

AFSTUDEER ONDERZOEK JOHAN DE BOON

Quick Scan methode voor T-liggers

Verifieerbare, snelle aanpak voor controleren veiligheid T-ligger constructies volgens huidige normen en inzichten

Datum 10 juli 2018
Status Definitief



Colofon

Uitgegeven door	Johan de Boon
Informatie	TU-Delft + Rijkswaterstaat
Telefoon	06-27208107
E-mail	johandeboon@live.nl
Uitgevoerd door	Johan de Boon
Datum	10 juli 2018
Status	Definitief
Versienummer	1

Samenvatting

Vanuit Rijkswaterstaat is de wens om een snelle, verifieerbare methode te ontwikkelen voor het controleren van de veiligheid voor meerdere T-ligger constructies volgens huidige normen en inzichten. Hierbij dient rekening gehouden te worden met eventuele wijzigingen in de toekomst, welke door de huidige ontwikkelingen op het gebied van dwarskrachtonderzoek te verwachten zijn. Het is de verwachting dat op basis van verfijnde beoordelingen en verder fundamenteel onderzoek de 'reserves' middels een quickscan-aanpassing inzichtelijk gemaakt kunnen worden. Hierdoor zou een deel van de onderzochte kunstwerken mogelijk alsnog voldoen aan de veiligheidsnormen.

Door diverse berekeningsmethoden met elkaar te vergelijken is getracht een methode te vinden welke simpel toepasbaar is, realistische resultaten voor dwarskracht en moment geeft ten gevolge van de verkeersbelasting en tevens conservatief is. Door deze te vergelijken met diverse Scia-berekeningen is een methode gekozen die het best aan de eerdergenoemde punten voldoet. Tevens zijn de invloeden van meerdere uitgangspunten met elkaar vergeleken. Nadat inzicht is verkregen in de manier waarop de belasting over de liggers is verdeeld, is een generiek systeem gemaakt, een zogenaamde quickscan. De quickscan maakt op een snelle manier duidelijk of de gekozen snede voldoende weerstand kan bieden aan de behorende belastingcombinaties. De quickscan is een generieke, eenvoudig toepasbare, conservatieve methode om 'het kaf van het koren te scheiden' voor de dwarskrachttoets, zonder dat daarvoor EEM-software nodig is, welke tevens de Scia-berekeningen zo goed mogelijk benadert. Om deze zo goed mogelijk te ontwikkelen is een beoordelingsprocedure gerealiseerd welke zich vormt tot de quickscan.

Om inzicht te verkrijgen in de invloed van de verkeersbelasting op de liggers en om deze conservatief te benaderen, zijn diverse berekeningsmethoden met elkaar vergeleken. Uit deze vergelijking is gebleken dat de beste benadering voor de verkeersbelasting de 'verspreide methode' is. Hierbij wordt de belasting gespreid of is deze niet afhankelijk van de locatie van de dwarsdragers. Met deze kennis is de quickscan Boon ontwikkeld. Deze kan worden uitgevoerd door enkele parameters in te vullen, zoals: de lengte van de ligger, het oppervlak van de ligger, het voorspanverloop, de dwarsdragers en door de 'kritische' sneden (belangrijke te toetsen sneden) van de ligger te bepalen. Daarna kan snel en slim inzichtelijk worden gemaakt wat de UC op deze sneden van de constructie is, en wat de consequenties van wijziging van uitgangspunten zijn. Uit het onderzoek is gebleken dat het tandemstelsel altijd op een hoek van 30 graden vanaf het gekozen punt tot hart rijstrook moet staan om de maximale dwarskracht in dat punt te vinden. Deze belastingsposities worden automatisch gevonden, waarna direct de dwarskracht en het bijbehorende moment berekend wordt met behulp van de verspreide methode. Hierdoor kan de constructieve beoordeling van de liggers snel inzichtelijk worden gemaakt.

De quickscan Boon is een eenvoudig toepasbare, realistische, conservatieve beoordeling voor T-ligger constructies, welke inzicht geeft in de maatgevende belastingcombinatie en gemakkelijk te verifiëren is. De kracht van deze methode is dat door te variëren met diverse parameters (zoals capaciteitsaspecten, te toetsen snede en rijwegindeling) direct de invloed van deze parameters inzichtelijk kan worden gemaakt. Waar de resultaten conservatief en toch reëel zijn. Door validatie checks heeft de quickscan Boon ook de mogelijkheid om de belastingen te overrulen, waardoor alleen de belasting getoetst wordt aan de capaciteit volgens de vigerende norm. Ter validatie zijn de belastingsresultaten (voorspanning en verkeer) gevonden uit de Movares quickscan en ingevoerd in de quickscan Boon dan worden de zelfde UC waarden gevonden binnen een 5% range.

Bevindingen tijdens het onderzoek waren de volgende:

- De locatie van het tandemstelsel in de breedterichting van de brug heeft door spreiding van de lasten over de liggers veel invloed op de werkelijke last op de liggers. Daarom wordt geadviseerd om bij beoordeling de daadwerkelijke rijstrookindeling toe te passen. Ook heeft het plaatsen van een barrier zeer veel invloed en kan deze als tijdelijke oplossing zeker toegepast worden.
- De maatgevende belastingspositie voor dwarskracht bij T-ligger constructies is in te schatten op 30graden vanaf de te toetsen snede naar hart van de rijstrook.
- De einddwarsdrager heeft behoorlijke invloed op de spreiding van de belasting nabij de opleggingen. Uit onderzoek met diverse SCIA-modelleringen blijkt dat de brug de belasting meer spreidt in breedterichting.
- De kruisingshoek van een object heeft niet zoveel invloed als op voorhand deed vermoeden.
- De meeste liggers zijn in het verleden ontworpen met de methode van Guyon-Massonet. Een interessant aspect hierbij is dat de momenten ten gevolge van verkeersbelasting generiek hoger uitkomen dan de resultaten uit de SCIA-berekening. Dit is een positief aspect, omdat hierdoor de liggers qua moment licht conservatief zijn ontworpen.

Kansrijke onderzoeken op diverse parameters om 'winst' te maken in de constructieve beoordeling zijn de volgende (note: op basis van 3 objecten):

- Testen betonkwaliteit, uit proeven blijkt de sterkte vaak hoger uit te komen dan vooraf bekend is (+/-5% op UC).
- Bepalen werkelijke sterkte voorspanstaal, heeft grote invloed op ABB (+/-10% op UC) en ATB (+/-5% op UC) ten opzichte van aangenomen sterkte.
- Het niet toepassen van hulbuisreductie, door ervan uit te gaan dat de hulbuizen goed geïnjecteerd zijn (+/- 3% op UC) ten opzichte van het wel toepassen van hulbuisreductie.

Abstract

From Rijkswaterstaat is the desire to develop a rapid, verifiable method for checking the safety for several T-beam structures according to current standards and insights. It should take account of any changes in the future, which by the current developments in the field of shear research are to be expected. It is expected that on the basis of refined reviews and further fundamental research the 'reserves' of an adjustment can be made clear with a quick scan. This would allow part of the researched bridges may still meet the safety standards.

By comparing various calculation methods is sought to find a method which is simple applicable, gives realistic results for shear force and moment as a result of the traffic load and also is conservative. By comparing various Scia-calculations a method is chosen which is best suited to the as for mentioned points. In addition, the influences of design choices compared to each other. After understanding is obtained how the load is divided over the beams, a generic has been made, a so called quick scan. The quick scan is a fast way to see of the chosen section can provide enough resistance to the belonging loads. The quickscan is a generic, easily applicable, conservative method 'to separate the wheat from the chaff' (Dutch saying) for the determine the shear force, without the need for EEM-software is required, which is also approach the results of EEM-software as good as possible. Therefore an assessment procedure has been realized which forms the quickscan.

TO understand the influence of the traffic loads on the beams and to approach this result conservative, various calculation methods are compared. This comparison has shown that the best approach for the traffic load is the 'scattered method'. Here is the load spread depending on the location of the crossbeams. With this knowledge is the quickscan Boon developed. This quickscan can be used by applying some parameters, such as: length of the girder, surface of the girder, the prestress gradient, position of the crossbeams and by the 'critical cross sections' (important sections to judge) of the girder.

Then can be made fast and smart what the unity checks on this cross sections of the construction are, and what the consequences of modification of the parameters are. The research has shown that to find the maximum shear force in a point the tandem loads must be positioned at an angle of 30 degrees from the selected point to the heart of the traffic lane. The loading positions are automatically found, and then the shear force and the moment included with that loading position are calculated using the scattered method. This allows the constructive judgement of the girders is made easily accessible.

The quickscan boon is an easy applicable, realistic, conservative judgement for T-beam structures, which provides insight into the normative load combination and is easy to verify. The power of this method is that by varying various parameters (such as capacity aspects, critical cross-section and layout of the road lanes) directly the influence of these parameters can be made transparent. Where the results presented are conservative and also realistic.

Due to different validation checks has the quickscan Boon also the possibility to overrule the calculated forces on the cross-sections, where only the load results are checked due to the capacity according to the current standard. For validation where the load results of traffic and prestressing found from the Movares quickscan and fill in the quickscan Boon, therefrom the same UC values where found within a range of 5%.

Findings during the research where the following:

- The location of the tandem load in the width direction of the bridge has due to distribution of the loads over the beams much influence on the action force on the beams. Therefore it is advised to apply in calculations the actual lane format. Also, placing a barrier can have much influence on the UC and can be used as an temporary solution when the bridge capacity does not fulfill.

- The normative position of the load for maximum shear force on T-beam structures can be estimate onto the value of 30 degrees from chosen point to the middle of the traffic lane.
- The end cross beam has considerable influence on the distribution of the load near the bearings. Research in various Scia models shows that then the bridge spreads the load more in the width direction.
- The crossing angle of an T-beam structure does not have much influence on the forces as was suspected in advance.
- Most beams are designed in the past with the method of Guyon–Massonnet. An interesting aspect is that the moments due to the traffic load are generic higher than the results from the Scia calculations. This is a positive aspect because that means that the beams where designed slightly conservative.

Promising studies on various parameters to make 'profit' in the constructive assessment are the following (note: based on the study of three objects):

- Testing of the concrete quality, from test shown that the strength of the concrete is mostly higher than previously known (+5% on UC)
- Determine actual strength of the prestressing steel has great influence on ABB (10% on UC) and ATB (5% on UC) in relation with the adopted strength.
- Not make use of prestresstube-reduction, by assuming that all the prestress tubes are well injected can make a profit. (3% on UC)

Inhoud

Inleiding—14

1 Aanleiding en context—15

2 Aanpak—16

3 Inventarisatie T-ligger systemen in Nederland—17

- 3.1 T-liggers algemeen—18
- 3.2 Onderscheidende eigenschappen—19
 - 3.2.1 Gehanteerde en huidige norm—19
 - 3.2.2 Vorm ligger—19
 - 3.2.3 Dwarsdragers—20
 - 3.2.4 Tussenstorts—21
 - 3.2.5 Voorspanning—21
 - 3.2.6 Overlagingen—22
 - 3.2.7 Wapening en toegepaste beugels—22
 - 3.2.8 Materiaaleigenschappen—22
 - 3.2.9 Onderhoudsstaat objecten—23

4 Normen en belastingen—24

- 4.1 Historisch perspectief—25
 - 4.1.1 Toename aantal en wagens—25
 - 4.1.2 Toename verkeersbelasting—26
 - 4.1.3 Normwijzigingen betonconstructies—26
- 4.2 Veiligheidsniveau—27
 - 4.2.1 Veiligheidsniveau volgens TNO—27
- 4.3 Beoordeling van constructieve veiligheid—28
- 4.4 Normbladen—29
 - 4.4.1 Ontwikkeling Eurocode—29
 - 4.4.2 Relevante normbladen—29
- 4.5 Belastingen—30

5 Vergelijken berekeningsmethodes—31

- 5.1 Omschrijving methoden—32
- 5.2 Uitgangspunten—33
 - 5.2.1 Modelleren brugdek—33
 - 5.2.2 Gegevens Oude Rijn—34
 - 5.2.3 Geometrie—35
 - 5.2.4 Belasting—35
 - 5.2.5 Verkeerbelasting, lastspreiding—35
 - 5.2.6 Kruisingshoek—35
 - 5.2.7 Lengte ligger—35
 - 5.2.8 Hart op hart (h.o.h.) afstand liggers—35
 - 5.2.9 Dwarsdragers—36
 - 5.2.10 Opleggingen—36
 - 5.2.11 Kopdeel—36
 - 5.2.12 Voorspanning—36
 - 5.2.13 Overzicht uitgangspunten—37
- 5.3 Scia berekening—38
 - 5.3.1 Resultaten SCIA berekening—40

5.3.2	TS1 op RS2—44
5.3.3	Invloed diverse uitgangspunten SCIA—45
5.4	Quickscan Movares—46
5.4.1	Modellering rijvloer—46
5.4.2	Mobiele belastingen—46
5.4.3	Voorspanning—47
5.4.4	Belastingfactoren—47
5.4.5	Opleggingen—47
5.4.6	Kruisingshoek—47
5.4.7	Resultaten—48
5.4.8	Controle eigengewicht + Rustende belasting—50
5.4.8.1.	Eigengewicht + rustende belasting midden liggers—50
5.4.8.2.	Eigengewicht + rustende belasting randliggers—50
5.5	Verschillende rekenmethodes—51
5.5.1	Alle verkeerslast op 1 ligger—51
5.5.2	Resultaat dwarskracht en moment—52
5.5.3	Toelichting verschillen—52
5.5.4	Belasting verdeeld (Alle liggers gelijk)—53
5.5.5	Belasting verdeeld alleen zwaarste strook belast—54
5.5.6	Verspreide methode—55
5.5.6.1.	Moment liggers—56
5.5.6.2.	Dwarskracht liggers—57
5.5.7	Geconcentreerde methode—58
5.5.8	Guyon Massonet—60
5.6	Vergelijken van de resultaten—64
5.6.1	Vergelijk maximale waarde—65
5.7	Validatiegids—67

6 Snelle verifieerbare methode—68

6.1	Wat is een Quickscan?—68
6.2	Beoordelingsprocedure—69
6.2.1	Benodigde stappen—70
6.2.2	Te beschouwen (kritische) sneden—71
6.3	Belasting posities—74
6.3.1	Stappenplan bepalen belasting positie—75
6.4	Rekenwaarde van het belasting effect (E_d)—76
6.4.1	Eigen gewicht—76
6.4.2	Voorspanning—77
6.4.2.1.	Gegevens Ouderijn—78
6.4.2.2.	Nuttige hoogte snede—78
6.4.2.3.	Normaalkracht—79
6.4.2.4.	Dwarskracht t.g.v. voorspanning—80
6.4.2.5.	Moment t.g.v. voorspanning—81
6.4.3	Verkeersbelasting—82
6.4.4	Spreiding belasting—83
6.4.4.1.	Tandemstelsel direct—83
6.4.4.2.	Tandemstelsel indirect—84
6.4.4.3.	UDL direct + Indirect—84
6.4.4.4.	Resultaat verkeersbelasting—85
6.4.5	Vergelijken met SCIA en Movares—85
6.5	Belastingfactoren—86
6.5.1	Alpha-factoren—86
6.6	Rekenwaarde van de weerstand (R_b)—87
6.7	Afschuiftrekbreuk—88

6.7.1	Toelichting methode—89
6.7.1.1.	Oppervlak—89
6.7.1.2.	Zwaartepunt ligger—89
6.7.1.3.	Traagheidsmoment ligger—90
6.7.1.4.	Statisch moment ligger—90
6.7.1.5.	Spanningen t.g.v. eigengewicht en voorspanning—90
6.7.1.6.	Spanningen t.g.v. verkeersbelasting—91
6.7.1.7.	Gesommeerde spanningen—91
6.7.1.8.	Omslagpunt criterium hoofdtrekspanning en schuifspanning—92
6.7.1.9.	Hulbuisreductie—92
6.8	Afschuifbuigbreuk—93
6.9	Resultaten—94
6.10	Invloed parameters—95
6.10.1	Bepalen van beton kwaliteit—95
6.10.2	Hulbuisreductie—95
6.10.3	Bepalen kwaliteit voorspanstaal—95
6.10.4	Feitelijke rijbaanindeling en verkeersbelasting toepassen, of plaatsen barriers—96
6.11	Validatie—96

7 Conclusie en aanbevelingen—97

8 Bronvermelding—100

Inleiding

Een van de actuele vraagstukken waar ingenieurs over de hele wereld mee te maken hebben, is de veiligheid van bestaande constructies.

Na de bouwgolven van de laatste vijftig jaar van de vorige eeuw, zijn er op dit moment veel waardevolle en belangrijke constructies die nu het eind van hun berekende levensduur naderen, of die niet meer voldoen aan de huidige ontwerprichtlijnen. Volledig vervangen van deze constructies is vaak onnodig, duur en tevens ook vaak een lastige opgave. Mede daarom is het verstandig om te controleren of de bestaande constructies nog toekomstbestendig zijn voor enkele decennia, wetende dat ze veilig en rendabel zijn. Hoewel de verwachting is dat deze constructies wel voldoen, moet dit echter wel aangetoond worden. Totdat dit is aangetoond voldoen deze constructies namelijk niet.

Dit afstudeeronderzoek richt zich op bestaande constructies, specifiek op T-liggers met tussenstorten. Voor deze objecten is nader onderzocht hoe de krachtwerking verloopt en hoe een snelle verifieerbare methode ontwikkeld kan worden om deze objecten te beoordelen.

De opdrachtgever van het afstudeeronderzoek is Rijkswaterstaat. Voor Rijkswaterstaat is het belangrijk inzichtelijk te hebben wat de constructieve veiligheid van bestaande objecten is, en om volgens de huidige normen te kunnen aantonen dat het areaal voldoet.

Hiermee kan sloop voorkomen worden en kunnen enorme bedragen worden bespaard.



1 Aanleiding en context

Om de mate en de aard van het verhoogde risico op constructieve veiligheid vast te stellen, heeft Rijkswaterstaat eind 2006 besloten om te inventariseren in welke mate de in beheer zijnde kunstwerken een verhoogd risico hebben met betrekking tot bros bezwijken.

Van de betonnen bruggen en viaducten waarvan Rijkswaterstaat eigenaar of beheerder is, is geïnventariseerd welke een verhoogd risico hebben. Deze bruggen en viaducten zijn onderverdeeld in zes constructietypen, namelijk: gewapende platen, voorgespannen platen, onderdoorgangen, statisch bepaalde prefab liggers, statisch onbepaalde prefab liggers, en T-liggers met tussenstort en kokerconstructies. Speciale aandacht gaat uit naar constructies gebouwd voor 1976, omdat tot die tijd dwarskracht niet of fundamenteel anders werd getoetst. Daarom is het vermoeden dat deze het meest kritisch zijn.

Voor elk van de constructietypen wil Rijkswaterstaat de mate en de aard van het verhoogde risico vaststellen. In dit kader zijn door Movares in opdracht van Rijkswaterstaat T-ligger constructies geanalyseerd, met behulp van een door Movares ontwikkelde quickscan.¹ De inhoud van deze quickscan is voor Rijkswaterstaat niet zichtbaar, echter door diverse verificatieberekeningen heeft Rijkswaterstaat wel voldoende vertrouwen in de resultaten van de methode. Rijkswaterstaat wil hier niet van één partij afhankelijk zijn en ook zelf inzichtelijk hebben wat de positie van de belasting is en wat de invloed van eventuele normwijzigingen op het areaal is. De resultaten van de bestaande quickscan resulteerden echter in enkele overschrijdingen van de capaciteit van de T-liggers.

Relevantie

Rijkswaterstaat wil zelf een vergelijkbare werkende methode in beheer hebben, die betrouwbaar, inzichtelijk en implementeerbaar op het areaal is. Daarmee wordt het mogelijk om op een snelle manier meerdere constructies te kunnen beoordelen. Om op de mogelijke toekomstige wijzigingen van de richtlijnen te kunnen inspelen, moeten deze methodes ook gemakkelijk implementeerbaar zijn en inzichtelijk maken wat de invloed van deze wijzigingen op het areaal is.

Voor Rijkswaterstaat is het belangrijk inzichtelijk te hebben wat de voorspelde restlevensduur van het areaal is. Als met een goede onderbouwing een object vijftien tot dertig jaar langer dan de beoogde levensduur mee kan gaan, kan sloop worden voorkomen en kunnen enorme bedragen worden bespaard.

Het is de verwachting dat op basis van verfijnde beoordelingen en verder fundamenteel onderzoek de 'reserves' middels een quickscan-aanpassing inzichtelijk gemaakt kunnen worden. Hierdoor zou een deel van de onderzochte kunstwerken mogelijk alsnog voldoen aan de veiligheidsnormen.

¹ De quickscan is een generieke, eenvoudig toepasbare, conservatieve methode om 'het kaf van het koren te scheiden' voor de dwarskracht-toets, zonder dat er EEM-software nodig is en welke tevens de Scia-berekeningen zo goed mogelijk benadert. Om deze zo goed mogelijk te ontwikkelen is een beoordelingsprocedure gerealiseerd welke zich vormt tot de quickscan. Zie hoofdstuk 6.1

2 Aanpak

Om tot een verifieerbare, snelle aanpak voor het controleren van de veiligheid van meerdere T-ligger constructies volgens de huidige normen en inzichten te komen, zijn de volgende stappen ondernomen.

1. Inventarisatie T-liggers Nederland

Hiervoor is geïnventariseerd wat een T-ligger constructie is, en waarom, hoe, hoeveel en wanneer deze zijn geproduceerd. Door de kenmerken en onderlinge eigenschappen van T-liggers inzichtelijk te maken, worden uitgangspunten geformuleerd welke voor de methode nodig zijn.

2. Normen en belastingen

T-liggers werden gemaakt tot ongeveer 1984, waarvan ongeveer 84% voor de introductie van de VB40. De beheers objecten die zijn berekend met de VB74 zijn waarschijnlijk minder kritisch, omdat vanaf 1974 niet meer met de gebruikstoestand werd getoetst, maar in de uiterste grenstoestand. In 'Normen en belastingen' wordt hier verder op ingegaan.

3. Vergelijken berekeningsmethoden

Doel is om inzicht te krijgen in de verdeling van de verkeersbelasting over de liggers en de behorende belastingpositie, waarbij deze benaderd is met een vereenvoudigde berekening die later zo toepasbaar is dat snel inzicht verkregen kan worden. Diverse berekeningsmethoden zijn met elkaar vergeleken voor diverse constructies. Na deze fase was een keuzemoment ingepland om te bepalen welke methode de basis vormt voor de quickscan Boon.

4. Beoordelingsprocedure

Bij het beoordelen van een bestaande constructie gaat het om de specifieke modellering, het correct interpreteren van oude tekeningen, het type-specifiek kunnen berekenen, en het inzichtelijk maken van mogelijke verfijningen. Om zo goed mogelijk tot een verifieerbare, snelle aanpak voor het controleren van de veiligheid van meerdere T-ligger constructies volgens huidige normen en inzichten te komen (quickscan Boon), is een beoordelingsprocedure uitgewerkt, welke je stapsgewijs door de quickscan meeneemt en gemaakte keuzes toelicht en verifieert.

5. Conclusie en implementatie

Nadat de quickscan is gevalideerd, is het belangrijk dat voor toekomstige beoordelingen aangegeven wordt wat wel en niet mogelijk is met de quickscan Boon.



3 Inventarisatie T-ligger systemen in Nederland

T-ligger bruggen waren in de zestiger jaren populair en vooral op de bouwplaats geprefabriceerd. Veelal toegepast bij bruggen van lagere verkeersklassen boven uiterwaarden of waar de beschikbare constructiehoogte groot is. Waar de grootste bruggen, de Brienoord, Gorinchem, Dordrecht (N3) zijn.

Door de enorme toename van het verkeer en de bouw van nieuwe autowegen, werd er gezocht naar vlotte economische oplossing voor boven- en onderbruggen met zo weinig mogelijk hinder voor het langzame verkeer. Tegelijkertijd droeg de toepassing van de voorspanning op langere productiehallen in de prefabricatie bij tot de ontwikkeling van grotere en slankere geprefabriceerde balken. Dit was vooral gunstig voor lange overspanningen en zware belastingen zoals bij bruggen.

In dit hoofdstuk wordt toegelicht wat een T-ligger constructie is, waarom, hoe, hoeveel en wanneer deze zijn geproduceerd. Tevens zijn de onderliggende eigenschappen en verschillen van de T-liggers toegelicht zodat hier met de uitgangspunten van de berekening rekening gehouden kan worden.

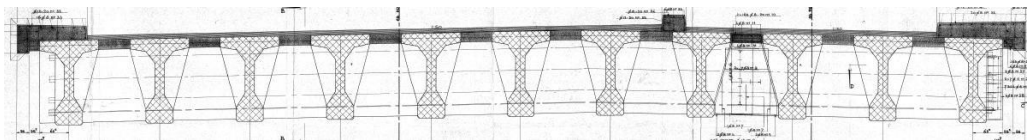


Figuur 1 T-ligger brug als aanbrug boven uiterwaarden

3.1 T-liggers algemeen

De T-liggers worden naast elkaar gelegd en in het werk van een druklaag voorzien. In de montagefase van de druklaag dient de stabiliteit van de liggers gewaarborgd te worden. Omdat de liggers op relatief smalle onderzijde worden gesteld zijn ze gevoelig voor kantelen. De T-ligger bruggen zijn daarom vooral toegepast boven uiterwaarden of waar de beschikbare constructiehoogte groot is.

T-liggers zijn namelijk niet geschikt voor het opnemen van aanrijdbelastingen. Omdat de onder flenzen van T-ligger bruggen niet onderling zijn gekoppeld moet de aanrijdbelasting door één liggerlijf naar de boven flens worden overgedragen. Dit is voor deze grote belasting vrijwel onmogelijk of zou gepaard gaan met zeer zware beugelwapening. Tegenwoordig mogen ze niet meer gebouwd worden, wegens dit aanrijdgevaar.



Figuur 2 Doorsnede typische T-ligger brug (Thoolse brug)

Er is een flinke variatie in afmetingen/vorm van de ligger door de ontwikkeling van het voorgespannen beton. Het oorspronkelijke ontwerp is een uitgenut ontwerp, men zocht de grenzen op door zo min mogelijk beton te gebruiken en de brug zo licht mogelijk te construeren. Kenmerkend voor een T-ligger is de hoge ligger met een dun lijf met vaak een verbrede onder flens, de meeste hebben een overspanning tussen de 20 en 35 meter, de grote h.o.h. afstand van de liggers (0.5-2.5 meter) en het rijdek en dat tussen de boven flenzen van de liggers is gestort. Door deze tussenstort zijn de liggers verbonden tot één geheel. De tussenstort zijn alleen door dwarsvoorspanning verbonden met de boven flenzen. Ter plaatse van de oplegging worden de liggers vaak gekoppeld door een in het werk gestorte dwarsdrager.

Uit recent uitgevoerde categorisatie van RWS blijkt dat er 79 bekende T-ligger objecten zijn, waarvan 66 bekend (84%). Deze 66 objecten bestaan uit 33 complexen waarvoor een beoordeling is uitgevoerd. Naar verwachting is het overgrote deel van beheerobjecten die T-liggers bevatten in beeld.

Zie bijlage 1 voor overzicht van de beheerobjecten.

Constructietype	Voorlopige bekendheid		
	Ja, komt voor	Onbekend	Totaal
Plaat_gewapend	723	262	930
Plaat_voorgespannen	1136	119	1173
Doos_algemeen	675	334	1010
Prefab_ligger	1605	307	1912
T_ligger (nagespannen)	66	13	79
Koker (nagespannen)	143	14	157
Tanden_en_nokken	113	12	125

3.2 Onderscheidende eigenschappen

T-liggers zijn over het algemeen toegepast bij statisch bepaalde constructies, waarbij het eigen gewicht van de constructie (veel) groter is dan de veranderlijke belasting; dit maakt deze profielen ook bijzonder geschikt voor grote overspanningen.

Van alle beheerobjecten zijn voldoende gegevens aanwezig om een constructieve beoordeling uit te voeren. Wanneer de betonsterkteklasse of kwaliteit van het voorspanstaal niet bekend zijn, kan (zoals bepaald in de overleggen) uitgegaan worden van conservatieve waarden zoals deze zijn opgenomen in de RBK.

Naast het feit dat de eigenschappen van de T-ligger over zijn lengterichting sterk variabel zijn, verschillen de T-liggerbruggen onderling ook sterk van elkaar.

De in dit hoofdstuk omschreven gegevens kunnen bijdragen aan het maken van keuzes over representatieve kenmerken van de ligger. Hierom wordt dit nader toegelicht

3.2.1 Gehanteerde en huidige norm

Naast het feit dat de constructieopbouw al vast ligt, zijn de constructies gemaakt volgens een andere norm. Dit heeft tot gevolg dat de belastingen, betrouwbaarheid en toelaatbare spanningen van destijds en nu moeten worden onderzocht.

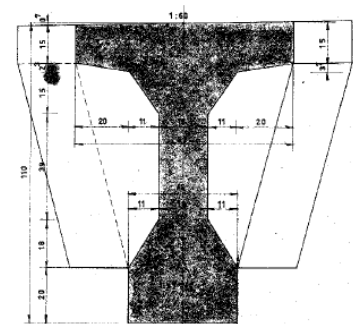
De normen, belastingen en veiligheidsfilosofie worden nader toegelicht in hoofdstuk4.

3.2.2 Vorm ligger

De T-vorm van de ligger is wat dit type brug kenmerkt. De ligger kenmerkt zich verder door de hoogte van de ligger met een dun lijf waar aan de onderzijde van het lijf vaak een verbrede onder flens bevindt. De liggers zijn op de bouwplaats zelf geprefabriceerd.

Indicatie van afmetingen	T-ligger
Hoogte	1100-3600 [mm]
Breedte boven flens	900-1500 [mm]
Breedte lijf	200 [mm]

Kenmerkend voor T-ligger bruggen is de variabele doorsnede over de gehele lengte van de ligger. Waar alle liggers over een aantal gemeenschappelijke geometrische kenmerken beschikken. Nabij de opleggingen wordt de breedte van het lijf van de ligger gelijk aan de breedte van de onder flens, dit wordt vaak het kopdeel genoemd. Dit kopdeel heeft een lengte tussen de 300mm en de 1200mm. De overgang van het kopdeel naar het smalle deel van de ligger wordt verjonging genoemd. Dit verschil verloopt geleidelijk. De lengte van deze verjonging varieert tussen de 500 en 2000 mm.



Figuur 3 Typische vorm T-ligger brug

3.2.3

Dwarsdragers

Dwarsdragers hebben als functie om de hoofdliggers met elkaar te verbinden tot een samenwerkend geheel en om de belastingen van het wegdek gespreid over te dragen naar de hoofdliggers.

Indien bij bruggen alle langsliggers hetzelfde profiel hebben en deze op onderling gelijke afstand liggen, zal een belasting die gelijkmatig over de gehele brug is verdeeld geen krachten van betekenis veroorzaken in de eventueel aanwezige dwarsdragers. Wordt slechts één rijstrook door verkeer belast, terwijl de overige rijstroken onbelast blijven, dan zal de verkeersbelasting niet door een enkele ligger worden opgenomen maar door de aanwezige dwarsdragers over de langsliggers worden gespreid.

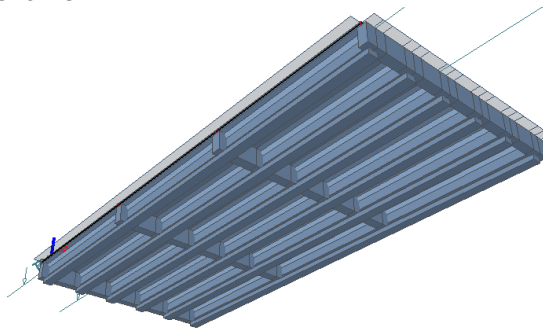
Worden de dwarsdragers weggelaten, dan zal het dek (tussenstorts) de belasting moeten spreiden op de omliggende liggers. Daar het dek slapper is dan de dwarsdragers zal de belasting spreiding geringer zijn en moeten de langsliggers op grotere belastingen worden gedimensioneerd.



Figuur 4 Typisch voorbeeld dwarsdragers

Uit het voorgaande valt af te leiden dat het weglaten van de dwarsdragers zal leiden tot een groter materiaalverbruik voor het dek en veelal ook voor de langsliggers. Hier staat tegenover dat het materiaal en de bekisting voor de dwarsdragers kunnen vervallen en de detaillering en uitvoering eenvoudiger worden. Over het algemeen zijn de constructies uitgevoerd met één of meerder dwarsdragers en zijn slechts een enkeling zonder uitgevoerd.

Eind dwarsdrager (dwarsdragers boven de opleggingen) fungeren als randbalk voor het dek. Is hier geen dwarsdrager aanwezig, dan kan de verkeersbelasting minder goed gespreid worden waardoor een enkele ligger meer belasting op zou moeten nemen. Einddwarsdragers zijn bij alle T-ligger bruggen aanwezig. In de vorm van de liggers is dit waarneembaar omdat ter plaatse van de einddwarsdrager geen verbrede bovenflenzen aanwezig zijn. Ter plaatse van de tussendwarsdragers is de ruimte tussen de boven en de onderflens massief gemaakt en zijn, net als in de boven flens, kanalen voor dwarsvoorspanning opgenomen.

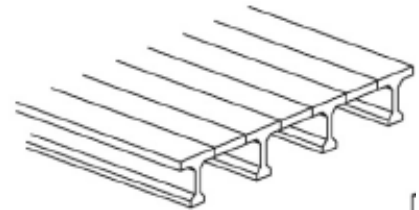


Figuur 5 Visualisatie van eind dwarsdrager

3.2.4 *Tussenstorts*

Tussen de liggers is een, in verhouding, dun rijdek aanwezig dat tussen de bovenflenzen van de liggers is gestort ter illustratie zie Figuur 6 Liggers en tussenstorts, welke meestal is voorzien van dwarsvoorspanning (dywidagstaven). De breedte van deze tussenstorten is afhankelijk van de hart op hart afstand van de liggers.

Bij een grote h.o.h. afstand van de liggers voldoen de tussenstorts soms niet aan de eisen. In de praktijk is echter geen (plaatselijke) schade vastgesteld. Door membraamdrukwerking blijken gewapende rijdeken een veel grotere sterkte te hebben, dan waarop de dekken berekend zijn.



Figuur 6 Liggers en tussenstorts

Bij vrijwel alle beheer objecten is dwarsvoorspanning toegepast. De uitzondering is een beheer object waarbij de bovenflenzen vrijwel tegen elkaar aan liggen.

De onderhoudstoestand van het rijdek blijft een aandachtspunt. Bij lekkage door de voegen kan het voerspanstaal gaan corroderen. Ook kan de dek dikte van het reeds dunne rijdek verder verminderen door corrosie van het wapeningsstaal of door het ondeskundig verwijderen van het asfalt.

De tussenstorten zijn niet verder uitgezocht of berekend of deze voldoen. In de rapporten van Movares zijn deze wel beoordeeld en blijken deze niet bepalend te zijn.

3.2.5 *Voorspanning*

Bij de doorsnede vorm van de T-liggers ligt het onder kernpunt zo hoog, dat een groot deel van de permanente belasting kan worden gedragen door de onder het onder kernpunt aangrijpende voerspankracht.

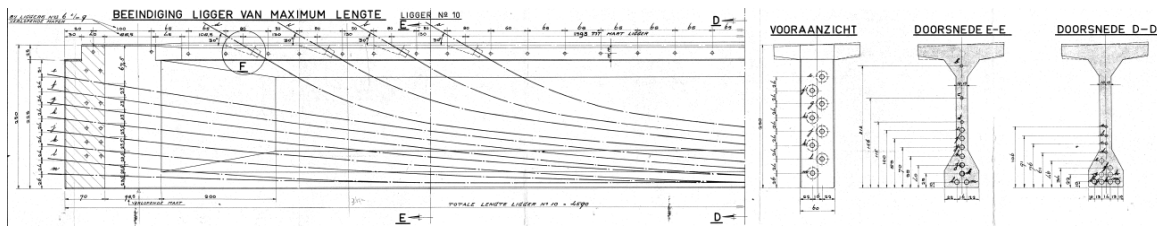
Veel voerspanstrengen hebben een parabolisch verloop over de lengte van de ligger. Hierdoor verandert de nuttige hoogte van de constructie op elk punt in de ligger.

Voor de langs voerspanning zijn in veel objecten kabels van Freyssinet gebruikt. De kabels waaieren bij alle beheer objecten uit over de hoogte nabij de opleggingen. Zie Figuur 7 Aanbrengen voerspankabels voor stort. Naast kabels welke zijn verankerd in de balkkoppen zijn bij veel beheer objecten ook een deel van de voerspankabels verankerd in de rijvloer.



Figuur 7 Aanbrengen voerspankabels voor stort

Op de tekeningen staat de kwaliteit van de voerspanning niet altijd aangegeven. De doorsnede van de kabels en het voerspanstelsel staan meestal wel aangegeven. Op basis van de RBK en het bouwjaar kan vervolgens de gehanteerde kwaliteit worden bepaald. Hier kan onderzoek helpen tot minder conservatieve resultaten.



Figuur 8 Typisch kabel verloop ligger

De dikte van de voorspanbuis kan van invloed zijn op de capaciteit van de constructie, dit is meegenomen en toegelicht in 6.7.1.9

Kabel verankerd in de rijvloer

Als weergegeven in Figuur 8 zijn in sommige gevallen de kabels verankerd in de rijvloer. Deze voorspankracht veroorzaakt in de richting van de oplegging een extra dwarskracht, terwijl de voorspankracht in het midden een extra normaalkracht veroorzaakt. Tevens is de grens van gescheurd of ongescheurd vaak dicht bij de kabel die boven in de rijvloer is verankerd. Dit omdat de voorspankracht een extra moment veroorzaakt. Welke in theorie direct volledig wordt opgenomen, maar de spanning in werkelijkheid even nodig heb om tot werking te komen.

De voorspanning en verankering worden nader en specifiek toegelicht in: 6.4.2.

3.2.6 *Overlagingen*

Door het overlagen van het asfalt en of verandering van type asfalt over de jaren, is de dikte van de overlaging soms groter dan deze uit het ontwerp en hiermee ook de rustende belasting. Deze belasting moet worden meegenomen in berekeningen.

3.2.7 *Wapening en toegepaste beugels*

Lang niet alle liggers zijn voorzien van beugelwapening, wat meer opname van dwarskracht zou betekenen. De beugels volgen de vorm van de onder of boven flens echter voldoen regelmatig niet aan de detailleringseisen waardoor de drukzone niet goed omsloten is door een beugel.

Door deze onzekerheden zijn beugels niet toegepast in de verdere beoordelingen.

In de Movares stukken waren beugels eerder verwaarloosd omdat deze niet voldoen aan RBK 6.2.1 (4) en EC 1992-1-1 art 9.2.2 (en dan niet alleen op verankeringslengte). Mocht een constructie niet voldoen, kan in het achterhoofd onthouden worden dat de beugels niet in de methode zijn toegepast. En mochten deze wel correct zijn uitgevoerd deze alsnog toegepast kunnen worden.

3.2.8 *Materiaaleigenschappen*

Voor de aan te houden betondruksterkte wordt uit gegaan van de ten tijde van het ontwerp aangehouden waarde, maar veel winst kan worden geboekt door uit te gaan van de aanzienlijk hogere actuele betondruksterkte, die oudere constructies in veel gevallen blijken te bezitten. Zo is bij 95% van de onderzochte plaatviaducten gevonden dat de betonsterkteklasse hoger is dan C35/45, terwijl de gemiddelde betonsterkteklasse C50/60 bleek te zijn. In vergelijking met de ontwerpsterkte van dit type constructies uit de periode van 1950-1974, die hooguit C20/25 was, zou met C35/45 een winst van 20% geboekt kunnen worden op de dwarskrachtsterkte $V_{Rd,c}$. Uit experimenteel onderzoek blijkt dat die hogere betondruksterkte in een oude betonconstructie inderdaad mag worden vertaald in een hogere dwarskrachtsterkte. Ook voor overige constructietypen is gevonden dat de nu aanwezige betondruksterkte substantieel hoger is dan de ontwerpsterkte van destijds.

Op basis van de resultaten wordt voor de beoordeling van kunstwerken in en over het hoofdwegennet van RWS, waarvan geen boorkernresultaten beschikbaar zijn, geadviseerd uit te gaan van de volgende betonsterkteklassen, bij beoordeling volgens NEN6720 & NEN-EN-1992-1-1:

- C35/45 voor platen, onderdoorgangen, tunnels, kokers (grindbeton), T-liggers en tussenstort.

Ten slotte wordt opgemerkt dat een overschijdingsfractil van 5% betekent dat er grote kans is dat een hogere waarde voor de sterkte wordt gevonden indien deze wordt bepaald op basis van boorkernen. Het experimenteel vaststellen van materiaalsterkte kan daarom alsnog zinvol zijn, indien de constructie in eerste instantie wordt afgekeurd.

