42.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord FAT	A4	E4							1,20	1,20							0,96	0,96
LC43.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4							1,20	1,20							0,96	0,96
LC43.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - zuid FAT	A4	E4							1,20	1,20							0,96	0,96
LC50.1	Wind NZ	A4	E9	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC50.2	Wind ZN	A4	E9	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC50.3	Wind WO	A4	E10	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC50.4	Wind OW	A4	E10	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC51.1	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11																
LC51.1b	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11																
LC51.2	Gelijkmatige temperatuurcomponent - daling	A4	E11																
LC52.1	Temperatuurverschilcomponent - opwarming bovenzijde	A4	E12																
LC52.2	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12																
LC52.2b	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12																
LC60	Aanrijdbelasting bovenbouw - zijkant dek	A4	E13																
LC61.1	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC61.2	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC62.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1 - verkeersongeval	A4	E4																

Tabel S1 - ULS - 6.10a 1a en 2

			Result class:	ULS - 6.10b - 1a - γ_M = 1,50								ULS - 6.10b - 2 - γ_M = 1,20							
			Combinatie:	ULS17	ULS18	ULS19	ULS20	ULS21	ULS22	ULS23	ULS24	ULS25	ULS26	ULS27	ULS28	ULS29	ULS30	ULS31	ULS32
			Lineair/niet-lineair:	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
			Vergelijking:	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b	6.10b
Belasting	Naam	Afwezigheden***	Belastinggroep/groep:	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	2	2	2	2	2	2	2	2
LC1.1p	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	P		0,59		0,59		0,59		0,59		0,59		0,59		0,59		0,59
LC1.1v	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	T1		0,23		0,23		0,23		0,23		0,23		0,23		0,23		0,23
LC1.2p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	P	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32
LC1.2v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	T1	0,35	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12
LC1.3p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	P	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32	0,90	0,32
LC1.3v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	T1	0,35	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12	0,35	0,12
LC2p	Rustende belasting	A4	P	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
LC2v	Rustende belasting	A4	T1	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
LC3p	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	P	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
LC3v	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	T1	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
LC4p	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	P	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
LC4v	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	T2	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
LC5	Krimp	A4	P		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00
LC6p	Kist-effect - voorspanning	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC6v	Kist-effect - voorspanning	A4	V		0,13		0,13		0,13		0,13		0,13		0,13		0,13		0,13
LC10	LM1 - rand west - UDL	A4	E1	1,50	1,50			1,50	1,50			1,20	1,20			1,20	1,20		
LC11	LM1 - midden - UDL	A4	E1			1,50	1,50			1,50	1,50			1,20	1,20			1,20	1,20
LC12	LM1 - rand west - UDL - stootplaten noord	A4	E2	1,50	1,50							1,20	1,20						
LC13	LM1 - rand west - UDL - stootplaten zuid	A4	E3	1,50	1,50							1,20	1,20						
LC14	LM1 - midden - UDL - stootplaten noord	A4	E2			1,50	1,50							1,20	1,20				
LC15	LM1 - midden - UDL - stootplaten zuid	A4	E3			1,50	1,50							1,20	1,20				
LC16.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1	A4	E4	1,50	1,50							1,20	1,20						
LC17.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 2	A4	E5	1,50	1,50							1,20	1,20						
LC18.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 3	A4	E6	1,50	1,50							1,20	1,20						
LC19	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4	1,50	1,50							1,20	1,20						
LC20	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5	1,50	1,50							1,20	1,20						
LC21	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6	1,50	1,50							1,20	1,20						
LC22	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4	1,50	1,50							1,20	1,20						
LC23	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5	1,50	1,50							1,20	1,20						
LC24	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6	1,50	1,50							1,20	1,20						
LC25.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 1	A4	E4			1,50	1,50							1,20	1,20				
LC26.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 2	A4	E5			1,50	1,50							1,20	1,20				
LC27.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 3	A4	E6			1,50	1,50							1,20	1,20				
LC28	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4			1,50	1,50							1,20	1,20				
LC29	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5			1,50	1,50							1,20	1,20				
LC30	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6			1,50	1,50							1,20	1,20				
LC31	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4			1,50	1,50							1,20	1,20				
LC32	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5			1,50	1,50							1,20	1,20				
LC33	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6			1,50	1,50							1,20	1,20				
LC34.1	Rem-/aanzetbelasting - rand NZ	A4	E7	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
LC34.2	Rem-/aanzetbelasting - rand ZN	A4	E7	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
LC34.3	Rem-/aanzetbelasting - rand WO	A4	E8	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
LC34.4	Rem-/aanzetbelasting - rand OW	A4	E8	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
LC35.1	Rem-/aanzetbelasting - midden NZ	A4	E7	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
LC35.2	Rem-/aanzetbelasting - midden ZN	A4	E7	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
LC35.3	Rem-/aanzetbelasting - midden WO	A4	E8	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
LC35.4	Rem-/aanzetbelasting - midden OW	A4	E8	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
LC36	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - noord	A4	E2	1,50	1,50			1,50	1,50			1,20	1,20			1,20	1,20		
LC37	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - zuid	A4	E3	1,50	1,50			1,50	1,50			1,20	1,20			1,20	1,20		
LC38.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord UGT	A4	E4					1,50	1,50							1,20	1,20		
LC38.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord FAT	A4	E4					1,50	1,50							1,20	1,20		
LC39.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid UGT	A4	E4					1,50	1,50							1,20	1,20		
LC39.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid FAT	A4	E4					1,50	1,50							1,20	1,20		
LC40	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - noord	A4	E2			1,50	1,50			1,50	1,50			1,20	1,20			1,20	1,20
LC41	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - zuid	A4	E3			1,50	1,50			1,50	1,50			1,20	1,20			1,20	1,20
LC42.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4							1,50	1,50							1,20	1,20
LC42.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord FAT	A4	E4							1,50	1,50							1,20	1,20
LC43.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4							1,50	1,50							1,20	1,20
LC43.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - zuid FAT	A4	E4							1,50	1,50							1,20	1,20
LC50.1	Wind NZ	A4	E9	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC50.2	Wind ZN	A4	E9	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC50.3	Wind WO	A4	E10	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC50.4	Wind OW	A4	E10	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65
LC51.1	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11																
LC51.1b	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11																
LC51.2	Gelijkmatige temperatuurcomponent - daling	A4	E11																
LC52.1	Temperatuurverschilcomponent - opwarming bovenzijde	A4	E12																
LC52.2	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12																
LC52.2b	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12																
LC60	Aanrijdbelasting bovenbouw - zijkant dek	A4	E13																
LC61.1	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC61.2	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC62.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1 - verkeersongeval	A4	E4																