3.2.9 *Onderhoudsstaat objecten*

Om de conditie van de bruggen en viaducten op niveau te houden, zijn deze sinds jaar en dag onderworpen aan een regulier inspectie- en onderhoudsprogramma.

De combinatie van toegenomen verkeersintensiteit, voertuigbelasting en veiligheidsvoorschriften, tezamen met de ervaringen uit het reguliere onderhoudsregime zijn voor Rijkswaterstaat aanleiding geweest om een omvangrijk onderzoek te starten.

Voor de beoordeling van de constructies is geen gebruik gemaakt van aanwezige inspectierapporten. Hierdoor is de feitelijke fysieke toestand van de beheersobjecten niet in beschouwing genomen. Tevens is het uitgangspunt voor beoordeling dat de constructies in tijd niet gedegradeerd zijn.

4 Normen en belastingen

T-liggers zijn gemaakt tot ongeveer 1984, waarvan ongeveer 84% voor de introductie van de VB40. De beheers objecten die zijn berekend met de VB74, zijn waarschijnlijk minder kritisch. Dit omdat vanaf 1974 werd niet meer met de gebruikstoestand getoetst, maar in de uiterste grenstoestand.

De veiligheid werd expliciet gemaakt in de vorm van een globale veiligheidsfactor van 1.7 op de belasting. Voor de bepaling van de optredende schuifspanning werd uitgegaan van de nuttige doorsnede met gelijkmatig verdeelde, nominale schuifspanning. De grenswaarde van de dwarskrachtsterkte werd afhankelijk gemaakt van de betontreksterkte, die een functie was van de kubusdruksterkte. Per saldo ging met deze aanpak de dwarskrachtsterkte in de berekening fors omlaag.

Doordat de (veiligheid)eisen voor kunstwerken, de afgelopen decennia zijn aangescherpt en het vermoeden dit in de toekomst ook zou gebeuren. Moet de methode flexibel zijn om de normen aan te kunnen passen. Echter daarom is het belangrijk te weten met welke normen de constructies zijn berekend en waaraan de objecten nu moeten voldoen.

Sinds de bouw van de bruggen is de verkeersintensiteit sterk toegenomen. Bovendien is zowel het gewicht als de asbelasting (gewicht per as van een voertuig) van vrachtwagens in de jaren toegenomen. Hierom is het belangrijk inzichtelijk te hebben wat de huidige belastingen van de objecten zijn.

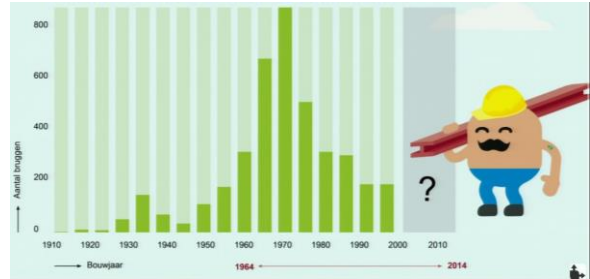
Mocht een object alsnog niet voldoen na zorgvuldige herberekening kan ervoor worden gekozen om een maximale aslast toe te staan. Echter is het beheersen dat deze aslast beperking daadwerkelijk wordt gehandhaafd dan wel erg belangrijk.

In dit hoofdstuk worden aspecten die nader worden toegelicht:

1. Historisch perspectief
2. Veiligheidsniveau
3. Normen
4. Belastingen

4.1 Historisch perspectief

Het hoofdwegennet inclusief de autosnelwegen heeft zijn oorsprong 90 jaar geleden. In 1927 werd het eerste Rijkswegenplan vastgesteld. Het Rijkswegenplan omvatte een over het hele land vertakt netwerk van bestaande en nieuw aan te leggen wegen. Anders dan voorheen werden de nieuw aan te leggen wegen slechts opengesteld voor het gemotoriseerde verkeer. Het autoverkeer kreeg na 1960 een massaal karakter. In dat jaar reden er een half miljoen auto's. In de decennia daarna steeg dit aantal tot 7 miljoen nu. Met de groei van het wagenpark nam ook het aantal wegen spectaculair toe. In 1960 was het snelwegennet 351 kilometer lang, halverwege de jaren '90 2200 kilometer en in 2007 2400 km. De grootste bouw golf was in de jaren '60 en '70 van de vorige eeuw.



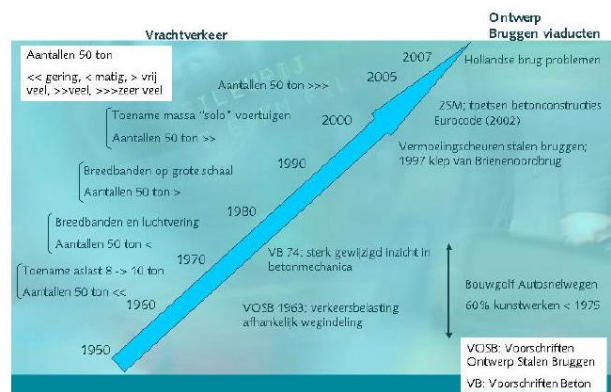
Figuur 9 Toename bruggen over de jaren

4.1.1 Toename aantal en wagens

In de loop der jaren is het aantal auto's flink toegenomen, en hiermee ook het aantal vrachtwagens. Het laadvolume en gewicht per vrachtwagen is toegenomen. De zware vrachtwagens zijn maatgevend voor de belasting op de kunstwerken en de slijtage daarvan.

De ontwikkeling vanaf 1960 tot nu kan als volgt worden samengevat:

- Tussen 1960 en 1970 was er een toename in zowel de aslasten (van 8 naar 10 ton) als het totaalgewicht van een vrachtauto. Het gewicht van de zwaarste gebruikelijke combinaties bestaand uit een trekkend voertuig met oplegger neemt toe van 32 naar 36 ton. Combinaties met het maximaal toegestane totaalgewicht van 50 ton komen in deze periode nog weinig voor.
- In de volgende twee decennia heeft de toename van het totaalgewicht zich voortgezet, veroorzaakt door technologische ontwikkeling (luchtvering en breedbanden) Trekker oplegger combinaties worden de meest voorkomende categorie zware vrachtwagens en gaan in gewicht van 36 naar 40 ton. Het aantal 50 tons combinaties neemt dan sterk toe.
- In de periode 1990 tot 2000 groeit het aantal zware enkelvoudige voertuigen, vrachtauto's zonder aanhangen of oplegger, met 3,4 of 5 assen explosief. Dat betekent dat de voertuigcombinaties niet alleen zwaarder zijn geworden, maar tegelijk korter.
- In het huidige vrachtverkeer zijn trekker oplegger combinaties met een gewicht van 46 ton gangbaar, is het gewicht van 4 assige voertuigen bijna 50 ton en dat van de 5 assige 50 ton



Figuur 10 Ontwikkeling vrachtverkeer en ontwerpnormen in de jaren

4.1.2 *Toename verkeersbelasting*

De bruggen en viaducten, die tussen 1938 en 1962 zijn gebouwd, zijn ontworpen met verkeersbelastingen conform VOSB 1938. De bruggen uit deze periode hadden smalle rijstroken en geen vluchtstrook. Het volledige rijdek werd belast met verkeer. In de periode 1962-2002 zijn de verkeersbelastingen conform de VOSB '63 gehanteerd. De VOSB '63 biedt de mogelijkheid om de belasting te optimaliseren door rekening te houden met de rijstrookindeling bij bruggen met bredere rijstroken en vluchtstroken. In de regel is voor betonnen bruggen en viaducten de verkeersbelasting volledig aangehouden tussen de geleiderails.

Sinds 2002 wordt de Europese norm voor verkeersbelastingen gehanteerd. Elk land is daarbij vrij om een zwaartecategorie te kiezen. In Nederland wordt de zwaarste categorie aangehouden. De norm gaat uit van een belasting van het volledige brugdek door verkeer, onafhankelijk van de huidige rijbaanindeling.

Het in oude ontwerpberekeningen aangehouden verkeersbelastingmodel is voor de huidige situatie veelal niet meer representatief (te laag). Vooral het wel of niet belasten van vluchtstroken is hierbij belangrijk. Hierdoor ontstaan grote verschillen tussen de originele ontwerpberekeningen en de herberekening wat de aan te houden belastingen betreft. Tevens zijn in het verleden verschillende belastingklassen aangehouden (klasse A/B/C/D en klasse 30/45/60) welke in de huidige normgeving niet meer aanwezig zijn. Bij de berekeningen van kunstwerken is in het verleden ook niet altijd de verkeerbelasting over de volle breedte van het kunstwerk (van geleiderail tot geleiderail) aangebracht. Door gewijzigde wegindeling in de tijd worden de constructies vaak wel over de volle breedte bereden.

4.1.3 *Normwijzigingen betonconstructies*

De eerste ontwerpvoorschriften voor gewapend beton dateren van 1912. Geleidelijk zijn deze voorschriften geëvolueerd van kennisdocumenten van vakgenoten tot formele ontwerpnormen.

Een belangrijke wijziging van inzicht werd rond 1974 (van VB40 naar VB74) in de normen vastgelegd: het vermogen van beton om dwarskracht in het beton zelf op te nemen werd aanzienlijk lager ingeschat dan voorheen. Dwarskrachten zijn de krachten die loodrecht en verticaal staan op de as van bijvoorbeeld de brug. Deze krachten worden deels door het beton opgenomen en deels door het staal. Als er onvoldoende staal (wapening) in de constructie aanwezig is om deze krachten op te nemen, dan wordt de levensduur aanzienlijk bekort (dit leidt namelijk tot scheurvorming en corrosie) en uiteindelijk kan de constructie zelfs bezwijken. Om de dwarskracht op te nemen moet daarom vanaf 1974 meer wapening worden aangebracht.

De materiaaleisen van vóór 1974 in combinatie met toegenomen verkeersbelastingen, zijn dus de oorzaak van de beperkte restlevensduur van de oudere betonnen bruggen en viaducten.

4.2 Veiligheidsniveau

Voor wat betreft de constructieve veiligheid mag van de eigenaar worden verwacht dat hij deze op een voldoende niveau houdt. Ten aanzien van eventueel ander gebruik van de constructie geldt dat dat niet mag leiden tot een te laag niveau van constructieve veiligheid. Voor nieuwbouw is het Bouwbesluit en de daarvoor aangewezen Eurocodes met Nationale Bijlage van kracht. Voor nieuwe kunstwerken van RWS geldt tevens de ROK (Richtlijn Ontwerpen van Kunstwerken) van RWS.

Voor bestaande constructies geldt op grond van het Bouwbesluit publiekrechtelijk de combinatie van de NEN 8700 serie met de Eurocodes. De NEN 8700 bevat in combinatie met de NEN-EN 1990 de grondslagen voor de beoordeling en de combinatie van de NEN 8701 met de NEN-EN 1991-serie betreffen de in rekening te brengen belastingen. RWS hanteert voor bestaande kunstwerken tevens de RBK (Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken) van RWS. De RBK bevat verschillende rekenregels voor betonconstructies.

4.2.1 Veiligheidsniveau volgens TNO

Het veiligheidsniveau van een constructie kan theoretisch worden vastgelegd in de kans op het bezwijken gedurende een relevante tijdsperiode. In plaats van te werken met de kans op bezwijken wordt bij de ontwikkeling van technische voorschriften gebruik gemaakt van de betrouwbaarheidsindex β . Deze betrouwbaarheidsindex staat in een directe relatie tot de kans van bezwijken (P) van de constructie of een onderdeel daarvan.

β	P
1.0	0.16
2.0	0.023
3.0	0.0013
4.0	0.000032

De praktische methode om het gewenste veiligheidsniveau vast te stellen loopt via een juiste keuze van de volgende (gekalibreerde) grootheden:

- De gevolklasse waarin het bouwwerk valt;
- De voorgeschreven karakteristieke belastingen;
- De voorgeschreven belasting factoren en combinatiefactoren;
- De genormeerde rekenregels en materiaal eigenschappen;
- De voorgeschreven materiaalfactor

De belasting- en materiaalfactoren zijn in beginsel zodanig gekozen dat daarmee het veiligheidsniveau, uitgedrukt in β , wordt behaald dat hoort bij de betreffende gevolklasse.

Bestaande bouwconstructies

De veiligheidsfilosofie van een bestaande constructie wijkt op een aantal punten essentieel af van die van nieuwbouw, namelijk:

- Brengt het verhogen van het veiligheidsniveau meestal relatief meer kosten met zich mee voor bestaande bouwwerken dan voor bouwwerken in ontwerpstadium.
- De periode dat een constructie nog mee moet is vaak anders dan de standaard ontwerplevensduur van 15 of 50 jaar.
- De mogelijkheid bestaat om via metingen meer over een constructie te weten te komen.

4.3 Beoordeling van constructieve veiligheid

Volgens de RBK moet de verificatieberekening de constructieve veiligheid beoordeeld zijn door -verificatie van alle uiterste grenstoestanden. De resultaten van de beoordeling moeten inzichtelijk zijn gepresenteerd met, waar mogelijk, UC waarden. Wanneer bij de verificatieberekening de constructieve veiligheid niet kan worden aangetoond moet aangegeven zijn welke uiterste grenstoestanden waar en over welk gebied niet voldoen. Bij gebruikmaking van de op het wegdek aangegeven rijbaanindeling volgens NEN 8701 moeten de verkeerssituaties V1, V2 en V2 volgens tabel 1-2 uit RBK zijn toegepast.

Verkeerssituatie	Wegindeling
V1: normaal	Huidige of toekomstig gewenste wegindeling(en). De verkeersbelasting staat op de rijstroken; de vluchtstrook wordt belast als resterend oppervlak.
V2: noodgeval	Theoretische indeling volgens NEN-EN 1991-2 waarbij de zwaarste rijstrook zowel links als rechts direct tegen de geleiderails is geplaatst. Een noodgeval wordt verondersteld één maal per vijf jaar voor te komen en maximaal één dag aan te houden wat overeenkomt met een referentieperiode van één maand per vijf jaar restlevens.
V3: afwijkend	Tijdelijk afwijkende wegindeling(en) volgens opgave opdrachtgever. Bijvoorbeeld een 4-0 systeem

In de constructieve beoordeling van de T-liggers worden verkeerssituaties V1 en V2 getoetst.

Normale situatie (V1)

De indeling van de rijweg komt hierbij overeen met de huidige of toekomstig gewenste indeling. De verkeersbelasting staat op de rijstroken; de vluchtstrook wordt belast als resterend oppervlak.

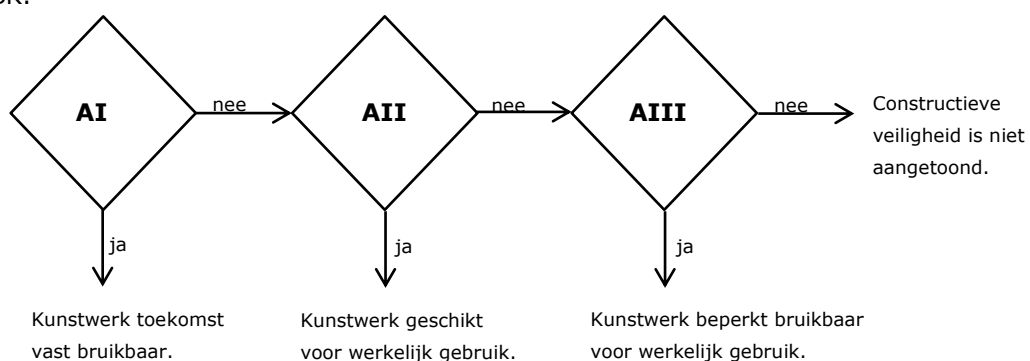
Noodgeval (V2)

Hiervoor wordt de theoretische indeling volgens NEN-EN 1991-2 gebruikt. Een noodgeval wordt verondersteld één maal per vijf jaar voor te komen en maximaal één dag aan te houden wat overeenkomt met een referentieperiode van één maand per vijf jaar restlevensduur. De breedte van de rijweg wordt gemeten vanaf 0.3 meter uit de stootranden of binnenzijde van de voertuigkeringen.

Bij de beoordeling wordt onderscheid gemaakt in drie verschillende situaties, aangeduid met:

- AI Toekomst vast gebruik; verificatie op Gebruiksniveau.
- AII Werkelijk gebruik; verificatie op het Gebruiksniveau.
- AIII Afkeur; verificatie op het veiligheidsniveau Afkeur.

Situatie AI moet eerst te worden beschouwd en vervolgens, indien nodig, achtereenvolgens situatie AII en AIII, zie Figuur 11 Beoordelingsprocedure conform RBK.



Figuur 11 Beoordelingsprocedure conform RBK

Voor de beoordelingen van de constructieve veiligheid dient gebruik te worden gemaakt van de methode van partiële factoren. Hierbij worden de grenstoestanden geverifieerd met een unity check (uc). Deze uc is de verhouding tussen de rekenwaarde van het belasting effect (Ed) en de rekenwaarde van de weerstand (Rd). Een grenstoestand van het kunstwerk voldoet bij $uc=Ed/Rd = < 1$

Bij de constructieve beoordeling worden alleen de uiterste grenstoestanden beoordeeld.

4.4 Normbladen

Hoewel de standaard door de loop van de jaren aan verandering onderhevig is, vindt het met invoering van de Eurocode een grote wijziging plaats op gebied van o.a. dwarskracht. Om de invloed van de wijzigingen later in dit onderzoek inzichtelijk te maken wordt er een overzicht gegeven in de verschillende normbladen.

4.4.1 *Ontwikkeling Eurocode*

In het jaar 1971 is het initiatief ontstaan om één Europese norm te ontwikkelen, met als doel de vrije handel te bevorderen. Door het maken van een gemeenschappelijke basis voor de bouwpraktijk worden de hindernissen tussen de verschillende landen opgeheven en ontstaat één gezamenlijke markt.

Vanaf 1976 is gestart met de ontwikkeling van deze norm en duurde tot 2006 (publicatiejaar). Na deze publicatie waren zowel de oude normbladen als de nieuwe Europese norm van kracht en konden beide toegepast worden. Dit duurde tot april 2012, waarna de nationale normen werden teruggetrokken en alleen de nieuwe Europese norm van kracht is, welke bekend staat als de Eurocode.²

4.4.2 *Relevante normbladen*

Per normblad zijn verschillende delen van toepassing, afhankelijk van het toepassingsgebied.

NEN

De NEN schrijft voor bouwconstructies het gebruik van onderstaande normbladen voor:

NEN 6700	Basiseisen op een fundamenteel niveau (ongeacht materiaal)
NEN 6702	Technische grondslagen voor bouwconstructies TGB 1990
	Belastingen en vervormingen
NEN 6706 (2007)	Belastingen op verkeersbruggen
NEN 6720 (2007)	Voorschriften Beton Constructieve eisen en rekenmethoden
NEN 6723 (2009)	Betonnen bruggen Constructieve eisen en rekenmethoden
NEN 8700 (2011)	Beoordelen van de constructieve veiligheid van bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeuren – Grondslagen
NEN 8701 (2011)	Beoordelen van de constructieve veiligheid van een bestaand kunstwerk

Hoewel de richtlijn RBK1.1 officieel vigerend is, worden de T-liggers beoordeeld op basis van de meer recentere inzichten. Deze keuze is gebaseerd tijdens de overleggen. Wetende dat de mogelijkheid bestaat om dit relatief eenvoudig aan te passen.

² Introductie Eurocode J.C. Walraven

4.5

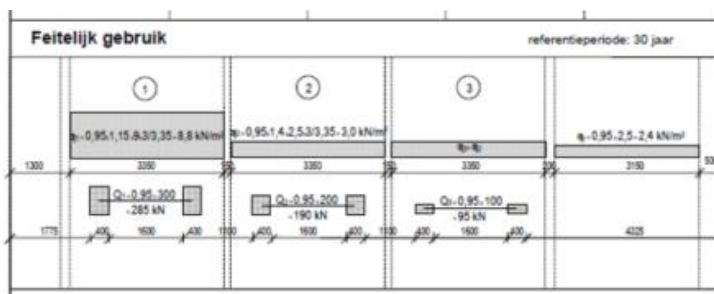
Belastingen

Voor de belastingen op viaducten/bruggen dient NEN6706 te worden aangehouden, met aanvullingen en wijzigingen conform NEN8701. De belasting combinaties, belasting factoren en reductiefactoren dienen ontleend te worden aan NEN 8700.

Voor de verkeersbelasting worden conform NEN 6706 en NEN 8701 de volgende situaties beschouwd:

- A. "Onbeperkt gebruik" volgens NEN 6706 (maximaal gebruik); referentieperiode overeenkomstig NEN 6706 (art. C 1.2) is 100 jaar. (correctiefactor is 1,0)
- B. "Huidig gebruik" volgens NEN 8701:
 - a. "Feitelijk gebruik"; referentieperiode 30 jaar. Correctiefactor conform tabel 5.1 van NEN 8701 bedraagt 0.97. De trendfactor conform NEN 8702 tabel 5.2 bedraagt dan 0.98 (bij L=20m) zodat de totale reductiefactor = 0.95 bedraagt.
 - b. "Verkeerd gebruik" (ongeval); Conform NEN 8701 komt een ongeval (minstens 1 dag verkeerd gebruik) eens per 5 jaar voor, voor de restlevensduur van 30 jaar dus 6 keer. Per ongeval een referentieperiode van 1 maand. De correctiefactor conform tabel 5.1 van NEN 8701 bedraagt dan 0.84. De trendfactor conform NEN 8701 tabel 5.2 bedraagt wederom 0.98 (bij L=20m;2040) zodat de totale reductiefactor=0.83 bedraagt.

Bij een herberekening is de verkeersbelasting volgens de NEN 6706 een stuk hoger dan die oude belasting volgens V.O.S.B. 1963 en VBB 1995. Dit wordt grotendeels gecompenseerd door lagere aan te houden belasting factoren voor zowel de permanente als variabele belastingen. Bovendien zijn voor bestaande bruggen de belasting factoren volgens NEN 8700 aan te houden.

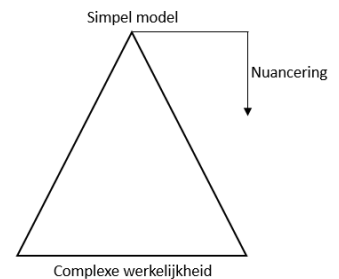


Figuur 12 Voorbeeld weg indeling bij huidig, feitelijk gebruik

Om de opgebouwde rekenmethodiek voor de bestaande geautomatiseerde methode voor T-liggers te benaderen is eerst gekeken naar de bekende rekenmethodiek van vergelijkbare methodes met representatieve waarden. Daar vooral de toegepaste methode van de liggers erg interessant is.

5 Vergelijken berekeningsmethodes

Voor de rekenkundige toetsing van afzonderlijke kunstwerken kan worden gekozen voor een (vereenvoudigde) quickscan-benadering, een al dan niet verfijnde herberekening, of een niet-lineaire som. De benodigde inspanning voor het toetsen neemt daarbij toe, terwijl het conservatisme afneemt. Indien ook de meest scherpe rekenkundige toets tot de conclusie leidt dat de vereiste constructieve veiligheid niet wordt gehaald, dan kan bij niet al te grote constructies nog worden overwogen een proefbelasting uit te voeren. Uit eerdere proefbelastingen is vaak gebleken dat de constructie sterker is dan aanvankelijk gedacht. Dit is in het verleden aangetoond met de proefbelastingen van o.a. Vlijmen Oost, Ruyterschildbrug en de Vechtbrug. Mocht echter de constructieve veiligheid alsnog onvoldoende blijken te zijn, dan is gebruiksbepijking, versterking of, in het meest extreme geval, sloop/nieuwbouw onvermijdelijk. Naarmate meer gebruik wordt gemaakt van de aanwezige reserves van brugconstructies, neemt ook de kans op schade als gevolg van overbelasting toe. Het belang van het handhaven van de op bruggen toegestane belastingen wordt daarom groter. Mede hierdoor is het monitoren van de werkelijke belasting een belangrijk aspect geworden.



Door de berekeningsmethoden met elkaar te vergelijken wordt getracht een methode te vinden die simpel toepasbaar is, realistische resultaten geeft en tevens conservatief is, zodat deze uiteindelijk kan worden toegepast in de quickscan Boon. Zie hoofdstuk 6 Snelle verifieerbare methode.

Doel is om inzicht te krijgen in de verdeling van de verkeersbelasting over de liggers en de behorende belastingpositie. Daarvoor is deze benaderd met een vereenvoudigde berekening, welke later zo toepasbaar is dat snel inzicht verkregen kan worden. Verschillende berekeningsmethoden zijn met elkaar vergeleken voor diverse constructies. Na deze fase was een keuzemoment ingepland om te bepalen welke methode de basis vormt voor de quickscan Boon.

In hoofdstuk 5 wordt onderzocht welke methode de meest realistische krachtsverdeling en optredende dwarskracht en momenten ten gevolge van de verkeersbelasting weergeeft. Na toelichting van de gestelde uitgangspunten worden de methoden toegelicht en met elkaar vergeleken. Daarna is het mogelijk om de resultaten hiervan mee te nemen in de ontwikkeling van de quickscan.

De volgende vragen zullen in dit hoofdstuk worden beantwoord:

- *Is het mogelijk om de werkelijke krachtsverdeling te benaderen met een vereenvoudigde berekening?*
- *Wat is deze werkelijkheid?*
- *Wat gebeurt er met de belasting op de constructie?*

5.1

Omschrijving methoden

Om de methoden correct met elkaar te vergelijken worden de gegevens van de brug over de Oude Rijn (30-F101) toegepast als uitgangspunt. Dit omdat de gegevens van de Oude Rijn vergelijkbaar zijn met veel T-ligger objecten. Tevens is de quickscan van Movares gevalideerd op de brug bij de Oude Rijn. De algemene uitgangspunten worden nader toegelicht. Naderhand zijn de resultaten ter validatie vergeleken met andere objecten.

A) Scia-berekening

De Scia-berekening is opgezet ter validatie van de quickscan van Movares en om de werkelijkheid zo goed mogelijk te benaderen. Vervolgens gelden de resultaten van deze berekening als uitgangspunt voor vergelijking van de andere methodes. Tevens is onderzoek gedaan naar de invloed van de verschillende uitgangspunten, om hiervan te leren en met mogelijke aanpassingen/versterkingen rekening te houden voor de te realiseren quickscan.

B) Quick scan Movares

Movares heeft een QuickScan opgebouwd, welke zeer uitgebreid is en gevalideerd. Echter wat er exact gebeurt en wat de belastingsposities zijn bij de resultaten is niet inzichtelijk. Deze methode is gebruikt ter lering, verificatie en is tevens ook kritisch beoordeeld.

C) Alle belasting op één ligger

Om een absoluut maximum te bepalen waar de belasting nooit overheen zal komen, wordt de volledige verkeersbelasting bovenop één ligger geplaatst, zonder dat deze ook maar iets van de belasting afdraagt. Dit geeft geen realistisch beeld. Deze methode geeft echter wel een extra kader waarbinnen de resultaten zich moeten bevinden.

D) Belasting gelijk verdeeld

Om een absoluut minimum te bepalen waar de belasting nooit onder zal komen, wordt de volledige verkeersbelasting gelijkmatig verdeeld over alle aanwezige liggers. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de dwarsdragers oneindig stijf zijn en hierdoor de gehele belasting perfect gelijkmatig verdelen.

E) Verspreide methode

Hier wordt de belasting tussen de dwarsdragers gelijkmatig over de liggers verdeeld, zodat tussen de einddrager en de dwarsdrager de belasting direct wordt overgedragen. Deze methode is als verificatie voor de randligger gebruikt door Kees Kamp van Movares, en voor deze toepassing verder uitgebreid.

F) Geconcentreerde methode

Hier wordt de belasting met behulp van een vereenvoudigde manier verdeeld, welke uitgaat van buigingen van de liggers. Deze methode is tijdens het overleggen geattendeerd door Cor van der Veen en wordt gebruikt tijdens de colleges over betonnen bruggen.

G) Guyon-Massonet

Ten tijde van de bouw van de T-liggers werd voor het ontwerp van de liggers de krachten verspreid via de methode van Guyon-Massonet. Dit is een methode ontwikkeld op basis van buiging voor het moment. Echter, voor dwarskracht is de ervaring dat de resultaten minder overeenkomen met de werkelijkheid. Om dit verschil inzichtelijk te maken is ook deze nader toegelicht.

5.2 Uitgangspunten

Om de methoden correct met elkaar te vergelijken zijn de uitgangspunten bij alle methoden gelijk gesteld. Met behulp van de Scia berekening is de invloed van enkele uitgangspunten nader toegelicht. De toegepaste uitgangspunten zijn tussen de methoden onderling vergeleken en in dit hoofdstuk nader toegelicht. Enkele andere uitgangspunten (bijvoorbeeld bij verkeersbelasting huidig gebruik) worden in het algemene deel verder toegelicht en in de berekeningsmethoden meegenomen. De uitgangspunten welke meegenomen zijn voor de vergelijking, zijn in komende paragrafen, voor object OudeRijn nader toegelicht.

Daarnaast wordt ook een overzicht gegeven van de waargenomen waarden op het bekende T-ligger areaal. Randligger (ligger1) tot en met de middenligger (ligger 3) worden meegenomen met de vergelijking van de methoden. De vergelijking geldt alleen maar voor de spreiding van alleen de verkeersbelasting.

5.2.1 Modelling brugdek

Het model van het brugdek dient de spreiding van de lasten uit de verkeersbelasting over de diverse liggers realistisch mee te nemen. De methoden onderscheiden zich van elkaar door hoe ze deze spreiding van krachten meenemen. Een belasting boven de hartlijn van een langsligger zou deze doen doorbuigen. Door de aanwezigheid van het dek zullen de nabijgelegen langsliggers, waarop geen uitwendige belasting staat, ook moeten doorbuigen. Zie Figuur 13

Belastingspreiding midden ligger.

Doordat een deel van de belasting naar de onbelaste langsliggers wordt afgevoerd, wordt de belaste

langsligger ontlast. Dit verschijnsel wordt belastingspreiding genoemd

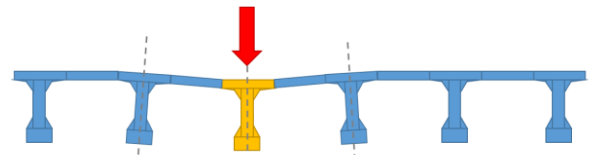
(buurliggergedrag) en komt erop neer dat het totale buigend moment over de brug ten gevolge van één enkele lijnlast boven de hartlijn van de ligger, door het dek over meerdere langsliggers wordt verdeeld.

Belastingen leiden tot zakkingen en hoekverdraaiingen van de liggers. Hoe de belasting verdeeld is afhankelijk van de buigstijfheid en torsiestijfheid in de langs en dwarsrichting. Begrijpelijk is dat als een belasting in het midden van de breedte van de brug plaatsvindt, de ligger door meerdere (omliggende liggers) wordt ontlast. Daar waar de randligger wordt belast, heeft

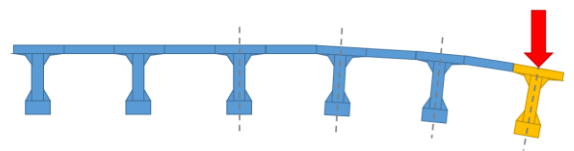
deze slechts 1 zijde waar een andere ligger aanwezig is waardoor deze randligger niet kan worden ontlast. Zie Figuur 14

Belastingspreiding randligger. Doordat de belasting op de randligger minder ontlast wordt dan de andere liggers is deze vaak kritisch. Dit is

echter wel afhankelijk van waar de verkeersbelasting gepositioneerd is, omdat ook een geleiderail zich boven de randligger bevindt.



Figuur 13 Belastingspreiding midden ligger



Figuur 14 Belastingspreiding randligger

5.2.2

Gegevens Oude Rijn

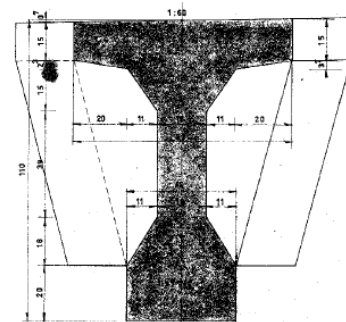
De brug over de Oude Rijn (30F 101) bevindt zich in het traject van de A44, aan de zuidwestelijke rand van Leiden en is gebouwd in 1963 volgens de ontwerpnorm VOSB 1963 klasse 60. De constructieve uitgangspunten zijn voor elke methode het zelfde zoals de verkeersindeling en de belasting factoren.

Tabel 1 Uitgangspunten Ouderijn

30F 101	Oude Rijn	Uitgangspunten																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Verkeerd gebruik</th> <th colspan="2">referentieperiode: 30 jaar</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$q_1 = 0,83 \cdot 9 = 7,5 \text{ kN/m}^2$</td> <td>$q_2 = 0,83 \cdot 2,5 = 2,1 \text{ kN/m}^2$</td> <td>$q_3 = q_2$</td> <td>$q_4 = q_3$</td> </tr> <tr> <td>3000</td> <td>3000</td> <td>3000</td> <td>3000</td> </tr> <tr> <td>$Q_1 = 0,83 \cdot 300 = 249 \text{ kN}$</td> <td>$Q_2 = 0,83 \cdot 200 = 166 \text{ kN}$</td> <td>$Q_3 = 0,83 \cdot 100 = 83 \text{ kN}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>300, 400, 1600, 500, 500, 500</td> <td>1600, 500, 500, 500</td> <td>1600, 500, 500, 500</td> <td>3300</td> </tr> </tbody> </table>			Verkeerd gebruik		referentieperiode: 30 jaar		1	2	3	4	$q_1 = 0,83 \cdot 9 = 7,5 \text{ kN/m}^2$	$q_2 = 0,83 \cdot 2,5 = 2,1 \text{ kN/m}^2$	$q_3 = q_2$	$q_4 = q_3$	3000	3000	3000	3000	$Q_1 = 0,83 \cdot 300 = 249 \text{ kN}$	$Q_2 = 0,83 \cdot 200 = 166 \text{ kN}$	$Q_3 = 0,83 \cdot 100 = 83 \text{ kN}$		300, 400, 1600, 500, 500, 500	1600, 500, 500, 500	1600, 500, 500, 500	3300
Verkeerd gebruik		referentieperiode: 30 jaar																								
1	2	3	4																							
$q_1 = 0,83 \cdot 9 = 7,5 \text{ kN/m}^2$	$q_2 = 0,83 \cdot 2,5 = 2,1 \text{ kN/m}^2$	$q_3 = q_2$	$q_4 = q_3$																							
3000	3000	3000	3000																							
$Q_1 = 0,83 \cdot 300 = 249 \text{ kN}$	$Q_2 = 0,83 \cdot 200 = 166 \text{ kN}$	$Q_3 = 0,83 \cdot 100 = 83 \text{ kN}$																								
300, 400, 1600, 500, 500, 500	1600, 500, 500, 500	1600, 500, 500, 500	3300																							

Figuur 15 Belasting situatie verkeerd gebruik brug Ouderijn

Omschrijving object	Brug over de Oude Rijn
Locatie	In A44
Lengte ligger	20.7 m
Lengte overstek	0.35 m
Lengte oplegblokken	0.30 m
Aantal liggers	6 stuks
H.o.h. afstand liggers	1.68 m
Hoogte ligger	1.10 m
Breedte boven flens	0.80 m
Dikte boven flens	0.16 m
Breedte onderflens	0.40 m
Dikte onderflens	0.20 m
Lengte kopdeel	0.32 m
Lengte overgang lijf-kop	0.50 m
Breedte lijf	0.18 m
Schamkant hart randligger	-0.075 m
Systeem	Statisch bepaald
Kruisingshoek	63.9 gon (57 graden)
Lengte tussenstort	0.88 m
Dikte tussenstort	0.15 m
Aantal dwarsdragers	2
Liggereinde -> 1 ^e dwarsdrager	6.938 m
1 ^e -> 2 ^e dwarsdrager	6.524 m
Aantal rijstroken	2 stuks
Wegindeling	Verkeerd gebruik
Belastingsfactoren	geen



Figuur 16 Dwarsdoorsnede ligger Ouderijn

5.2.3 Geometrie

De geometrie van de ligger is als weergegeven in Figuur 16 Dwarsdoorsnede ligger Ouderijn. Op de kopse kant van de ligger bevindt een massief kopdeel (hamerstuk). Dit wordt nader toegelicht in 5.2.11. De rekenmethoden houden met dit kopdeel geen rekening, omdat deze alleen naar de invloed van de verkeersbelasting kijken.

5.2.4 Belasting

Bij alle methoden is in deze fase van het onderzoek alleen gerekend met verkeerbelasting onder de representatieve waarden.

5.2.5 Verkeerbelasting, lastspreiding

Voor de belasting wordt uitgegaan van de verkeerssituatie verkeerd gebruik (calamiteit). Zie Figuur 15 Belastingssituatie verkeerd gebruik brug Ouderijn. Op deze manier wordt de randligger maximaal belast. Bij verkeerd gebruik moet rekening worden gehouden met de schampkant, waar de wiel print 300mm weer afstand van heeft.

Omdat de brug 2 rijstroken heeft zijn de belastingen op de rijstroken. Zie Tabel 2 Rijstrookbelasting volgens NEN-EN 1991-2-4.3.2

	$Q_{t,k}$	$q_{i,k}$
Rijstrook 1	300 kN	9,0 kN/m ²
Rijstrook 2	200 kN	2,5 kN/m ²
Rest oppervlak		2,5 kN/m ²

Tabel 2 Rijstrookbelasting

5.2.6

Kruisingshoek

T-ligger bruggen zijn veelal toegepast boven uiterwaarden of daar waar de beschikbare constructie hoogte groot is. Hierdoor kruizen de constructies de waterlijn elkaar vooral recht. In het overzicht van de constructies wordt dit teruggevonden. Hier hebben de objecten over het algemeen een kruisingshoek tussen de 85 en 100 gon. De methoden houden daarom ook geen rekening met de kruisingshoek van het object. De invloed van de kruisingshoek is in bijlage 2 beoordeeld met behulp van een SCIA model. De invloed hiervan is van kleine invloed op de maximale waarden (zowel stompe als de scherpe hoek), bleek uit diverse berekeningen.

5.2.7

Lengte ligger

De lengte van de liggers varieert van een groep lage liggers (met een hoogte tussen 1100 en 1250mm) met een overspanning tussen de 16 en 26 meter. De groep grotere liggers variëren in hoogte van 1400 tot 3650 mm. Daar de lengte dan ook varieert van 27 tot 78 meter. De brug Ouderijn heeft een overspanning van 20.7 meter.

5.2.8

Hart op hart (h.o.h.) afstand liggers

De h.o.h. afstand is, bij bruggen met kleinere overspanning, gemiddeld ongeveer 1.6 meter. Dit is vergelijkbaar met de brug Ouderijn. Voor de grotere overspanningen varieert de h.o.h. afstand van de liggers tussen de 2.144 en 4.080 meter. De invloed van h.o.h. afstand kan nogal groot zijn doordat de liggers meer te voorduren krijgen en minder makkelijk de belasting spreiden. Dit is belangrijk omdat deze i.c.m. de positie van het tandemstelsel bepaald waar de kracht zich in de dwarsrichting van de constructie bevindt. Tevens houden enkele methoden specifiek rekening met de h.o.h. afstand van de ligger.

5.2.9 *Dwarsdragers*

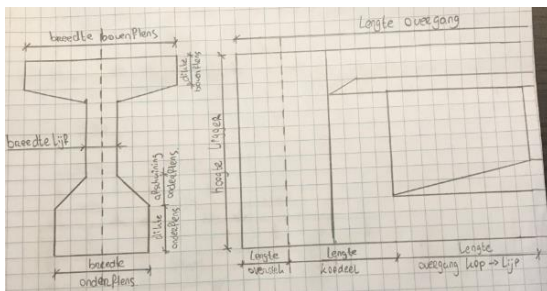
De meeste T-ligger bruggen hebben twee einddwarsdragers en twee tussendwarsdragers, enkele hebben geen dwarsdrager (Brug over de Rotte). Een enkeling heeft 3 of 4 tussendwarsdragers. Einddwarsdragers zijn bij alle bruggen aanwezig. Dit is waarneembaar omdat ter plaatse van de tussendragers geen verbrede bovenflenzen aanwezig zijn. Ter plaatse van de tussendwarsdragers is de ruimte tussen de boven en onderflens massief gemaakt en zijn, net als bij de boven flens, kanalen voor dwarsvoorspanning opgenomen. Door de verschillende overspanningen en het aantal dwarsdragers variëren de afstanden tussen de dwarsdragers tussen 3.9 en 17.1 meter. Voor de kleinere overspanningen is dit gemiddeld 7.4 meter, terwijl voor de grotere overspanningen de kleinste tussenafstand 8.7 meter is. Brug over de Oude Rijn is hier een gemiddeld, object qua grootte. De invloed van wel of geen dwarsdragers is in bijlage 2 toegelicht. De aanwezigheid van de dwarsdragers wordt niet door elke methode meegenomen.

5.2.10 *Opleggingen*

Er is bij alle methoden uitgegaan van starre opleggingen. Omdat dit tijdens overleggen meermalig onderdeel van discussie was is de invloed van gemodelleerde verende opleggingen is in bijlage 2 beoordeeld met behulp van een SCIA model. De invloed hiervan heeft op de meeste bruggen minimale invloed op de maximale waarden. Door de aanwezigheid van de einddwarsdrager is de invloed van wijziging in oplegging nauwelijks nog aanwezig.

5.2.11 *Kopdeel*

Nabij de opleggingen wordt de breedte van het lijf van de ligger gelijk aan de breedte van de onderflens. Dit wordt ook 'het kopdeel' genoemd. De lengte van de overgang van dit kopdeel naar de prismatische ligger varieert tussen de 500 mm en de 2000 mm (verjoning). Zie Figuur 17 Toelichting kopse kant ligger.



Figuur 17 Toelichting kopse kant ligger

Het kopdeel van de ligger (hamereinden) van de liggers zijn niet meegenomen met de berekening methoden, omdat deze niet van invloed zijn op de verkeersbelasting. Het kopdeel is wel in de capaciteit berekening van de quickscan van Movares meegenomen en is bij de ontwikkeling van de gerealiseerde quickscan Boon niet meegenomen. Omdat de minimale doorsnede een belangrijker te toetsen punt is.

5.2.12 *Voorspanning*

Het verloop van de voorspanning is niet meegenomen in de methodes, daar alleen wordt gekeken naar de belasting ten gevolge van het verkeer. In de quickscan Boon is het voorspanverloop wel meegenomen en uitgebreid toegelicht.

5.2.13 *Overzicht uitgangspunten*

Naast de standaard uitgangspunten omschreven in bovenstaande paragrafen geeft Tabel 3 Uitgangspunten de onderscheidende eigenschappen van de methodes weer. Getracht is om de uitgangspunten zoveel mogelijk gelijk te houden voor een zo eerlijk mogelijke beoordeling.

Uitgangspunt	Methode							
	SCIA	QS Mov	Alle last op 1	Alle liggers gelijk	Alleen zware strook	Methode Kees	Methode Cor	Guyon Massonet
Constructie								
Kruisingshoek	recht	recht	recht	recht	recht	recht	recht	recht
Overspanning (hoh oplegblok)	20.4m	20.4m	20.4m	20.4m	20.4m	20.4m	20.4m	20.4m
Opleggingen	star, punt	star, punt	star, punt	star, punt	star, punt	star, punt	star, punt	star, punt
Dwarsdragers	2	2	nvt	nvt	nvt	2	nvt	2
Einddragers	2	2	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Verloop oppervlak ligger over lengte	nvt	ja	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
Voorspanning	nee	ja, als belasting	nee	nee	nee	nee	nee	nee
Belasting, verkeerd gebruik								
Belasting factoren	geen	geen	geen	geen	geen	geen	geen	geen
Oppervlakte belasting	vlaklast	vlaklast	puntlast	puntlast	puntlast	puntlast	vlaklast	puntlast
Randafstand	300 mm	300 mm	niet	niet	niet	300mm	300mm	300mm
Resultaat								
Ligger apart	ja	ja	nee	nee	nee	ja	nee	ja
Moment en dwarskracht verloop	over lengte	over lengte	alleen max	alleen max	alleen max	alleen max	alleen max	alleen max
Belasting positie bekend	ja	nee	ja	ja	ja	ja	ja	ja

Tabel 3 Uitgangspunten

De positie van de belasting in dwarsrichting is afhankelijk of TS1 op rijbaan 1 of 2 geplaatst is. De positie in lengterichting wordt bepaald door middel van de maximaal gevonden waarden uit de SCIA berekening. Op deze manier zijn de verschillen tussen de methoden inzichtelijk gemaakt. Te zien in hoofdstuk 5.3.3 en bijlage 2.

5.3 Scia berekening

Het model van het brugdek moet de spreiding van de lasten (uit o.a. het verkeer) over de liggers realistisch meenemen. Als zodanig is het brugdek geschematiseerd in SCIA engineer 2016 als een plaat met ribben aan de onderkant van de plaat.

Dit is een vrij grof model, daar waar een schalen, 2.5d volume model of 3d niet lineaire som fijnere resultaten zouden geven. Echter zou dan ook behoorlijk wat arbeid verricht moeten worden. Terwijl het onderzoek vooral snel een correcte indicatie van resultaten wil geven.

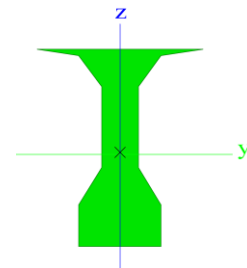
Opzet model

Voor het plaatmodel in SCIA-engineer wordt de plaat gemodelleerd als een plaat met isotrope eigenschappen. Als x-richting wordt de overspanning in de lengte richting van de liggers aangehouden, dit is de hoofd-draagrichting.

Het dek bestaat, zoals aangegeven in Tabel 1 Uitgangspunten Ouderijn, uit 6 T-liggers met daartussen relatief dunne tussenstorten. In de berekening wordt de boven flens van de liggers als horizontaal aangenomen. Daar de constructie zelf een kruisingshoek van 63.9 gon ondervindt. Deze hoek is in het model niet meegenomen.

Plaatmodel met verstijvingsribben

Het brugdek wordt beschouwd tussen het hart van de opleggingen (19,7m). Het dek is gemodelleerd als een plaat met de dikte van de tussenstorten. Deze plaat is versterkt met liggers welke gemodelleerd zijn als een rib aan de plaat, zie Figuur 18 Verstijving. De staven hebben de afmeting van het lijf en de onderflens van de ligger meegekregen. De dwarsstijfheid wordt hierdoor iets onderschat, wat een veilige aanpak is. Dit omdat de ligger minder kracht kan verdelen en daardoor meer belasting op de ligger zelf komt. De meewerkende breedte van de ribben is gelijk aan de hoh-afstand van de ligger gekozen. Voor de randliggers is een asymmetrische meewerkende breedte meegenomen.

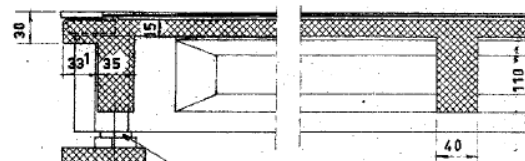


Figuur 18 Verstijvingsrib

Daarnaast zijn er ook dwarsliggers, dwarsbalken (400mm*900mm) en eindbalken (350mm*900mm) ingevoerd. Deze zijn onder de plaat aangebracht en verbonden met de 6 langsliggers.

In het schuine dek lopen deze balken evenwijdig aan de opleggingen. Zie Figuur 19 Eind- en dwarsdragers Ouderijn.

Van de T-ligger elementen zijn de materiaaleigenschappen van het beton C70/85. De tussenstorten eind- en dwarsbalken, zijn uitgevoerd in betonklasse C45/55. Dit is in beide gevallen door boorkernen aangetoond. Daar waar de RBK anders een lagere sterkte voortschrijft.



Figuur 19 Eind- en dwarsdragers Ouderijn

Opleggingen

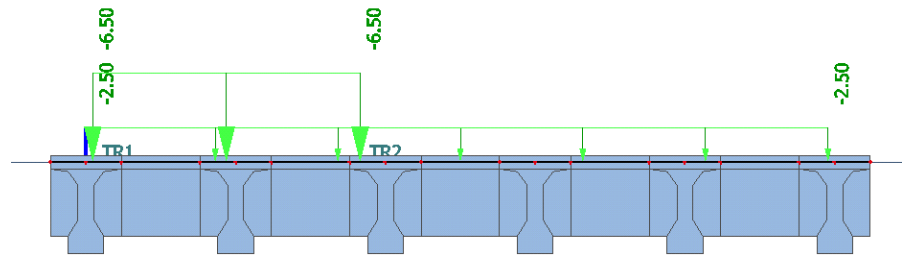
De opleggingen zijn gemodelleerd als starre knoopondersteuning.

Belastingen

De belastingen op het dek bestaan uit het eigen en rustende belasting en uit mobiele belastingen van het wegverkeer. De voorspanning heeft een verhogend of reducerend effect op de interne krachten in de constructie onderdelen tot gevolg. Ter validatie van het model is in eerste instantie alleen uitgegaan van eigen gewicht. Echter voor de vergelijking met de andere methoden is alleen de verkeersbelasting toegepast. Daarom is alleen daar nader op ingegaan.

Mobiele belastingen

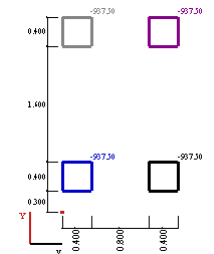
Het dek is ingedeeld met één rijbaan met twee rijstroken. De rijstrookindeling is gebaseerd op verkeerd gebruik als omschreven op pagina 30. Hier wordt de gelijkmatig verdeelde belasting van 2.5 kN/m² tussen de schampkanten geplaatst en tevens de resterende 6.5 kN/m² op de zwaarbelaste strook van 3 meter breed op een afstand tegen de schampkant. Situatie 1 is daar waar



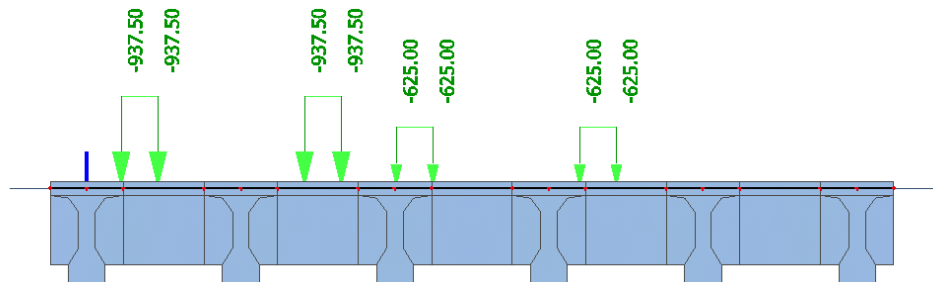
Figuur 21 UDL lastverdeling

De aslasten conform de Eurocode hebben een lastvlak van 400 x 400 mm² als weergegeven in Figuur 20 Wielprint. Bij verkeerd gebruik (calamiteit) worden de wielen van de zwaarste last 300 mm naast de schampkant geplaatst. In de breedterichting bevinden de assen zich op een onderlinge afstand van 2.00 meter. In lengterichting is dit 1.2 meter.

$$F=0.9375 \text{ (kN/mm}^2\text{)} * 400^2 \text{ (mm}^2\text{)} = 150 \text{ kN}$$



Figuur 20 Wielprint



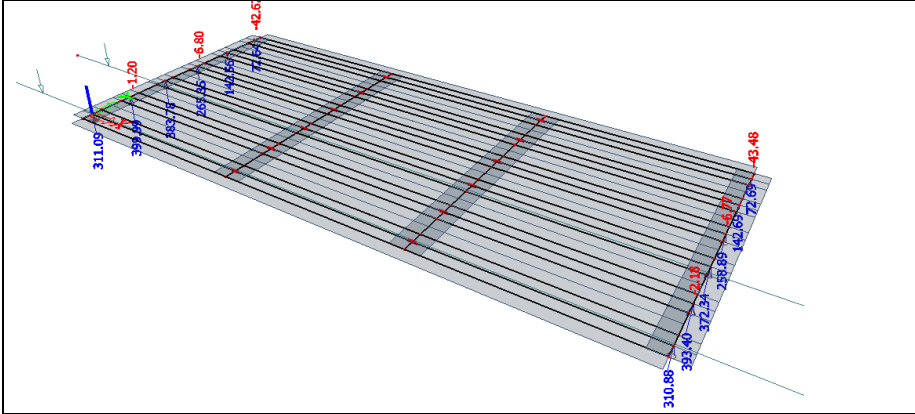
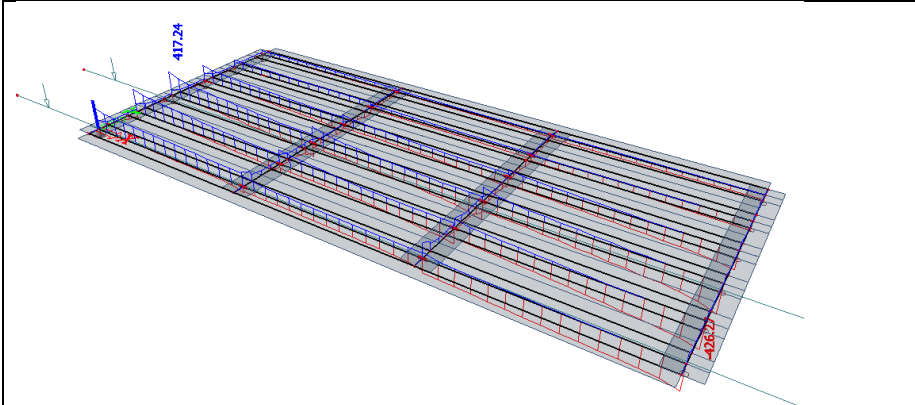
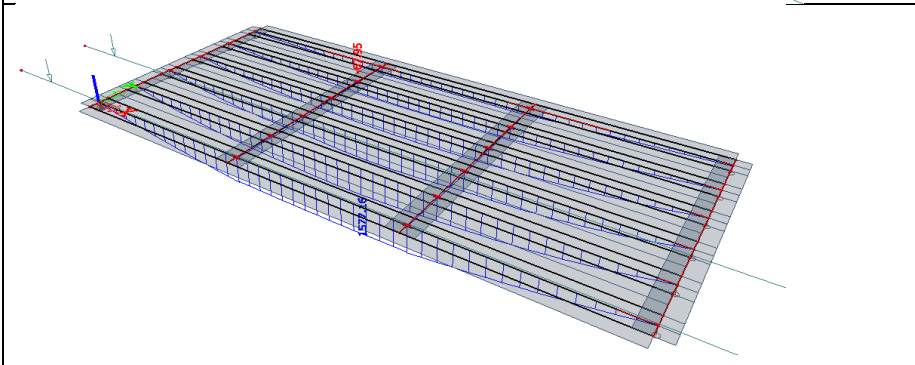
Figuur 22 TS lastverdeling

Met behulp van SCIA is ook gekeken of feitelijk gebruik voor (met name) de midden liggers bepalender was geweest. Dit was niet het geval en daarom is verkeerd gebruik toegepast bij de vergelijkingen van de methoden.

Binnen het kader dat TS1 en TS2 vrij kunnen bewegen over de lengterichting van de brug en op deze manier de maximale waarden per ligger kan worden weergegeven. Op dit moment is het zo dat TS1 (600kN wagen) alleen over rijstrook 1 gaat en TS2 (400kN wagen) alleen over rijstrook 2, dit ter vergelijking van de methoden. Op eind word dit ook nog omgedraaid om te zien of daar de maximale waarde plaatsvindt.

5.3.1 Resultaten SCIA berekening

De brug is gemodelleerd met een kruisingshoek van 100 gon (90 graden). De resultaten zijn alleen ten gevolge van de verkeersbelasting, gegeven op vorige pagina, voor een calamiteit zonder belasting factoren. Dit geeft diverse resultaten. De weergegeven resultaten in onderstaande tabel zijn de omhullende.

	<p>Oplegreacties</p> <p>Bij de oplegreacties is terug te zien waar de verkeersbelasting geplaatst is. Opvallend is het "opwippen" van de brug door de positie van de last. Dit komt doordat het belasting geval "eigengewicht" hier niet meegenomen is.</p>
	<p>Dwarskracht in liggers</p> <p>Bij de dwarskracht valt op dat de piek zich in de middelste liggers bevindt. Dit komt doordat in dit geval beide tandemstelsels, dicht bij de oplegging staan. Wat goed zichtbaar is in Figuur 22 TS lastverdeling</p> <p>Sterke piek op eind van de ligger komt door de invloed van de eindwarsdrager.</p>
	<p>Moment in liggers</p> <p>Bij het moment valt op dat ligger 2 (naast de randligger) het zwaarst belast wordt. Wat ontstaat doordat de randligger niet meer kan spreiden, wat invloed heeft op de ligger ernaast. De positie van het zwaarste tandemstelsel bevindt zich in het midden van de ligger.</p>

Uit bovenstaande tabel blijkt dat voor verkeer gebruik niet de randligger (ligger 1) meest bepalend is, maar ligger 2 voor moment en de midden ligger (ligger 3) voor dwarskracht. Dit komt door de aanwezigheid van de schampkant waardoor de belasting, in het geval van de situatie verkeer gebruik, niet specifiek op de randligger geplaatst wordt. Hierdoor is de randligger niet direct bepalend, wat de verwachting op voorhand was. Om inzicht te verkrijgen, zijn de resultaten per ligger weergegeven en nader toegelicht.

Ligger S3 (midden ligger)

De ligger welke het meest naar het midden gericht is, ligger 3 waar de resultaten ten gevolge van de optredende belasting (verkeerd gebruik) zijn weergegeven in Figuur 22 TS lastverdeling.

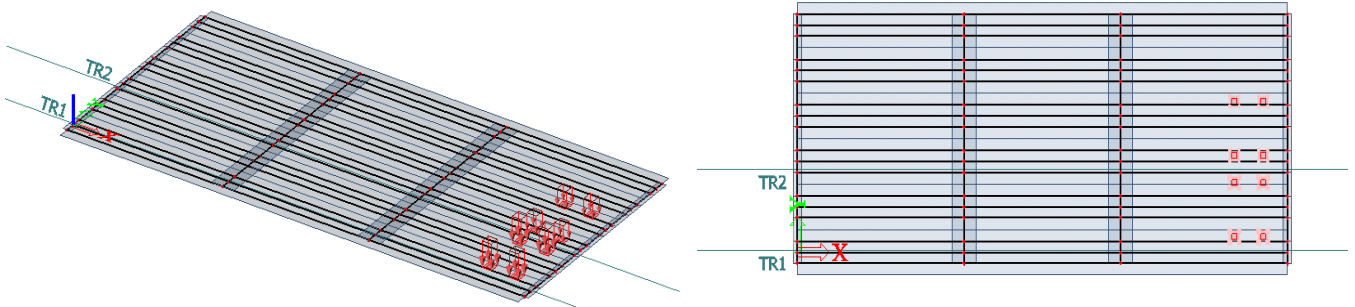
Opvallend is de hoge waarde van de dwarskracht in ligger 3. Dit komt doordat de buitenste wielprint TS1 en TS2 dicht bij ligger 3 geplaatst zijn, waardoor deze bijna direct hun kracht afdragen aan de ligger. De invloed van de dwarsbalken is hier nog goed zichtbaar. De dwarsbalken zullen de optredende belasting beter kunnen spreiden naar de omliggende liggers. Op het uiteinde van de liggers is een grotere stijging in dwarskracht te zien. Dit komt door de invloed van de einddwarsdrager.



Figuur 23 Dwarskracht en moment over Ligger 3

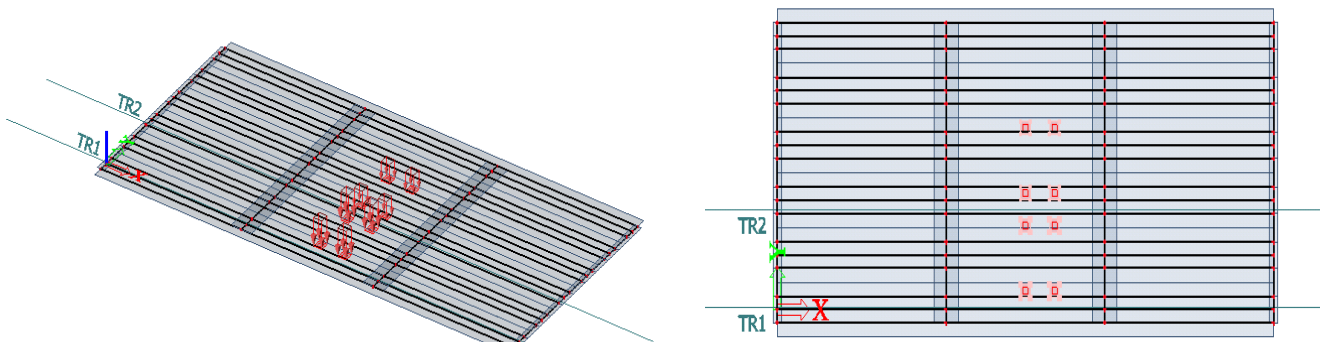
De maximale waarde voor dwarskracht bij de verkeersbelasting dan van TS1 op 1 meter en TS2 dan op 1m gepositioneerd is. Voor positie zie Figuur 24 Positie TS1 (600kN) en TS2 (400kN) 1m uit eindbalk. Voor het moment is de invloed van de dwarsbalken ook te zien echter, deze invloed is niet zo groot als bij de dwarskracht. De maximale waarde van het moment komt als de verkeersbelasting beide ongeveer in het midden staan.

Positie last voor max dwarskracht ligger S3



Figuur 24 Positie TS1 (600kN) en TS2 (400kN) 1m uit eindbalk

Positie last voor max moment ligger S3



Figuur 25 Positie TS1 (600kN) en TS2 (400kN) 10.5 meter uit eindbalk, midden ligger

Ligger S2 (midden ligger)

De ligger bevindt zich tussen de randligger S1 en midden ligger S3. De resultaten ten gevolge van de optredende belasting (verkeerd gebruik) zijn weergegeven in Figuur 22 TS lastverdeling.

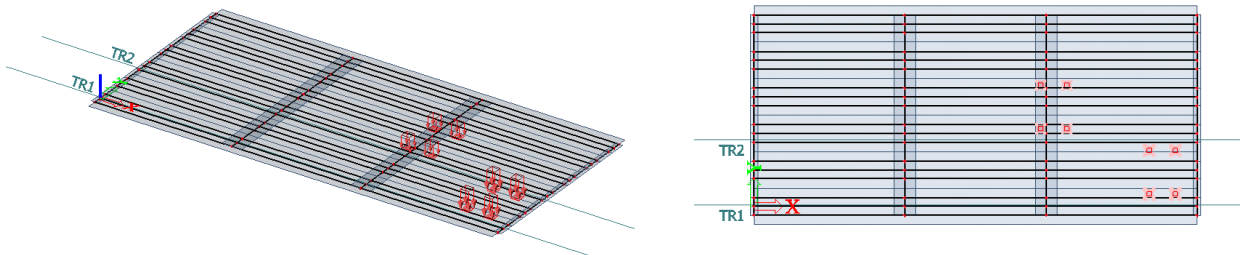
De resultaten van ligger 2 kenmerken zich door zijn hogere moment van 1576 kNm en ook vrij hoge dwarskracht. Wat door de positie van de ligger goed verklaarbaar is. De maximale dwarskracht wordt gevonden door het TS1 zo dicht mogelijk aan het eind van de ligger te plaatsen en het tandemstelsel van de tweede rijstrook tegen de eerste dwarsdrager. De maximale waarde komt wanneer de verkeersbelasting van TS1 op 1 meter uit eindbalk en TS2 op de dwarsbalk bevindt.

Voor het moment is de invloed van de dwarsbalken ook te zien echter niet zo groot als bij de dwarskracht wel het geval is. De maximale waarde komt van "combinatiesleutel 8". Waarbij het tandemstelsel bij beide rijstroken in de midden van de lengte staan het zelfde als bij ligger S3. Op het eind van de ligger is een negatief moment te zien, dit komt vermoedelijk door wringing in de eindbalk.



Figuur 26 Dwarskracht en moment over Ligger 2

Positie last voor max dwarskracht ligger S2



Figuur 27 Positie TS1 (600kN) 1 meter van eindbalk & TS2 (400kN) op 1e dwarsbalk

De positie van het moment is voor alle liggers hetzelfde.

Ligger S1 (Randligger)

De resultaten van de randligger ten gevolge van de optredende belasting (verkeerd gebruik) zijn weergegeven in Figuur 22 TS lastverdeling

De randligger wordt zwaar belast, echter niet zo zwaar als ligger S2 en S3, dit komt mede doordat de schampkant tot net over het hart van de randligger komt, waardoor de wielprint belasting niet volledig op de randligger komt. Echter heeft deze ligger niet de mogelijkheid om zijn belasting volledig te spreiden, doordat deze slechts verbonden is met 1 ligger. Waardoor het verschil t.o.v. de ander liggers klein is.

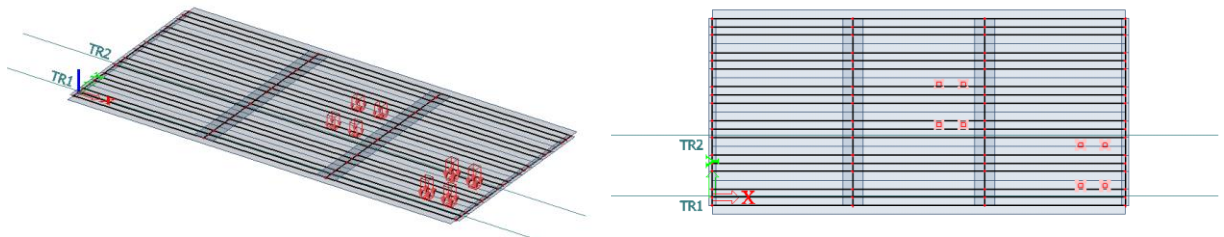
Ligger S1 bevindt zich aan de rand en heeft hierdoor slechts 1 buurligger om zijn krachten mee te delen. Wat bij de dwarskracht opvallend is dat er bij de dwarsdragers een dal komt, wat anders is dan bij liggers S2 en S3. De maximale waarde komt als de verkeersbelasting van TS1 op 17 meter en TS2 op 10.5 meter staat. Voor het momenten is hier de invloed van de dwarsbalken sterk te zien doordat het momenten verloop afgeknut wordt.

De maximale waarde komt hier als de verkeersbelasting van beide ongeveer in het midden staan, namelijk 8 en 8.5 meter. Op het eind van de ligger is een negatief momentje te zien, vermoedelijk komt dit door wringing in de eindbalk



Figuur 28 Dwaarskracht en moment over Ligger 1

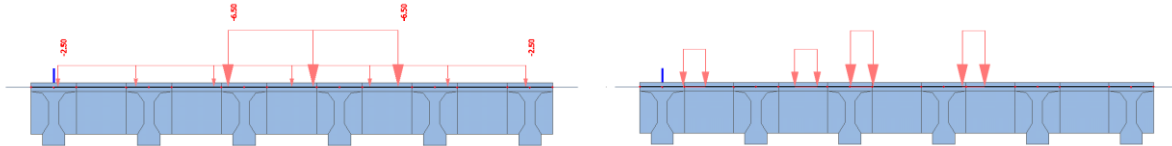
Positie last voor max dwarskracht ligger S1



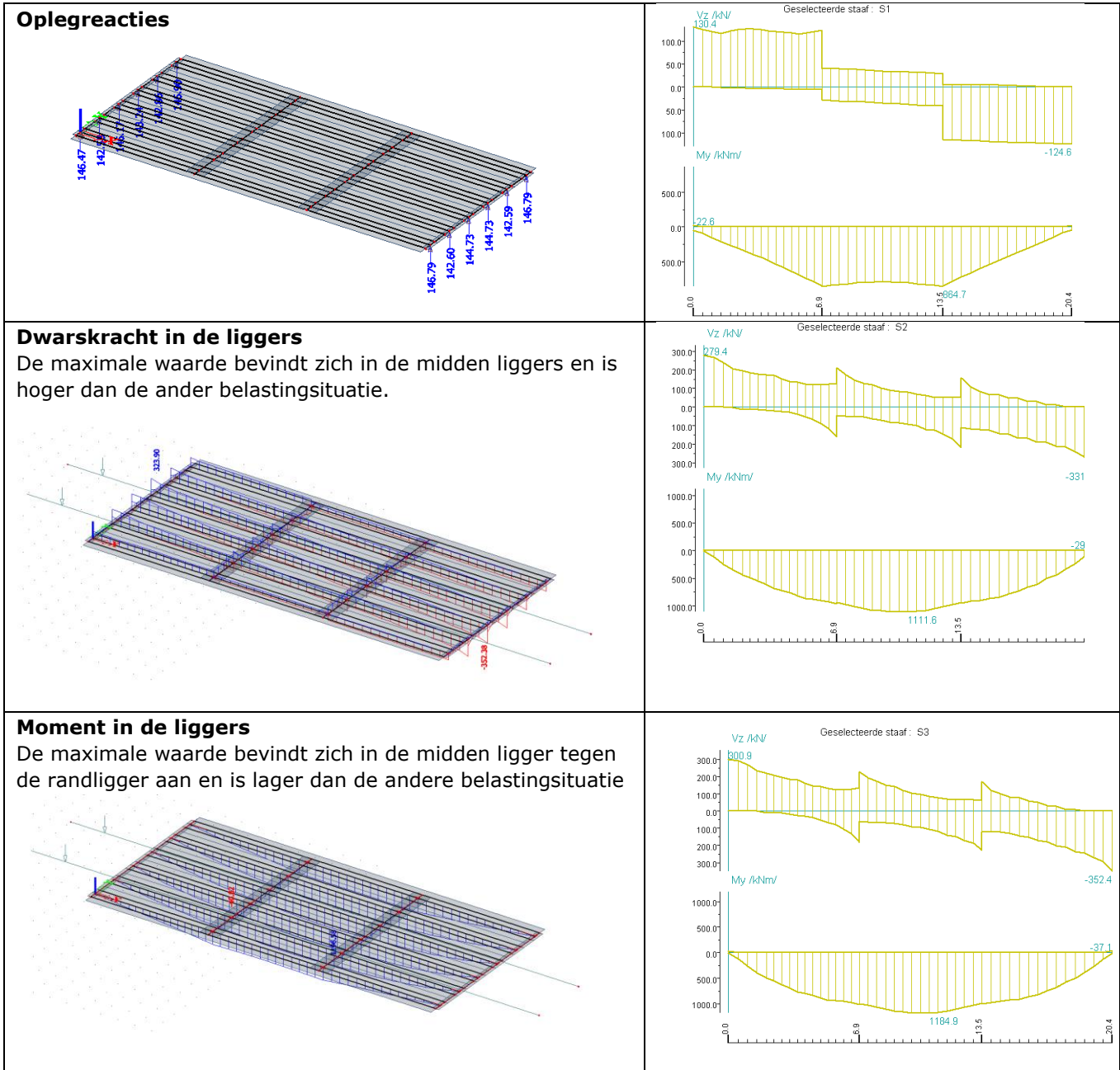
Figuur 29 Positie TS1 (600kN) 1 meter van eindbalk & TS2 (400kN) voorbij 1e dwarsbalk

5.3.2 TS1 op RS2

Het zware tandemstelsel is hier geplaatst op rijstrook 2, weergegeven in Figuur 30 TS1 en zware UDL op rijbaan 2. De verschillen worden hier weergegeven en toegelicht. De waarden zijn overal lager dan bij het zware TS (600kN) over rijstrook 1 op de maximale dwarskracht bij ligger 3 na. Deze is de bepalende waarde over alle liggers en de waarde waarop ontworpen zou worden.



Figuur 30 TS1 en zware UDL op rijbaan 2



5.3.3

Invloed diverse uitgangspunten SCIA

Om voldoende vertrouwen in de SCIA berekening te krijgen en inzicht te krijgen wat de invloed is van de eerder genoemde uitgangspunten, zijn er diverse runs met SCIA uitgevoerd. Met behulp van de SCIA berekening de invloed van diverse uitgangspunten gecontroleerd. Hier zijn telkens de randligger en twee midden liggers met elkaar vergeleken. De uitgangspunten onderling zijn weergegeven in de onderstaande tabel. De invloed van deze uitgangspunten worden verder toegelicht. De resultaten van de studie worden in bijlage 2 weergegeven.

Vergelijk invloed modellering variabelen SCIA, verkeersbelasting

Methode	V1		M1		V2		M2		V3		M3	
	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.
SCIA	356.1	0%	1533	0%	388.9	0%	1577.2	0%	426.3	0%	1421.6	0%
Verend	359.4	1%	1533	0%	383.5	-1%	1578.4	0%	418.8	-2%	1422.8	0%
0 Dwarsdr.	325	-9%	1489	-3%	392.6	1%	1656.5	5%	433.3	2%	1538.5	8%
1 Dwarsdr.	340.9	-4%	1726	13%	388.5	0%	1538.4	-2%	427	0%	1354.4	-5%
Tegen rand	409.1	15%	1647	7%	414.8	7%	1638.8	4%	370.4	-13%	1397.7	-2%
Hoek 63.9	368	3%	1300	-15%	376	-3%	1329	-16%	411	-4%	1210	-15%

Door de bouwmethode (plaatsen liggers waarna beton gestort word) is het eigen gewicht van de constructie gelijk verdeeld over de liggers. Dit naast het feit dat er alleen naar de invloed van de verkeersbelasting gekeken is. De uitgangspunten t.a.v. modelleren hebben hierdoor geen invloed op eigen gewicht.

Tijdens overleggen was de verwachting dat de invloed de modellering van de opleggingen van grote invloed zou zijn op de resultaten. Hierom is dit gecontroleerd. Zo is uit dit onderzoek gebleken dat de invloed van de oplegging in dit geval vrij klein was (verend in tabel), dit komt door dat de einddrager hier van grote invloed is op de krachten verdeling over de liggers. De einddwarsdragers (welke bij alle T-ligger objecten aanwezig zijn) zijn dusdanig stijf in dwarsrichting dat deze de krachten verdelen. Waardoor er geen aparte piekspanningen zichtbaar zijn.

De afwezigheid van dwarsdragers (0 Dwarsdr. en 1 Dwarsdr.) heeft tot invloed dat de belasting minder spreid. Dit heeft voor de middenliggers het gevolg dat deze meer te voorduren krijgen omdat deze minder kunnen spreiden.

Note: Object Ouderijn is een vrij stijf object (zie oa. resultaten guyon massonet) door de korte h.o.h. afstand en relatieve korte afstand tussen dwarsdragers. Dit betekend dat de constructie uit zichzelf al vrij goed belasting spreid.

Ander opvallend aspect was de invloed van de belastingpositie. Door de belasting 300 mm te verplaatsen in breedte richting had dit meteen invloed op de resultaten. Dit komt door de relatief kleine h.o.h. afstand van de liggers waardoor de invloed zichtbaar was. Dit betekent dat de invloed van de gekozen verkeerssituatie enorm veel invloed op de resultaten geeft. Bij niet voldoen bij de constructieve beoordeling kan worden overwogen om de realistische rijstrook indeling toe te passen met een meer realistische benadering van de belasting. Zo zou zelfs het plaatsen van barriers een eenvoudig toepasbare oplossing mogelijk zijn.

De kruisingshoek blijkt van veel minder invloed te zijn dan dat aanvankelijk de verwachting was. Bij het platenonderzoek was dit namelijk van grote invloed. Mede hierom is naast object OudeRijn (2 dwarsdragers) ook brug over de Rotte (geen dwarsdragers) gemodelleerd om de invloed inzichtelijk te krijgen. Voor object OudeRijn is de invloed van de kruisingshoek voor dwarskracht tot 5% en voor moment tot 15%. Voor object de Rotte is de invloed van de kruisingshoek voor dwarskracht als moment tot maximaal 10%. Dit verschil is te verklaren dat object OudeRijn door de aanwezigheid van de dwarsdragers zo stijf in dwarsrichting is dat het bijna als een plaat zich gedraagt. Hierdoor word de kruisingshoek niet meegenomen in de berekeningen van de quickscan. Wetende dat de invloed voor een stompe hoek ongeveer +10% en voor scherpe hoek -10% van de verkeerslast is.

5.4 Quickscan Movares

Voor de beoordeling van objecten met T-liggers is door Movares speciaal een rekenprogramma ontwikkeld, de Quick Scan T-liggers. De quickscan Movares rekent voor diverse posities van de verkeersbelasting de belasting voor de doorsneden langs de balkassen automatisch uit. Er is voor Rijkswaterstaat niet direct inzichtelijk wat er gebeurt, wat de belastingposities zijn en eventuele maatregelen voor in de toekomst zou niet in eigen beheer verkregen kunnen worden.

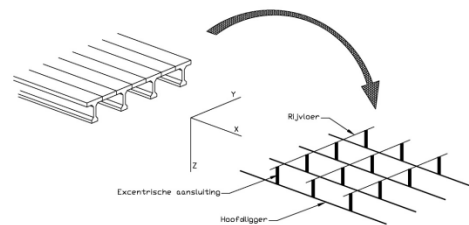
De meeste beheerobjecten zijn beoordeeld met de Quick Scan 2017 (RBK1.2). De werking en uitgangspunten zijn opgenomen in een apart document en in de individuele Quick rapporten.

De quickscan van Movares is in het verleden op verschillende manieren gevalideerd om vertrouwen in de methode te krijgen en eventuele verschillen met de gemaakte SCIA berekening inzichtelijk te maken.

5.4.1 Modelling rijvloer

Bij de modellering is rekening gehouden met de spreiding van de belasting over de rijvloer. Het Movares onderzoek concludeerde dat dit nodig was omdat een eenvoudige balkberekening voor lokale belastingen onvoldoende nauwkeurigheid gaf, zelfs voor een quickscan.

De brug is daarom gemodelleerd als een gekoppeld stelsel hoofdliggers, welke excentrisch gekoppeld worden door rijvloerelementen en dwarsdragers, zie Figuur 31 Modelopbouw quickscan Movares. De rijvloerelementen c.q. dwarsdragers bezitten afschuifstijfheid in langs richting en buig- en wringstijfheid in dwarsrichting.



Figuur 31 Modelopbouw quickscan Movares

De afschuifstijfheid van de rijvloer in langs richting van de brug, samen met de excentrische aansluiting, belemmert verschillen in buigvervorming tussen hoofdliggers, en de buigstijfheid in dwarsrichting belemmert verschillen in verticale verplaatsingen. De wringstijfheid van de hoofdliggers, die in de einddwarsdragers ingeklemd zijn, gaan op zijn beurt de buigvervorming van de rijvloer weer tegen. Per veld is de rijvloer in dwarsrichting opgedeeld in 200 rijvloerelementen (waaronder ook de dwarsdragers). De omrekening van de belastingen naar knoopkrachten en de toegepaste oplosalgoritmes zijn standaard en wordt door Movares verwezen naar de standaard literatuur.

5.4.2 Mobiele belastingen

Vervolgens is er gerekend met ligger analogie zonder dwarskrachtspreiding. Dit is een nauwkeurige methode voor dwarskracht, maar het overschat veelal het bijbehorende moment. Met een T-ligger is de verwachting dat door de spreiding van de belasting vooral de randliggers hier minder mogelijkheid tot spreiding hebben en hierdoor dus hoger belast zullen worden. In de langsrichting worden de laststelsels per veld in 100 opeenvolgende posities geplaatst, in dwarsrichting wordt het zwaarste laststelsel steeds 300 mm vanaf de schampkant, aansluitend het op één na zwaarste laststelsel zo ongunstig mogelijk geplaatst, en tenslotte het lichtste laststelsel.

5.4.3 *Voorspanning*

Het kabelverloop van de voorspanning is opgebouwd uit een reeks splines. Dit is de doorbuigingslijn van een gewichtloze balk welke door een aantal dwangpunten wordt gevoerd. Hierbij kan naast de ligging in elk punt ook de hoek worden opgegeven (vaak gebeurt dit alleen in het kabel midden of bij de spankoppen). Deze eigenschap is van belang voor dit type bruggen, omdat hier vaak bewust een bepaalde hoek bij de ankerkoppen is gekozen die afwijkt van die behorende bij een parabolisch verloop. Dit is essentieel voor een correcte bepaling van het dwarskrachtenverloop (langsvoorspankracht maal hoek). Volgens de Eurocode moet de voorspankracht altijd als belasting gemodelleerd worden.

5.4.4 *Belastingfactoren*

De quickscan is opgebouwd met de representatieve waarden waarna het deze vermenigvuldigd met de benodigde en aangegeven partiële belastingfactoren. Tot nu toe zijn we alleen geïnteresseerd in de representatieve waarden.