Tabel 52 - ULS - 6.10b 1a en 2

			Result class:	ULS CAL - 6.11b - verkeersongeval - γ_{sl} = 1,00								
			Combinatie:	CAL1	CAL2	CAL3	CAL4	CAL5	CAL6	CAL7	CAL8	CAL9
			Lineair/niet-lineair:	L	L	L	L	L	L	L	L	L
			Vergelijking:	6.11b	6.11b	6.11b	6.11b	6.11b	6.11b	6.11b	6.11b	6.11b
Belasting	Naam	Afwezigheden***	Belastinggroep/groep:	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC1.1p	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	P									
LC1.1v	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	T1									
LC1.2p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC1.2v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	T1									
LC1.3p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC1.3v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	T1									
LC2p	Rustende belasting	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC2v	Rustende belasting	A4	T1									
LC3p	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC3v	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	T1									
LC4p	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC4v	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	T2									
LC5	Krimp	A4	P									
LC6p	Kist-effect - voorspanning	A4	P			0,65		0,65		0,65		0,65
LC6v	Kist-effect - voorspanning	A4	V									
LC10	LM1 - rand west - UDL	A4	E1	1,00	0,80	0,80			0,80	0,80		
LC11	LM1 - midden - UDL	A4	E1				0,80	0,80			0,80	0,80
LC12	LM1 - rand west - UDL - stootplaten noord	A4	E2	1,00	0,80	0,80						
LC13	LM1 - rand west - UDL - stootplaten zuid	A4	E3	1,00	0,80	0,80						
LC14	LM1 - midden - UDL - stootplaten noord	A4	E2				0,80	0,80				
LC15	LM1 - midden - UDL - stootplaten zuid	A4	E3				0,80	0,80				
LC16.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1	A4	E4		0,80	0,80						
LC17.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 2	A4	E5	1,00	0,80	0,80						
LC18.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 3	A4	E6	1,00	0,80	0,80						
LC19	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4		0,80	0,80						
LC20	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5		0,80	0,80						
LC21	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6		0,80	0,80						
LC22	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4		0,80	0,80						
LC23	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5		0,80	0,80						
LC24	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6		0,80	0,80						
LC25.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 1	A4	E4				0,80	0,80				
LC26.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 2	A4	E5				0,80	0,80				
LC27.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 3	A4	E6				0,80	0,80				
LC28	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4				0,80	0,80				
LC29	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5				0,80	0,80				
LC30	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6				0,80	0,80				
LC31	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4				0,80	0,80				
LC32	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5				0,80	0,80				
LC33	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6				0,80	0,80				
LC34.1	Rem-/aanzetbelasting - rand NZ	A4	E7		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC34.2	Rem-/aanzetbelasting - rand ZN	A4	E7		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC34.3	Rem-/aanzetbelasting - rand WO	A4	E8		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC34.4	Rem-/aanzetbelasting - rand OW	A4	E8		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.1	Rem-/aanzetbelasting - midden NZ	A4	E7		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.2	Rem-/aanzetbelasting - midden ZN	A4	E7		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.3	Rem-/aanzetbelasting - midden WO	A4	E8		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.4	Rem-/aanzetbelasting - midden OW	A4	E8		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC36	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - noord	A4	E2	1,00	0,80	0,80			0,80	0,80		
LC37	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - zuid	A4	E3	1,00	0,80	0,80			0,80	0,80		
LC38.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord UGT	A4	E4						0,80	0,80		
LC38.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord FAT	A4	E4						0,80	0,80		
LC39.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid UGT	A4	E4						0,80	0,80		
LC39.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid FAT	A4	E4						0,80	0,80		
LC40	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - noord	A4	E2				0,80	0,80			0,80	0,80
LC41	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - zuid	A4	E3				0,80	0,80			0,80	0,80
LC42.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4								0,80	0,80
LC42.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord FAT	A4	E4								0,80	0,80
LC43.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4								0,80	0,80
LC43.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - zuid FAT	A4	E4								0,80	0,80
LC50.1	Wind NZ	A4	E9									
LC50.2	Wind ZN	A4	E9									
LC50.3	Wind WO	A4	E10									
LC50.4	Wind OW	A4	E10									
LC51.1	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11									
LC51.1b	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11									
LC51.2	Gelijkmatige temperatuurcomponent - daling	A4	E11									
LC52.1	Temperatuurverschilcomponent - opwarming bovenzijde	A4	E12									
LC52.2	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12									
LC52.2b	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12									
LC60	Aanrijdbelasting bovenbouw - zijkant dek	A4	E13		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC61.1	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC61.2	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC62.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1 - verkeersongeval	A4	E4	1,00								

Tabel 53 - CAL 6.11b

			Result class:	SLS - FREQ - 6.15b - 1a/2 - γ_{sd} = 0,80															
			Combinatie:	SLS1	SLS2	SLS3	SLS4	SLS5	SLS6	SLS7	SLS8	SLS9	SLS10	SLS11	SLS12	SLS13	SLS14	SLS15	SLS16
			Lineair/niet-lineair:	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
			Vergelijking:	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b
Belasting	Naam	Afwezigheden***	Belastinggroep/groep:	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2	1a/2
LC1.1p	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC1.1v	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	T1																
LC1.2p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	P	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35
LC1.2v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	T1																
LC1.3p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	P	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35
LC1.3v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	T1																
LC2p	Rustende belasting	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC2v	Rustende belasting	A4	T1																
LC3p	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC3v	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	T1																
LC4p	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC4v	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	T2																
LC5	Krimp	A4	P		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00
LC6p	Kist-effect - voorspanning	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC6v	Kist-effect - voorspanning	A4	V																
LC10	LM1 - rand west - UDL	A4	E1	0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80				
LC11	LM1 - midden - UDL	A4	E1					0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80
LC12	LM1 - rand west - UDL - stootplaten noord	A4	E2	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC13	LM1 - rand west - UDL - stootplaten zuid	A4	E3	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC14	LM1 - midden - UDL - stootplaten noord	A4	E2					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC15	LM1 - midden - UDL - stootplaten zuid	A4	E3					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC16.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1	A4	E4	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC17.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 2	A4	E5	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC18.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 3	A4	E6	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC19	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC20	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC21	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC22	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC23	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC24	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC25.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 1	A4	E4					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC26.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 2	A4	E5					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC27.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 3	A4	E6					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC28	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC29	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC30	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC31	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC32	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC33	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC34.1	Rem-/aanzetbelasting - rand NZ	A4	E7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC34.2	Rem-/aanzetbelasting - rand ZN	A4	E7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC34.3	Rem-/aanzetbelasting - rand WO	A4	E8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC34.4	Rem-/aanzetbelasting - rand OW	A4	E8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.1	Rem-/aanzetbelasting - midden NZ	A4	E7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.2	Rem-/aanzetbelasting - midden ZN	A4	E7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.3	Rem-/aanzetbelasting - midden WO	A4	E8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.4	Rem-/aanzetbelasting - midden OW	A4	E8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC36	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - noord	A4	E2	0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80				
LC37	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - zuid	A4	E3	0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80				
LC38.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord UGT	A4	E4									0,80	0,80	0,80	0,80				
LC38.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord FAT	A4	E4									0,80	0,80	0,80	0,80				
LC39.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid UGT	A4	E4									0,80	0,80	0,80	0,80				
LC39.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid FAT	A4	E4									0,80	0,80	0,80	0,80				
LC40	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - noord	A4	E2					0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80
LC41	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - zuid	A4	E3					0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80
LC42.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4													0,80	0,80	0,80	0,80
LC42.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord FAT	A4	E4													0,80	0,80	0,80	0,80
LC43.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4													0,80	0,80	0,80	0,80
LC43.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - zuid FAT	A4	E4													0,80	0,80	0,80	0,80
LC50.1	Wind NZ	A4	E9																
LC50.2	Wind ZN	A4	E9																
LC50.3	Wind WO	A4	E10																
LC50.4	Wind OW	A4	E10																
LC51.1	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105
LC51.1b	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105
LC51.2	Gelijkmatige temperatuurcomponent - daling	A4	E11	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105
LC52.1	Temperatuurverschilcomponent - opwarming bovenzijde	A4	E12	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30
LC52.2	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30
LC52.2b	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30
LC60	Aanrijdbelasting bovenbouw - zijkant dek	A4	E13																
LC61.1	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC61.2	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC62.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1 - verkeersongeval	A4	E4																