5.4.5 *Opleggingen*

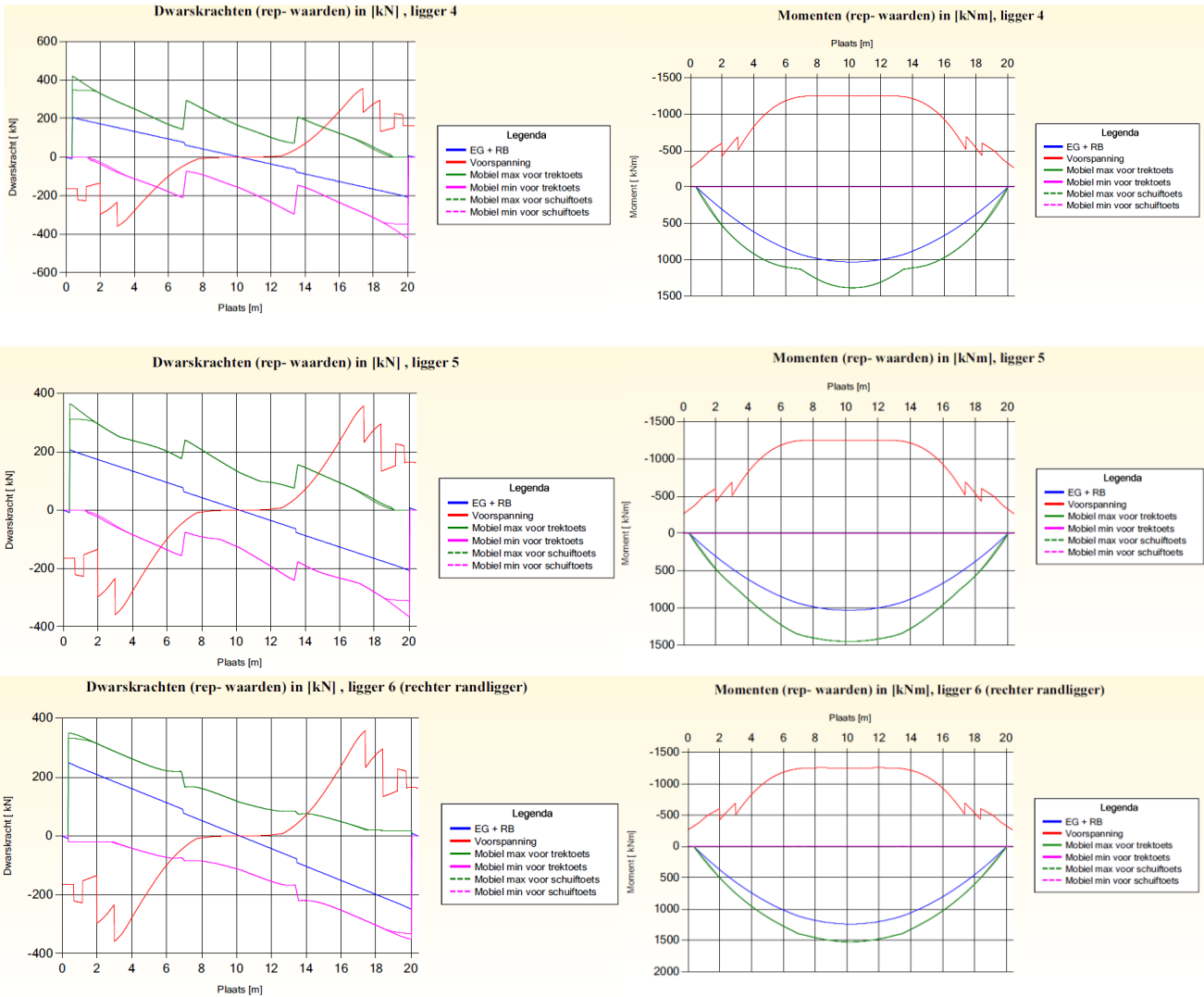
De opleggingen in de quickscan zijn gemodelleerd als starre opleggingen. Dit staat nergens in de literatuur van de methode omschreven maar is na overleggen en na vraag ondervonden.

5.4.6 *Kruisingshoek*

De kruisingshoek van het object wordt niet meegenomen in de quickscan van Movares. Onafhankelijk van het object gaat deze altijd uit dat de hoek recht (100 gon / 90 graden) is. In eerder stuk is aangetoond dat de kruisingshoek, zelfs voor een object als de Ouderijn waar deze tamelijk groot is, weinig van invloed is voor de verkeersbelasting.

5.4.7 Resultaten

Vergelijkbaar met de SCIA berekening zijn de meest belangrijke waarden voor dwarskracht en moment in de liggers weergegeven. In bijlage 3 worden de resultaten inclusief maximale waarden weergegeven.



De resultaten uit de Movares quickscan zijn omhullende resultaten. Hierdoor is de balstingspositie niet te achterhalen echter kan wel altijd de maximale waarden voor elke positie teruggevonden worden. Het verloop van de belasting is vergelijkbaar als deze resultaten van de Scia berekening. Echter zijn de waarden in de Scia berekening iets hoger dan bij de Movares berekening. Dit is normaliter niet wenselijk. Echter wetende dat de Scia berekening nog verder verfijnd kan worden (in positieve zin) en de Movares quickscan zeer uitgebreid is, is dit de Scia berekening iets conservatiever wat niet zorgelijk is.

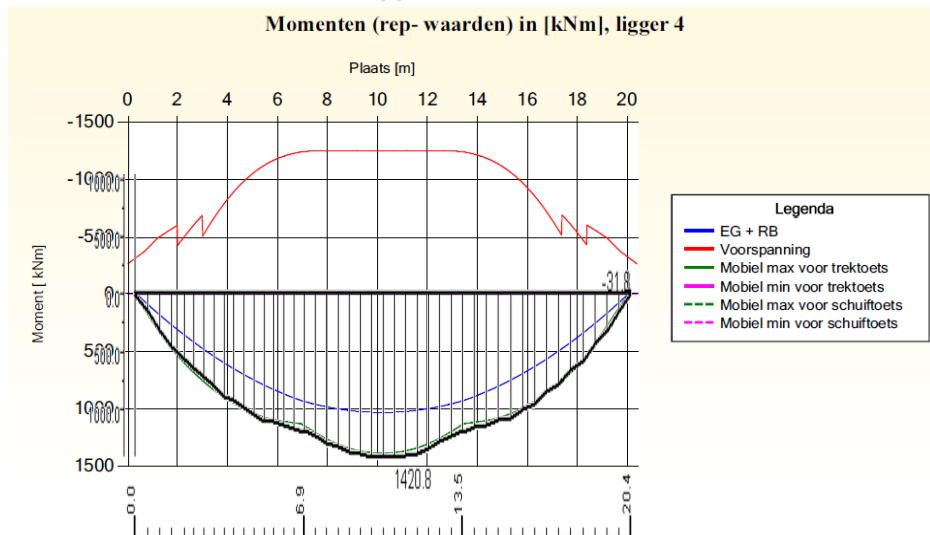
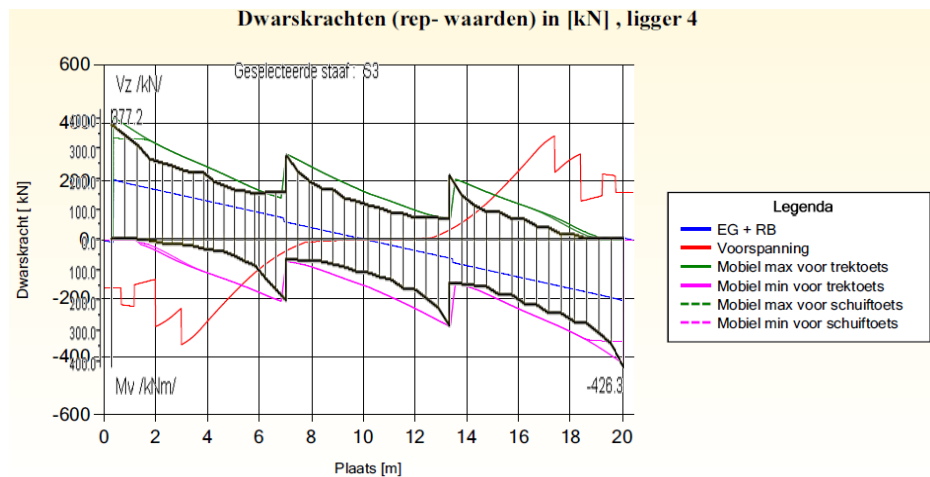
Omdat de quickscan van Movares uitgaat van de totale omhullende wordt in onderstaande tabel voor de Scia berekening, situatie 1 waarbij TS1 (600kN wagen) over rijstrook 1 en TS2 (400kN wagen) over rijstrook 2 en situatie 2 waar de TS andersom gaan worden apart weergegeven. De waarden van de quickscan van Movares wordt vergeleken met de maximale gevonden waarde van de Scia berekening.

Methode	V1		M1		V2		M2		V3		M3	
	waarde	afw.	waarde	afw. %	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.
SCIA 1	356	0%	1533	0%	389	0%	1577	0%	426	0%	1422	0%
SCIA 2	248	0%	1170	0%	284	0%	1302	0%	462	0%	1398	0%
QS_mov	349	-2%	1523	-1%	364	-6%	1454	-8%	420	-9%	1390	-2%

Dit verschil zou mogelijk verklaarbaar zijn door verschil in de belastingposities. Echter is tot op heden niet mogelijk om deze bepalende belasting posities van de quickscan van Movares weer te geven.

In de bovenstaande tabel zijn alleen de maximale waarden met elkaar vergeleken. Daarom zijn het verloop van de momenten en dwarskrachten lijn van de Scia berekening en die van Movares boven elkaar gelegd om een extra "visuele" verificatie van beide te krijgen. (zwart is resultaten van de Scia berekening)

Kijkend naar de resultaten komen deze voor moment bijna nauwkeurig overeen en voor dwarskracht vooral de maximale waarden. Daar de quickscan Movares voor dwarskracht iets conservatiever over het verloop van de lengte is.



5.4.8 Controle eigengewicht + Rustende belasting

Vorige paragraaf geeft ook de dwarskrachten en momentenlijn weer voor het eigengewicht + rustende belasting. Deze resultaten zijn met de hand gevalideerd en in de volgende delen weergegeven.

5.4.8.1. Eigengewicht + rustende belasting midden liggers

Doorsnede inclusief tussenstort: $0,516\text{m}^2$	$q_{\text{eig}}=12.9 \text{ kN/m}$
Vulbeton 40mm, ($q_{\text{vul}}=0.04*1.68*25$)	$q_{\text{vul}}=1.68 \text{ kN/m}$
Asfalt 140mm, ($q_{\text{asf}}=0.14*1.68*23$)	$q_{\text{asf}}=5.41 \text{ kN/m}$
Totaal ($\Sigma q=q_{\text{eig}}+q_{\text{vul}}+q_{\text{asf}}$)	$\Sigma q=19.99 \text{ kN/m}$

Dwarsdragers = $2*(0.4*0.75*8.4*25) = 126\text{kN}$ (verdeeld over 12 steunpunten)

$V_{\text{dwars}} = 10.5 \text{ kN}$

$V_{\text{max}}=19.99*(19.7/2) + 10.5 = 207\text{kN}$ QS:207 kN verschil 0%

$M_{\text{dwars}}=6.7*9.54=64 \text{ kNm}$

$M_{\text{max}}=(19.99*19.7^2 * 1/8)+64 = 969+64=1033\text{kNm}$ QS:1033 kNm verschil 0%

5.4.8.2. Eigengewicht + rustende belasting randliggers

Doorsnede inclusief tussenstort: $0,441\text{m}^2$	$q_{\text{eig}}=11.03 \text{ kN/m}$
Vulbeton 40mm, ($q_{\text{vul}}=0.04*1.68*25$)	$q_{\text{vul}}=1.68 \text{ kN/m}$
Brugrand, ($q_{\text{rand}}=0.5*0.55*25$)	$q_{\text{rand}}=6.875 \text{ kN/m}$
Schamkant, ($q_{\text{schamp}}=0.475*0.28*25$)	$q_{\text{schamp}}=3.325 \text{ kN/m}$
Asfalt 140mm, ($q_{\text{asf}}=0.14*(0.40+1.68/2-0.475)*23$)	$q_{\text{asf}}=2.46 \text{ kN/m}$
Totaal ($\Sigma q=q_{\text{eig}}+q_{\text{vul}}+q_{\text{rand}}+q_{\text{schamp}}+q_{\text{asf}}$)	$\Sigma q=25.37 \text{ kN/m}$

$V_{\text{max}}=25.37*(19.7/2) = 249.8\text{kN}$ QS:246 kN verschil 1.5%

$M_{\text{max}}=25.37*19.7^2 * 1/8 = 1239\text{kN}$ QS:1239 kNm verschil 0%

De waarden van de rustende belasting van de randliggers komen overeen.

5.5 Verschillende rekenmethodes

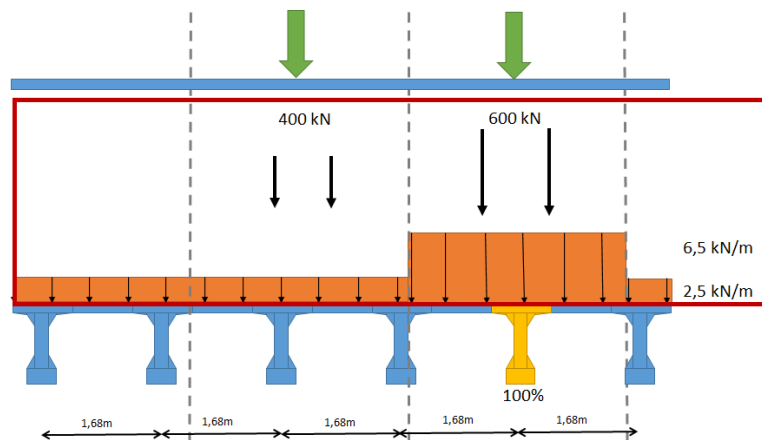
De verschillende rekenmethodes worden toegelicht en vergeleken met de resultaten van de Scia berekening vergeleken. Dit op basis van de in hoofdstuk 0 aangegeven uitgangspunten.

5.5.1 Alle verkeerslast op 1 ligger

Een zeer onrealistisch maar absoluut maximale waarde zou zijn als alle verkeersbelasting (TS1 en TS2) op de constructie op 1 ligger wordt geplaatst. De gelijkmatig verdeelde belasting is in onderstaande tabel weergegeven.

Belasting	Hoeveelheid	Breedte	Totaal belasting
Vlakbelasting	2.5 kN/m ²	8.4 m	21.0 kN/m
Verzwaarde rijstrook	6.5 kN/m ²	3 m	19.5 kN/m
Som q-last			40.5 kN/m

Tevens is op de zwaarst belaste rijstrook (RS1) de 600 kN wagen geplaatst en op de rijstrook (RS2) ernaast de 400 kN wagen. Deze belasting posities zijn in onderstaand figuur aangegeven, met rood omcirkeld en toegepast op één ligger (deze is geel gemarkeerd) geplaatst. Dit zou geen realistisch beeld geven maar creëert een bovengrens waar in de toekomst de quickscan niet boven zou komen.

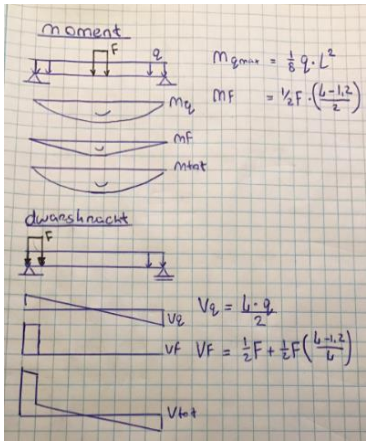


Met een handberekening wordt alle belasting op 1 ligger geplaatst waar de meest kritische posities van de belasting inzichtelijk worden gemaakt. In het overzicht zijn alle liggers gelijk, dit om eenduidig te blijven en de verschillen per ligger inzichtelijk te maken.

5.5.2 Resultaat dwarskracht en moment

Met behulp van de standaard vergeet me nietjes is de dwarskracht en moment (zie figuur) berekend en in Excel geautomatiseerd. Om wijzigingen snel inzichtelijk te maken.

q last	Ligger 1	Ligger 2	Ligger 3	
q6.5	19.50	19.50	19.50	
2.5	20.625	20.625	20.625	
qlast	40.13	40.13	40.13	
F	1000.00	1000.00	1000.00	
Mq(max)	2087.30	2087.30	2087.30	(1/8ql ²)
MF(max)	4800.00	4800.00	4800.00	F*L
Σmoment	6887.30	6887.30	6887.30	kNm
Vq(max)	409.28	409.28	409.28	(qL)/2
VF(max)	970.59	970.59	970.59	(F/2)+(F/2)*(L-a)/L
Σdwars	1379.86	1379.86	1379.86	kN



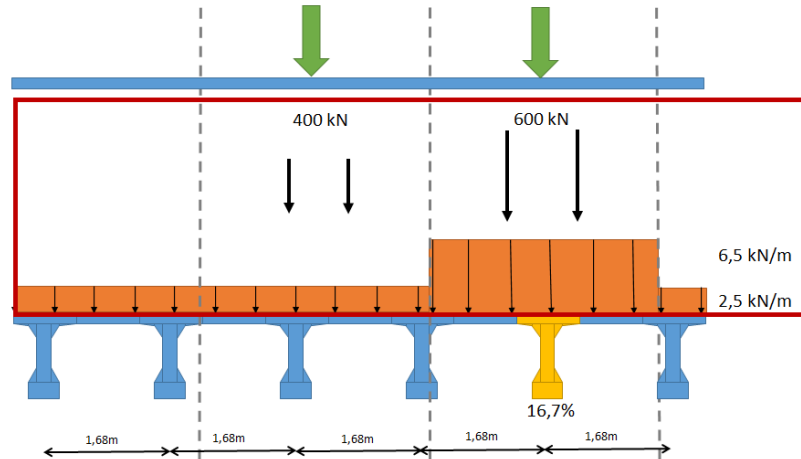
5.5.3 Toelichting verschillen

De in vorige delen verkregen waarden worden vergeleken met de capaciteit en de door Movares uitgevoerde quickscan. Doordat nu alle belasting zich op 1 ligger bevindt is de belasting bijna een vijfvoud dan de reactie kracht door de quickscan. Tevens voldoet deze ruimschoots niet aan de gestelde eisen. Deze waarden zijn niet realistisch, maar wel een maximale mogelijk. Dit maakt het erg interessant om te kijken wat het doet als je de belasting op bepaalde manieren verdeeld, wat hier de gevolgen van zijn op de ligger.

Methode	V1		M1		V2		M2		V3		M3	
	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.
SCIA	356	0%	1533	0%	389	0%	1577	0%	426	0%	1422	0%
Alle last op1	1380	288%	6887	349%	1380	255%	6887	337%	1380	224%	6887	384%

5.5.4 *Belasting verdeeld (Alle liggers gelijk)*

Naast de maximale belasting is het interessant om ook het absolute minimum inzichtelijk te hebben. Dit is verkregen door de verkeersbelasting gelijk te verdelen over alle liggers, onafhankelijk van de positie van de belasting. Dit geeft 16,7% van de belasting naar de te toetsen ligger. Eigen gewicht blijft alleen van de enkele ligger.



qlast	Ligger 1	Ligger 2	Ligger 3	
q6.5	19.50	19.50	19.50	
q2.5	20.625	20.625	20.625	
qlast	6.69	6.69	6.69	
F	166.67	166.67	166.67	
Mq(max)	347.88	347.88	347.88	$(1/8ql^2)$
MF(max)	800.00	800.00	800.00	$F \cdot L$
Σ moment	1147.88	1147.88	1147.88	kNm
Vq(max)	68.21	68.21	68.21	$(qL)/2$
VF(max)	161.76	161.76	161.76	$(F/2) + (F/2) \cdot (L-a)/L$
Σ dwers	229.98	229.98	229.98	kN

Methode	V1		M1		V2		M2		V3		M3	
	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.
SCIA	356	0%	1533	0%	389	0%	1577	0%	426	0%	1422	0%
Alle last gelijk	230	-35%	1148	-25%	230	-41%	1148	-27%	230	-46%	1148	-19%

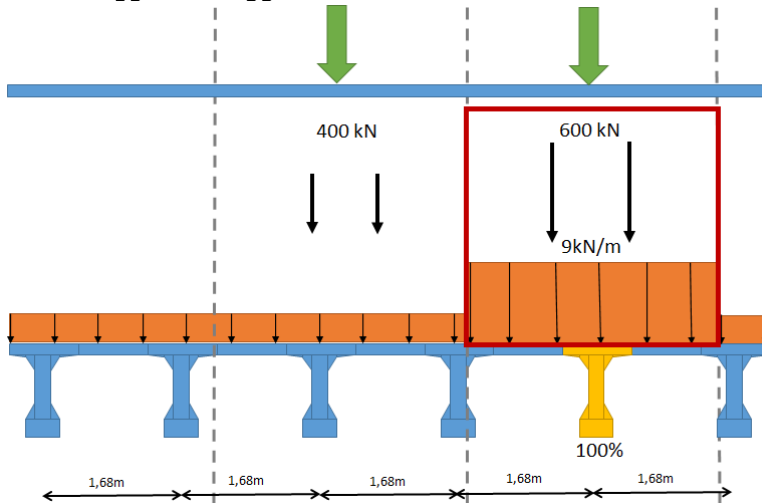
Als verwacht zijn de waarden aan de onveilige kant, daar de maximale waarden van alle last gelijk tot ongeveer 45% lager is dan de SCIA waarden.

Extra controle:

Of de belasting verdeeld is een factor 6 kleiner dan alle belasting op 1 ligger, dit omdat alleen de verkeersbelasting gelijk is verdeeld.

5.5.5 *Belasting verdeeld alleen zwaarste strook belast*

Naast het eigen gewicht wordt alleen de zwaarste belastte rijstrook volledig op genomen door de ligger. q-last wordt hierdoor, $9\text{kN/m}^2 \cdot 3\text{m} = 27\text{kN/m}$. Hier in dit geval is het of ligger 1 of ligger 2 of 3.



qlast	Ligger 1	Ligger 2	Ligger 3
q9.0	27.00	27.00	27.00
qlast	27	27	27
F	300.00	300.00	300.00
Mq(max)	1404.54	1404.54	1404.54 (1/8qL ²)
MF(max)	1440.00	1440.00	1440.00 F*L
Σmoment	2844.54	2844.54	2844.54 kNm
Vq(max)	275.40	275.40	275.40 (qL)/2
VF(max)	291.18	291.18	291.18 (F/2)+(F/2)*(L-a)/L
Σdwars	566.58	566.58	566.58 kN

Methode	V1		M1		V2		M2		V3		M3	
	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.
SCIA	356	0%	1533	0%	389	0%	1577	0%	426	0%	1422	0%
Alleen zware	567	59%	2845	86%	567	46%	2845	80%	567	33%	2845	100%

Doordat de volledige zware rijstrook van 3 meter één ligger, h.o.h. 1.68m, belast geeft ook deze geen realistische waarde.

5.5.6 *Verspreide methode*

Ter validatie van de gerealiseerde QuickScan heeft Movares (Kees Kamp) een uitgebreide handberekening voor dwarskracht gemaakt. Deze methode kenmerkt zich vooral door de excentriciteit van de belasting en de verdeling door de dwarsdragers. Deze methode wordt naast voor dwarskracht ook toegepast voor het moment in de liggers. Origineel werd alleen het hart van de belasting toegepast voor validatie van de randligger, deze is omgezet voor de betreffende liggers en daadwerkelijk wielprint op de correcte positie.

Moment liggers

Geometrie

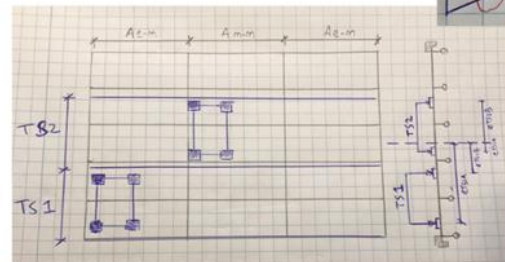
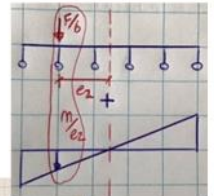
Lengte ligger	20.4 m
Afstand eind, midden dwarsdrager	6.938 m
Afstand midden dwarsdragers	6.524 m
I ligger	49.39
hoh afstand liggers	1.68 m
aantal liggers	6
Breedte rijstrook	3 m
Afstand schampkant	0.3 m
Schampkant over randligger	0.075 m
Afstand ligger 1	4.2 m
Afstand ligger 2	2.52 m
Afstand ligger 3	0.84 m

Belasting

TS1	600 kN
TS2	400 kN
TS3	0 kN
UDL1	9 kN/m
UDL2	2.5 kN/m
Afstand wielprint lengterichting	1.2 m
Wielprint	0.4 m

Eccentriciteit TS1a	3.625 m
Eccentriciteit TS1b	1.625 m
Eccentriciteit TS2a	0.625 m
Eccentriciteit TS2b	-1.375 m
Eccentriciteit TS3a	-2.375 m
Eccentriciteit TS3b	-4.375 m

Eccentriciteit q6.5	2.325 m
---------------------	---------

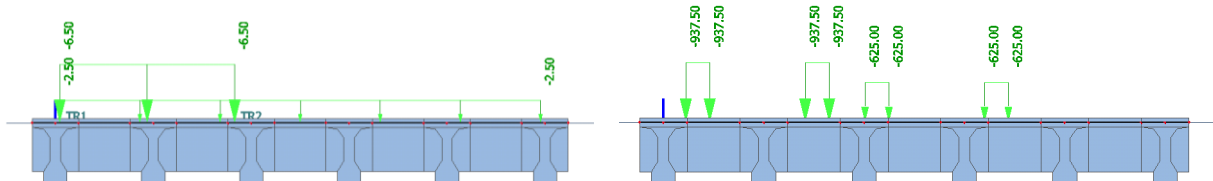


$e_1 = (2.5 * 1.68) - (0.3 + 0.075) - (0.2)$

$e_2 = e_1 - 2$
 $e_3 = e_1 - 1$
 $e_4 = e_1 - 2$
 $e_3 = e_1 - 1$
 $e_4 = e_1 - 2$

	Ligger 1	Ligger 2	Ligger 3
eccentr	4.2	2.52	0.84
deel q op	Ligger 1	Ligger 2	Ligger 3
6.5	0.765	1.68	0.555 m
2.5	0.765	1.68	1.68

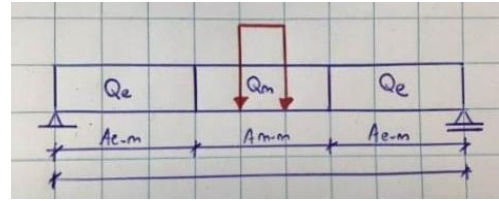
Belangrijk om te weten dat de belasting op een vaste positie staat en hier worden de maximale waarden voor moment en dwarskracht bepaald. Weergegeven in onderstaand figuur.



Deze methode is uitgebreid om exact dezelfde belastingposities te vinden als bij de Scia berekening. Hierdoor zijn ligger 1 en ligger 2 berekend zoals aangegeven, waar ligger 3 op andere manier, door beide tandemstelsels dicht bij de einddwarsdrager naast elkaar te positioneren.

5.5.6.1. Moment liggers

Voor de handberekening zijn vereenvoudigde aannames gedaan. De rijvloer wordt opgedeeld in drie delen, met dwarsdragers als scheidend element (zie Figuur 32 Indeling in rijvloer lengterichting). Bij de delen tussen de dwarsdragers en de opleggingen wordt de belasting direct afgeleid, zonder verdere spreiding.

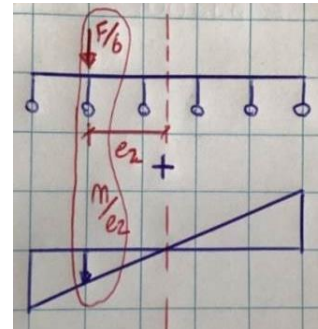


De belasting tussen de dwarsdragers wordt statisch equivalent gespreid over alle liggers en een excentrisch deel van het moment gedeeld door de excentriciteit van de ligger, weergegeven in Figuur 33 Equivalent en excentrisch deel (formule wordt dan: $M/a_1 = (e_1 * 150kN * a_1) / I$).

Figuur 32 Indeling in rijvloer lengterichting

Voor het bepalen van het maximale buigend moment gelden de volgende uitgangspunten:

- De 600kN wagen wordt halverwege de eerste rijstrook geplaatst. Op de manier wordt zowel in (rand) ligger 1 als in ligger 2 het maximale moment gevonden. De belastingafdracht is indirect.
- De 400kN wagen wordt halverwege de tweede rijstrook geplaatst. Op die manier wordt zowel in (rand) ligger 1 als in ligger 2 het maximale moment gevonden.



Figuur 33 Equivalent en excentrisch deel

MOMENT				
Ligger	Ligger 1	Ligger 2	Ligger 3	
Belastingafdracht TS1 Indirect				
Gem. puntlast centrisc	2x	50	50	50 kN
Gem. puntlast excentrisch TS1a	2x	46	28	$9 M/a_1 = (e_1 * 150kN * a_1) / I_{ligger}$
Gem. puntlast excentrisch TS1b	2x	21	12	$4 M/a_1 = (e_1 * 150kN * a_1) / I_{ligger}$
Moment	1123	866	609	$M = (F/6 + M/a_2) * (Lengte - Afstand wielprint)$
Belastingafdracht TS2 indirect				
Gem. puntlast centrisc	2x	33	33	33 kN
Gem. puntlast excentrisch TS2a	2x	5	3	$1 M/a_1 = (e_1 * 100kN * a_1) / I_{ligger}$
Gem. puntlast excentrisch TS2b	2x	-12	-7	$-2 M/a_2 = (e_1 * 100kN * a_2) / I_{ligger}$
Moment	259	283	308	$M = (F/6 + M/a_2) * (Lengte - Afstand wielprint)$
Belastingafdracht UDL1 indirect, middenveld Qm				
Gem. q-last, centrisc		3.25	3.25	$q_{cen} = (UDL_1 - UDL_2) * 3m / (aantal liggers)$
Gem. q-last excentrisch		3.86	2.31	$q_{excen} = a_1 * (UDL_1 - UDL_2) * 3m / I$
Moment	161	126	91	$M = \{(q_{cen} + q_{excen}) * (a_{e-m} + a_{m-m}) - (Afstand wielprint / 2)\} / Lengte$
Belastingafdracht UDL1 direct eindveld Qe				
Gem. q-last		4.97	10.92	$q = (UDL_1 - UDL_2) * (hoh / 2 - 0.075)$
Moment	113	247	247	$M = q * (a_{e-m} + a_{m-m} / 2)$
Belastingafdracht UDL2 direct eindveld Qe				
Gem. q-last		1.91	4.2	$q = (UDL_2) * (hoh / 2 - 0.075) \text{ (randligger)}$
Moment	43	95	95	$M = q * (a_{e-m} + a_{m-m} / 2)$
Belastingafdracht UDL2 indirect middenveld Qm				
Gem. q-last		3.5	3.5	
Moment	79	79	79	
Som Momenten in ligger	1777	1696	1429	kNm

5.5.6.2. Dwarskracht liggers

Voor de handberekening zijn vereenvoudigde aannames gedaan. Zo wordt de 600kN wagen pal bij de oplegging geplaatst, op een zo ongunstig mogelijke positie voor de onderzochte ligger. De belastingafdracht is direct. De 400kN wagen wordt in het gedeelte tussen de dwarsdragers geplaatst, eveneens op een zo ongunstig mogelijke positie voor de onderzochte ligger. De belastingafdracht is indirect.

Aangeven dat ligger 1 en 2 via de originele methode worden belast en dat de maximale van 3 wordt gevonden door beide puntlasten naast de ligger te plaatsen. Omdat dan de maximale waarde voor elk van de liggers wordt gevonden.

		TS1 rijstrook 1		
		DWARSKRACHT		
Ligger		Ligger 1	Ligger 2	Ligger 3
<u>Belastingafdracht TS1 Direct</u>				
Reactie TS1a 1e wiel		99	51	0 kN
Reactie TS1a 2e wiel		93	48	0 kN
Reactie TS1b 1e wiel		0	70	80 kN
Reactie TS1b 2e wiel		0	66	75 kN
<u>Belastingafdracht TS2 Direct</u>				
Gem. puntlast centrisch		42	42	42
Statische eq. Kracht TS2a		11	6	2
Reactie		7	4	1 kN
Statische eq. Kracht TS2b		23	14	5
Reactie		15	9	3 kN
<u>Belastingafdracht UDL1, indirect middenveld Qm</u>				
Gem. bijdrage centrisch		10.60	10.60	10.60 kN
Statische eq. Kracht UDL1		25	15	5 kN
Verdeeld over 2 opleggingen		12.58	7.55	2.52 kN
<u>Belastingafdracht UDL1, direct eindveld Qe</u>				
Reactie oplegging		34	76	25 kN
<u>Belastingafdracht UDL2, indirect middenveld Qm</u>				
Reactie oplegging		11	11	11 kN
<u>Belastingafdracht UDL2, direct eindveld Qe</u>				
Reactie oplegging		13	29	29 kN
Som Dwarskrachten in ligger		337	425	280 kN

Figuur: Belasting positie vergelijken methoden TS1 600kN op rijstrook 1

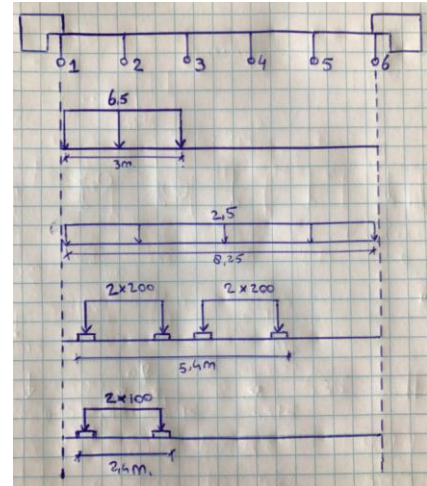
Methode	V1		M1		V2		M2		V3		M3	
	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.
SCIA	356	0%	1533	0%	389	0%	1577	0%	426	0%	1422	0%
Verspeide Methode	337	-5%	1777	16%	425	9%	1696	8%	452	6%	1429	1%

De maximale waarden van de verspreide methode wijken minder tot 6% af in dwarskracht en 16% in moment af van de maximale waarden van de SCIA-berekening. Tevens is TS1 (600kN) op rijstrook 2 geplaatst om te zien of deze resultaten hoger worden. De invloed van deze verplaatsing was wel te zien voor de verspreide methode. Door de excentriciteit is het moment op ligger 1 aan de hoge kant. Hier moet in de toekomst rekening mee gehouden worden.

5.5.7

Geconcentreerde methode

Om een toepasbare, goed werkende methode te bedenken is tijdens het overleggen een methode aangekaart door Cor van der Veen. Diezelfde methode wordt ook tijdens het college Bruggen toegepast. Uitgangspunt van de methode zijn de buigingen van de liggers. Uit ervaring blijkt dat wanneer de spreiding tot aan de neutrale lijn van de gecombineerde ligger wordt genomen en de belasting verdeeld wordt door het aantal liggers dat binnen het spreidingsgebied valt, dit een reële waarde geeft van hoe de lasten verspreid worden over de liggers. Daar waar de RBK aangeeft de hoogte tot het dek met een helling van 1:1 te spreiden. Deze spreiding wijkt af van de andere methoden, maar het is essentieel voor deze methode dat dit geaccepteerd wordt.



Figuur 34 Spreiding belasting volgens geconcentreerde methode

Tabel 4 Overzicht spreiding factoren

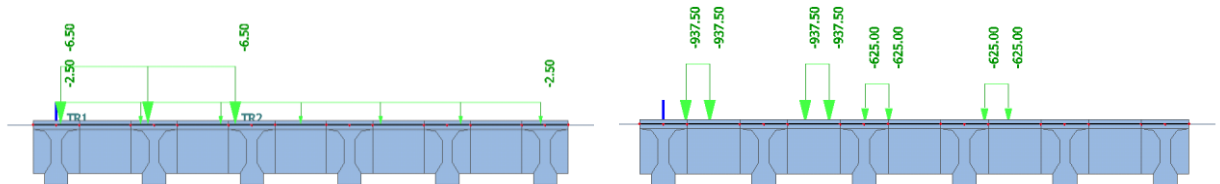
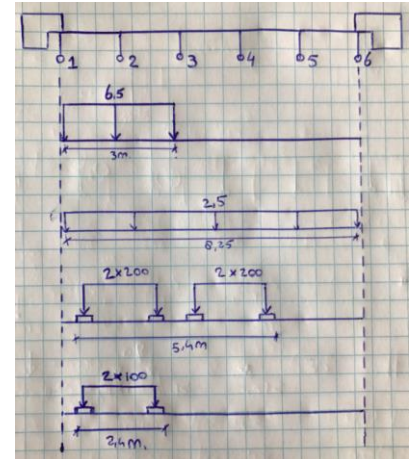
Dikte asfalt	140 mm		Spreiding		Aantal liggers
Vullaag	40 mm				
Z-Bov (mid)	374 mm				
Totaal	554 mm	2x	1108 mm		0.66
Als volledige breedte wordt meegenomen					
Breedte	3000 mm	Som	4108 mm		2.45
Breedte	5400 mm	Som	6508 mm		3.87
Breedte	2400 mm	Som	3508 mm		2.09
Als rekening wordt gehouden met ligger positie					
				som	factor
Breedte	3000 mm		75 mm afst. Hart lig	3629 mm	2.16
Breedte	5400 mm		375 mm afst. Hart lig	6329 mm	3.77
Breedte	2400 mm		375 mm afst. Hart lig	3329 mm	1.98

De methode kenmerkt zich door de belasting te spreiden over een aantal liggers, en vindt hierdoor de zwaarst belaste ligger. Zoals omschreven in Tabel 4 Overzicht spreiding factoren, zijn de belasting oppervlakken bepaald op basis van de weergegeven spreiding in Figuur 34 Spreiding belasting volgens geconcentreerde methode. De invloed van de belastingpositie is in de methode aanwezig. Zo spreidt een belasting tegen de schamkant minder dan een belasting in het midden van de breedte van het dek (zie in Tabel 4 het verschil tussen wanneer de volledige breedte meegenomen wordt en wanneer rekening wordt gehouden met liggerpositie).

Door de zwaarste UDL boven de ligger te plaatsen en alleen wat zich daadwerkelijk boven de ligger bevindt mee te nemen, wordt het tandemstelsel zodanig opgesplitst dat de twee 400kN wagens gelijkmatig worden verdeeld over een breedte van 6,5 meter (3,87 liggers) en de 200kN wagen (restant van 600kN) gelijkmatig verdeeld wordt over 3,5 meter (2,16 liggers).

Geconcentreerde methode

Lengte ligger	20.4 m	
Afstand wiel	1.2 m	
schamkant over ligger	0.075 m	
hoh ligger	1.68 m	
breedte dek	8.25 m	
q(2.5) dek	3.44 kN/m	
q(6.5) dek	9.03 kN/m	(6,5*3m/aantal)
F1 (800kN 5,4m)	106.18 kN	400/aantal
F2 (200kN 2.4m)	50.47 kN	100/aantal
q tot	12.46 kN/m	
F tot	156.64 kN	
Mq(max)	648 kNm	(1/8ql ²)
MF(max)	1504 kNm	F*(L/2-0.6)
Σmoment	2152 kNm	
Vq(max)	127 kN	(qL)/2
VF(max)	304 kN	F+F*(L-a)/L
Σdwars	431 kN	



Methode	V1		M1		V2		M2		V3		M3	
	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.
SCIA	356	0%	1533	0%	389	0%	1577	0%	426	0%	1422	0%
Geconcentreerd	431	21%	2152	40%	431	11%	2152	36%	415	-2.5%	2073	31%

De methode geeft in dit geval conservatieve resultaten, door hogere waarden dan de SCIA-berekening te geven. Deze afwijking ten opzichte van de maximale gevonden waarde van SCIA is op dwarskracht 21% en op moment 36%.

Tevens is TS1 (600kN) op rijstrook 2 geplaatst om te zien of deze resultaten hoger worden. Hierdoor had de UDL en TS1 meer liggers om de last over te spreiden, waardoor het moment 2073kNm (31% hoger) en dwarskracht 415kN (2.5% lager) worden. Vergelijken met hogere waarde ligger 3 bij SCIA, is het verschil 10% lager.

De geconcentreerde methode geeft alleen een resultaat voor één ligger. Dit is niet hinderlijk, omdat er geen verschil tussen de liggers is. De liggers worden namelijk gedimensioneerd op de zwaarst belaste ligger. Dit maakt het een snel toepasbare methode.

5.5.8

Guyon Massonet

Deze eerste moderne distributie coëfficiënt methode werd geïntroduceerd door Yves Guyon. Later is de torsiestijfheid toegevoegd door Charles Massonet. De toegankelijkheid van de berekeningsmethode werd sterk verbeterd door de publicatie van grafieken voor de bepaling van de zogenaamde dwarsverdelingscoëfficiënten door Morice, Little en Rowe.

In een tijdperk van numerieke methodes is de invloed van rijstroken voor interne krachten of permanente belastingsverdeling nog steeds erg populair, omdat ze een visueel beeld van de permanente belastingen voor een bepaalde brugligger of balk geven. De eerste moderne distributie coëfficiënt methode werd geïntroduceerd door Guyon. Hij heeft, uitgaande van de anisotrope plaattheorie, een methode ontwikkeld, waarbij het mogelijk is de verdeling van een last over de liggers en de bijbehorende momenten in dwarsdoorsneden te berekenen. Hierbij is geen rekening gehouden met de torsiestijfheid van de constructie. Massonet heeft daarom, in de jaren 40 van de vorige eeuw, een methode uitgewerkt waarin deze torsiestijfheid wel is meegenomen. Sindsdien is deze methode in veel landen geïntroduceerd.

De toegankelijkheid van de berekeningsmethode werd sterk verbeterd door de publicatie van grafieken voor de bepaling van de zogenaamde 'dwarsverdelingscoëfficiënten' door Morice, Little en Rowe. De methode Guyon-Massonet is gebaseerd op buiging van platen, welke een goede waarde (over de volledige breedte) voor buiging geeft. Voor dwarskracht is dit echter een minder betrouwbare parameter.

Uitleg theorie

De eerste moderne distributiecoëfficiënt-methode werd geïntroduceerd door Guyon. Guyon past de differentiaalvergelijking van de orthotope plaat toe op tweezijdig vrij opgelegde constructies met verwaarloosbare wringstijfheid (scharnierende balkroosters). Van hem is de buigstijfheidsparameter θ afkomstig, die in de meeste latere studies wordt aangehouden. Massonet heeft de berekeningsmethode van Guyon uitgebreid tot het algemene geval van tweezijdig vrij opgelegde constructies met willekeurige wringstijfheden. Daartoe voert hij de wringstijfheidsparameter α in met $0 \leq \alpha \leq 1$ en berekent de verdeling coëfficiënten voor een scharnierend en wring stijf balkrooster met respectievelijk $\alpha = 0$ en $\alpha = 1$. De verdeling coëfficiënten voor een willekeurige waarde van α kan met behulp van een empirische interpolatieformule worden verkregen. Ook geeft hij coëfficiënten voor het berekenen van de momenten in dwarsrichting.

Bij de toepassing van een liggermodel dient de lastspreiding in langs- en dwarsrichting op een juiste wijze te worden meegenomen. De methode Guyon-Massonet is een algemeen geaccepteerde theorie voor lastspreiding, welke op een veilige manier voor statische onbepaalde en statisch bepaalde viaducten kan worden toegepast. Met de methode van Guyon-Massonet is een afschatting te maken van de dwarsverdelingscoëfficiënt K die in rekening gebracht moet worden.

De methode maakt van de daadwerkelijke brug een fictieve plaat met negen meetpunten, waarbij volgens Guyon de randligging vaak kritisch is doordat deze geen belasting kan afstaan.

Met behulp van Excel is door RWS een Guyon-Massonet sheet gemaakt waarbij de waardes zijn ingevuld voor de vergelijking.

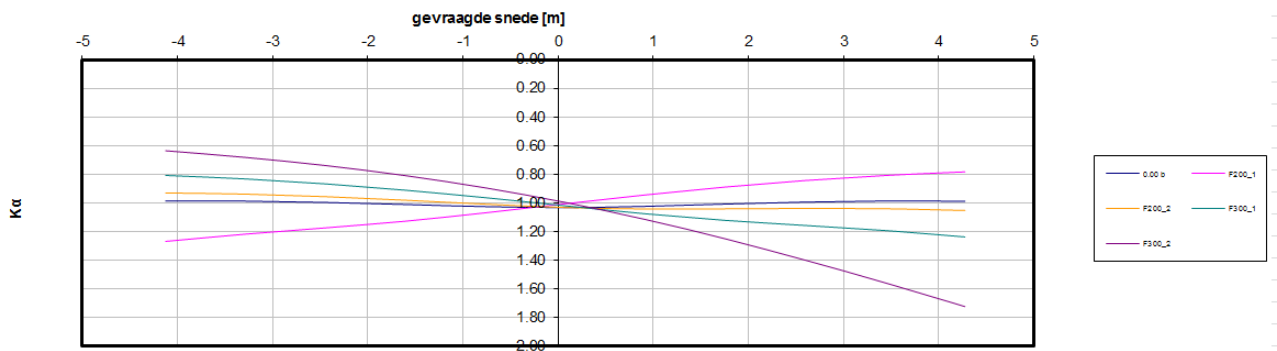
a	10.2	m	a= halve lengte	(halve schuine overspanning van het dek)
b	4.125	m	b= halve breedte	(halve schuine breedte van het dek)

Elasticiteitsmodulus	E	36000	N/mm ²	(langsrichting - x)	33500	N/mm ²	(dwarsrichting - y)
Traagheidsmoment	I	0.394	m ⁴		0.0998	m ⁴	
Glijdingsmodulus	G	15000	N/mm ²		13958.3333	N/mm ²	
Gemiddelde buigstijfheid	p	1790.90909			189.8808		
	y	1432.72727			135.88848		
Coefficient van Sattler	S	1	-				<<< aanpassen afhankelijk van SO
Dwarscontractie coefficient	v	0.2	-				
Buigstijfheidsparameter	θ	0.36436697	-				
Wringstijfheidsparameter	α	1	-				
Macht t.b.v. interpolatie tussen K0 en K1	α ^{max}	0.5	-				

E	Y	-1.00 b	-0.75 b	-0.50 b	-0.25 b	0.00 b	0.25 b	0.50 b	0.75 b	1.00 b	Check
	K ₀	-4.125	-3.084	-2.063	-1.031	0.000	1.031	2.063	3.094	4.125	
0.00 b	0	0.99	0.99	1.00	1.02	1.03	1.02	1.00	0.99	0.99	8.03
0.25 b	1.03125	0.85	0.87	0.91	0.96	1.02	1.07	1.10	1.12	1.16	8.06
0.50 b	2.0625	0.74	0.78	0.84	0.91	1.00	1.10	1.19	1.28	1.37	8.16
0.75 b	3.09375	0.66	0.71	0.78	0.87	0.99	1.12	1.28	1.44	1.61	8.33
1.00 b	4.125	0.59	0.66	0.74	0.85	0.99	1.16	1.37	1.61	1.89	8.60
											8.24

De K-waarden verdeeld over de breedte bij de belasting rond punt 0b zijn allemaal rond de 1. Wat betekent dat de kracht bijna volledig gelijk wordt verspreid. Dit duidt op een zeer stijve constructie. In eerste instantie lijkt dit onwaarschijnlijk, echter het feit dat het viaduct zeer smal is met meerdere langsliggers kort op elkaar (6 stuks, h.o.h. 1.68 meter) en de korte onderlinge afstand van dwarsdragers (ongeveer 6.5 meter) zorgen voor een zeer stijf object, wat de krachten bijna perfect verdeelt over de liggers.

De methode is gevalideerd door te controleren of de resultaten symmetrisch zijn. Ter voorbeeld punt $-1b; -0,75b = -0,75b; -1b$. Tweede validatie is uitgevoerd doordat wanneer de som: $-1b/2 + -0.75b + -0.5b + -0.25b + 0b + 0.25b + 0.5b + 0.75b + 1b/2$ ongeveer gelijk is aan 8 (7.8 a 8.2) dat dan de waarden als realistisch mogen worden gezien.



stap		0.84						Ligger 3		Ligger 2		Ligger 1	
F	K _α	Y											
		-4.13	-3.29	-2.45	-1.61	-0.77	0.07	0.91	1.76	2.60	3.44	4.28	
0.00 b	0	0.99	0.99	0.99	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	0.99	0.98	0.99	
F200_1	-1.6	1.27	1.22	1.17	1.13	1.07	1.00	0.94	0.89	0.84	0.81	0.78	
F200_2	0.4	0.93	0.94	0.95	0.98	1.01	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05	
F300_1	1.4	0.81	0.83	0.87	0.91	0.96	1.02	1.07	1.12	1.16	1.19	1.24	
F300_2	3.4	0.63	0.68	0.74	0.81	0.89	0.99	1.11	1.25	1.40	1.56	1.72	
SOM							1052.99	1141.79		1253.96			
Liggers							6	175.50 kN	190.30 kN		208.99 kN		

De puntlasten van de verkeersbelasting zijn ingedeeld in de verticale kolom om de belastingsfactoren voor de liggers (gearceerde delen onderstaande tabel) te vinden. Dit geeft voor bijvoorbeeld ligger 5 een te rekenen last van:

$$((0.84*200)+(1.04*200)+(1.16*300)+(1.40*300))/6\text{liggers} = 190\text{kN}$$

Dit zelfde kan gedaan worden voor de aanwezige verzwaarde rijstrook (q-last 6.5 kN).

Hier wordt de qlast opgedeeld in 4 punten waar de factor voor berekend is, hier nemen we het gemiddelde van.

stap		0.84						Ligger 3		Ligger 2		Ligger 1	
F	K _α	Y											
		-4.13	-3.29	-2.45	-1.61	-0.77	0.08	0.915	1.76	2.60	3.44	4.28	
0.00 b	0	0.99	0.99	0.99	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	0.99	0.98	0.99	
q 6.5	4.2	0.58	0.64	0.70	0.78	0.88	1.00	1.14	1.30	1.50	1.72	1.96	
q 6.6	3.2	0.65	0.69	0.75	0.82	0.90	1.00	1.11	1.24	1.37	1.52	1.67	
q 6.7	2.2	0.73	0.76	0.81	0.86	0.93	1.01	1.09	1.18	1.25	1.33	1.41	
q 6.8	1.2	0.83	0.85	0.88	0.92	0.97	1.02	1.07	1.10	1.13	1.16	1.20	

Dit geeft per ligger de in rekening te brengen q-last. Als voorbeeld voor ligger 5:

$$(6.5*8.4*1.38/6\text{liggers}) = 12.53\text{kN/m}$$

qlast	Ligger 6	Ligger 5	Ligger 4
	1.68	1.38	1.11
6.5	15.30	12.53	10.06
2.5	2.5	2.5	2.5
SOM	17.80	15.03	12.56

qlast	Ligger 1	Ligger 2	Ligger 3
	1.56	1.31	1.10
q6.5	14.19	11.96	10.02
q2.5	2.5	2.5	2.5
qlast	16.69	14.46	12.52
F	208.99	190.30	175.50
Mq(max)	868.05	752.24	651.55 (1/8ql ²)
MF(max)	1003.17	913.43	842.40 F*L
Σmoment	1871.22	1665.67	1493.94 kNm
Vq(max)	170.21	147.50	127.75 (qL)/2
VF(max)	202.85	184.70	170.34 (F/2)+(F/2)*(L-a)/L
Σdwars	373.05	332.20	298.09 kN

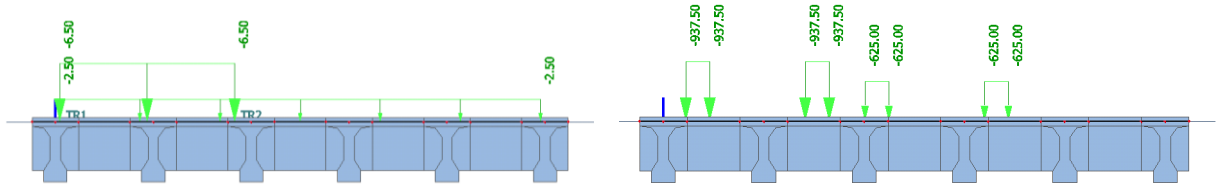
Methode	V1		M1		V2		M2		V3		M3	
	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.
SCIA	356	0%	1533	0%	389	0%	1577	0%	426	0%	1422	0%
Guyon Massonet	373	5%	1871	22%	332	-15%	1666	6%	354	-17%	1494	5%

De verschillen zijn zeer klein, wat de methode erg interessant maakt, zeker voor moment. Echter is de vraag of de methode altijd op dwarskracht zo dicht bij zou blijven. Dit omdat de methode hier niet voor ontworpen is.

De methode guyon massonet geeft een veilige benadering voor het moment. Dit geeft tevens vertrouwen geeft in de werkelijk aanwezige capaciteit. Dit betekent dat er tijdens ontwerp van de kunstwerken in het verleden, welke vaak berekend zijn met guyon massonet, uit is gegaan van een hoger moment dan nu het geval is.

5.6 Vergelijken van de resultaten

Om een overzicht te verkrijgen in de verschillen tussen de methoden zijn naast de genoemde uitgangspunten ook de resultaten van de methoden vergeleken. De representatieve resultaten t.g.v. de verkeersbelasting zijn weergegeven in Tabel 5 Vergelijking resultaten methoden. De resultaten laten de verdeling van de krachten



Figuur 35 Toegepast belasting geval TS1 over rijstrook 1

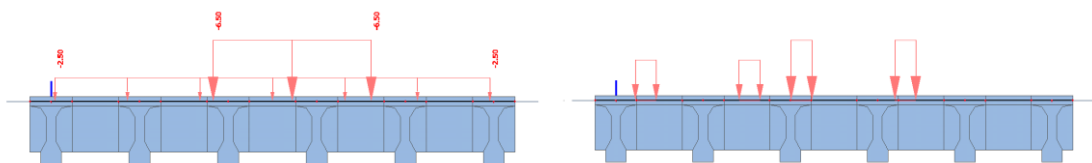
over de liggers t.g.v. een in Figuur 35 Toegepast belasting geval TS1 over rijstrook 1 weergegeven belasting situatie. Namelijk TS1 (600 kN) over rijbaan 1 en TS2 (400 kN) over rijbaan 2. Daar voor elke ligger de meest ongunstige situatie is gekozen, binnen het omschreven kader. In bijlage XX zijn grafieken voor dwarskracht en moment per ligger weergegeven om het verschil van de spreiding van de krachtswerking t.g.v. belastinggeval per methode weer te geven. De belastingposities bepaald in SCIA-engineer geven aan dat voor de randligger en ligger 2 een spreiding als maximale positie hebben en ligger 3 met twee belastingen naast elkaar om de maximale dwarskracht te vinden.

Tabel 5 Vergelijking resultaten methoden

Methode	V1		M1		V2		M2		V3		M3	
	waarde	afw. %	waarde	afw. %	waarde	afw. %	waarde	afw. %	waarde	afw. %	waarde	afw. %
SCIA	356	0	1533	0	389	0	1577	0	426	0	1422	0
QS_mov	349	-2	1523	-1	364	-6	1454	-8	420	-1	1390	-2
Alle last op1	1380	288	6887	349	1380	255	6887	337	1380	224	6887	384
Alle liggers gelijk	230	-35	1148	-25	230	-41	1148	-27	230	-46	1148	-19
Alleen zware strook	567	59	2845	86	567	46	2845	80	567	33	2845	100
Methode Kees	337	-5	1777	16	425	9	1696	8	402	-6	1429	1
Methode Cor	431	21	2152	40	431	11	2152	36	431	1	2152	51
Guyon Massonet	365	2	1832	19	352	-9	1765	12	354	-17	1770	25

Wetende dat Scia berekening opgebouwd is uit een plaat met excentrische ribben en deze methode nog verder verfijnd zou kunnen worden. Denk hierbij aan een schalen model, 2.5D volume model of zelfs een NLFEA. Is er van uit gegaan dat SCIA de correcte waarden geeft, zijn alle methoden ten opzichte van de SCIA-resultaten vergeleken. Opvallend is dat de verfijnde methoden geconcentreerd en verspreide methode, ondanks dat deze eenvoudig toepasbaar zijn, het dichtst bij de resultaten uit de SCIA-berekening komen.

Op basis van deze situatie lijkt de geconcentreerde methode op basis van dwarskracht een veilige methode, omdat deze de Scia berekening altijd positief benaderd. Echter op basis van het moment tot maximaal 36% afwijkt. Op basis van moment zou de verspreide methode in deze situatie het beste tot zijn recht komen. Omdat TS1 ook op rijbaan 2 geplaatst moet worden om een correcte vergelijking te geven wordt deze hier toegepast.



Figuur 36 TS1 op rijbaan 2

Geeft methode een realistische spreiding van de belasting?

Tabel 5 Vergelijking resultaten methoden laat zien dat de resultaten per ligger, voor dit enkele belastinggeval. De quickscan Movares, verspreide methode en guyon massonet geven de invloed van een andere volgorde van belasting over de dwarsrichting weer. Daar waar andere methoden deze invloed niet of nauwelijks laten zijn. Voorbeeld hiervan is zichtbaar bij Figuur 36 TS1 op rijbaan 2. Daar de andere methoden alleen een maximale waarde weergeven. Omdat de maximale waarde de ontwerpwaarde weergeeft wordt deze uitgebreid vergeleken.

5.6.1

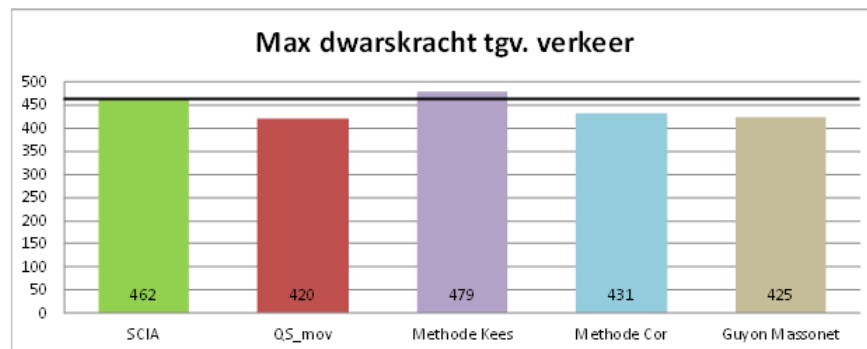
Vergelijk maximale waarde

De maximale optredende waarden voor moment en dwarskracht moeten gevonden worden voor de meest ongunstige belasting positie. Deze positie voor de maximale waarde is belangrijk voor de UC, tijdens het maken van de quickscan. Scia, verspreide methode en guyon massonet zijn uitgebreid (met TS1 en TS2 verwisseld) en word de maximale (omhullende) waarden van elke methode voor de meest ongunstige situatie weergegeven.

Om de vergelijking visueel te maken zijn de meest realistische waarden naast elkaar geplaatst in Figuur 37 Overzicht waarden maximale dwarskracht t.g.v. verkeersbelasting.

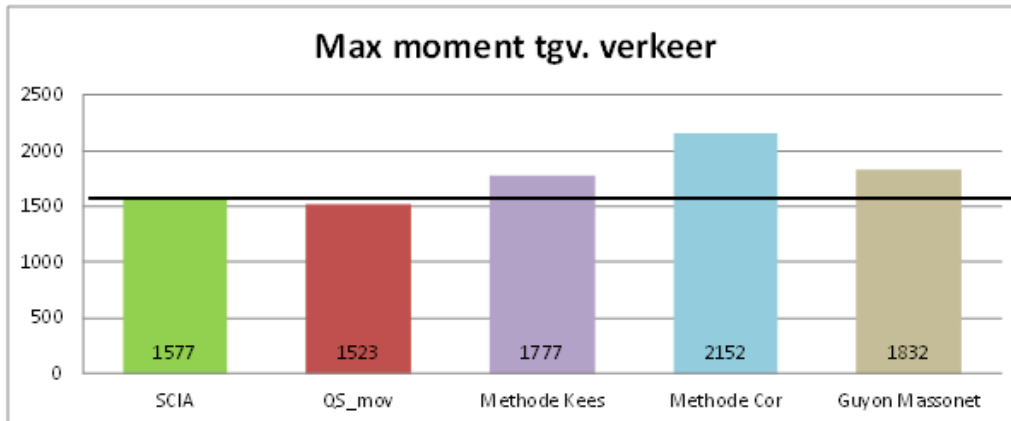
Tabel 6 Vergelijking maximale waarden

Methode	Dwarskracht		Moment	
	waarde	afw. %	waarde	afw. %
SCIA	462	0	1577	0
QS_mov	420	-9	1523	-3
Alle last op1	1380	199	6887	337
Alle liggers gelijk	230	-50	1148	-27
Alleen zware strook	567	23	2845	80
Methode Kees	479	4	1777	13
Methode Cor	431	-7	2152	36
Guyon Massonet	425	-8	1832	16



Figuur 37 Overzicht waarden maximale dwarskracht t.g.v. verkeersbelasting

De resultaten van alle belasting op 1 ligger en de belasting gelijkmatig verdeeld over alle liggers zijn de uiterste en samen met alleen de zware strook geven deze onrealistische resultaten. Hierom worden deze niet meegenomen in het figuur om een meer inzichtelijkere vergelijking van methoden weer te geven. De maximale dwarskracht treed bij SCIA op als TS1 op rijbaan 2 en TS 2 op rijbaan 1 beide dicht tegen de oplegging aanstaan. Dit geeft een dwarskracht van 462 kN voor ligger 3. Qua resultaat komt de verspreide methode (Kees) aan de conservatieve kant, 4% positief dus. Daar waar de geconcentreerde methode (Cor) en Guyon massonet ook dicht bij de gevonden waarde van SCIA komen, maar aan de onveilige kant zitten, namelijk -7,-8%.



Figuur 38 Overzicht waarden maximaal moment t.g.v. verkeersbelasting

De resultaten van de maximale momenten geeft weer dat de verspreide methode (Kees), geconcentreerde methode (Cor) en guyon massonet allemaal aan de conservatieve kant zitten met hun resultaat. Daar waar geconcentreerde methode (Cor) de grootste afwijking heeft, namelijk 36% t.o.v. 13 en 16%

Geeft methode inzicht in de belasting positie?

Omdat de quickscan van Movares geen inzicht geeft in de belastingpositie, maakt dit een correcte vergelijking moeilijk. Bij aanvang was dit een belangrijke eis en is dit bij de andere methoden is dit wel inzichtelijk gemaakt. Om de invloed van diverse situaties zichtbaar te maken is in bijlage 4, de verschillen tussen enkele belasting situaties voor de meest interessante methodes toegelicht.

Heeft de originele berekening nog iets reserve capaciteit?

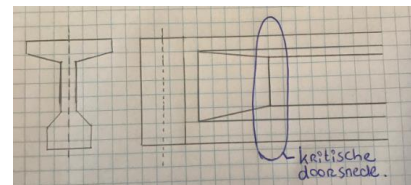
De meeste liggers zijn in het verleden ontworpen met de methode guyon massonet. Interessant aspect hier is dat de momenten waarop de liggers ontworpen zijn hoger uitkomen dan de resultaten uit de SCIA-berekening. Dit is een positief aspect, omdat als dit altijd is, ervan uit mag worden gegaan de liggers ontworpen zijn op een hoger moment (t.g.v. verkeersbelasting). Verschil tussen maximale waarden van Scia en guyon massonet (in dit geval) 16%.

Realistische maximale waarden

Om een correct werkende quickscan te hebben is het belangrijk om realistische maximale waarden te hebben. Hierbij is het belangrijk dat de constructie niet ten onrechte als veilig wordt beschouwd. Hierom is het essentieel dat de maximale waarden altijd aan de veilige kant (hogere waarden) uitkomen. Hierbij realiserende dat de Scia berekening ook nog verder verfijnd zou kunnen worden. Kijkend naar de toegepaste methoden komt de methode Kees hiervoor het meeste in aanmerking.

Verloop dwarskrachten en momentenlijn tgv belasting

Alle methoden geven momenteel de maximale waarde van dwarskracht of moment ten gevolge van een vooraf vastgestelde belasting. Echter bij het maken van een quickscan is het gewenst om een kritische doorsnede of willekeurig punt de momenten en dwarskracht op dat punt te weten. Zo kan een correcte unity check worden uitgevoerd. Door voor ieder punt in de lengterichting van de ligger de bepalende belasting gevallen te bepalen is het mogelijk om op een snelle en slimme manier de check uit te voeren.



Kijkend naar al deze aspecten komen de verspreide methode (Kees) en guyonmassonet in deze situatie het best tot zijn recht. Omdat de resultaten van zowel de spreiding en de maximale waarden het dichtst bij de (versimpelde) SCIA-berekening komen. Tot respectievelijk 8 en 16% op moment en 3 tot 8% op dwarskracht. Daar waar andere methoden een afwijking vanaf 27%. Op basis van dwarskracht zit de methode Cor in dezelfde afwijking range als gespreide methode of guyon massonet.

Daar de methode ook rekening houdt met de aanwezige dwarsdragers, daar andere methoden dit niet doen. De invloed van de positie van de belasting over de dwarsrichting met de verspreide methode zichtbaar, daar waar met de geconcentreerde methode (Cor) dit niet het geval is.

Tevens werkt de gespreide methode gemakkelijker dan dat guyon massonet doet. Om deze redenen is er gekozen om verder te gaan met de gespreide methode.

Het startdoel was om een goedwerkende quickscan methode te maken, waarin het krachten verloop zo realistisch mogelijk, mits gemakkelijk toepasbaar wordt meegenomen. Met voorkeur om minimaal op de kritische punten van de ligger te weten te komen wat de dwarskracht en het moment op dat punt is.

Om de invloed van de belastingpositie ten gevolge van de kritische doorsnede inzichtelijk te krijgen is dit alleen mogelijk met de gespreide methode, omdat deze methode afhankelijk is van de belastingpositie en de excentriciteit. Wel moet de methode verder gevalideerd worden op enkele uitzonderingen en de invloeden hiervan zichtbaar worden gemaakt.

5.7 Validatiegids

Nu verspreide methode gekozen is, moet deze gevalideerd worden aan de hand van enkele simpele en "extreme" situatie, om aan te tonen dan de methode hier ook het beste aan voldoet. Deze resultaten worden vergeleken met Scia en guyon massonet en komen in de toekomst mee met de validatie van de quickscan.

Brug Oude rijn gedraagt zich als een zeer stijf object doordat de liggers en de dwarsdragers dicht bij elkaar bevinden. Hierdoor reageer de constructie meer als een stijve plaat dan als een ligger constructie.

Hiervoor zijn 2 situaties binnen het areaal nader bekeken.

Het betreffen enkele van de meest kritische objecten;

- Brug over de Rotte, welke geen dwarsdragers heeft.
- Hamersbrug, welke een grote hoh afstand heeft en een realistisch beeld geeft van de grotere T-ligger objecten.

Deze objecten zijn in bijlage 5-6-7 verder uitgewerkt en toegelicht.

6 Snelle verifieerbare methode

Vanuit Rijkswaterstaat is de wens om een snelle, verifieerbare methode te ontwikkelen voor het controleren van de veiligheid voor meerdere T-ligger constructies volgens huidige normen en inzichten. Daarbij dient rekening te worden gehouden met eventuele wijzigingen in de toekomst, welke door de huidige ontwikkelingen op het gebied van dwarskracht onderzoek te verwachten zijn.

Nu inzicht is verkregen in de verdeling van de belasting over de liggers, is het doel om een generiek systeem te maken, een zogenaamde 'quickscan'. De quickscan maakt op een snelle manier duidelijk of de gekozen snede voldoende weerstand kan bieden aan de behorende belastingcombinaties.

6.1 Wat is een Quickscan?

Volgens de Dikke van Dale is de betekenis van een quickscan: "Een snel onderzoek gericht op hoofdlijnen". Het doel is om resultaat snel zichtbaar te maken, zonder al te veel handelingen. Naast sneller, is een quickscan ook conservatiever dan andere methoden zoals een EEM-som.

De quickscan is een generieke, eenvoudig toepasbare, conservatieve methode om 'het kaf van het koren te scheiden' voor de dwarskracht-toets, zonder dat EEM-software nodig is en welke tevens de Scia-berekeningen zo goed mogelijk benaderd. Om deze zo goed mogelijk te ontwikkelen is een beoordelingsprocedure gerealiseerd welke zich vorm tot de quickscan.

Belangrijk onderdeel van de snelle verifieerbare methode is dat deze toetst op slim gekozen sneden in plaats van op een fijn net van locaties. Nadeel is dat niet elke locatie exact wordt beoordeeld. Echter, de constructeur die deze methode toepast is verplicht om scherp te blijven, want hij moet nadenken van welke snedes hij graag resultaat wil zien.

De quickscan Boon is getracht zoveel mogelijk te automatiseren. Om inzicht te geven in welke cellen ingevuld mogen en moeten worden, is onderstaand kleurenschema gehanteerd.

	Nice to know
	Must know
	To check

Waar *nice to know* met name inzoomt op de algemene gegevens van het object welke niet nodig zijn voor de quickscan.

Must know, zijn gegevens die nodig zijn om in te vullen om de berekening correct te laten werken.

To check biedt de mogelijkheid om resultaten tussentijds te controleren. Dit is niet vereist maar maakt het tevens overzichtelijk waar na te kijken.

6.2 **Beoordelingsprocedure**

Uitgangspunt bij de beoordelingsprocedure is dat een constructie niet veiliger zal worden door meer en zwaarder te rekenen. Veelal is de veiligheid van de constructie niet het probleem, maar het feit dat dit niet eenvoudig rekentechnisch kan worden aangetoond. Vooral door verfijnder te rekenen zal veelal uiteindelijk kunnen worden aangetoond dat een constructie aan de gestelde eisen voldoet. Zodra kan worden aangetoond dat een constructie de gewenste veiligheid bezit, kan worden gestopt met extra berekeningen of beoordelingen. Wanneer dit al het geval is bij de conservatieve quickscan, dan scheelt dit een hoop rekenwerk.

De beoordeling betreft de statische sterkte van de bovenbouw van de beheerobjecten. In de beoordeling is de dwarskrachtcapaciteit alleen beschouwd voor de liggers van de constructie.

Omdat verkeersbelasting op de ligger niet op eenvoudige wijze te bepalen is, heeft deel 1 van het onderzoek vooral hierop gefocust. Tevens zijn de resultaten tot dusver vooral gericht geweest op de maximale waarden ten gevolge van de verkeersbelasting van de dwarskracht en het moment. In de vergelijking met SCIA-resultaten is de gekozen methode als een goede methode naar voren gekomen.

In de procedure kunnen grenswaarden worden gewijzigd, in afwachting van de te verwachten resultaten van algemeen verruimend onderzoek. De quickscan zal hierin helpen om de resultaten inzichtelijk te maken. Hiervoor kunnen de invoer en de resultaten van de quickscans en de overige resultaten van de beoordelingen aan elkaar gekoppeld worden. Daardoor zijn analyses over de invloed van bepaalde aspecten mogelijk. Dit volledig automatiseren valt momenteel nog buiten de scope van de afstudeeropdracht, maar zou in een later stadium gerealiseerd kunnen worden.

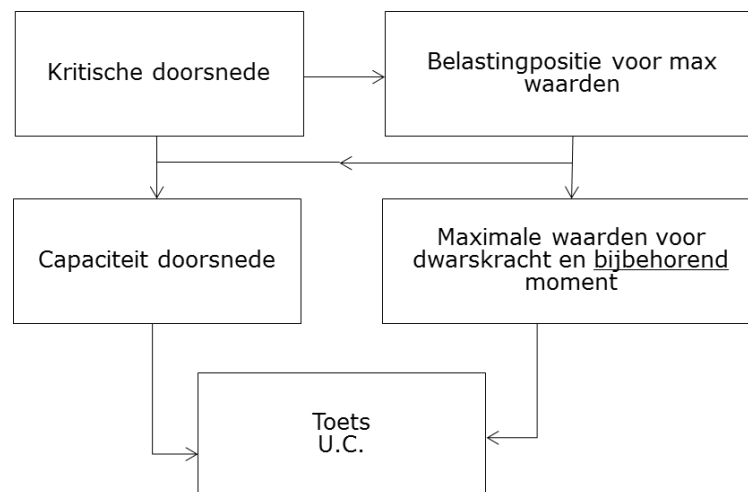
6.2.1

Benodigde stappen

Door de (kritische) sneden (belangrijke te toetsen punten) van de ligger te bepalen en te toetsen, kan op een snelle en slimme manier inzichtelijk worden gemaakt wat de UC op de belangrijkste delen van de constructie is.

Zijn de punten van de 'kritische' sneden bekend, dan is het mogelijk om:

- De capaciteit van deze punten uit te rekenen.
- De belasting posities om de maximale waarden uit te rekenen.
- De maximale waarden voor optredende dwarskracht en bijbehorend moment voor doorsnede.
- Unity check uit te voeren, door de capaciteit te controleren met de optredende krachten.



De (kritische) sneden worden niet beïnvloed door de locatie van de belasting, maar door de opbouw van de liggers in de lengterichting.

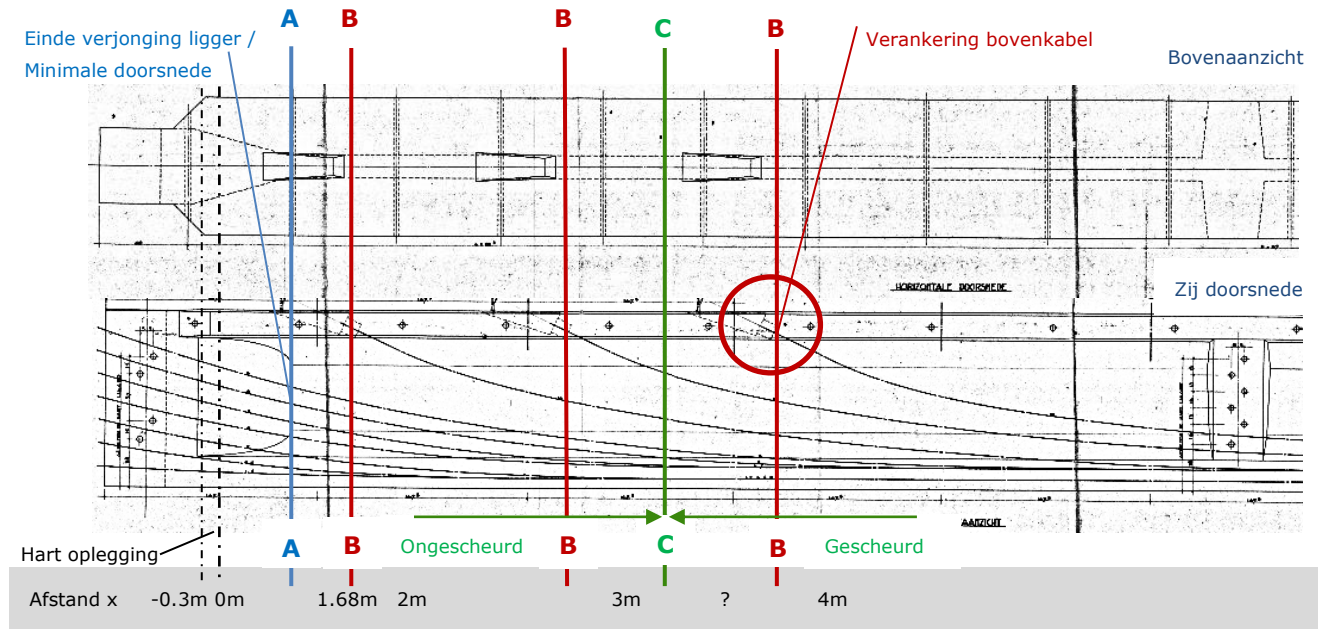
Uit pragmatisch oogpunt is het verstandig om minimaal de randligger en de middenligger te toetsen. De meeste objecten hebben rond de 6-8 liggers, waardoor er ook voor 3-4 te toetsen liggers kan worden gekozen. De keuze van de liggers kan belangrijk zijn door de in hoofdstuk 0 benoemde invloed van de h.o.h. afstanden van de liggers in combinatie met de gekozen rijstrookindeling.

De exacte belastingpositie is in de quickscan van Movares niet terug te herleiden naar waar de belasting positie zich bevindt. Omdat het wel belangrijk is om hier inzicht in te krijgen is een extra onderzoek uitgevoerd en weergegeven in hoofdstuk 6.3.2.

6.2.2 Te beschouwen (kritische) sneden

Een belangrijk onderdeel van de snelle verifieerbare methode is dat deze toetst op slim gekozen sneden in plaats van op een fijn net van locaties. Het nadeel is dat niet elke locatie automatisch wordt beoordeeld. Echter, van een constructeur die deze methode toepast mag geacht worden dat deze inzicht heeft in welke sneden belangrijk zijn voor de beoordeling.

De (kritische) sneden over de lengterichting zijn weergegeven in Figuur 39 Kritische punten lengterichting, en worden in de tekst nader toegelicht.



Figuur 39 Kritische punten lengterichting Hamersbrug

De afstand x is met de berekeningen uitgedrukt vanaf de dag van de oplegging, zoals omschreven in de RBK en EC. Volgens de RBK en EC is de verificatie van de dwarskrachtweerstand volgens afschuiftrekbreuk niet vereist voor de verificatievlakken die dichtbij de oplegging liggen dan het punt dat het snijpunt vormt van de elastische zwaartepuntsas en onder een hoek van 45 graden getrokken lijn vanaf de dag van de oplegging of de dag van een dwarsbalk.

Met de tekeningen moet rekening gehouden worden met de maatvoering van de kritische punten, omdat deze niet uniform worden weergegeven. Verschil zit vaak tussen maatvoering vanaf de dag van de oplegging of vanaf het hart van de oplegging. Bij intreden van de voorspankabels aan de bovenzijde van de ligger moeten sneden aan beide zijden van de voorspankabel worden genomen, omdat de nuttige hoogte door intrede van de voorspanning wijzigt. Dit is toegepast en wordt nader toegelicht in de paragraaf Voorspanning.

A-A) Einde verjonging ligger / minimale lijfbreedte

Hier is de minimale lijfbreedte bereikt en daarmee ook de minimale capaciteit van het betonaandeel van de constructie. Omdat punt A-A met minimale lijfbreedte zich het dichtst bij de oplegging bevindt, zou deze ook de maximale dwarskracht (van de kritische punten) moeten opnemen. Doordat het lijf smaller wordt, komt de neutrale lijn hoger te liggen en bevindt het zich op de minimale doorsnede op zijn hoogste punt.

Het verschil tussen de 45 graden afstand en het einde van de verjonging bevindt zich qua afstand dicht bij elkaar. Daarom is ervoor gekozen om de minimale doorsnede te kiezen in plaats van 45 graden vanaf de dag van de oplegging. Er is echter de mogelijkheid om dit punt extra mee te nemen. Dit kan bij een grote afstand van de minimale doorsnede interessant zijn. Er moet dan rekening gehouden worden met de capaciteit van de desbetreffende doorsnede.

B-B) Locaties verankering bovenkabel

Door ruimtegebrek in de liggers zijn bij veel T-ligger bruggen enkele voorspankabels tijdens de bouw aan de bovenkant van het dek verankerd. Deze locaties van de voorspankabels hebben invloed op de UC, doordat de nuttige hoogte door de inbreng van de kabels een sprong naar beneden maakt. Dat heeft een positief effect op de optredende schuifspanningen in de constructie. Om dit inzichtelijk te maken, worden sneden net voor en net na de verankering van de bovenkabel weergegeven. Is er geen of weinig verankering van de kabels aan de bovenzijde van de liggers aanwezig, dan wordt verwezen naar de minimale toe te passen punten op de bijgevoegde criteria.

C-C) Ongescheurd / gescheurd gebied

De overgang van afschuiftrekbreuk naar afschuifbuigbreuk kan voor een sprong in de UC zorgen. In gescheurde gebieden van voorgespannen elementen moet bij gebruik worden uitgegaan van de afschuifbuigbreuk. In ongescheurde gebieden van voorgespannen elementen moet de optredende dwarskracht en de dwarskrachtweerstand bepaald zijn volgens afschuiftrekbreuk en afschuifbuigbreuk, waarbij de hoogste capaciteit van beide maatgevend is. Oftewel, de laagste UC. Ongescheurde gebieden zijn gebieden waar de buigtrekspanning in de uiterste vezel bij fundamentele belastingscombinaties kleiner is dan de betontreksterkte (f_{ctd}). De overige gebieden van een voorgespannen element moeten als gescheurd worden beschouwd.

In de resultaten van de UC wordt aangegeven of de snede gescheurd of ongescheurd is. Door in de quickscan tussen deze waarden te 'spelen' met de waarde van C kan snel het kantelpunt tussen gescheurd en ongescheurd worden gevonden.

Door het toepassen van het bijbehorend moment wordt niet de maximale (omhullende) waarde van het moment gevonden. Hierdoor is een groter gebied ongescheurd en wordt het te toetsen ATB-gebied groter. Dit is conservatiever dan het maximale moment met de daarbij behorende belastingsposities voor de snede te vinden.

Criteria

Binnen een afstand van $2,5D$ is het belangrijk om minimaal 3 punten toe te passen. Hierdoor is in het kritische gebied zichtbaar wat het verloop van de dwarskracht is. Minimaal aantal punten aanwezig om een parabool te kunnen maken is 3 en dit is tevens het minimaal aantal kritische punten wat gewenst is in te vullen.

In het geval dat er geen voorspankabels aan de bovenzijde verankerd zijn, wordt geadviseerd om te kiezen voor punten op $1,5D$, $2,5D$. Als blijkt dat allen in ongescheurd gebied bevinden kan nog extra gekozen worden voor een punt verder te plaatsen en lineair te interpoleren. Waarna een extra check uitgevoerd kan worden.

Punten nog niet meegenomen

Het deel van de ligger tussen de minimale doorsnede en de liggerkop wordt niet meegenomen omdat de capaciteit hier toeneemt en daarom niet verwacht wordt een kritische doorsnede gevonden wordt.