Tabel 54 - SLS FREQ - 6.15b 1a/2

			Result class:	SLS - FREQ - 6.15b - T - γ_{sd} = 0,40															
			Combinatie:	SLS17	SLS18	SLS19	SLS20	SLS21	SLS22	SLS23	SLS24	SLS25	SLS26	SLS27	SLS28	SLS29	SLS30	SLS31	SLS32
			Lineair/niet-lineair:	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
			Vergelijking:	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b	6.15b
Belasting	Naam	Afwezigheden***	Belastinggroep/groep:	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
LC1.1p	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC1.1v	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	T1																
LC1.2p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	P	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35
LC1.2v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	T1																
LC1.3p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	P	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35
LC1.3v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	T1																
LC2p	Rustende belasting	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC2v	Rustende belasting	A4	T1																
LC3p	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC3v	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	T1																
LC4p	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC4v	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	T2																
LC5	Krimp	A4	P		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00
LC6p	Kist-effect - voorspanning	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC6v	Kist-effect - voorspanning	A4	V																
LC10	LM1 - rand west - UDL	A4	E1	0,40	0,40	0,40	0,40					0,40	0,40	0,40	0,40				
LC11	LM1 - midden - UDL	A4	E1					0,40	0,40	0,40	0,40					0,40	0,40	0,40	0,40
LC12	LM1 - rand west - UDL - stootplaten noord	A4	E2	0,40	0,40	0,40	0,40												
LC13	LM1 - rand west - UDL - stootplaten zuid	A4	E3	0,40	0,40	0,40	0,40												
LC14	LM1 - midden - UDL - stootplaten noord	A4	E2					0,40	0,40	0,40	0,40								
LC15	LM1 - midden - UDL - stootplaten zuid	A4	E3					0,40	0,40	0,40	0,40								
LC16.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1	A4	E4	0,40	0,40	0,40	0,40												
LC17.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 2	A4	E5	0,40	0,40	0,40	0,40												
LC18.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 3	A4	E6	0,40	0,40	0,40	0,40												
LC19	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4	0,40	0,40	0,40	0,40												
LC20	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5	0,40	0,40	0,40	0,40												
LC21	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6	0,40	0,40	0,40	0,40												
LC22	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4	0,40	0,40	0,40	0,40												
LC23	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5	0,40	0,40	0,40	0,40												
LC24	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6	0,40	0,40	0,40	0,40												
LC25.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 1	A4	E4					0,40	0,40	0,40	0,40								
LC26.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 2	A4	E5					0,40	0,40	0,40	0,40								
LC27.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 3	A4	E6					0,40	0,40	0,40	0,40								
LC28	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4					0,40	0,40	0,40	0,40								
LC29	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5					0,40	0,40	0,40	0,40								
LC30	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6					0,40	0,40	0,40	0,40								
LC31	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4					0,40	0,40	0,40	0,40								
LC32	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5					0,40	0,40	0,40	0,40								
LC33	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6					0,40	0,40	0,40	0,40								
LC34.1	Rem-/aanzetbelasting - rand NZ	A4	E7	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
LC34.2	Rem-/aanzetbelasting - rand ZN	A4	E7	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
LC34.3	Rem-/aanzetbelasting - rand WO	A4	E8	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
LC34.4	Rem-/aanzetbelasting - rand OW	A4	E8	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
LC35.1	Rem-/aanzetbelasting - midden NZ	A4	E7	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
LC35.2	Rem-/aanzetbelasting - midden ZN	A4	E7	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
LC35.3	Rem-/aanzetbelasting - midden WO	A4	E8	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
LC35.4	Rem-/aanzetbelasting - midden OW	A4	E8	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
LC36	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - noord	A4	E2	0,40	0,40	0,40	0,40					0,40	0,40	0,40	0,40				
LC37	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - zuid	A4	E3	0,40	0,40	0,40	0,40					0,40	0,40	0,40	0,40				
LC38.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord UGT	A4	E4									0,40	0,40	0,40	0,40				
LC38.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord FAT	A4	E4									0,40	0,40	0,40	0,40				
LC39.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid UGT	A4	E4									0,40	0,40	0,40	0,40				
LC39.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid FAT	A4	E4									0,40	0,40	0,40	0,40				
LC40	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - noord	A4	E2					0,40	0,40	0,40	0,40					0,40	0,40	0,40	0,40
LC41	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - zuid	A4	E3					0,40	0,40	0,40	0,40					0,40	0,40	0,40	0,40
LC42.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4													0,40	0,40	0,40	0,40
LC42.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord FAT	A4	E4													0,40	0,40	0,40	0,40
LC43.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4													0,40	0,40	0,40	0,40
LC43.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - zuid FAT	A4	E4													0,40	0,40	0,40	0,40
LC50.1	Wind NZ	A4	E9																
LC50.2	Wind ZN	A4	E9																
LC50.3	Wind WO	A4	E10																
LC50.4	Wind OW	A4	E10																
LC51.1	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	0,80	0,80	0,28	0,28	0,80	0,80	0,28	0,28	0,80	0,80	0,28	0,28	0,80	0,80	0,28	0,28
LC51.1b	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	0,80	0,80	0,28	0,28	0,80	0,80	0,28	0,28	0,80	0,80	0,28	0,28	0,80	0,80	0,28	0,28
LC51.2	Gelijkmatige temperatuurcomponent - daling	A4	E11	0,80	0,80	0,28	0,28	0,80	0,80	0,28	0,28	0,80	0,80	0,28	0,28	0,80	0,80	0,28	0,28
LC52.1	Temperatuurverschilcomponent - opwarming bovenzijde	A4	E12	0,60	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60	0,80	0,80
LC52.2	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,60	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60	0,80	0,80
LC52.2b	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,60	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60	0,80	0,80	0,60	0,60	0,80	0,80
LC60	Aanrijdbelasting bovenbouw - zijkant dek	A4	E13																
LC61.1	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC61.2	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC62.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1 - verkeersongeval	A4	E4																

Tabel 55 - SLS FREQ - 6.15b T

			Result class:	SLS - KAR - 6.14b - 1a - γ_{vk} = 1,00															
			Combinatie:	SLSKAR1	SLSKAR2	SLSKAR3	SLSKAR4	SLSKAR5	SLSKAR6	SLSKAR7	SLSKAR8	SLSKAR9	SLSKAR10	SLSKAR11	SLSKAR12	SLSKAR13	SLSKAR14	SLSKAR15	SLSKAR16
			Lineair/niet-lineair:	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
			Vergelijking:	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b
Belasting	Naam	Afwezigheden***	Belastinggroep/groep:	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a
LC1.1p	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC1.1v	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	T1																
LC1.2p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	P	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35
LC1.2v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	T1																
LC1.3p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	P	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35
LC1.3v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	T1																
LC2p	Rustende belasting	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC2v	Rustende belasting	A4	T1																
LC3p	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC3v	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	T1																
LC4p	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC4v	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	T2																
LC5	Krimp	A4	P		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00
LC6p	Kist-effect - voorspanning	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC6v	Kist-effect - voorspanning	A4	V																
LC10	LM1 - rand west - UDL	A4	E1	1,00	1,00	1,00	1,00					1,00	1,00	1,00	1,00				
LC11	LM1 - midden - UDL	A4	E1					1,00	1,00	1,00	1,00					1,00	1,00	1,00	1,00
LC12	LM1 - rand west - UDL - stootplaten noord	A4	E2	1,00	1,00	1,00	1,00												
LC13	LM1 - rand west - UDL - stootplaten zuid	A4	E3	1,00	1,00	1,00	1,00												
LC14	LM1 - midden - UDL - stootplaten noord	A4	E2					1,00	1,00	1,00	1,00								
LC15	LM1 - midden - UDL - stootplaten zuid	A4	E3					1,00	1,00	1,00	1,00								
LC16.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1	A4	E4	1,00	1,00	1,00	1,00												
LC17.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 2	A4	E5	1,00	1,00	1,00	1,00												
LC18.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 3	A4	E6	1,00	1,00	1,00	1,00												
LC19	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4	1,00	1,00	1,00	1,00												
LC20	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5	1,00	1,00	1,00	1,00												
LC21	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6	1,00	1,00	1,00	1,00												
LC22	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4	1,00	1,00	1,00	1,00												
LC23	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5	1,00	1,00	1,00	1,00												
LC24	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6	1,00	1,00	1,00	1,00												
LC25.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 1	A4	E4					1,00	1,00	1,00	1,00								
LC26.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 2	A4	E5					1,00	1,00	1,00	1,00								
LC27.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 3	A4	E6					1,00	1,00	1,00	1,00								
LC28	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4					1,00	1,00	1,00	1,00								
LC29	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5					1,00	1,00	1,00	1,00								
LC30	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6					1,00	1,00	1,00	1,00								
LC31	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4					1,00	1,00	1,00	1,00								
LC32	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5					1,00	1,00	1,00	1,00								
LC33	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6					1,00	1,00	1,00	1,00								
LC34.1	Rem-/aanzetbelasting - rand NZ	A4	E7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC34.2	Rem-/aanzetbelasting - rand ZN	A4	E7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC34.3	Rem-/aanzetbelasting - rand WO	A4	E8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC34.4	Rem-/aanzetbelasting - rand OW	A4	E8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.1	Rem-/aanzetbelasting - midden NZ	A4	E7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.2	Rem-/aanzetbelasting - midden ZN	A4	E7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.3	Rem-/aanzetbelasting - midden WO	A4	E8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.4	Rem-/aanzetbelasting - midden OW	A4	E8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC36	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - noord	A4	E2	1,00	1,00	1,00	1,00					1,00	1,00	1,00	1,00				
LC37	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - zuid	A4	E3	1,00	1,00	1,00	1,00					1,00	1,00	1,00	1,00				
LC38.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord UGT	A4	E4									1,00	1,00	1,00	1,00				
LC38.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord FAT	A4	E4									1,00	1,00	1,00	1,00				
LC39.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid UGT	A4	E4									1,00	1,00	1,00	1,00				
LC39.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid FAT	A4	E4									1,00	1,00	1,00	1,00				
LC40	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - noord	A4	E2					1,00	1,00	1,00	1,00					1,00	1,00	1,00	1,00
LC41	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - zuid	A4	E3					1,00	1,00	1,00	1,00					1,00	1,00	1,00	1,00
LC42.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4													1,00	1,00	1,00	1,00
LC42.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord FAT	A4	E4													1,00	1,00	1,00	1,00
LC43.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4													1,00	1,00	1,00	1,00
LC43.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - zuid FAT	A4	E4													1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.1	Wind NZ	A4	E9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.2	Wind ZN	A4	E9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.3	Wind WO	A4	E10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.4	Wind OW	A4	E10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC51.1	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105
LC51.1b	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105
LC51.2	Gelijkmatige temperatuurcomponent - daling	A4	E11	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105
LC52.1	Temperatuurverschilcomponent - opwarming bovenzijde	A4	E12	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30
LC52.2	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30
LC52.2b	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30
LC60	Aanrijdbelasting bovenbouw - zijkant dek	A4	E13																
LC61.1	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC61.2	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC62.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1 - verkeersongeval	A4	E4																