De positie van de eventueel aanwezige dwarsdragers worden niet meegenomen, omdat deze op aspect van dwarskracht niet als kritisch worden gezien.

Voor afschuifbuigbreuk is het interessant om beugel verdeling mee te nemen, omdat hiermee veel winst in capaciteit te verkrijgen is. Hiervoor zou eventueel per object nog uitgezocht hoe de beugelindeling verschilt over de lengte van de ligger. Op dit moment wordt deze nog niet meegenomen. Mogelijkheid is om de minimale beugel welke aanwezig is mee te nemen vanaf de tekeningen in de berekeningen. Wetende dat hier nog mogelijk "winst" te halen is.

6.3 Belasting posities

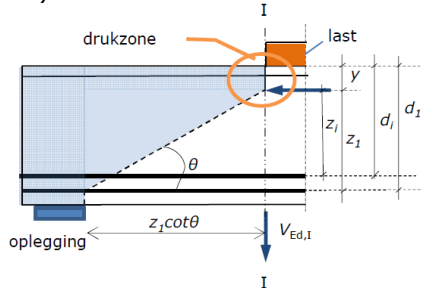
Door de vooraf bepaalde keuze van de kritische punten is het mogelijk om de meest ongunstige belasting posities te bepalen. Volgens NEN-EN 1991-2 moeten de tandemstelsels (TS) voor elk te beschouwen punt zo worden geplaatst dat deze combinatie de hoogst mogelijke spanning geeft. Om de meest ongunstige positie te vinden zijn, met behulp van SCIA, diverse TS posities en hun invloed op de kritische doorsneden met elkaar vergeleken. In bijlage 4 zijn voor drie objecten de optredende dwarskrachten in de kritische doorsneden ten gevolge van de optredende belastingconfiguraties inzichtelijk gemaakt met behulp van een matrix en diverse figuren.

Bij rekenen met "normbelasting" wordt de rijvloer zoveel mogelijk gevuld met stroken van 3 meter breedte en kan het verkeer tot aan de voertuigkeringen worden geplaatst. Bij het rekenen met "calamiteit" wordt gerekend als normbelasting (met lagere belastingfactoren) en kan het verkeer tot 0.30m van de voertuigkeringen komen. Bij rekenen met "huidige wegindeling" moet het aantal rijstroken (exclusief vluchtstroken) nog apart worden opgegeven. De breedte per rijstrook volgt dan uit de afstand tussen de voertuigkeringen minus de schrikstrook en de redresseerstrook, gedeeld door het aantal rijstroken.

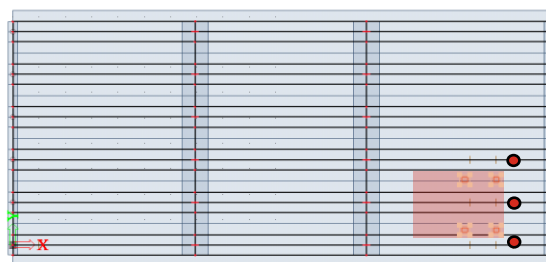
De uitgewerkte situaties beperken zich nog tot enkel werkelijk gebruik voor wegindeling behorende bij noodgeval (AII-VII) omdat in deel 1 van het onderzoek bleek dat dit in de meeste gevallen de ongunstigste situatie geeft. De mogelijke situaties zijn omschreven in hoofdstuk 4.5 en worden bij het maken van de quickscan toegepast.

Tandemstelsel 1

Zowel de RBK als de SCIA resultaten geven aan dat TS1 (600kN) zo dicht mogelijk bij het te beschouwen punt geplaatst moet worden. Volgens RBK 1.2 moet de belasting boven de te toetsen snede (I-I) geplaatst worden. De SCIA berekening Figuur 40 Belastingspositie voor kritisch punt, minimale doorsnede geeft de belasting posities (rode vlak) voor meerdere kritische doorsneden weer (rode stippen).



Figuur 41 Lastpositie volgens RBK 1.2



Figuur 40 Belastingspositie voor kritisch punt, minimale doorsnede object Ouderijn

De meerdere rode stippen in Figuur 40 Belastingspositie voor kritisch punt, minimale doorsnede, geven de kritische punten weer van de liggers. In dit geval de minimale doorsnede. Het rode vlak geeft de posities van TS1 weer waarvoor de maximale dwarskracht in de kritische doorsnede is gevonden, met een overlap van 10% vanaf de maximaal gevonden waarde. Hieruit is de invloed van de belasting positie overlappend voor verschillende sneden.

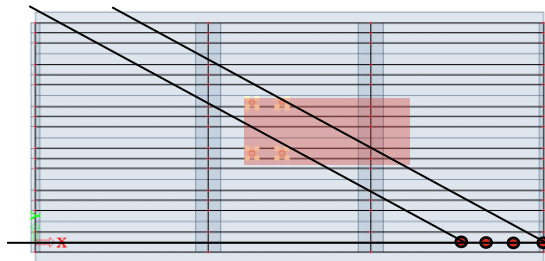
De maximaal gevonden waarden zijn gearceerd weergegeven in bijlage 4.

Tandemstelsel 2

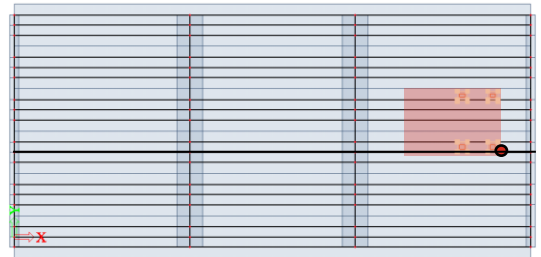
De invloed van de belasting positie van TS2 is afhankelijk van de rijbaan indeling en de te beschouwen ligger. Aspecten als h.o.h. afstand van de liggers onderling, wegingeling en welke ligger wordt beschouwd zijn hierin essentieel.

Volgens de EC moeten de tandemstelsels zo worden geplaatst dat de grootste spanningen worden gevonden in gekozen punt. Uit de uitgevoerde studie in bijlage 4 blijkt dat vanuit de gekozen (kritische) snede een lijn met hoek van 30 graden getekend kan worden richting de rijstrook van het betreffende tandemstelsel tot hart rijstrook.

Dit komt overeen met de vaak toegepaste theorie, op basis van ervaring welke opgemerkt was tijdens overleggen, dat bij voorgespannen liggerconstructies een spreiding van 30 graden een reële indicatie voor maximale dwarskracht geeft.



Figuur 42 Brug Ouderijn TS2 op RS2 maximale waarden dwarskracht ligger 1 voor kritische punten met hoek van 30 graden



Figuur 43 Brug Ouderijn TS2 op RS2 maximale waarden dwarskracht, ligger 3 punt minimale doorsnede met heo van 30 graden

Als er een TS3 aanwezig is geldt hier hetzelfde voor als bij TS2. Teken vanaf de kritische doorsnede een lijn onder een hoek van 30 graden naar het hart van de rijstrook. Hierbij moet opgemerkt worden dat de invloed van TS3 op de liggers welke niet direct naast tandemstelsel staan zeer gering is. Tussen de 1 en 10% van het totaal van de belasting van de tandemstelsels. Dit zou van de totale belasting nog kleiner worden.

6.3.1

Stappenplan bepalen belasting positie

De belasting positie wordt in de quickscan Boon bepaald volgens een vast stappenplan namelijk:

- 1) Bepalen kritische punten welke slim gekozen zijn
- 2) Vaststellen rijbaanindeling, (drop down keuze)
- 3) Automatisch plaatsen van TS op rijbaan onder een hoek van 30 graden vanaf kritisch punt tot midden rijbaan. Dit is de belasting positie voor de meest ongunstige situatie.

6.4 Rekenwaarde van het belasting effect (E_d)

Wanneer de belasting positie voor de gekozen snede bepaald is, worden de belastingen bepaald. Onder de rekwaarden van het belastingeffect vallen dwarskracht en bijbehorend moment ten gevolge van; - eigengewicht, - rustende belasting, - voorspanning, -tandemstelsel, -UDL. Deze worden elk toegelicht en gevalideerd.

6.4.1 Eigen gewicht

De maximale waarden van het eigengewicht waren reeds in deel 1 bepaald en vergeleken. De maximale waarde voor het eigengewicht komt overeen met de resultaten uit de SCIA berekening en QuickScan van Movares. Dit is tevens in de quickscan weergegeven.

Verloop van dwarskrachten in punt x ten gevolge van het eigen gewicht:

$$V_x = \frac{q}{2} * (L - 2x) + V_{balk}$$

Waar V_{balk} de dwarskracht t.g.v. het eigen gewicht van 1 dwarsbalk is. Beide balken dragen een deel af, echter door de gelijkmatige afstand is de bijdrage hier exact 1 dwarsdrager.

Verloop momentenlijn ten gevolge van het eigen gewicht.

Op het moment is de momentenlijn zodanig opgebouwd dat het verloop van het moment wetende dat de resultaten conservatiever zijn na mate de afstand tot de maximale waarde toeneemt.

$$M_x = Bv * x - \frac{q}{2} * x^2$$

Moment is nul in punt B_v daar afstand x nul is. Verder verloop van het moment

Snede	B1 quickscan	B1 Movares	Vershil %
V_{B1}	173 kN	173 kN	0 %
M_{B1}	323 kNm	317 kNm	+2%

Het verschil zou kunnen door de invloed van het hamerstuk op het eigen gewicht welke in Movares wel word meegenomen met het eigen gewicht en in de quickscan niet.

Het aangehouden volumiek gewicht voor materialen volgens NEN-EN 1991-1:

$$\gamma_{beton}=25\text{kN/m}^3 \text{ en } \gamma_{asfalt}=23\text{kN/m}^3$$

Voor de asfaltbelasting is conform RBK standaard uitgegaan van een dikte van 140 mm. Dit is handmatig aan te passen wanneer een andere dikte gewenst is door invoer van de werkelijke/gewenste dikte. Het maximum wordt dan genomen.

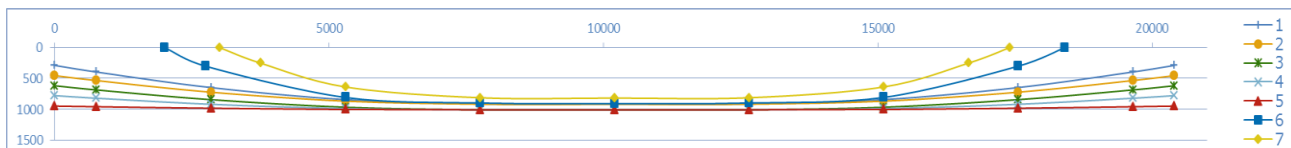
In het model zijn dwarsdragers op te geven en ook randelementen en wegmeubilair. Deze onderdelen zijn beschouwd als permanente belasting.

6.4.2 Voorspanning

De voorspankabels hebben een parabolisch verloop en zijn in de quickscan benaderd met een reeks lineaire lijnen, waarbij meerdere "dwang" punten zijn aangegeven. Deze punten zijn aangebracht conform de uitgangspunten van het kabelverloop van Movares en gevalideerd aan de hand van de geleverde tekeningen.

Naast de ligging van de punten kan ook de hoek worden opgegeven (desnoods in elk punt, maar veelal gebeurt dit alleen in het kabel midden en bij de spankoppen). De ingevoerde waarden geven een verloop weer als weergegeven in Figuur 44 Kabelverloop Brug Ouderijn.

Deze eigenschap is van belang voor dit type bruggen, omdat hier vaak bewust een bepaalde hoek bij de ankerkoppen is gekozen die afwijkt van die behorende bij een parabolisch verloop. Dit is essentieel voor een correcte bepaling van het dwarskrachtenverloop (= lang voorspanning maal hoek).



Figuur 44 Kabelverloop Brug Ouderijn

Voor de wrijvingsparameters wordt normaliter uitgegaan van een wrijvingscoëfficiënt van 0.26 en een wobble van 0.01 rad/m. De tijdsafhankelijke verliezen zijn gesteld op 10% relaxatie (gezien de ouderdom van deze bruggen) en 10% krimp plus kruip. Deze getallen sluiten aan op de RBK. Uitgangspunt van de berekening betreffende de voorspanning is dat er vanuit wordt gegaan dat de kabels direct vanaf het begin hun volledige spancapaciteit bezitten en niet nog een "deels" inleiding van krachten nodig hebben.

Elke kabel wordt automatisch gecontroleerd of deze in evenwicht is. Dit door op elk gegeven punt de hoek en dwarskracht uit te rekenen en de som hiervan te controleren. Kabel in evenwicht geeft som is nul.

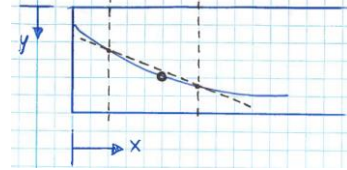
De materiaaleigenschappen voor voorspanstaal worden ontleend aan e tijdens het ontwerp en/of bouw geldende voorschriften. Deze zijn met drop down menu's te kiezen. Voor de 'vertaling' ervan wordt gebruik gemaakt van de tabellen 2.6 en 2.7 uit RBK 1.1.

Voor de sterkte van voorspanstaal wordt, indien deze niet bekend is, de laagste waarde aangehouden los van het bouwjaar van het kunstwerk. In de praktijk komt dit veelal neer op QP150 voor z.g. 40 tons kabels en QP170 voor 100 tons kabels. In hoofdstuk 6.10 wordt de winst (in UC) tussen een verhoogde kabel sterkte weergegeven.

Aan de hand van voorbeeld Ouderijn in snede B1 (verankering voorspankabel bovenkant ligger) wordt de bepaling van de dwarskracht en moment ten gevolge van de voorspanning en de nuttige hoogte toegelicht. In snede B1 wordt links en recht van de verankering van de voorspankabel gekeken, om de verschillen nader toe te lichten. Tevens zijn deze waarden gevalideerd aan de hand van de resultaten uit de quickscan van Movares.

6.4.2.1. Gegevens Ouderijn

Van de zeven voorspan kabels QP 150, met elk een oppervlak van 531mm² bevinden er in snede links van B1 vijf kabels en recht van snede B1 zes kabels. De quickscan bepaald 10mm links (B1 links) en 10 mm rechts (B1 rechts)de gevraagde waarden. Voor de snede zijn de resultaten weergegeven in Figuur 46. Hierbij moet opgemerkt worden dat om de hoogte van de kabel in gekozen snede te bepalen de blauw gearceerde cellen ingevuld moeten worden met de waarden zo dicht mogelijk (links en rechts) naast gekozen snede. Waarmee de gevraagde resultaten worden berekend.



Figuur 45 Bepalen Y in punt x

Elke kabel wordt automatisch gecontroleerd of deze in evenwicht is. Dit door op elk gegeven punt de hoek en dwarskracht uit te rekenen en de som hiervan te controleren. Kabel in evenwicht geeft som is nul.

Snedes B1													
Links													
	Y		Y	Y									
	Ap	xL	xR	Y in punt x	z	Ap _i *z _i 10 ³	Ap _i *z _i ² 10 ⁶	N _{ed}	M _{vrs}	Hoek intrede	Hoek vrs	V _{vrs}	
	[mm ²]	750	2850	1990				kN	kNm		Arctan	kN	
d1	531	396	650	546	449	238156	106814113	406	25	7	7	49	
d2	531	535	725	647	550	291898	160460658	406	67	5	5	37	
d3	531	687	846	781	683	362890	248002795	406	121	4	4	31	
d4	531	822	921	880	783	415763	325534420	406	161	3	3	19	
d5	531	960	985	975	877	465839	408673649	406	200	1	1	5	
	A _{tot}			d _{max}	0,1d _{max}	ΣAp _i *z _i 10 ³	ΣAp _i *z _i ² 10 ⁶		ΣM _{vrs}			ΣV _{vrs}	
	2655			975	97	1774546	1249485634		574			140	
	mm ²			mm	mm				kNm			kN	
d _{eff} volgens modelcode										Aantal kabels			5 st.
z _{eff} = ΣAp _i *z _i ² / ΣAp _i *z _i		704 mm			M _{vrs} =(X-z _{br})*N _{ed}			Zwaartepunt t.o.v. bovenflens			483 mm		
d _{eff} = z _{eff} + 0,1d _{max}		802 mm						Totaal opp			2655 mm ²		
										fpk			1470 mPa
										Ned			2029 kN
										M.vrs.p.ligg			574 kNm

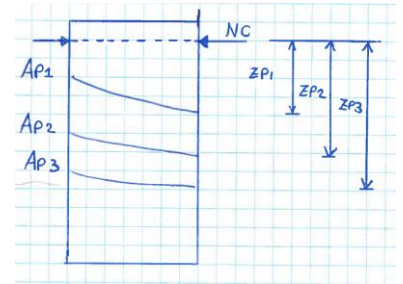
Figuur 46 Resultaten voorspanning snede B1 Links

6.4.2.2. Nuttige hoogte snede

Voor bepaling van de dwarskrachtsterkte moet de nuttige hoogte d worden bepaald, en hiervoor is de ligging van de wapening én voorspanning van belang. Zou men voor de bepaling van d uitgaan van het zwaartepunt van alle staaldoorsneden, dan ontstaat een onlogisch resultaat. Op deze wijze zouden de staven die dicht bij de drukzone liggen een even groot effect hebben als de staven die dicht bij de getrokken zijde liggen, terwijl de laatste een veel groter effect hebben op het beperken van de scheurwijdte en zodoende sterker bijdragen tot de activering van het belangrijkste effect van de scheurwrijving (aggregate interlock). Volgens deze methodiek kan het zelfs voorkomen dat het gunstig is de dichter bij de doorsnede liggende staven in de berekening weg te laten, omdat de bereikte vergroting van d een groter effect op het dwarskrachtdraagvermogen heeft dan de reductie van het wapeningspercentage ρ.

Een meer realistische benadering wordt gegeven in de fib Model Code 2010. In analogie hiermee wordt voor een combinatie van voorspanstaal A_p en betonstaal A_s voor de bepaling van de inwendige hefboomsarm z de volgende uitdrukking gegeven:

$$1) \quad z = \frac{z_s^2 + \sum_{i=1}^n z_{pi}^2 \cdot A_{pi}}{z_s \cdot A_s + \sum_{i=1}^n z_{pi} \cdot A_{pi}}$$



Ter illustratie zie Figuur 47 Bepaling inwendige hefboomsarm waarbij de waarde van de effectieve doorsnedehoogte d kan worden bepaald uit het resultaat van Vgl. (1). Wanneer bijvoorbeeld is uitgegaan van $z_s=0.9d_s$ vindt men de nuttige hoogte d uit $d = z + 0,1d$, waarbij z volgt uit Vgl. (1)

Figuur 47 Bepaling inwendige hefboomsarm

Validatie quickscan met Movares:

Snede	d_{eff} quickscan	d_{eff} Movares	Vershil %
B1 links	802 mm	800mm	0%
B1 rechts	803 mm	800mm	0%

Het verschil is te verklaren doordat Movares in de snede + en - 10 mm benaderd en de quickscan in de snede zelf bepaald.

6.4.2.3.

Normaalkracht

Om de dwarskracht en moment per kabel te bepalen is het nodig om de normaalkracht per kabel te weten. Dit kan met behulp van formule.

$$N_{ed} = 0.8 \cdot 0.65 \cdot f_{pk} \cdot A_p$$

De som van kabels in snede geeft de normaalkracht in doorsnede.

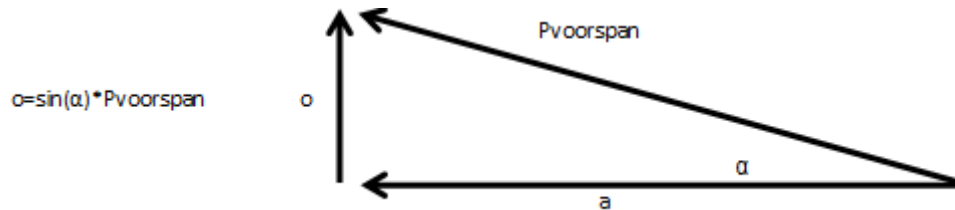
Note: De wrijving van de kabel is niet meegenomen hierdoor is de afwijking in het midden doorsnede groter.

Validatie quickscan met resultaten Movares:

Snede	N_{ed} quickscan	N_{ed} Movares	Vershil %
B1 links	2029 kN	2006 kN	+1%
B1 rechts	2435 kN	2376 kN	+2%

6.4.2.4. Dwarskracht t.g.v. voorspanning

De optredende dwarskracht en moment ten gevolge van de voorspanning wordt gevonden met behulp van lineaire interpolatie tussen de gegeven punten. Voor dwarskracht kan aan de hand van de hoek waarin de kabels zich bevinden kan m.b.v. Pythagoras de opwaartse kracht worden gevonden.



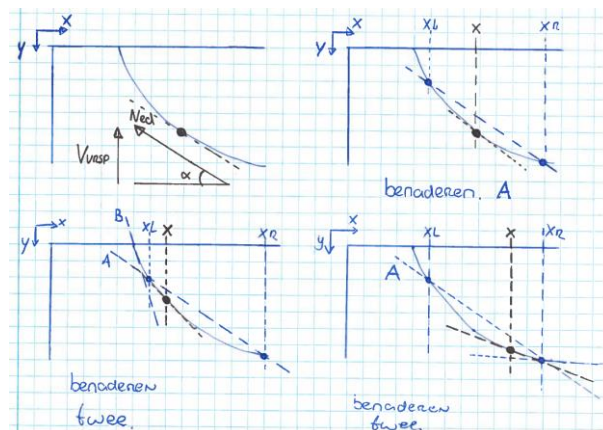
De hoek van de kabels is van grote invloed op de dwarskracht ten gevolge van het kabelverloop. Zie formule

$$V_{vrsp} = \text{hoek}_{vrsp} * N_{ed}$$

Het voorspanverloop is met lineaire lijnen benaderd. Waardoor de hoek van een kabel in benaderde snede teveel zou afwijken van de hoek tussen omliggende punten als de snede niet precies tussen de omliggende punten bevind. Om deze hoek zo goed mogelijk te benaderen is gekozen om de intredende hoek aan de voorkant of achterwaarts van de snede, zie Figuur 48.

Door het intreden van een extra kabel aan de bovenzijde van de ligger verschilt de dwarskracht t.g.v. de voorspanning aan beide zijden van de snede. Bij sneden

dicht bij de voorspankabel heeft tevens de hoek een grote invloed op de dwarskracht.



Figuur 48 Benaderen hoek kabel

Validatie quickscan met resultaten Movares:

Snede	V_{vrsp} quickscan	V_{vrsp} Movares	Verschil %
B1 links	140 kN	134 kN	+4%
B1 rechts	277 kN	295 kN	-6%

Het verschil komt deels doordat Movares de voorspankabel benaderd met een 2^o graads polynoom welke door de eerder vastgestelde "dwang" punten heen gaat. In de quickscan zou dit verbeterd kunnen worden door meer punten op vooraf mee te geven. Dat een betere benadering van de voorspankabel is dan de gekozen methode in de quickscan. De grootste afwijking tot nu toe is van -8% tot +5%.

Wetende dat dit een vereenvoudigde methode is en voor quickscan benadering volstaat.

6.4.2.5. Moment t.g.v. voorspanning

De resultaten t.g.v. het moment zijn bepaald door de afstand van de effectieve hoogte van de kabel t.o.v. het zwaartepunt van de ligger te vermenigvuldigen met de aanspankracht van de kabel. De som van het moment tgv de kabels geeft het totale voorspanmoment in de snede.

$$M_{vrsp} = e_p \times N_{ed} = (d_p - z_{bf}) \times N_{ed}$$

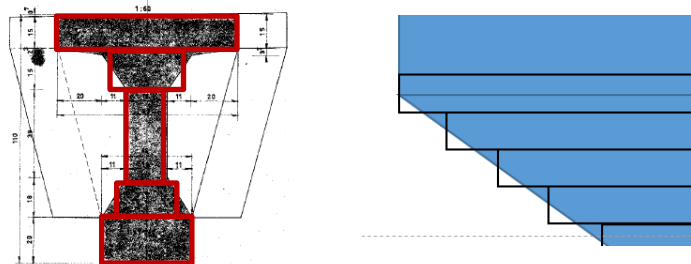
Zwaartepunt vanaf boven flens

Door de ligger op te delen in lagen van 10mm is vrij nauwkeurig het verloop van de ligger weergegeven en hiermee de ligger gegevens bepaald.

Het zwaartepunt van de ligger is bepaald door de som van het oppervlak van lagen maar afstand tot boven flens te delen door het oppervlak van de ligger.

Snede	Z _b quickscan	Z _b Movares	Vershil %
kale ligger	488mm	473mm	+3%
ligger + tussenstort	378mm	362mm	+4%

Het zwaarte punt t.o.v. boven flens van de ligger is in de methode van Movares grover bepaald, zie Figuur 50 Blokkenmodel Movares vs laagjes model Boon. Omdat de ligger daar in grovere blokken is verdeeld. Hierdoor komt het zwaartepunt in de methode van Movares hoger te liggen, wat een (te) positief effect kan hebben op het moment t.g.v. de voorspanning.

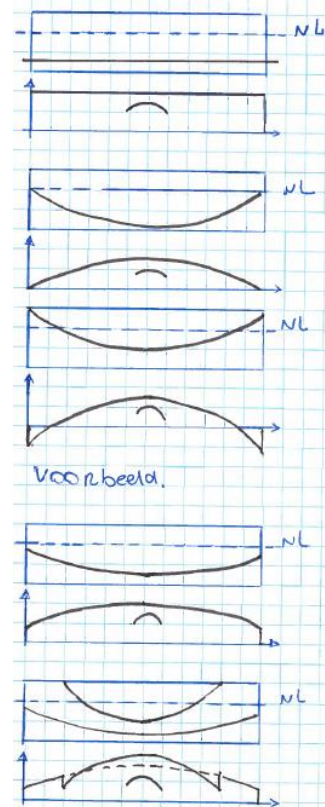


Figuur 50 Blokkenmodel Movares vs laagjes model Boon

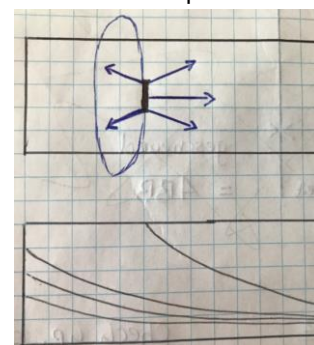
Met het bepalen van het moment t.g.v. voorspanning is de afstand tussen voorspan kabel en de zwaartepunt van *alleen* de ligger bepaald. Dit omdat de liggers zijn voorgespannen voordat deze zijn verbonden met elkaar. Word het zwaartepunt van de ligger plus tussenstort meegenomen maakt z_b hier een sprong van ruim 100mm. Wat een hoger moment van 40%(links) tot 60% (rechts) zou betekenen. De invloed van het zwaartepunt is dus daadwerkelijk aanwezig.

Door intreden van een extra kabel aan de bovenzijde van de ligger maakt het moment t.g.v. voorspanning een negatieve sprong. Dit komt doordat de extra kabel zich nog aan de bovenzijde van het zwaartepunt bevindt en dus een negatieve invloed heeft op het moment. Zie tekening.

De methode gaat ervan uit dat de spanning t.g.v. de voorspanning meteen optreedt. Terwijl er eerst centrische druk ontstaat met excentrische trek, zie Figuur 51 Trek/druk bij intreden voorspankabel. Waardoor bij de toets op de verticale snede het moment boven = moment beneden wat conservatievere resultaten geeft omdat er beneden druk is. Het is niet realistisch dat de voorspankracht direct volledige invloed op de krachtswerking heeft. Of Movares hier met haar quickscan rekening heeft gehouden is onbekend.



Figuur 49 voorbeeld voorspanning en moment



Figuur 51 Trek/druk bij intreden voorspankabel

Validatie met de resultaten Movares:

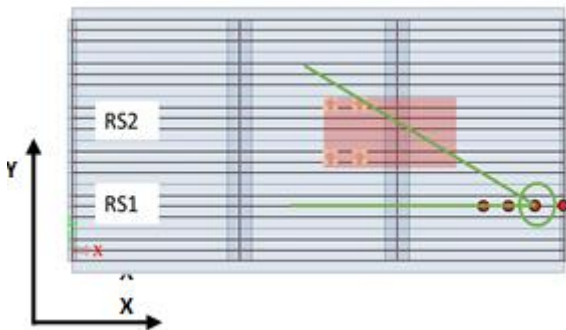
Snede	M_{vrsp} quickscan	M_{vrsp} Movares	Vershil %
B1 links	584 kNm	600 kNm	-3%
B1 rechts	394 kNm	431 kNm	-9%

Dit verschil is grotendeels te wijten aan het verschil in zwaartepunt. Wordt het zwaartepunt uit Movares meegenomen dan is het verschil nog "slechts" -1% (B1 links) en -6% (B1 rechts). Waardoor de resultaten goed zijn. Echter omdat het voorspanmoment een groot deel van het totale moment bepaald, heeft deze afwijking veel invloed op de uiteindelijke resultaten.

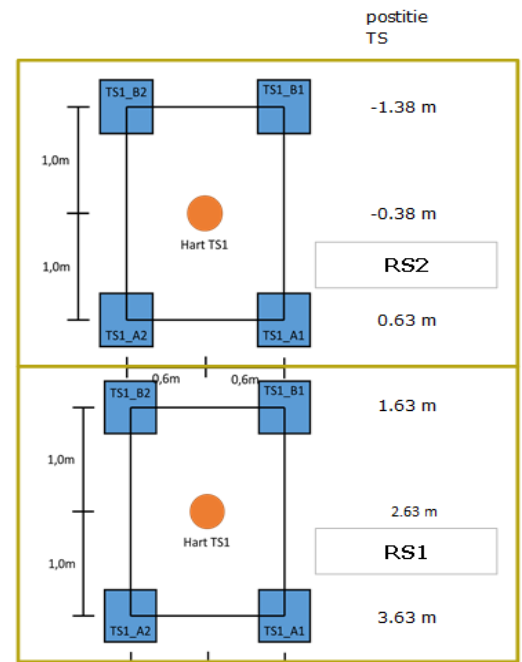
6.4.3

Verkeersbelasting

De gekozen rijstrookindeling (verkeerd/feitelijk gebruik) heeft invloed op de positionering van de tandemstelsels in breedte richting van de brug (y-richting). Deze zijn beide als keuze aangegeven waarna automatisch de positie gegevens worden gegenereerd. Op deze manier is de belastingpositie van de wielasten van het tandemstelsel t.o.v. het hart van de brug bepaald.



Als toegelicht op pagina 74 geldt dat er vanaf de beschouwen (kritische) snede er een hoek van 30 graden "getrokken" kan worden naar het hart van de rijstrook. Welke door de gekozen rijstrookindeling bekend is. Hierdoor is voor elke (gekozen) snede op elke ligger (1,2,3) bekend wat de maatgevende belastingpositie is voor alle rijstroken in x en y-richting.



Figuur 52 Verdeling lastposities Brug Ouderij

In dwarsrichting worden eerst de begrenzingen van het voor het verkeer beschikbare rijvloerdeel bepaald. Dit gedeelte wordt vervolgens opgedeeld in rijstroken, met een breedte van ofwel 3,00 meter ("norm" en "calamiteit"), ofwel de feitelijke breedte.

Als eindresultaat volgt een wegindeling met rekenkundige rijstroken. Vervolgens wordt de rijstrook as in het midden van de rijstrook geplaatst. In het midden van de rijvloer worden de wagen en de hoge UDL gecentreerd ten opzichte van die as geplaatst. Het zwaarste laststelsel wordt als eerste tussen of op een hoofdligger geplaatst, aansluitende de één na zwaarste zo ongunstig mogelijk.

6.4.4 Spreiding belasting

Uitgangspunt van de verspreide methode:

- Wanneer de belasting zich in het eindveld bevindt wordt de belasting direct op de ligger afgedragen zonder verspreiding.
- Als de belasting zich in het middenveld bevindt dan wordt de belasting indirect afgedragen, met spreiding.

6.4.4.1. Tandemstelsel direct

Voor de directe belastingafdracht wordt de belastingpositie vergeleken met de positie van de ligger (in y-richting) en bepaald welk deel van de belasting op welke ligger terugkomt.

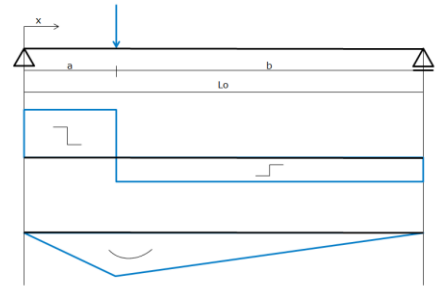
Als $a < \text{dwarsbalk}$

$$0 < x < a \quad V_{dir} = \frac{\text{spreiding} * F_{wiel} * b}{L_o}$$

$$a < x < L_o \quad V_{dir} = \frac{\text{spreiding} * F_{wiel} * b}{L_o} - F_{wiel}$$

$$0 < x < a \quad M_{dir} = \frac{\text{spreiding} * F_{wiel} * b * a}{L_o} * \frac{x}{a}$$

$$a < x < L_o \quad M_{dir} = \frac{\text{spreiding} * F_{wiel} * b * a}{L_o} * \frac{x}{b}$$



Ter illustratie:

Wielprint TS1A(1 en 2) hebben een excentriciteit t.o.v. het hart van de brug van 3.63 meter (zie figuur 39). Deze last (3.63 meter excentrisch vanaf hart brug) bevindt zich tussen ligger 1 (4.2 meter excentrisch vanaf hart brug) en ligger 2 (2.52 meter excentrisch vanaf hart brug). Door de afstand tussen de last en de ligger af trekken van de hoh afstand van de ligger en te delen hierdoor wordt het percentage verkregen. Hieruit volgt een spreiding van:

$$\text{Spreiding}_{L1} = \frac{1.68m - (4.2m - 3.63m)}{1.68m} = 65.77\%$$

Dit is voor alle wielprinten uitgevoerd.

$$V_{TS1A1} = \text{Spreiding}_{L1} * F_{wiel} * \frac{L - x_{last}}{L}$$

Voor moment, als last op rs1 < dwarsbalk dan.

$$M_{dir} = \left(\sum (TS_1) + (q_{6.5} * A_{RS1}) \right) x - \frac{q_{6.5}}{2} * x^2$$

Plus als last op rs2 < dwarsbalk dan.

$$M_{dir} = \left(\sum (TS_2) + (q_{2.5} * A_{RS2}) \right) x - \frac{q_{2.5}}{2} * x^2$$

6.4.4.2. Tandemstelsel indirect

Gaat uit van oneindig stijf in dwarsrichting door aanwezigheid van de dwarsdragers. Voor de indirecte belastingafracht wordt een deel gelijkmatig verspreid over de liggers en een deel excentrisch verdeeld. Zie Figuur 53.

Voor de centrish verdeelde last wordt de afstand van eind dwarsdrager tot tweede midden dwarsdrager minus de afstand van ts gedeeld door de lengte van het object en dit geheel word gedeeld door het aantal liggers.

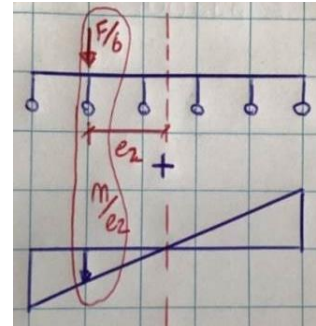
Ter illustratie:

$$Spreiding_{gem.centrisch} = \frac{6.938m + 6.524m - \frac{1.2m}{2}}{20.4m * 6} = 8\%$$

Voor het excentrisch verdeelde deel van de indirecte belastingafracht wordt de excentriciteit van de last vermenigvuldigd met de excentriciteit van de ligger maal de excentriciteit van de ligger, gedeeld door de traagheid van het brugdek.

$$Spreiding_{excentrisch} = \frac{\Delta y * afst_{L1}}{I_{ligger}} * F$$

$$Spreiding = \frac{3.62 * 4.2}{49.392} * \frac{(6.938 + 6.524) - \frac{1.2}{2}}{20.4} = 1.74\%$$



Figuur 53 Spreiding lasten

Dit is voor alle wielprinten uitgevoerd.

$$V_{TS2A1} = Spreiding_{centrisch} * Spreiding_{excentrisch} * F_{wiel}$$

Als last op RS1 > afstand dwarsdrager

$$M_{indir} = \sum (TS_1) + (q_{6.5} * A_{RS1} + stat_{eq}))x$$

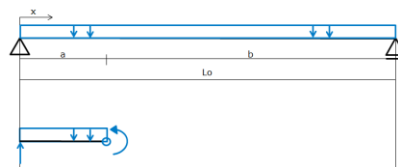
Als last op RS2 > afstand dwarsdrager

$$M_{indir} = \sum (TS_2) + (q_{2.5} * A_{RS2} + stat_{eq}))x$$

6.4.4.3. UDL direct + Indirect

De directe UDL belasting wordt direct afgedragen aan de ligger. Hierbij wordt voor de oplegreactie van het oppervlakte van de UDL op de ligger bepaald.

De indirecte UDL belasting bestaat uit deels in een gemiddeld centrish deel en in een statish equivalent deel. Welke bepaald is aan de hand van de excentriciteit van het midden van de UDL last.



De oppervlaktes van de q-last op de ligger worden opgeteld en vermenigvuldigd met de q-last plus het statish equivalent van de UDL.

$$V_{UDL,x} = \{q_{UDL} * (Opp_{dir} + Opp_{indir}) + stateq_{UDL}\} \frac{L - x_{last}}{L}$$

6.4.4.4. Resultaat verkeersbelasting

Door het percentage wat op de ligger komt te vermenigvuldigen met de last t.o.v. belastingpositie zijn de resultaten voor de verkeersbelasting gevonden. De resultaten van de belastingen zijn weergegeven en gevalideerd in de Excel (zie bijlage 5).

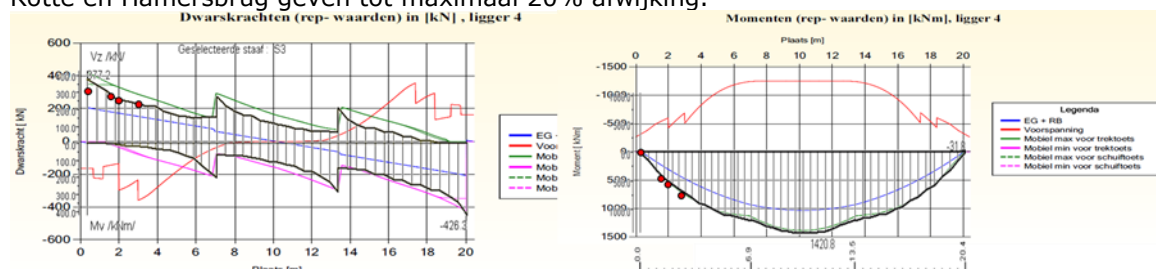
Ligger3									
Kritische snede			0	A	B1	B2	C	B3	
Positie kritische snede			0.00 m	1.35 m	2.00 m	3.00 m	2.50 m	5.00 m	
Belasting positie x-richtin	RS1		2.57 m	3.92 m	4.57 m	5.57 m	5.07 m	7.57 m	
Belasting positie x-richtin	RS2		2.62 m	3.97 m	4.62 m	5.62 m	5.12 m	7.62 m	
Dwarskracht in punt									
Eigengewicht	kN		211.79	185.14	172.32	152.58	162.45	113.12	kN
Voorspanbelasting (Links)				151.99	139.90	231.63	277.88	172.09	kN
Voorspanbelasting (Rechts)				151.99	277.37	361.37	277.88	172.09	kN
TS1_A1	150 kN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS1_A2	150 kN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS1_B1	150 kN		96.38	89.32	85.92	80.69	83.31	70.23	kN
TS1_B2	150 kN		90.11	83.04	79.65	74.42	77.03	63.95	kN
TS2_A1	100 kN		7.14	6.60	6.33	5.93	6.13	5.13	kN
TS2_A2	100 kN		7.14	6.60	6.33	5.93	6.13	5.13	kN
TS2_B1	100 kN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.04	kN
TS2_B2	100 kN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.04	kN
TS3_A1	0 kN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_A2	0 kN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B1	0 kN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B2	0 kN		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
UDL1_RS1_DI	9 kN/m		51	44	41	36	38	26	kN
UDL1_RS1_IN	9 kN/m		18	15	14	12	13	9	kN
UDL2_DIR	2.5 kN/m		29	25	23	20	22	15	kN
UDL2_INDIR	2.5 kN/m		11	10	9	8	8	6	kN
Som reactiekracht/dwarskracht			308.93	279.41	265.19	243.33	254.26	211.66	kN
ΣVrep in punt	links		520.72	312.56	297.61	164.28	138.83	152.69	kN
	rechts		520.72	312.56	160.14	34.54	138.83	152.69	kN
ΣVd in punt, gebruik	links		650.89	428.70	406.99	263.26	243.01	233.88	kN
	rechts		650.89	428.70	269.52	133.52	243.01	233.88	kN

6.4.5. Vergelijken met SCIA en Movares

De representatieve resultaten van de snedekrachten zijn vergeleken met de resultaten van SCIA en Movares. En uitgebreid met resultaten van de Rotte en Hamersbrug, zie bijlage 6.