Tabel S6 - SLS KAR - 6.14b 1a

			Result class:	SLS - KAR - 6.14b - 2 - γ_M = 0,80															
			Combinatie:	SLSKAR17	SLSKAR18	SLSKAR19	SLSKAR20	SLSKAR21	SLSKAR22	SLSKAR23	SLSKAR24	SLSKAR25	SLSKAR26	SLSKAR27	SLSKAR28	SLSKAR29	SLSKAR30	SLSKAR31	SLSKAR32
			Lineair/niet-lineair:	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
			Vergelijking:	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b
Belasting	Naam	Afwezigheden***	Belastinggroep/groep:	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
LC1.1p	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC1.1v	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	T1																
LC1.2p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	P	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35
LC1.2v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	T1																
LC1.3p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	P	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35
LC1.3v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	T1																
LC2p	Rustende belasting	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC2v	Rustende belasting	A4	T1																
LC3p	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC3v	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	T1																
LC4p	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC4v	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	T2																
LC5	Krimp	A4	P		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00
LC6p	Kist-effect - voorspanning	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC6v	Kist-effect - voorspanning	A4	V																
LC10	LM1 - rand west - UDL	A4	E1	0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80				
LC11	LM1 - midden - UDL	A4	E1					0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80
LC12	LM1 - rand west - UDL - stootplaten noord	A4	E2	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC13	LM1 - rand west - UDL - stootplaten zuid	A4	E3	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC14	LM1 - midden - UDL - stootplaten noord	A4	E2					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC15	LM1 - midden - UDL - stootplaten zuid	A4	E3					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC16.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1	A4	E4	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC17.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 2	A4	E5	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC18.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 3	A4	E6	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC19	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC20	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC21	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC22	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC23	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC24	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC25.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 1	A4	E4					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC26.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 2	A4	E5					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC27.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 3	A4	E6					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC28	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC29	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC30	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC31	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC32	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC33	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC34.1	Rem-/aanzetbelasting - rand NZ	A4	E7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC34.2	Rem-/aanzetbelasting - rand ZN	A4	E7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC34.3	Rem-/aanzetbelasting - rand WO	A4	E8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC34.4	Rem-/aanzetbelasting - rand OW	A4	E8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC35.1	Rem-/aanzetbelasting - midden NZ	A4	E7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC35.2	Rem-/aanzetbelasting - midden ZN	A4	E7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC35.3	Rem-/aanzetbelasting - midden WO	A4	E8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC35.4	Rem-/aanzetbelasting - midden OW	A4	E8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC36	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - noord	A4	E2	0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80				
LC37	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - zuid	A4	E3	0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80				
LC38.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord UGT	A4	E4									0,80	0,80	0,80	0,80				
LC38.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord FAT	A4	E4									0,80	0,80	0,80	0,80				
LC39.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid UGT	A4	E4									0,80	0,80	0,80	0,80				
LC39.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid FAT	A4	E4									0,80	0,80	0,80	0,80				
LC40	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - noord	A4	E2					0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80
LC41	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - zuid	A4	E3					0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80
LC42.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4													0,80	0,80	0,80	0,80
LC42.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord FAT	A4	E4													0,80	0,80	0,80	0,80
LC43.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4													0,80	0,80	0,80	0,80
LC43.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - zuid FAT	A4	E4													0,80	0,80	0,80	0,80
LC50.1	Wind NZ	A4	E9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.2	Wind ZN	A4	E9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.3	Wind WO	A4	E10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.4	Wind OW	A4	E10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC51.1	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105
LC51.1b	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105
LC51.2	Gelijkmatige temperatuurcomponent - daling	A4	E11	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105	0,30	0,30	0,105	0,105
LC52.1	Temperatuurverschilcomponent - opwarming bovenzijde	A4	E12	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30
LC52.2	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30
LC52.2b	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30	0,225	0,225	0,30	0,30
LC60	Aanrijdbelasting bovenbouw - zijkant dek	A4	E13																
LC61.1	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC61.2	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC62.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1 - verkeersongeval	A4	E4																

Tabel 57 - SLS KAR - 6.14b 2

			Result class:	SLS - KAR - 6.14b - T+1a - γ_{sd} = 0,80															
			Combinatie:	SLSKAR33	SLSKAR34	SLSKAR35	SLSKAR36	SLSKAR37	SLSKAR38	SLSKAR39	SLSKAR40	SLSKAR41	SLSKAR42	SLSKAR43	SLSKAR44	SLSKAR45	SLSKAR46	SLSKAR47	SLSKAR48
			Lineair/niet-lineair:	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
			Vergelijking:	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b
Belasting	Naam	Afwezigheden***	Belastinggroep/groep:	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a
LC1.1p	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC1.1v	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	T1																
LC1.2p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	P	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35
LC1.2v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	T1																
LC1.3p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	P	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35
LC1.3v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	T1																
LC2p	Rustende belasting	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC2v	Rustende belasting	A4	T1																
LC3p	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC3v	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	T1																
LC4p	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC4v	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	T2																
LC5	Krimp	A4	P		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00
LC6p	Kist-effect - voorspanning	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC6v	Kist-effect - voorspanning	A4	V																
LC10	LM1 - rand west - UDL	A4	E1	0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80				
LC11	LM1 - midden - UDL	A4	E1					0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80
LC12	LM1 - rand west - UDL - stootplaten noord	A4	E2	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC13	LM1 - rand west - UDL - stootplaten zuid	A4	E3	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC14	LM1 - midden - UDL - stootplaten noord	A4	E2					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC15	LM1 - midden - UDL - stootplaten zuid	A4	E3					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC16.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1	A4	E4	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC17.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 2	A4	E5	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC18.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 3	A4	E6	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC19	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC20	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC21	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC22	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC23	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC24	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6	0,80	0,80	0,80	0,80												
LC25.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 1	A4	E4					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC26.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 2	A4	E5					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC27.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 3	A4	E6					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC28	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC29	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC30	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC31	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC32	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC33	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6					0,80	0,80	0,80	0,80								
LC34.1	Rem-/aanzetbelasting - rand NZ	A4	E7	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
LC34.2	Rem-/aanzetbelasting - rand ZN	A4	E7	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
LC34.3	Rem-/aanzetbelasting - rand WO	A4	E8	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
LC34.4	Rem-/aanzetbelasting - rand OW	A4	E8	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
LC35.1	Rem-/aanzetbelasting - midden NZ	A4	E7	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
LC35.2	Rem-/aanzetbelasting - midden ZN	A4	E7	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
LC35.3	Rem-/aanzetbelasting - midden WO	A4	E8	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
LC35.4	Rem-/aanzetbelasting - midden OW	A4	E8	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
LC36	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - noord	A4	E2	0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80				
LC37	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - zuid	A4	E3	0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80				
LC38.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord UGT	A4	E4									0,80	0,80	0,80	0,80				
LC38.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord FAT	A4	E4									0,80	0,80	0,80	0,80				
LC39.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid UGT	A4	E4									0,80	0,80	0,80	0,80				
LC39.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid FAT	A4	E4									0,80	0,80	0,80	0,80				
LC40	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - noord	A4	E2					0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80
LC41	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - zuid	A4	E3					0,80	0,80	0,80	0,80					0,80	0,80	0,80	0,80
LC42.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4													0,80	0,80	0,80	0,80
LC42.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord FAT	A4	E4													0,80	0,80	0,80	0,80
LC43.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4													0,80	0,80	0,80	0,80
LC43.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - zuid FAT	A4	E4													0,80	0,80	0,80	0,80
LC50.1	Wind NZ	A4	E9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.2	Wind ZN	A4	E9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.3	Wind WO	A4	E10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.4	Wind OW	A4	E10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC51.1	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35
LC51.1b	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35
LC51.2	Gelijkmatige temperatuurcomponent - daling	A4	E11	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35
LC52.1	Temperatuurverschilcomponent - opwarming bovenzijde	A4	E12	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00
LC52.2	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00
LC52.2b	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00
LC60	Aanrijdbelasting bovenbouw - zijkant dek	A4	E13																
LC61.1	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC61.2	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC62.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1 - verkeersongeval	A4	E4																

Tabel 58 - SLS KAR - 6.14b T+1a

			Result class:	SLS - KAR - 6.14b - T+2 - γ_{vk} = 0,64															
			Combinatie:	SLSKAR49	SLSKAR50	SLSKAR51	SLSKAR52	SLSKAR53	SLSKAR54	SLSKAR55	SLSKAR56	SLSKAR57	SLSKAR58	SLSKAR59	SLSKAR60	SLSKAR61	SLSKAR62	SLSKAR63	SLSKAR64
			Lineair/niet-lineair:	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
			Vergelijking:	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b	6.14b
Belasting	Naam	Afwezigheden***	Belastinggroep/groep:	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
LC1.1p	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC1.1v	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	T1																
LC1.2p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	P	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35
LC1.2v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	T1																
LC1.3p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	P	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35	1,00	0,35
LC1.3v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	T1																
LC2p	Rustende belasting	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC2v	Rustende belasting	A4	T1																
LC3p	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC3v	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	T1																
LC4p	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	P	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC4v	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	T2																
LC5	Krimp	A4	P		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00		1,00
LC6p	Kist-effect - voorspanning	A4	P		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65		0,65
LC6v	Kist-effect - voorspanning	A4	V																
LC10	LM1 - rand west - UDL	A4	E1	0,64	0,64	0,64	0,64					0,64	0,64	0,64	0,64				
LC11	LM1 - midden - UDL	A4	E1					0,64	0,64	0,64	0,64					0,64	0,64	0,64	0,64
LC12	LM1 - rand west - UDL - stootplaten noord	A4	E2	0,64	0,64	0,64	0,64												
LC13	LM1 - rand west - UDL - stootplaten zuid	A4	E3	0,64	0,64	0,64	0,64												
LC14	LM1 - midden - UDL - stootplaten noord	A4	E2					0,64	0,64	0,64	0,64								
LC15	LM1 - midden - UDL - stootplaten zuid	A4	E3					0,64	0,64	0,64	0,64								
LC16.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1	A4	E4	0,64	0,64	0,64	0,64												
LC17.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 2	A4	E5	0,64	0,64	0,64	0,64												
LC18.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 3	A4	E6	0,64	0,64	0,64	0,64												
LC19	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4	0,64	0,64	0,64	0,64												
LC20	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5	0,64	0,64	0,64	0,64												
LC21	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6	0,64	0,64	0,64	0,64												
LC22	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4	0,64	0,64	0,64	0,64												
LC23	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5	0,64	0,64	0,64	0,64												
LC24	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6	0,64	0,64	0,64	0,64												
LC25.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 1	A4	E4					0,64	0,64	0,64	0,64								
LC26.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 2	A4	E5					0,64	0,64	0,64	0,64								
LC27.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 3	A4	E6					0,64	0,64	0,64	0,64								
LC28	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4					0,64	0,64	0,64	0,64								
LC29	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5					0,64	0,64	0,64	0,64								
LC30	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6					0,64	0,64	0,64	0,64								
LC31	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4					0,64	0,64	0,64	0,64								
LC32	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5					0,64	0,64	0,64	0,64								
LC33	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6					0,64	0,64	0,64	0,64								
LC34.1	Rem-/aanzetbelasting - rand NZ	A4	E7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC34.2	Rem-/aanzetbelasting - rand ZN	A4	E7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC34.3	Rem-/aanzetbelasting - rand WO	A4	E8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC34.4	Rem-/aanzetbelasting - rand OW	A4	E8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.1	Rem-/aanzetbelasting - midden NZ	A4	E7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.2	Rem-/aanzetbelasting - midden ZN	A4	E7	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.3	Rem-/aanzetbelasting - midden WO	A4	E8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC35.4	Rem-/aanzetbelasting - midden OW	A4	E8	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
LC36	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - noord	A4	E2	0,64	0,64	0,64	0,64					0,64	0,64	0,64	0,64				
LC37	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - zuid	A4	E3	0,64	0,64	0,64	0,64					0,64	0,64	0,64	0,64				
LC38.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord UGT	A4	E4									0,64	0,64	0,64	0,64				
LC38.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord FAT	A4	E4									0,64	0,64	0,64	0,64				
LC39.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid UGT	A4	E4									0,64	0,64	0,64	0,64				
LC39.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid FAT	A4	E4									0,64	0,64	0,64	0,64				
LC40	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - noord	A4	E2					0,64	0,64	0,64	0,64					0,64	0,64	0,64	0,64
LC41	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - zuid	A4	E3					0,64	0,64	0,64	0,64					0,64	0,64	0,64	0,64
LC42.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4													0,64	0,64	0,64	0,64
LC42.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord FAT	A4	E4													0,64	0,64	0,64	0,64
LC43.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4													0,64	0,64	0,64	0,64
LC43.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - zuid FAT	A4	E4													0,64	0,64	0,64	0,64
LC50.1	Wind NZ	A4	E9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.2	Wind ZN	A4	E9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.3	Wind WO	A4	E10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC50.4	Wind OW	A4	E10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
LC51.1	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35
LC51.1b	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35
LC51.2	Gelijkmatige temperatuurcomponent - daling	A4	E11	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35	1,00	1,00	0,35	0,35
LC52.1	Temperatuurverschilcomponent - opwarming bovenzijde	A4	E12	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00
LC52.2	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00
LC52.2b	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00	0,75	0,75	1,00	1,00
LC60	Aanrijdbelasting bovenbouw - zijkant dek	A4	E13																
LC61.1	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC61.2	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13																
LC62.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1 - verkeersongeval	A4	E4																