LIGGER 3 OUDERIJN						
Kritische snede			0	A	B1	B2
Positie kritische snede			0.00 m	1.35 m	2.00 m	3.00 m
Belasting positie x-richting	RS1		2.57 m	3.92 m	4.57 m	5.57 m
Belasting positie x-richting	RS2		2.62 m	3.97 m	4.62 m	5.62 m
Quickscan Dwarskracht	kN		300	272	259	239
SCIA Dwarskracht	kN		349	259	269	221
	%		86%	105%	96%	108%
MOV Dwarskracht	kN		-	347	331	287
	%		-	79%	78%	83%
Quickscan Moment	kNm		0	395	553	755
SCIA Moment	kNm		0	344	486	657
	%		-	115%	114%	115%
MOV Moment	kNm		0	333	498	707
	%		-	119%	111%	107%

Uit de vergelijking met de quickscan van SCIA of Movares, zijn de resultaten op de maximale waarden veelal vergelijkbaar binnen een marge van 10% voor dwarskracht en voor moment 15% zie figuur en tabel. Zowel SCIA als Movares geeft een omhullende lijn weer wat de verschillen deels zou verklaren. De resultaten zijn meegenomen in de beoordeling op ABB en ATB. Deze zijn tevens geautomatiseerd dat de resultaten direct worden meegenomen in de ABB en ATB toets. Resultaten van de Rotte en Hamersbrug geven tot maximaal 20% afwijking.



6.5 Belastingfactoren

Bij de berekening van de dwarskracht zijn de volgende belastingen aangehouden:

- 1) Eigen gewicht van gehele brug;
- 2) Permanente belasting: asfalt, randelementen, schampkanten, etc.
- 3) Belasting uit voorspanning;
- 4) Verkeersbelasting: gelijkmatig verdeeld (UDL) en laststelsel (TS) conform NEN 8700/8701 en RBK1.1.

De gegeven resultaten van de snedekrachten zijn representatieve waarden. Conform de NEN-EN 1990 zijn in de berekeningen de belastingscombinaties 6.10a en 6.10b in UGT aangehouden. In de berekening is uitgegaan van A1,A2,A3.

$$\sum_{j=1}^n \gamma_{q,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{q,1} \psi_{q,1} Q_{k,1} + \sum_{i=1}^n \gamma_{q,i} \psi_{q,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\sum_{j=1}^n \gamma_{q,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{q,1} Q_{k,1} + \sum_{i=1}^n \gamma_{q,i} \psi_{q,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

Doordat de haalbaarheid van gebruik wordt onderzocht is met de berekening van Ouderijn uitgegaan van de partiële factoren op gebruik niveau. In de volgende tabel is een snede uit de RBK opgenomen. De quickscan kiest aan de hand van de ingevulde gegevens automatisch de benodigde belastingsfactoren

	Afkeur			
	Combinatie 6.10 b	ψ	Combinatie 6.10 a	ψ
EG, RB	1,10		1,25	
VSP	1,00		1,00	
MOB	1,25	1,0	1,25	0,80
	Gebruik			
	Combinatie 6.10 b	ψ	Combinatie 6.10 a	ψ
EG, RB	1,15		1,25	
VSP	1,00		1,00	
MOB	1,25	1,0	1,25	0,80

Combinatie 6.10.b is daar waar de mobiele belasting dominant is en 6.10.a daar waar het eigengewicht dominant is. Bij het toetsen volgens de RBK is het wenselijk om ook de verkeersbelasting verfijnder te modelleren. Dit betreft het meenemen van reducties door verlaging van referentieduur en trendfactor, maar ook het opsplitsen in situaties A1 (toekomstvast gebruik), A2 (werkelijk gebruik) en A3 (verkeerd gebruik) conform RBK Voor situatie A2 is onderscheid gemaakt in: V1(normaal gebruik), V2 (noodgeval) De ψ -factor voor kortere referentieperiode voor bruggen voor weg verkeer is conform NEN8701, art 5.1.2 aangehouden.

	Gebruik factoren	Afkeurfactoren
Normgebruik	1.00	X
Huidig gebruik	0.96 (30 jaar, incl. trendfactor)	0.88 (15jaar, incl. trendfactor)
Calamiteiten	0.90	0.82

6.5.1 Alpha-factoren

De quickscan past deze factoren automatisch aan.

Voor het bepalen van de reductiefactoren in voorbeeld Ouderijn is uitgegaan van een invloeds lengte van 20.4 m, restlevensduur van 30 jaar en Nobs>2000.000. voertuigen. Dit geeft de volgende reductiefactoren:

$$\alpha_q = 1.0$$

$$\alpha_{trend} = 1.0$$

$$\varphi_{trend} = 1.0$$

De reductiefactor α_{trend} voor de invloed van de trend ten opzichte van het jaar 2060 voor belastinggrootte van LM1 is aangehouden conform NEN8701, art. 5.1.3.

6.6 Rekenwaarde van de weerstand (R_b)

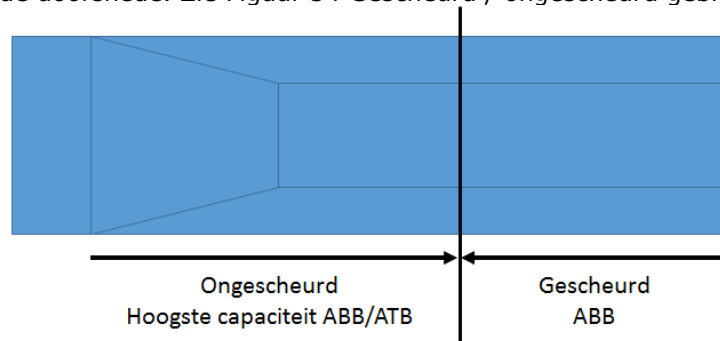
Voor de beoordelingen van de constructieve veiligheid dient conform RBK gebruikt te worden gemaakt van de methode van partiële factoren. Hierbij worden de grenstoestanden geverifieerd met een unity check (uc). De uc is de verhouding tussen de rekenwaarde van het belastingeffect (E_d) en de rekenwaarde van de weerstand (R_d).

Een grenstoestand voldoet als:

$$UC = \frac{E_d}{R_d} \leq 1,00.$$

Bij een beoordeling worden alleen de uiterste grenstoestanden, zonder vermoeding beoordeeld. De bruikbaarheidsgrenstoestanden en de duurzaamheid worden in principe niet beoordeeld. In plaats hiervan dient bij de beoordeling van de uiterste grenstoestanden rekening te worden gehouden met de te verwachten verminderde conditie van het kunstwerk gedurende de restlevensduur.

Er wordt een expliciete scheiding gemaakt tussen het ATB- gebied en het ABB- gebied. De grens tussen ATB- en ABB gebied wordt bepaald door het punt waar de trekspanning in de uiterste vezel de treksterkte overschrijdt. Daarbij wordt conform de norm de treksterkte niet gereduceerd met een factor k_t , en de trekspanning bepaald voor het bijbehorende moment voor de belasting positie voor maximale dwarskracht in de doorsnede. Zie Figuur 54 Gescheurd / ongescheurd gebied.



Figuur 54 Gescheurd / ongescheurd gebied

In aansluiting op RBK1.2 wordt de bijdrage van de beugels verwaarloosd. Uitgaande dat de beugels slecht gedetailleerd zijn worden deze niet meegenomen in de berekeningen. Realiserende dat hier mogelijk nog "winst" te behalen is bij objecten die constructief niet voldoen.

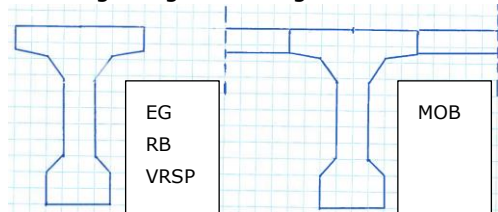
De belasting voor T-liggers bestaan meestal voor een aanzienlijk deel uit een gelijkmatig verdeelde belasting (eigen gewicht en variabele belasting). De grootste dwarskracht treedt meestal op in een doorsnede waar het buigende moment niet maximaal is, het geen ten gunste werkt van het afschuifdraagvermogen doordat de buigscheuren minder wijd zijn en zodoende de bijdrage van aggregate interlock groter is. Wat voor bestaande constructies een voordeel is.

6.7 Afschuiftrekbreuk

Indien de maximale buigtrekspanning in de onderste snede kleiner is dan de toelaatbare spanning (ongescheurd), mag de toets op afschuifbuigbreuk worden vervangen door een toets op afschuiftrekbreuk.

$$\sigma_1 < f_{ctd}$$

Door de fasering die bij de bouw van het kunstwerk is gehanteerd worden niet alle krachten op dezelfde manier afgedragen. De T-liggers zijn eerst voorgespannen met de kabels die in de koppen verankerd zijn voordat ze geplaatst werden. Na het plaatsen zijn de tussenstorten gestort en zijn de laatste twee kabels (in situatie Ouderijn) per ligger gespannen. Het eigengewicht van de T-liggers en de tussenstorten rust hierdoor volledig op de T-liggers. Belastingen die hierna zijn aangebracht zullen echter door de combinatie van T-liggers en tussenstorten worden afgedragen. Zie Figuur 55. Deze constatering is belangrijk indien de dwarskrachttoets middels afschuiftrekbreuk wordt getoetst.



Figuur 55 Verdeling van belasting

De quickscan berekent de spanningen apart voor eigengewicht en voorspanning enerzijds, en mobiele belasting anderzijds. Voor eigengewicht (EG) en voorspanning (VRSP) wordt de liggerdoorsnede zonder tussenstorten gebruikt, voor mobiele belasting (MOB) de doorsnede met tussenstorten. Dit houdt rekening met de gefaseerde bouw en is daardoor nauwkeuriger dan een berekening met alle belastingen werkend op de samengestelde doorsnede, maar heeft als nadeel dat herverdeling van spanningen door kruip niet wordt beschouwd.

De schuifspanning van de toetsen enkele op de T-ligger en op de samengestelde doorsnede worden uiteindelijk gecombineerd door de op te tellen en daarbij één gezamenlijke hoofdtrekspanning σ_1 te bepalen.

6.7.1 *Toelichting methode*

De ligger is opgebouwd in lagen van 10mm (h_n), waar de breedte van het laagje wordt aangegeven b_n . Hieruit worden de benodigde waarden bepaald. Ter voorbeeld en validatie is Brug Ouderijn toegelicht.

6.7.1.1. Oppervlak

Het oppervlak wordt bepaald door de som van de laagjes te vermenigvuldigen met de dikte van deze laagjes.

$$A_{ligger} = \sum b_n * h_n$$

Dit is bepaald voor alleen de ligger maar ook voor de samengestelde doorsnede. Validatie met handberekening:

Snede	Opp. quickscan	Opp. exact	Vershil %
Ligger	0.3859 m ²	0.384 m ²	+0%
Ligger + tussenstort	0.5059 m ²	0.504 m ²	+0%

Handberekening geeft een exact oppervlak van:

$$A_{ligger} = \left(40 * 20 + \frac{18}{2} * (40 + 18) + 39 * 18 + \frac{15}{2} * (40 + 18) + \frac{3}{2} * (40 + 18) + 15 * 80 \right) * 10^{-4}$$

$$A_{ligger} = 0.384m^2$$

$$A_{ligger+tuss} = 0.384 + (0.8 * 0.15) = 0.504 m^2$$

Door aanwezigheid van de tussenstort neemt het totale oppervlak met 24% toe. De quickscan gaat uit van vlakjes van 10mm, welke als deze nog dunner worden het een fijner resultaat geeft. Echter daarentegen geeft Movares een grovere benadering van de ligger (respectievelijk 0.369m² en 0.5137m²). Waardoor de resultaten van Movares meer afwijken van de werkelijkheid dan de quickscan doet.

6.7.1.2. Zwaartepunt ligger

Het zwaartepunt van de betonnen ligger wordt bepaald door van elk laagje het oppervlak te vermenigvuldigen met de afstand tot bovenkant ligger en deze som te delen door het oppervlak van de ligger.

$$z_b = \frac{\sum(b_n * h_n * z_n)}{A_{ligger}}$$

De validatie met de analytische berekening geeft:

z_b	Analytisch	quickscan	Vershil %	Movares	Vershil %
Ligger	477 mm	478 mm	+0%	473 mm	-1%
Ligger + tussenstort	374 mm	383 mm	+2%	362 mm	-3%

De reden dat de afwijking bij toevoeging van de tussenstort bij de quickscan is dat de stap tussen brede laagje en smallere laagje groter wordt.

6.7.1.3. Traagheidsmoment ligger

Voor het traagheidsmoment van de ligger wordt eerst per laagje individueel bepaald wat het traagheidsmoment is en dan gesommeerd.

$$I_{ligger} = \sum \frac{b_n}{12} * h_n^3 + b_n * h_n * (z_n - z_b)$$

Validatie met analytische berekening:

I	Analytisch	quickscan	Vershil %	Movares	Vershil %
Ligger	0.053 m ⁴	0.053 m ⁴	+0%	0.052 m ⁴	-2%
Ligger + tussenstort	0.070 m ⁴	0.070 m ⁴	+0%	0.068 m ⁴	-3%

Daar Movares het traagheidsmoment minimaal onderschat doet de quickscan dit niet.

6.7.1.4. Statisch moment ligger

Voor het statisch moment wordt in alle laagjes gezocht het statisch moment. Welke worden meegenomen in volgende berekeningen.

$$S_n = S_{n-1} * b_n * h_n * (z_n - z_b)$$

Ter validatie is de maximale waarde van het statisch moment vergeleken met die van Movares en van de handberekening in bijlage XX

Statisch moment	Analytisch	quickscan	Vershil %	Movares	Vershil %
Ligger	0.065 m ³	0.067 m ³	+3%	0.063 m ³	-3%
Ligger + tussenstort	0.084 m ³	0.084 m ³	+0%	0.083 m ³	-1%

De handberekening geeft een maximale waarde voor het statisch moment in het zwaartepunt van 0.065 m³ wat tussen de resultaten van de quickscan en Movares is.

6.7.1.5. Spanningen t.g.v. eigengewicht en voorspanning

De quickscan berekent de spanningen apart voor eigengewicht en voorspanning enerzijds, en mobiele belasting anderzijds. Voor EG en VSP wordt de liggerdoorsnede zonder tussenstorten gebruikt. Zoals weergegeven in Figuur 56 Spanningen t.g.v. EG en VSP.

$$\sigma_{bdM,n} = \frac{(M_{EG} + M_{VSP}) * (z_n - z_b)}{I_{ligger}}$$

Voor de spanning ten gevolge van het moment wordt het moment t.g.v. EG en voorspanning vermenigvuldigd met de afstand van het laagje tot hart ligger gedeeld door het traagheidsmoment van de ligger.

$$\sigma_{bdN,n} = \frac{N_{vrsp}}{A_{ligger}}$$

Voor de spanning ten gevolge van de normaalkracht wordt de normaalkracht t.g.v. de voorspanning gedeeld door het oppervlak van de ligger.

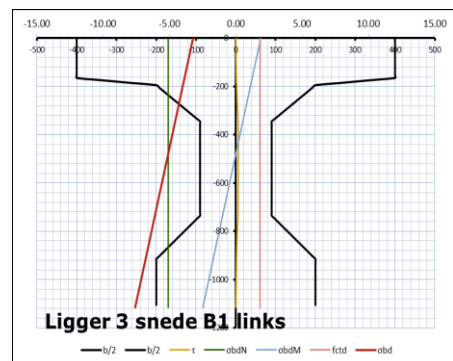
$$\sigma_{bd,n} = \sigma_{bdM,n} + \sigma_{bdN,n}$$

De som van de spanning t.g.v. het moment en normaalkracht wordt meegenomen in het totaal.

$$\tau_y = \frac{(V_{EG} + V_{VSP}) * S_n}{b_n * I_{ligger}}$$

S_n=Statisch moment

De schuifspanning t.g.v. eigengewicht en voorspanning word bepaald door de optredende dwarskracht te vermenigvuldigen met het statisch moment in het laagje en dit te delen door de breedte van het laagje en het traagheidsmoment van de ligger.

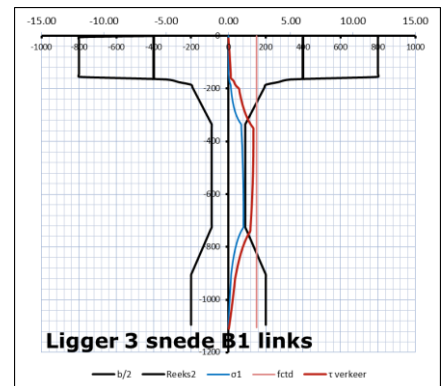


Figuur 56 Spanningen t.g.v. EG en VSP

6.7.1.6. Spanningen t.g.v. verkeersbelasting
 De aanname hier is dat de E-modulus van de tussenstort en de ligger gelijk is. De druksterkte is 1 klasse verschil waardoor het verschil in resultaat ongeveer 3% is. Is het klasse verschil groter dan loont extra controle wel.

De verkeersbelasting wordt getoetst op de samengestelde ligger. De spanningen worden op dezelfde wijze bepaald als in vorige paragraaf echter nu met de verkeersbelasting en met de parameters behorende bij de samengestelde doorsnede.

In Figuur 57 is zichtbaar dat de normaalspanning nul is en de optredende buigspanning volledig afhankelijk is van het optredend moment.



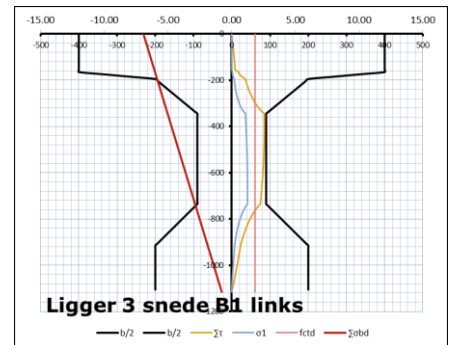
Figuur 57 Spanningen t.g.v. verkeersbelasting

6.7.1.7. Gesommeerde spanningen
 Figuur 58 geeft de sommatie van de normaal- en schuifspanningen weer.

$$\sigma_1 = \sqrt{\sum \tau^2 + \left(\frac{\sum \sigma_{bd}}{2}\right)^2 + \frac{\sum \sigma_{bd}}{2}}$$

Met de berekening voor de buigtrekspanning kan worden bepaald voor de onderste snede van de ligger of deze gescheurd is of niet. Door deze te toetsen aan de

$$\sigma_1 < f_{ctd}$$



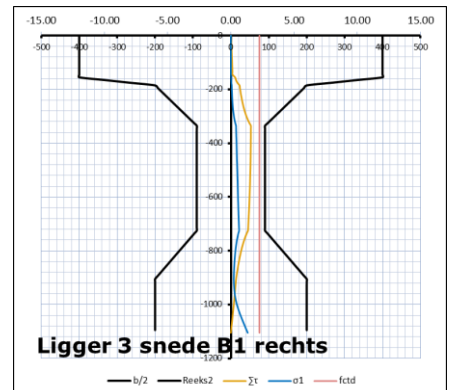
Figuur 58 Gesommeerde Spanningen en toets

Indien de maximale buigtrekspanning in de onderste snede laag is (ongescheurd), wordt de toets op afschuifbuigbreuk worden vervangen door een toets op afschuiftrekbreuk mits deze hogere capaciteit heeft dan afschuifbuigbreuk.

Vanuit de optredende dwarskracht en moment volgend uit de reactiekracht wordt automatisch getoetst of de snede gescheurd is en wat de optredende spanningen zijn in de constructie. Of de ligger gescheurd is of niet wordt met Figuur 59 m.b.v. de blauwe lijn zichtbaar gemaakt. Daar deze aan de onderzijde van de ligger nog net niet de toelaatbare spanning overschrijdt. Dit geeft een ATB toets tot gevolg welke een UC waarde van 0.70 geeft.

Ligger 3	
Snede	B1 rechts
Positie snede [m]	2.10
Belastingspositi	RS1 5.25 m
	RS2 10.44 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	0.70

Figuur 60 Resultaten ATB quickscan



Figuur 59 Resultaten ATB toets

Als de belastingen gelijk worden gezet dan is validatie met Movares mogelijk. Dan is het verschil een UC van 0.44 tov uc van 0.40.

6.7.1.8. Omslagpunt criterium hoofdtrekspanning en schuifspanning
 Dit wordt bepaald door de trekspanning in de uiterste vezel, deze moet kleiner dan de treksterkte zijn. Als eerder vernoemd worden eigen gewicht, rustende belasting en voorspanning door de ligger gedragen. Verkeer door de samengestelde doorsnede. Voor verbouw en calamiteit betekent dit bijvoorbeeld:

$$\frac{N_{vrsp}}{A_{ligger}} + \frac{1.15 * M_{eg+rb} + M_{vrsp}}{W_{ligger}} + \frac{1.3 * 0.86 * M_{mob}}{W_{ligger+rijvloer}} = f_t = \frac{3.20}{1.5} = 2.133 N/mm^2$$

Het behulp van snede C kan dit punt gevonden worden waar de constructie gescheurd is of niet. Door deze positie te wijzigen (in het tabblad algemeen kan dit punt gewijzigd worden) kan het moment van scheuren worden gevonden, waarna links als rechts van de gescheurde snede de toets zou kunnen worden uitgevoerd.

Door toepassen van het bijbehorend moment, wordt niet de maximale (omhullende) waarde van het moment gevonden. Hierdoor is een groter gebied ongescheurd en wordt het te toetsen ATB gebied groter. Dit is conservatiever dan het maximale moment met de daarbij behorende belastingsposities voor de snede te vinden.

Validatie met Movares:

Voor ligger 3 bevindt dit punt voor de quickscan zich rond de 3.10 meter. Kijkend naar de mogelijkheid in verschil in belastingposities en snede krachten is dit verschil met Movares verklaarbaar.

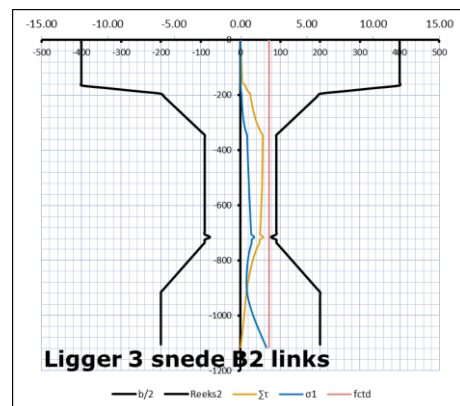
Omslagpunt	Quickscan	Movares	Vershil %
C omslagpunt Ligger1	3.00 m	2.73m	+9%
C omslagpunt Ligger2	2.60	2.45m	+6%
C omslagpunt Ligger3	3.10 m	3m	+3%

6.7.1.9. Hulbuisreductie

Tijdens overleggen is bepaald dat tegenstrijdig met de normering het uitgangspunt is dat de hulbuizen goed geïnjecteerd zijn. Om de winst hiervan inzichtelijk te maken worden beide situaties meegenomen. Bij hulbuisreductie wordt uitgegaan buizen niet volledig gevuld zijn, waardoor hier geen volledige capaciteit beschikbaar is. Indien het lijf geïnjecteerde metalen kanalen bevat moet conform normering de dwarskrachtweerstand $V_{Rd,max}$ zijn berekend op basis van een nominale dikte van het lijf gegeven door:

$$b_{w,nom} = b_w - 0.5 \sum \emptyset$$

Waarin \emptyset de buitendiameter is van het kanaal en $\sum \emptyset$ is bepaald voor het meest ongunstige niveau. Ter voorbeeld zie Figuur 61 waar de invloed van hulbuisreductie van 1 halve buis word aangegeven. Naast dat er door cirkeldruk ook een positief effect op de capaciteit kan hebben is de kans dat de hulbuizen exact op dat punt niet volledig gevuld zijn, zeer klein. In het geval van Brug Ouderijn, ligger 3 snede B2-links zou de hulbuisreductie een toename in UC van 1% betekenen. Geen reductie van de doorsnede voor hulbuizen (50% van de diameter per naast elkaar gelegen kabel, toegepast op de breedte bij afschuiftrekbreuk, en op de doorsnede bij afschuifbuigbreuk.



Figuur 61 Hulbuisreductie

Ligger 3	
Snede	B2 links
Positie snede [m]	2.90
Belastingspositie	RS1 5.73 m
	RS2 10.92 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	0.79

6.8 Afschuifbuigbreuk

Bij een doorsnede belast op buiging ontstaan primair verticaal buigscheuren in de doorsnede, waaruit zich een schuine afschuifscheur kan ontwikkelen. Onder een toenemende belasting groet de schuine scheur verder en reduceert de doorsnede totdat de doorsnede bezwijkt. Het mechanisme wat hier optreedt wordt afschuifbuigbreuk genoemd. Wanneer een snede gescheurd is (automatisch zichtbaar gemaakt) mag er worden getoetst op afschuifbuigbreuk, waar de resultaten zijn weergegeven in sheet ABB. Voorbeeld voor snede B1-links en -rechts worden nader toegelicht.

De nuttige hoogte d van een doorsnede wordt bepaald door op betreffende plaats benodigde trekband, zoals toegelicht in hoofdstuk Voorspanning.

Bij een over de hoogte van het lijf verlopende lijfbreedte b (in het beschouwde schuine scheurvlak) wordt voor de rekenwaarde daarvan de geprojecteerde gemiddelde breedte aangehouden, met een maximum van 1.25 maal de minimale uitwendige breedte in het beschouwde schuine oppervlak.

$$b_w = 1.25 * b_{lijf}$$

Bouwfaserings speelt bij deze toets geen noemenswaardige rol, omdat de toets enkel afhankelijk is van het aanwezige materiaal en de aanwezige normaalspanning in het verticale element van de T-liggers. Beugels zijn niet mee genomen want deze zijn niet altijd goed gedimensioneerd.

Snedes	Punt B1 Links		Punt B1 Rechts	
Positie snede		1990 mm		2010 mm
Afschuifbuigbreuk	$d =$	802 mm	$d =$	803 mm
<u>berekenen</u>	$A_{sl\ tbv\ d} =$	2655 mm ²	$A_{sl\ tbv\ d} =$	3186 mm ²
$k = 1 + v(200/d) \leq 0,02$	$k =$	1.50	$k =$	1.50
$N_{Ed} = 0,8 * 0,65 * f_{pk} * A_{totaal}$	$N_{Ed} =$	2029 kN	$N_{Ed} =$	2435 kN
$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$	$\sigma_{cp} =$	5.21 N/mm ²	$\sigma_{cp} =$	6.25 N/mm ²
$\rho_1 = A_{sl} / b_w d \leq 0,02$	$\rho_1 =$	0.01472	$\rho_1 =$	0.01764
	$100 \rho_1 =$	1.472	$100 \rho_1 =$	1.764
$\tau_{1,62a} = C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3}$	$\tau_{1,62a} =$	0.84 N/mm ²	$\tau_{1,62a} =$	0.90 N/mm ²
$\tau_{1,62b} = 0,035 * k_1^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$	$\tau_{1,62b} =$	0.54 N/mm ²	$\tau_{1,62b} =$	0.54 N/mm ²
$\tau_{1,mtg}$	$\tau_{1,mtg} =$	0.84 N/mm ²	$\tau_{1,mtg} =$	0.90 N/mm ²
$\tau_n = k_1 \sigma_{cp} =$	$\tau_n =$	0.78 N/mm ²	$\tau_n =$	0.94 N/mm ²
$\tau_1 + \tau_n =$	$\tau_1 + \tau_n =$	1.62 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n =$	1.83 N/mm ²
$V_{Rd,c} = \tau_n$	$V_{Rd,c} =$	293 kN	$V_{Rd,c} =$	331 kN

Validatie met de resultaten van Movares:

In eerste instantie is het niet eenvoudig toepasbaar om de resultaten van de quickscan met de resultaten van Movares te vergelijken. Echter door gebruik te maken van de waarden van Movares en deze terug te herleiden met factoren en optredende belastingen is dit alsnog te valideren.

Snede	UC quickscan	UC Movares	Vershil %
Ligger 3 B1 links	1.34	1.36	-1%
Ligger 3 B1 rechts	0.75	0.75	0%

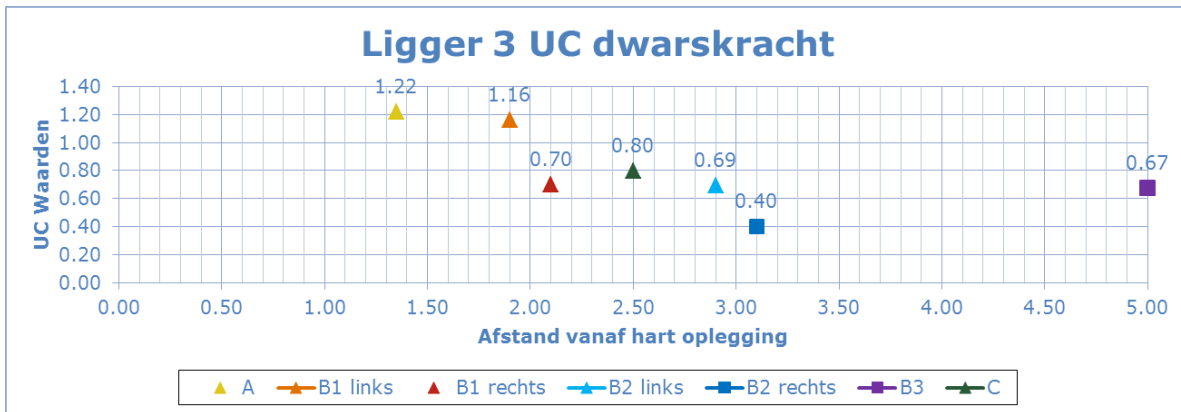
6.9 Resultaten

De resultaten zijn te vinden in het tabblad Resultaten. Hier staan de UC van de gekozen sneden vermeldt. In de tabel onder de grafiek zijn de belastingposities weergegeven. Een driehoek geeft de afschuiftrekbreuk weer en een vierkant geeft de afschuiwbuigbreuk weer. Ten voorbeeld is hier ligger 3 weergegeven. De volledige resultaten zijn te vinden in bijlage 5.

Als in het tabblad reactiekracht is weergegeven, is de methode conservatief ten opzichte van de geavanceerde methode van Movares. Deze methode biedt zeer snel inzicht in wat een constructie kan dragen, vanuit de redenering dat de te toetsen punten vooraf te bepalen zijn.

Ook de andere toegepaste objecten met behulp van de quickscan Boon (Rotte, Ringvaart en de Hamerbrug) toonden resultaten vergelijkbaar met de in de quickscan van Movares gevonden waarden. De afwijking is afhankelijk per snede en van vele factoren, dit is nader toegelicht in bijlage 7.

In de toekomst kan het interessant zijn om te overwegen om de nieuwe Eurocode-norm toe te voegen, om de invloed van de nieuwe norm ten opzichte van de huidige norm snel te kunnen weergeven.



Ligger 3								
Snede		A	B1 links	B1 rechts	B2 links	B2 rechts	B3	C
Positie snede[m]		1.35	1.90	2.10	2.90	3.10	5.00	2.50
Belastingpositie	RS1	4.60 m	5.25 m	5.25 m	6.25 m	6.25 m	8.25 m	5.75 m
	RS2	9.79 m	10.44 m	10.44 m	11.44 m	11.44 m	13.44 m	10.94 m
Gescheurd/ongescheurd		Ongescheurd	Ongescheurd	Ongescheurd	Ongescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Gescheurd
ATB/ABB		ATB	ATB	ATB	ATB	ABB	ABB	ABB
UC		1.22	1.16	0.70	0.69	0.40	0.67	0.80
	Mov	1.08	1.01	0.62	0.71	0.52	0.55	0.89
	%	13%	15%	13%	-2%	-24%	22%	-10%

De verschillen met de resultaten van Movares kunnen voornamelijk worden verklaard door het verschil in toegepaste belastingen en in zwaartepunt van de ligger, welke beide fors doorwerken in de resultaten.

De quickscan Boon heeft ook de mogelijkheid om de belastingen te overrulen, waardoor alleen de belasting getoetst wordt aan de capaciteit volgens de vigerende norm.

Ter validatie zijn de belastingsresultaten (voorspanning en verkeer) gevonden uit de Movares quickscan en ingevoerd in de quickscan Boon dan worden de zelfde UC waarden gevonden binnen een 5% range.

6.10 Invloed parameters

Nader onderzoek op diverse parameters heeft mogelijk nog een positieve invloed op de constructies die (nog) niet voldoen. Met de quickscan kunnen op een eenvoudige wijze de parameters worden gewijzigd. Zo kan de winst inzichtelijk worden gemaakt. Daarnaast zijn de volgende punten interessant:

- Bepaling van de kwaliteit van voorspanstaal;
- Niet toepassen van hulbuisreductie;
- Bepaling van de betonkwaliteit (dit is in sommige gevallen, soms al uitgevoerd);
- Uitzoeken of de beugels nog eventueel effect hebben (niet toegepast)
- Nauwkeurig modelleren van gebieden rondom de rijvloerverankeringen (niet toegepast);
- Eventueel uitvoeren van meer gedetailleerde berekeningen;
- Verplaatsen van barriers om de randliggers te ontzien (niet uitgevoerd);
- Het opleggen van een tonnagebeperking (niet uitgevoerd);

6.10.1 Bepalen van beton kwaliteit

Een hogere betonkwaliteit heeft invloed op de capaciteit van de constructie. Mocht uit proeven blijken dat de betonkwaliteit hoger is dan in het begin geschat is, dan kan hiermee gerekend worden.

Ten voorbeeld Oudenrijn, kan een stap hogere betonkwaliteit (van C50 - > C 55) een winst van ca. 5% op de UC geven.

Note: Dit is expliciet voor object Oudenrijn en moet nader onderzocht worden om verdere winst zichtbaar te maken.

6.10.2 Hulbuisreductie

Tijdens overleggen is bepaald dat, tegenstrijdig met de normering, het uitgangspunt is dat de hulbuizen goed geïnjecteerd zijn. De reden hiertoe is dat bij statisch bepaalde constructies de kans op slechte vulling van de hulbuis aanzienlijk kleiner is dan bij statisch onbepaalde constructies. Deze regel zal worden opgenomen in de RBK. Om de winst hiervan inzichtelijk te maken worden beide situaties meegenomen. De winst is 1-3% op de objecten die reeds zijn toegepast.

6.10.3 Bepalen kwaliteit voorspanstaal

Niet op alle tekeningen is de voorspankracht terug te herleiden en is vanuit het bouwjaar terug herleid wat de meest realistische staalkwaliteit voor de constructie is. Volgens literatuuronderzoek door TNO blijkt dat Freyssinet al in 1963 per draaddiameter één staalsoort had gekozen. Hierdoor is het gebruik van de alternatieve waarden van de staalsoort voor verschillende objecten aannemelijker geworden.

Het bepalen van de kwaliteit van het voorspanstaal kan grote invloed hebben op de resultaten. Voorspanning komt qua capaciteit terug in de ABB-toets en qua belasting komt het overal terug. Voor brug OudeRijn geldt niet dat de kwaliteit van QP150 naar QP170 gaat.

Voor Oudenrijn levert dit een voordeel op voor de unity-checks: voor ATB rond de 5% en voor ABB tussen de 15-30% winst. Daarbij moet worden opgemerkt dat dit expliciet is voor object Oudenrijn. Dit moet nader onderzocht worden om verdere winst zichtbaar te maken.

Systeem	Toegepast vanaf	Groepering	Staalopp. [mm ²]	Staal-kwaliteit
Freyssinet	1960	Kabel: 1205 (d)	236	QP150
	1960	Kabel: 1207 (d)	462	QP170
'40-tons' kabels	1966	Kabel: 1207 (d)	462	QP150
	1966	Kabel: 1207,5 (d)	530	QP170
	1970?	Kabel: 1208 (d)	603	QP170
'100-tons' kabels	1960	Kabel: 12*1/2" (s)	1114	QP170
	1966	Kabel: 12*1/2" (s)	1114	QP190
	1970	Kabel: 12*1/2" (s)	1116	QP190
		Kabel: 12*0,6" (s)	1776	QP180

6.10.4 *Feitelijke rijbaanindeling en verkeersbelasting toepassen, of plaatsen barriers*
Zoals is gebleken kan de positionering van de wiellasten enorme invloed op de resultaten van de beoordeling hebben. Daarom wordt geadviseerd om de feitelijke rijbaanindeling in te meten met behulp van Cyclomedia. Daarna kan een realistisch beeld worden gegeven voor de belasting op de liggers.

6.11 **Validatie**

Om aan te tonen dat de resultaten van de quickscan betrouwbaar zijn, zijn deze in het verloop van het onderzoek op verschillende punten op verschillende manieren gevalideerd.

Voor ieder individueel object is een Unity Check bepaald (UC). Wanneer de UC kleiner is dan 1, dan is het vereiste veiligheidsniveau aangetoond. De mate van overschrijding van de UC is een indicatie van de mate waarin het veiligheidsniveau afwijkt van het vereiste veiligheidsniveau.

De resultaten van de quickscan Boon en quickscan Movares en SCIA zijn uiteindelijk naast elkaar gelegd en met 'afstand' beoordeeld. Op die manier zijn alle genomen stappen en verschillen met inzicht toe te lichten en worden eventuele verschillen onderbouwd. Dit is nader toegelicht in Bijlage 7

7 Conclusie en aanbevelingen

Vanuit Rijkswaterstaat was de wens om een snelle, verifieerbare methode te ontwikkelen voor het controleren van de veiligheid voor meerdere T-ligger constructies volgens huidige normen en inzichten. Hierbij moest rekening gehouden worden met eventuele wijzigingen in de toekomst, welke door de huidige ontwikkelingen op het gebied van dwarskrachtonderzoek te verwachten zijn.

Door diverse berekeningsmethoden met elkaar te vergelijken is getracht een methode te vinden die simpel toepasbaar is, daarnaast realistische resultaten voor dwarskracht en moment geeft ten gevolge van de verkeersbelasting en tevens conservatief is. Door deze te vergelijken met diverse Scia-berekeningen is een methode gekozen die het best aan bovenstaande punten voldoet.

Uit de vergelijking van diverse berekeningsmethoden is gebleken dat de beste benadering voor de verkeersbelasting de verspreide methode is. De Guyon-Massonet geeft voor dwarskracht een te grote afwijking, en de geconcentreerde methode (waar de belastingen geconcentreerd gespreid worden over het aantal liggers) gaf geen inzicht in verschil van belastingsposities. Dit was op voorhand een essentieel punt voor Rijkswaterstaat.

Wel gaf de methode Guyon-Massonet een veilige benadering voor het moment. Deze was enkele procenten hoger dan de Scia-berekening, wat vertrouwen geeft in de werkelijk aanwezige capaciteit van het object. Dit omdat er tijdens het ontwerp van de kunstwerken in het verleden vaak gerekend is met de Guyon-Massonet methode.

Uitgangspunten waarvan het vermoeden was dat deze van grote invloed waren op de resultaten, bleken niet groot te zijn. Ondanks het feit dat T-ligger bruggen voornamelijk een rechte of minimale kruisingshoek hebben, bleek de invloed van de kruisingshoek van het object niet heel groot te zijn (tot 10% bij scherpe hoek). De invloed van de einddwarsdrager was echter van grote invloed op zowel de oplegging, daar deze star of verend gemodelleerd nauwelijks verschil zichtbaar is (tot 2%) als voor de spreiding van de belasting. Deze kwam voor alle gecontroleerde objecten uit op een hoek van 30 graden vanaf de gekozen snede naar hart rijstrook. Dat vormt de basis vormt voor de opzet van de quickscan.

De invloed van de belastingspositie in de breedterichting van de brug was enorm. Dit door de h.o.h.-afstand van de liggers en de directe spreidingsmogelijkheden. Hierdoor is rijstrookindeling een belangrijk aspect geworden en hier kan veel winst mee behaald worden. Het slim plaatsen van een barrier geeft daarom wellicht mogelijkheden voor de constructieve beoordeling.

De quickscan Boon is een eenvoudig toepasbare, realistische, conservatieve beoordeling voor T-ligger constructies, welke inzicht geeft in de maatgevende belastingcombinatie en goed te controleren is. De kracht van deze quickscan is dat door te variëren met diverse parameters snel directe 'winst' inzichtelijk kan worden gemaakt. De quickscan kan worden uitgevoerd door enkele parameters in te vullen, zoals: lengte, ligger oppervlak, voerspan verloop, dwarsdragers en door de (kritische) sneden (belangrijke te toetsen punten) van de ligger te bepalen. Daarna kan op een snelle en slimme manier inzichtelijk worden gemaakt wat de UC op deze sneden van de constructie is.