Tabel 59 - SLS KAR - 6.14b T+2

			Result class:	SLS - FAT - γ_{fa} = 1,0				FAT			
			Combinatie:	SLSFAT1	SLSFAT2	SLSFAT3	SLSFAT4	FAT1	FAT2	FAT3	FAT4
			Lineair/niet-lineair:	L	L	L	L	L	L	L	L
			Vergelijking:								
Belasting	Naam	Afwezigheden***	Belastinggroep/groep:	-	-	-	-	-	-	-	-
LC1.1p	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	P		0,65		0,65				
LC1.1v	Eigen gewicht - nieuw statisch systeem	A4	T1								
LC1.2p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	P	1,00	0,35	1,00	0,35				
LC1.2v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - landhoofden	A1	T1								
LC1.3p	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	P	1,00	0,35	1,00	0,35				
LC1.3v	Eigen gewicht - oorspronkelijk statisch systeem - dek	A2	T1								
LC2p	Rustende belasting	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00				
LC2v	Rustende belasting	A4	T1								
LC3p	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	P	1,00	1,00	1,00	1,00				
LC3v	Rustende belasting stootplaten eindsituatie	A4	T1								
LC4p	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	P	1,00	1,00	1,00	1,00				
LC4v	Gronddruk t.g.v. grondaanvulling	A3	T2								
LC5	Krimp	A4	P		1,00		1,00				
LC6p	Kist-effect - voorspanning	A4	P		0,65		0,65				
LC6v	Kist-effect - voorspanning	A4	V								
LC10	LM1 - rand west - UDL	A4	E1					0,26		0,26	
LC11	LM1 - midden - UDL	A4	E1						0,26		0,26
LC12	LM1 - rand west - UDL - stootplaten noord	A4	E2					0,26			
LC13	LM1 - rand west - UDL - stootplaten zuid	A4	E3					0,26			
LC14	LM1 - midden - UDL - stootplaten noord	A4	E2						0,26		
LC15	LM1 - midden - UDL - stootplaten zuid	A4	E3						0,26		
LC16.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1	A4	E4					0,70			
LC17.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 2	A4	E5					0,70			
LC18.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 3	A4	E6					0,70			
LC19	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4					0,70			
LC20	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5					0,70			
LC21	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6					0,70			
LC22	LM1 - rand west - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4					0,70			
LC23	LM1 - rand west - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5					0,70			
LC24	LM1 - rand west - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6					0,70			
LC25.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 1	A4	E4						0,70		
LC26.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 2	A4	E5						0,70		
LC27.1 t/m 20	LM1 - midden - TS str 3	A4	E6						0,70		
LC28	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten noord	A4	E4						0,70		
LC29	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten noord	A4	E5						0,70		
LC30	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten noord	A4	E6						0,70		
LC31	LM1 - midden - TS str 1 - stootplaten zuid	A4	E4						0,70		
LC32	LM1 - midden - TS str 2 - stootplaten zuid	A4	E5						0,70		
LC33	LM1 - midden - TS str 3 - stootplaten zuid	A4	E6						0,70		
LC34.1	Rem-/aanzetbelasting - rand NZ	A4	E7								
LC34.2	Rem-/aanzetbelasting - rand ZN	A4	E7								
LC34.3	Rem-/aanzetbelasting - rand WO	A4	E8								
LC34.4	Rem-/aanzetbelasting - rand OW	A4	E8								
LC35.1	Rem-/aanzetbelasting - midden NZ	A4	E7								
LC35.2	Rem-/aanzetbelasting - midden ZN	A4	E7								
LC35.3	Rem-/aanzetbelasting - midden WO	A4	E8								
LC35.4	Rem-/aanzetbelasting - midden OW	A4	E8								
LC36	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - noord	A4	E2					0,26		0,26	
LC37	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - UDL - zuid	A4	E3					0,26		0,26	
LC38.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord UGT	A4	E4							0,70	
LC38.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - noord FAT	A4	E4							0,70	
LC39.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid UGT	A4	E4							0,70	
LC39.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - rand west - TS - zuid FAT	A4	E4							0,70	
LC40	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - noord	A4	E2						0,26		0,26
LC41	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden - UDL - zuid	A4	E3						0,26		0,26
LC42.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4								0,70
LC42.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord FAT	A4	E4								0,70
LC43.1	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - noord UGT	A4	E4								0,70
LC43.2	Wegverkeer achter landhoofd - LM1 - midden- TS - zuid FAT	A4	E4								0,70
LC50.1	Wind NZ	A4	E9								
LC50.2	Wind ZN	A4	E9								
LC50.3	Wind WO	A4	E10								
LC50.4	Wind OW	A4	E10								
LC51.1	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	0,80	0,80	0,28	0,28				
LC51.1b	Gelijkmatige temperatuurcomponent - stijging	A4	E11	0,80	0,80	0,28	0,28				
LC51.2	Gelijkmatige temperatuurcomponent - daling	A4	E11	0,80	0,80	0,28	0,28				
LC52.1	Temperatuurverschilcomponent - opwarming bovenzijde	A4	E12	0,60	0,60	0,80	0,80				
LC52.2	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,60	0,60	0,80	0,80				
LC52.2b	Temperatuurverschilcomponent - afkoeling bovenzijde	A4	E12	0,60	0,60	0,80	0,80				
LC60	Aanrijdbelasting bovenbouw - zijkant dek	A4	E13								
LC61.1	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13								
LC61.2	Aanrijdbelasting bovenbouw - giekbelasting rand	A4	E13								
LC62.1 t/m 20	LM1 - rand west - TS str 1 - verkeersongeval	A4	E4								

Tabel 60 - SLS FAT en FAT

6. GRONDOPBOUW EN -DRUKKEN

6.1 GRONDOPBOUW

Voor dit ontwerp is uitgegaan van de grondopbouw bij kunstwerk 02 bij De Groene Boog in Rotterdam. Het is een grondopbouw met veel slappe lagen, zoals klei en veen.

	Grondsoort	Bovenkant grondlaag	Soortelijk gewicht droog	Soortelijk gewicht nat	Hoek-verdraaiing
	[-]	[m t.o.v. NAP]	[γ_{dry}]	[$\gamma_{saturated}$]	[°]
	Zand, matig vast	0,0	18,0	20,0	32,5
	Zand, los/siltig/kleiig	-1,7	17,0	19,0	30,0
	Klei, zandig	-5,0	17,0	17,0	26,1
	Zand, los/siltig/kleiig	-6,7	17,0	19,0	30,0
	Klei, humeus	-9,4	13,5	13,5	18,8
	Klei, siltig	-10,4	15,5	15,5	22,5
	Klei, zandig	-12,9	17,0	17,0	26,1
	Zand, los/siltig/kleiig	-13,4	17,0	19,0	30,0
	Basisveen	-14,7	11,0	11,0	17,5
	Zand, los/siltig/kleiig	-15,2	17,0	19,0	30,0
	Zand, matig vast	-16,2	18,0	20,0	20,0
	Teen damwand	-25,2			

Tabel 61 - Grondopbouw KM01

6.2 CONTROLE GRONDDRUKKEN

De volgende controles moeten worden uitgevoerd:

- Controle trekkrachten: in de beddingen mag, vanaf de bovenkant van de damwand tot daar waar grond aanwezig is aan de onderdoorgangzijde, geen trek optreden.
- Controle passieve gronddruk: de som van de gronddrukken uit het EE-model en de gronddrukken uit D-Sheet Piling in de fase met een vrijstaande wand dient kleiner te zijn dan de maximaal toelaatbare gronddruk (passieve gronddruk);

6.2.1 CONTROLE TREKKRACHTEN

Grond kan drukkrachten opnemen, maar geen trekkrachten. Tot op -4,6 m NAP bevindt zich aan de onderdoorgangzijde geen grond en daarom kan de bedding maar in één richting krachten opnemen. De constructie is gemodelleerd met een lineair model. Trek in de beddingen boven -4,6 m NAP is voorkomen door het toevoegen van afwezigheden aan de belastinggevallen.

De maximale trekkracht in een oplegging boven -4,6 m NAP is 3,7 kN en dat is relatief klein. De oplegreactie wordt veroorzaakt door het kwispel-effect ten gevolge van een rembelasting in de langsrichting van het brugdek en de gronddrukken ten gevolge van een tandemstelsel achter het landhoofd. In plaats van trek in de bedding van de damwand, waardoor de damwand van de grond af verplaatst, treedt in werkelijkheid druk op in de bedding van de andere damwand die tegen de grond in verplaatst. Deze druk treedt echter niet op, omdat de bedding op de betreffende damwand in dat belastinggeval afwezig is. Dit compenseert elkaar. De steun door de grond is dus niet dubbel in rekening gebracht en de trek in de oplegging heeft dus geen invloed op de maatgevende snedekrachten.

6.2.2 CONTROLE PASSIEVE GRONDDRUKKEN

Voor de grondlagen waarbij de gronddrukken de passieve weerstand overschrijden, zijn de stijfheden van de verende horizontale steunpunten verlaagd, zodat de gronddrukken ongeveer overeenkomen met de passieve weerstand.

In de oplegreacties in de EE-modellen zijn alleen gronddrukken inbegrepen ten gevolge van belastingen op de constructie die optreden ná de bouw van de constructie. De gronddrukken in de eindsituatie die al vanaf de bouwfase aanwezig zijn, bijvoorbeeld de eerste ophoging, volgen uit D-Sheet Piling. Deze gronddrukken worden opgeteld bij de gronddrukken uit de EE-modellen ten behoeve van de toetsing aan de passieve grondweerstand.

Grondsoort	B.k grondlaag	ϒ	ϒ	φ	δ	C'	$K_{2;laag}$	$K_{2;hoog}$
	[m t.o.v. NAP]	[kN/m³]	[kN/m³]	[°]	[°]	[kN/m²]	[kN/m³]	[kN/m³]
Zand, matig vast	-1,26	18	20	32,5	21,7	0	2.000	4.500
Zand, matig vast	-2,26	18	20	32,5	21,7	0	10.000	22.500
Zand, los/siltig/kleiig	-3	17	19	30	20	0	6.000	13.500
Klei, zandig	-6,3	17	17	26,1	17,4	4,3	400	900
Zand, los/siltig/kleiig	-8	17	19	30	20	0	1.500	3.375
Zand, los/siltig/kleiig	-9	17	19	30	20	0	6.000	13.500
Klei, humeus	-10,7	13,5	13,5	18,8	12,5	5,4	800	1.800
Klei, siltig	-11,7	15,5	15,5	22,5	15	6,4	800	1.800
Klei, zandig	-14,2	17	17	26,1	17,4	4,3	4.000	9.000
Zand, los/siltig/kleiig	-14,7	17	19	30	20	0	6.000	13.500
Basisveen	-16	11	11	17,5	0	3	500	1.125
Zand, los/siltig/kleiig	-16,5	17	19	30	20	0	6.000	13.500
Zand, matig vast	-17,5	18	20	32,5	21,7	0	10.000	22.500

Tabel 62 – Gegevens om veerstijfheden te bepalen ná aanpassen

Grond-soort	B.k grond-laag	Laag-dikte	$K_{2;laag}$	$K_{2;hoog}$	$K_{2;laag;0,5m}$	$K_{2;hoog;0,5m}$	Aantal veren 0,5 m	Resteren-de laagdikte	$K_{2;laag;rest.}$	$K_{2;hoog;rest.}$	K_{langs}	$K_{langs;0,5m}$	$K_{langs;rest.}$
	[m t.o.v. NAP]	[m]	[kN/m²]	[kN/m²]	[kN/m]	[kN/m]	[-]	[m]	[kN/m]	[kN/m]	[MN/m²]	[MN/m]	[MN/m]
	-1,26	1,74	2,8	6,3	1,40	3,15	3	0,24	0,67	1,51	0,057	0,028	0,014
	-2,26	4,04	14	31,5	7,00	15,75	8	0,04	0,56	1,26	0,057	0,028	0,002
	-3	3,3	8,4	18,9	4,20	9,45	6	0,3	2,52	5,67	0,205	0,103	0,062
	-6,3	1,7	0,56	1,26	0,28	0,63	3	0,2	0,11	0,25	0,487	0,243	0,097
	-8	2,7	2,1	4,725	1,05	2,36	5	0,2	0,42	0,94	0,663	0,331	0,133
	-9	2,7	8,4	18,9	4,20	9,45	5	0,2	1,68	3,78	0,663	0,331	0,133
	-10,7	1	1,12	2,52	0,56	1,26	2	0	0,00	0,00	0,785	0,393	0,000
	-11,7	2,5	1,12	2,52	0,56	1,26	5	0	0,00	0,00	0,933	0,467	0,000
	-14,2	0,5	5,6	12,6	2,80	6,30	1	0	0,00	0,00	0,839	0,419	0,000
	-14,7	1,3	8,4	18,9	4,20	9,45	2	0,3	2,52	5,67	1,214	0,607	0,364
	-16	0,5	0,7	1,575	0,35	0,79	1	0	0,00	0,00	0,487	0,243	0,000
	-16,5	1	8,4	18,9	4,20	9,45	2	0	0,00	0,00	1,349	0,675	0,000
	-17,5	9	14	31,5	7,00	15,75	18	0	0,00	0,00	1,985	0,993	0,000
Teen dam-wand	-26,5												

Tabel 63 - Veerstijfheid horizontale steunpunten inclusief correctie (lage stijfheid)

De optredende krachten in de bedding zijn vergeleken met de stijfheden die uit D-Sheet Piling komen. In onderstaande tabel is te zien dat, na correctie van de veerstijfheid, de werkelijke stijfheden niet worden overschreden. De unity check is namelijk kleiner of gelijk aan 1,0.

Grondlaag	Maatgevende zijde	Niveau	$p_{ea;h;p}$ [2)]	$p_{ea;h;DSheet}$	h	B	$(p_{ea;h;p} - p_{eh;h;Dsheet}) \times h \times B$	$R_{x;max;SCIA}$	u.c.
[-]	[-]	[m+NAP]	[kN/m2]	[kN/m2]	[m]	[m]	[kN]	[kN]	[-]
Zand, matig	Grondzijde	-1,48	20,5	1,2	0,5	1,4	13,6	10,05	0,74
Zand, matig	Grondzijde	-2,52	109,7	6,9	0,5	1,4	72,0	31,89	0,44
Zand, los/siltig/ kleiig	Grondzijde	-3,23	145,3	11,9	0,5	1,4	93,4	12,45	0,13
Klei, zandig	Onderdoor-gangzijde	-6,56	23,5	14,4	0,5	1,4	6,36	6,34	1,00
Zand, los/siltig/ kleiig	Onderdoor-gangzijde	-8,27	63,4	36,6	0,5	1,4	18,8	13,54	0,72
Zand, los/siltig/ kleiig	Onderdoor-gangzijde	-9,26	98,9	49,7	0,5	1,4	34,4	18,85	0,55
Klei, humeus	Onderdoor-gangzijde	-11,00	99,8	35,6	0,5	1,4	44,9	1,65	0,04
Klei, siltig	Onderdoor-gangzijde	-11,95	130,3	38,4	0,5	1,4	64,3	1,24	0,02

Tabel 64 - Controle overschrijden stijfheden