Voor de toekomstige beoordelingen is de wens om de gevolgde beoordelingsprocedures vast te leggen. Hiervoor zou een duidelijke handleiding moeten worden opgesteld, waarin alle stappen en aspecten waar 'winst' te behalen is duidelijk zijn toegelicht. Door enkele aanpassingen zou de quickscan als berekeningsrapportages in de bijlage toegevoegd kunnen worden voorzien van uitleg. Bepaling van het voorspanverloop, door lineaire interpolatie, geeft behoorlijke resultaten. Echter is ten opzichte van de andere aspecten in de quickscan het meest arbeidsintensief, door het zo exact mogelijk invoeren van het verloop en controle bij de sneden. Om het voorspanverloop, en daarmee de dwarskracht en moment ten gevolge van de kabels beter te beoordelen wordt geadviseerd om het kabelverloop te benaderen met behulp van een parabolische benadering. Dit geeft scherpere resultaten overall.

Mochten er al dwarskracht en momentresultaten beschikbaar zijn (uit eerdere berekeningen) dan kan de quickscan Boon worden "overruled" om alleen de gekozen sneden te toetsen of deze sneden voldoen.

Voor de objecten welke niet voldoen, beteken niet dat ze meteen afgeschreven moeten worden. Reële kans is aanwezig dat deze alsnog voldoen. Kansrijke onderzoeken op diverse parameters om 'winst' te maken in de constructieve beoordeling zijn uitgevoerd op basis van drie ingevoerde objecten.

Het testen van de betonkwaliteit

Wanneer de betonsterkteklasse niet is gemeten maar conservatief is bepaald, kan het uitvoeren van materiaalonderzoek bijdragen aan het aantonen van voldoende constructieve veiligheid.

Hogere kwaliteit voorspanstaal

Wanneer de staalkwaliteit van het voorspanstaal niet bekend is maar conservatief is bepaald op basis van de RBK, kan het uitvoeren van archief of materiaalonderzoek bijdragen aan het aantonen van de constructieve veiligheid.

Niet toepassen van hulbuisreductie

Tijdens overleggen is bepaald dat tegenstrijdig met de normering het uitgangspunt is dat de hulbuizen goed geïnjecteerd zijn. De reden hiertoe is dat bij statisch bepaalde constructies de kans op slechte vulling van de hulbuis aanzienlijk kleiner is dan bij statisch onbepaalde constructies.

Slim plaatsen barriers

Door de rijbaanindeling aan te passen kan mogelijk het vereiste veiligheidsniveau worden behaald.

Toepassen van niet NLFEA

Het effect van verwachte verborgen reserves zou kunnen worden aangetoond met niet lineaire eindige elementen berekeningen volgens RTD1016.

Onderzoek verborgen reserves

Aansluitend op de lopende onderzoeken aan de TU Delft zou de mogelijkheid kunnen zijn dat verborgen reserves worden aangetoond.

8 Bronvermelding

- [1] Quick Scan T-liggers 2013, Eindrapportage berekeningen volgens RBK1.1, d.d. 30 oktober 2013
- [2] Resultaat QS2013 – beoordeling T-liggers op basis van Eurocode en RBK1.1. d.d. 14-11-2013
- [3] Quick Scans, zoals gerefereerd in [1]
- [4] Tekeningen zoals gerefereerd in [1]
- [5] Gegevens DISK (d.d. 16-10-2017)
- [6] RBK1.1, RTD 1006:2013, Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken, Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand kunstwerk bij verbouw, gebruik en afkeur, versie 1.1, d.d. 27 mei 2013
- [7] NEN-EN 1992-1-1 +C2 , Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen, november 2001
- [8] Walraven, Braam; CIE3150/41560, Prestressed concrete, Sept 2015
- [9] Brug over de Oude Rijn in A44, verificatie quickscans met een verfijnde herberekening;2013
- [10] Marco Roosen; Controleberekening opbouw buigend moment voor breukmoment
- [11] NEN 8700, 8701, 6700, 6702, 6706, 6720, 6723

Bijlage 1 Overzicht van T-ligger complexen

Overzicht van complexen waar T-liggers zijn toegepast in Nederland

Complex code	Complex naam
07D 105	Helperzoom - viaduct over de spoorlijn Assen - Groningen
07D 108	Viaduct t.p.v. Meeuwerderbaan en Oude Winschoterdiep
19C 101	Uitgeest - Westelijk viaduct Uitgeest
25D 307	Aansluiting Schiphol - Viaduct in de weg naar Schiphol
26H 107	Spoorweg viaduct Harderwijk - viaduct over de spoorlijn
30F 101	Brug Oude Rijn - noordelijke en zuidelijke aanbruggen
37E 001	Kruithuisweg
37F 101	Brug o/d Rotte/ over de injectie in de A20
37F 003	Terbregseplein, afslag A16 naar A20
37H 006	Brienoord, aanbrug oost
37H 101	Brug o/d Hollandsche IJssel (Algerabrug)
38C 100	Merwedebrug (Dordrecht)
38G 102	Brug od Bovenmerwede (Gorinchem)
38G 103	Brug kanaal van Steenenhoek
39D 102	Brug over het Amsterdam-Rijnkanaal
44D 117	Hamersbrug - Brug o/h Wilhelminakanaal
49B 100	Thoolsebrug - aanbrug in hoofdrijbaan
54E 100	Draaibrug Sluiskil
54G 100	Draaibrug Sas van Gent
58D 103	Brug od Maas Roermond
60C 112	Neerbeek- viaduct in de Maastrichterlaan
05G 110	Brug o/h Harinxmakanaal (Koningsbrug)
07D 106	Hereweg
07D 107	Paterswoldseweg
25D 001	Schinkelbrug
25D 009	Ringvaart Noord nabij Badhoevedorp
25E 100	Schellingwouderbrug
25G 103	Amsterdamsebrug
25H 107	Hollandse Brug
37E 124	Brasserskade
37F 001	Schieplein
43G 001	Volkeraksluizen (1964)
51A 101	Brug Wilhelminakanaal
22D 105	Kloosterdijk

Bijlage 2 Invloed diverse uitgangspunten

Met hulp van SCIA is voor brug OudeRijn diverse simulaties uitgevoerd om de invloed van de diverse uitgangspunten nader toe te lichten.

Brug Ouderijn

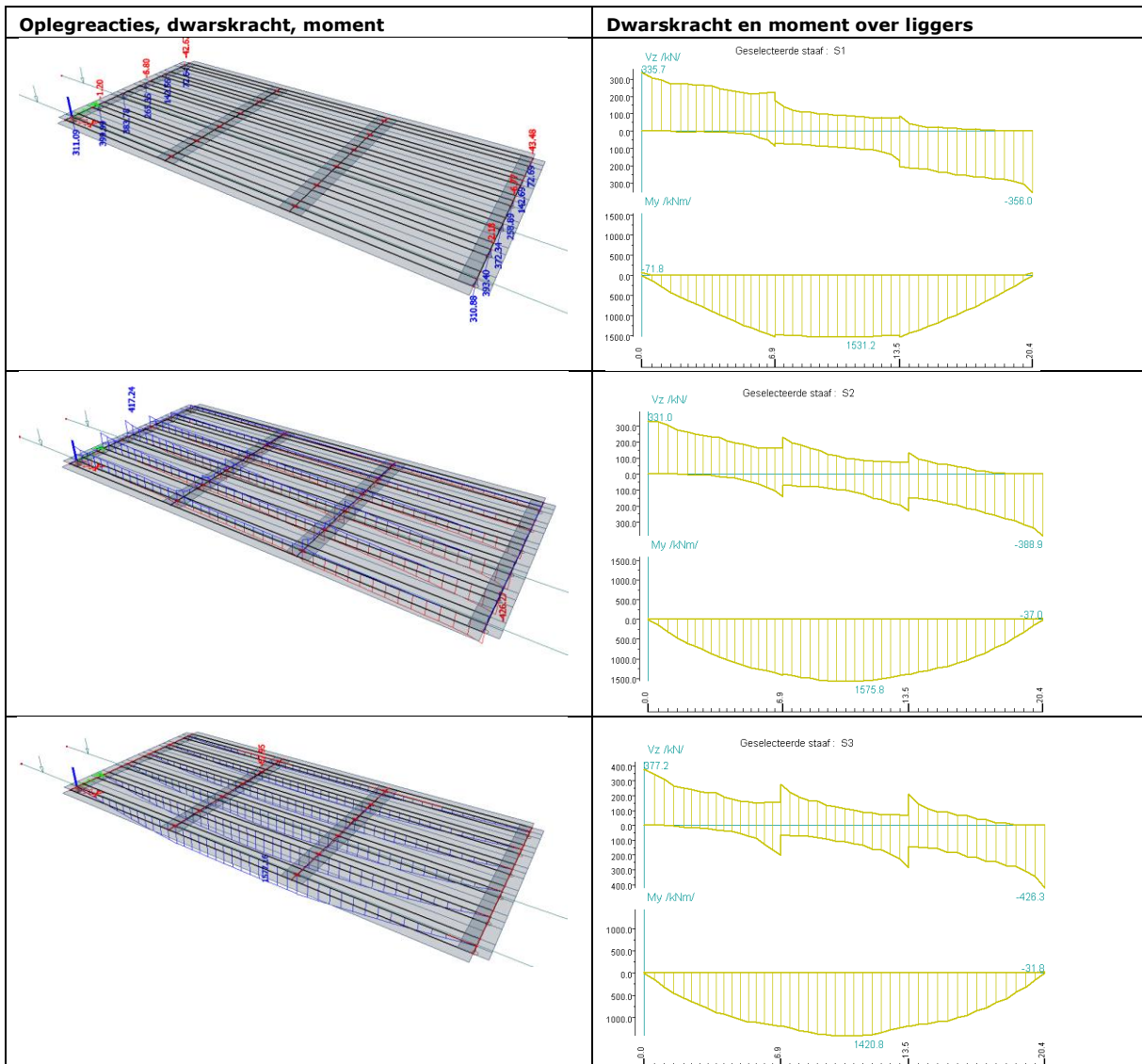
Vergelijk invloed modellering variabelen SCIA, verkeersbelasting

Methode	V1		M1		V2		M2		V3		M3	
	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.	waarde	afw.
SCIA	356.1	0%	1533	0%	388.9	0%	1577.2	0%	426.3	0%	1421.6	0%
Verend	359.4	1%	1533	0%	383.5	-1%	1578.4	0%	418.8	-2%	1422.8	0%
0 Dwarsdr.	325	-9%	1489	-3%	392.6	1%	1656.5	5%	433.3	2%	1538.5	8%
1 Dwarsdr.	340.9	-4%	1726	13%	388.5	0%	1538.4	-2%	427	0%	1354.4	-5%
Tegen rand	409.1	15%	1647	7%	414.8	7%	1638.8	4%	370.4	-13%	1397.7	-2%
Hoek 63.9	368	3%	1300	-15%	376	-3%	1329	-16%	411	-4%	1210	-15%

Recht gemodelleerd, starre opleggingen, stapgrootte van 0.5 meter.

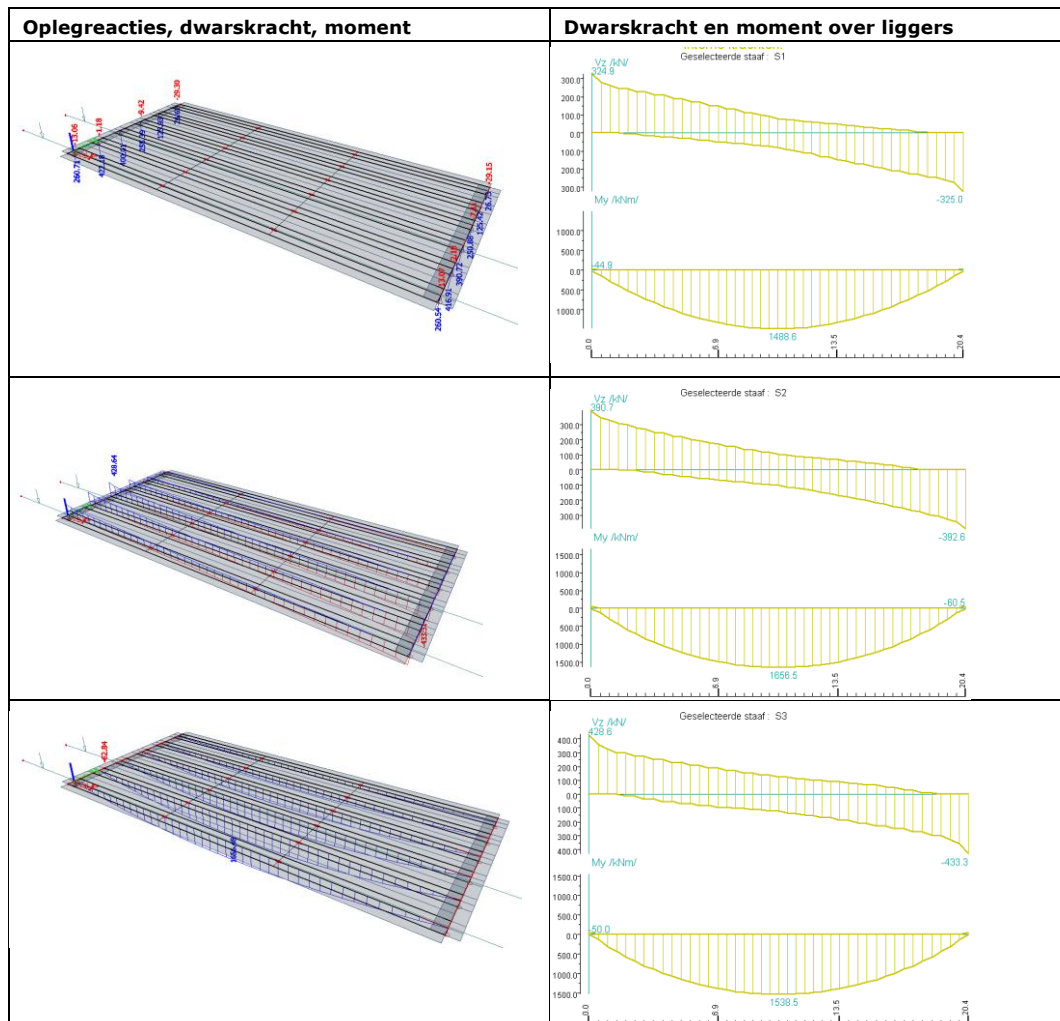
Om de verschillen inzichtelijk te maken zijn de originele SCIA resultaten aan weergegeven.

Ligger S1 is de randligger waar S2 en S3 steeds meer naar het midden van de brug georiënteerd zijn.



Geen dwarsdragers

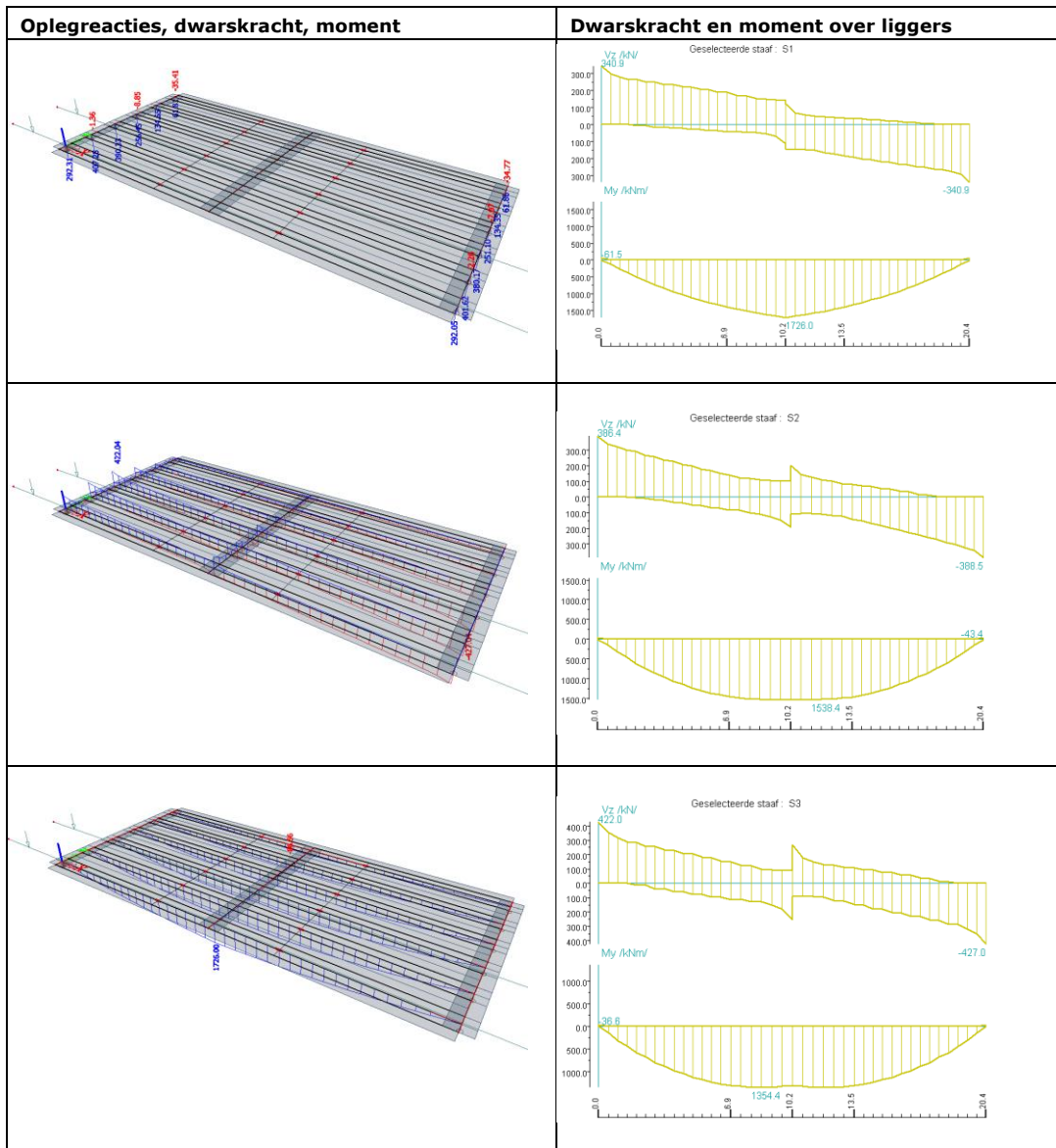
De afwezigheid van dwarsdragers heeft tot invloed dat de belasting minder spreid over de omringende liggers. De figuren laten een kleine invloed van dwarsdragers zien, waardoor het interessant is om te zien wat de invloed van deze daadwerkelijk is.



Bovenstaande tabel laat de invloed van de UDL (9.5 zware strook +2.5 rest) + tandemstelsel zien op de constructie zonder tussendwarsdragers. Het piekje op de kopse kant van de liggers is opvallend. De verschillen ten opzichte van de constructie met twee dwarsdragers zijn tot ongeveer 10% wat opvallend is, omdat het vermoeden was dat de invloed van de dwarsdragers groter was. Dit geeft aan dat ondanks de afwezigheid van tussendwarsdragers het object nog steeds in dwarsrichting stijf genoeg is om de krachten te spreiden.

Één dwarsdrager

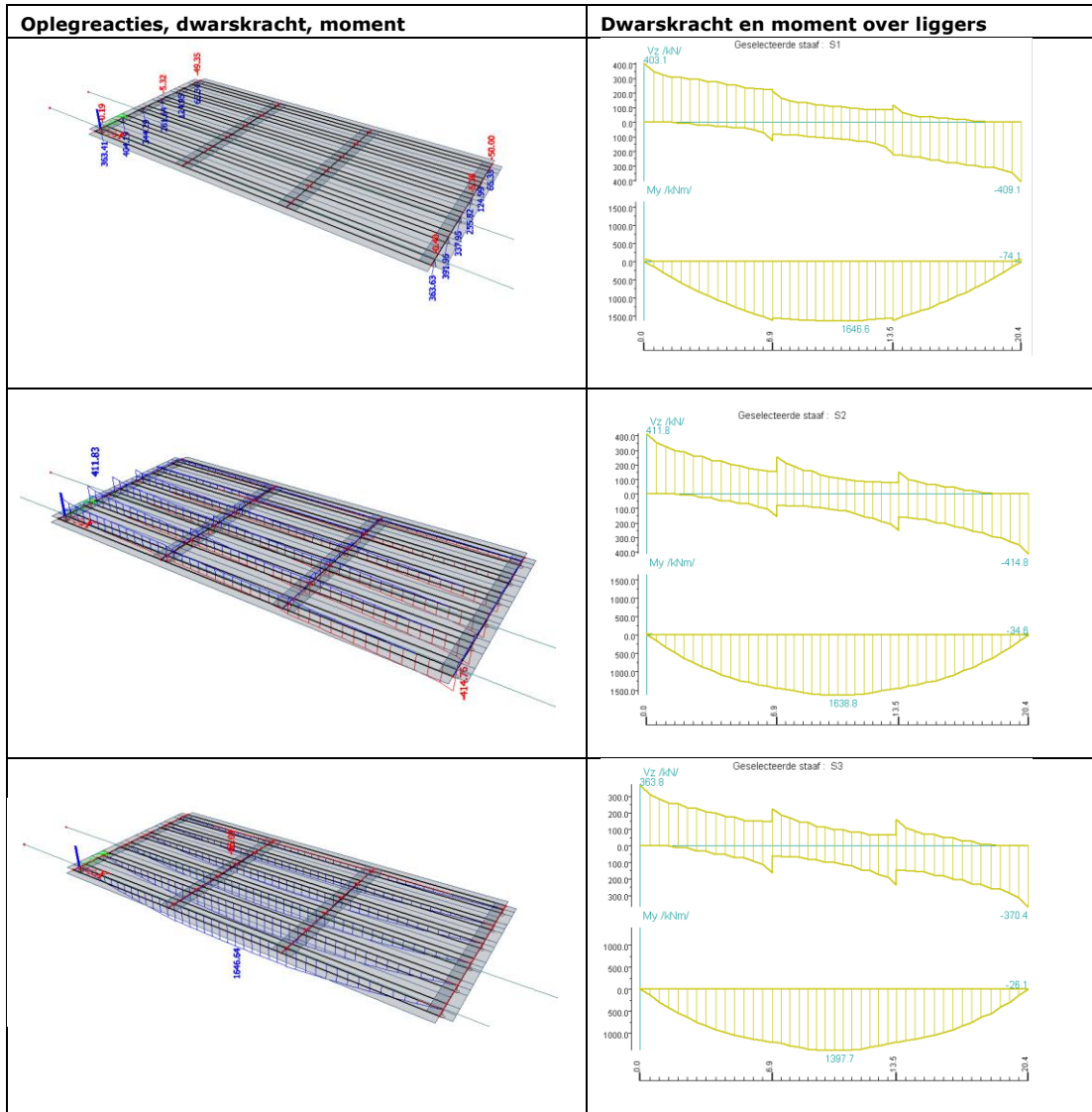
De figuren laten een kleine invloed van dwarsdragers zien, waardoor het interessant is om te zien wat de invloed van deze daadwerkelijk is. Wordt de constructie met slechts 1 dwarsdrager nog maal uitgerekend om inzicht in de invloed van dwarsdragers te krijgen.



Bovenstaande tabel laat de invloed van de verkeersbelasting zien op de constructie met 1 dwarsdrager. De sprong in dwarskracht is opvallend, vooral omdat deze bij de rand anders is dan bij de andere liggers, doordat de belasting niet volledig op de randligger komt te staan en de andere liggers meer te verduren krijgen. De verschillen ten opzichte van de constructie met twee dwarsdragers zijn voor dwarskracht tot ongeveer 5% wat opvallend is, dat het moment door de toename van het eigen gewicht vooral groter is.

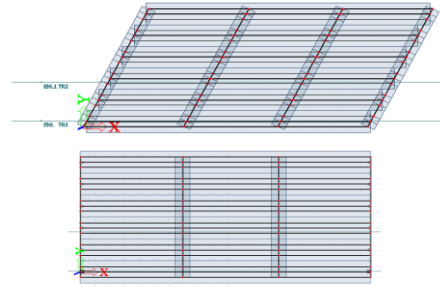
Belastingpositie dwarsrichting

De afstand tot de schamprant is overal hetzelfde, namelijk 300 mm (situatie verkeerd gebruik). Om de invloed van de positie van de verkeerslast inzichtelijk te maken is SCIA berekening tegen de schamprant gemaakt (SCIA rand). Hier in wordt zichtbaar dat doordat de belasting meer naar de randligger toe verplaatst deze en S2 ook meer te verduren krijgt zowel in dwarskracht als in moment. Ligger S3 in de midden krijgt logischerwijs minder. Opvallend is de gevoeligheid van T-ligger constructies voor belastingen nabij de rand van de brug. Wat begrijpelijk is omdat de randligger minder belasting kan spreiden dan de midden ligger. Maar het effect is groot. Zo is een verplaatsing van 300mm van 10% toename door invloed, door de tamelijk kleine hart op hart afstand. Mede hierdoor kan het in het beoordelen belangrijk zijn om ook rekening te houden met de daadwerkelijke situatie.



Kruisingshoek

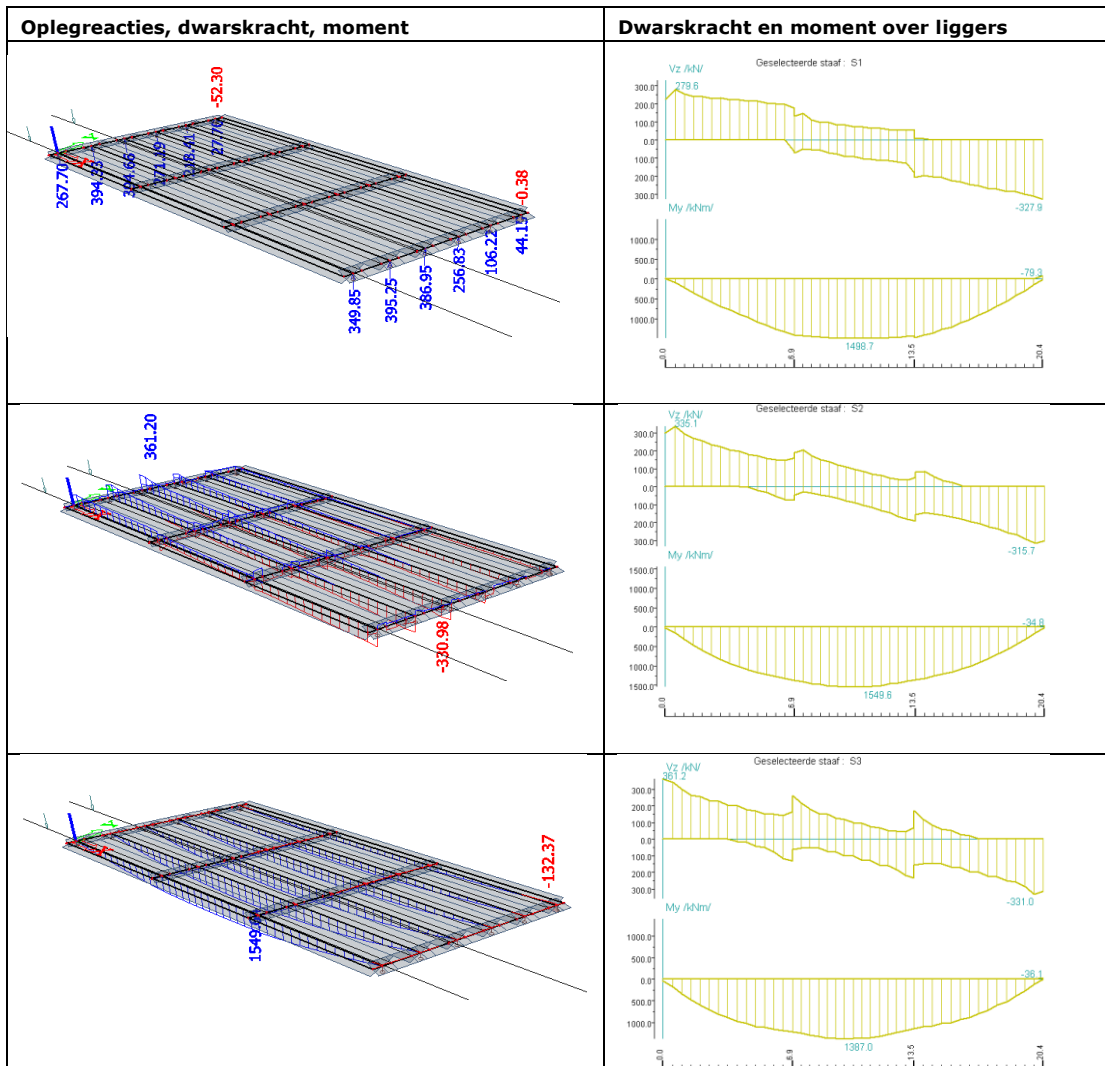
De constructie heeft daadwerkelijk een kruisingshoek, daar het SCIA model en alle andere methoden uitgaan van een object met een kruisingshoek van 100 gon (90 graden), oftewel recht. Door de constructie ook met de daadwerkelijke kruisingshoek te modelleren is inzicht verkregen hoeveel invloed dat in dit geval heeft. Bij het platenonderzoek bleek dit namelijk van enorme invloed te zijn.



De kruisingshoek van Ouderijn is één van de grootste tot nu toe bekend in het areaal, en zou dus ook een extreme situatie vormen waaraan onze methode geen problemen mee hoort te hebben. Hieruit bleek dat de invloed van de kruisingshoek minimaal is voor de verkeersbelasting. Voor het eigengewicht kan de kruisingshoek niet van invloed zijn omdat eerst de liggers worden geplaatst op de oplegblokken voordat de liggers dmv tussenstort en evt dwarsdragers verbonden word.

Object Ouderijn

Opvallend is dat de maximale waarden in de hoek voor de dwarskracht veel groter zijn, dit komt door het feit dat de hoek waar deze waarden gemeten zijn de scherpe hoek van de constructie is en dus minder kracht naar zicht toetrekt.



Kijkend naar alleen de verkeersbelasting is de invloed van de dwarsdragers meer zichtbaar, omdat de belasting zich daar ook beter laat spreiden. De verschillen in dwarskracht zijn dan ook 5% daar waar het moment rond de 15% is.

Object de Rotte

Voor object de Rotte is gevalideerd of de kruisingshoek van grotere invloed is als er geen tussendwarsdragers aanwezig zijn. Hier is voor de belasting gevallen los en combinatie van verkeersbelastingen uitgewerkt wat de afwijking is tussen de stompe hoek, scherpe hoek en een rechte hoek.

In onderstaande tabel zijn de maximale optredende dwarskrachten en momenten weergegeven voor gecombineerde belasting, TS1 600 kN en UDL 6.5, daar de andere resultaten zo laag waren.

Afwijking maximale waarden

Dwars	Combinatiebelasting			Afwijking		
	stomp	scherp	recht	stomp/recht	scherp/recht	stomp/scherp
Ligger 1	261.5	233	243	1.1	1.0	1.1
Ligger 2	234.7	247.3	242.3	1.0	1.0	0.9
Ligger 3	176.7	199.9	191.4	0.9	1.0	0.9

Moment	Combinatiebelasting			Afwijking		
	stomp	scherp	recht	stomp/recht	scherp/recht	stomp/scherp
Ligger 1	1120.4	1019	864.5	1.3	1.2	1.1
Ligger 2	987.6	873.4	796.9	1.2	1.1	1.1
Ligger 3	857.5	870.2	779.1	1.1	1.1	1.0

Dwars	TS 600 kN			Afwijking		
	stomp	scherp	recht	stomp/recht	scherp/recht	stomp/scherp
Ligger 1	155.5	159.77	150.9	1.0	1.1	1.0
Ligger 2	149.7	142	153.3	1.0	0.9	1.1
Ligger 3	123.7	108.2	125	1.0	0.9	1.1

Moment	TS 600 kN			Afwijking		
	stomp	scherp	recht	stomp/recht	scherp/recht	stomp/scherp
Ligger 1	505.5	660.4	573.4	0.9	1.2	0.8
Ligger 2	467.8	589.9	522.2	0.9	1.1	0.8
Ligger 3	387.4	475.2	416	0.9	1.1	0.8

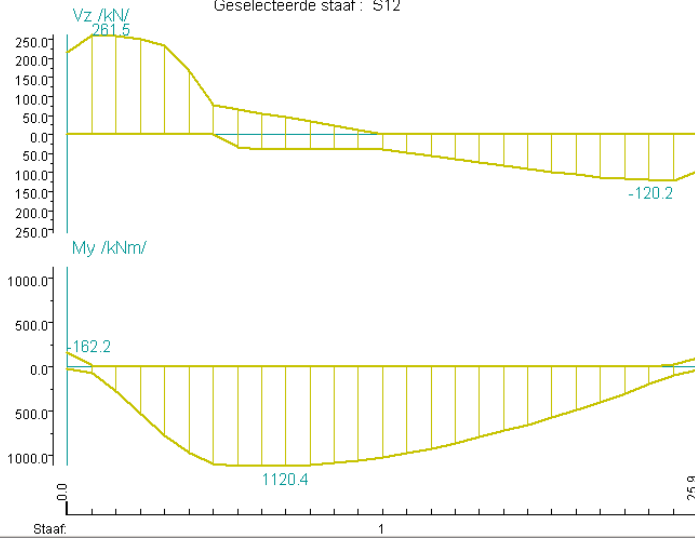
Dwars	UDL 6.5			Afwijking		
	stomp	scherp	recht	stomp/recht	scherp/recht	stomp/scherp
Ligger 1	72.4	61.4	66.7	1.1	0.9	1.2
Ligger 2	64.6	64	67.2	1.0	1.0	1.0
Ligger 3	46.5	45.9	45.6	1.0	1.0	1.0

Moment	UDL 6.5			Afwijking		
	stomp	scherp	recht	stomp/recht	scherp/recht	stomp/scherp
Ligger 1	402.4	402.4	337.5	1.2	1.2	1.0
Ligger 2	334.4	334.4	297.6	1.1	1.1	1.0
Ligger 3	244	274.2	274.2	0.9	1.0	0.9

Komende pagina's worden de momenten en dwarskrachtenlijnen van de liggers voor de stompe hoek, scherpe hoek en rechte hoek weergegeven om zo inzichtelijk te krijgen wat de invloed hiervan is.

Ligger 1 Combinatie stomp

Interne krachten.
Geselecteerde staaf: S12



Componenten

- N
- V_y
- V_z
- M_x
- M_y
- M_z

Tekenen

- Extreem
- Arcering

Instelling
Hertekenen

Sluiten

Ligger 1 Combinatie scherp

Interne krachten.
Geselecteerde staaf: S12



Componenten

- N
- V_y
- V_z
- M_x
- M_y
- M_z

Tekenen

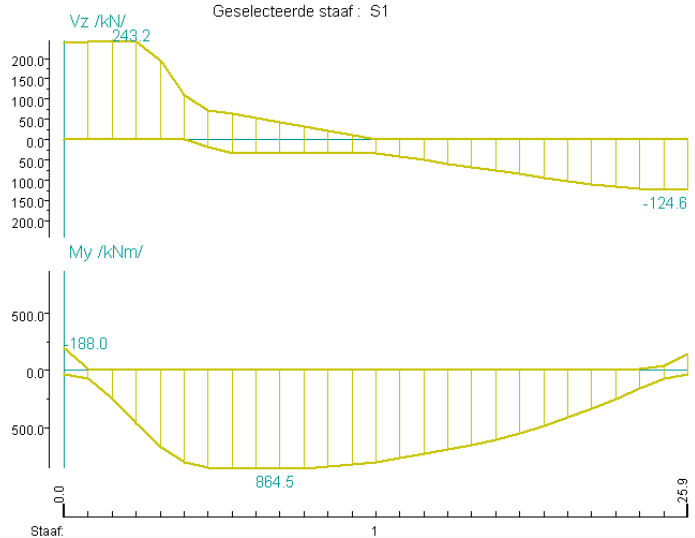
- Extreem
- Arcering

Instelling
Hertekenen

Sluiten

Ligger 1 Combinatie recht

Interne krachten.
Geselecteerde staaf: S1



Componenten

- N
- V_y
- V_z
- M_x
- M_y
- M_z

Tekenen

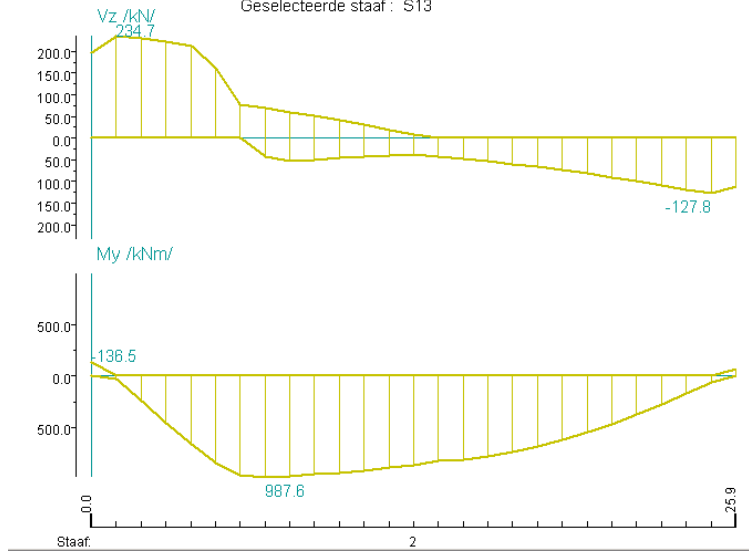
- Extreem
- Arcering

Instelling
Hertekenen

Sluiten

Ligger 2 Combinatie stomp

Interne krachten.
Geselecteerde staaf: S13



Componenten

- N
- V_y
- V_z
- M_x
- M_y
- M_z

Tekenen

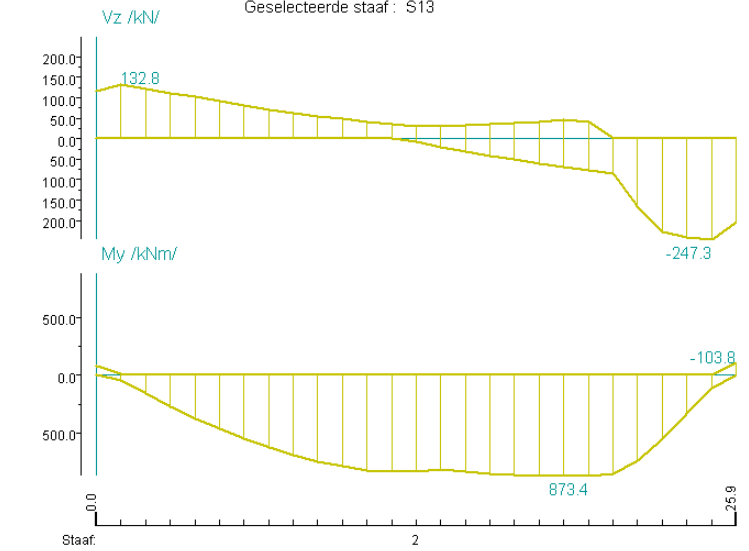
- Extreem
- Arcering

Instelling
Hertekenen

Sluiten

Ligger 2 Combinatie scherp

Interne krachten.
Geselecteerde staaf: S13



Componenten

- N
- V_y
- V_z
- M_x
- M_y
- M_z

Tekenen

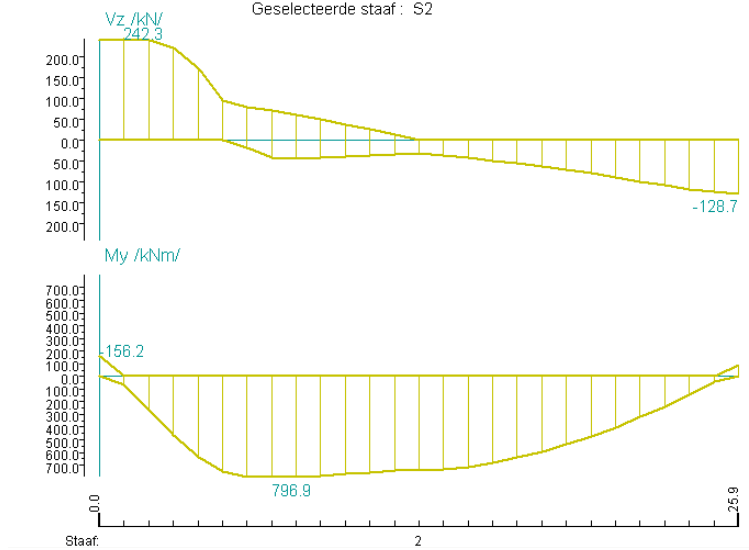
- Extreem
- Arcering

Instelling
Hertekenen

Sluiten

Ligger 2 Combinatie recht

Interne krachten.
Geselecteerde staaf: S2



Componenten

- N
- V_y
- V_z
- M_x
- M_y
- M_z

Tekenen

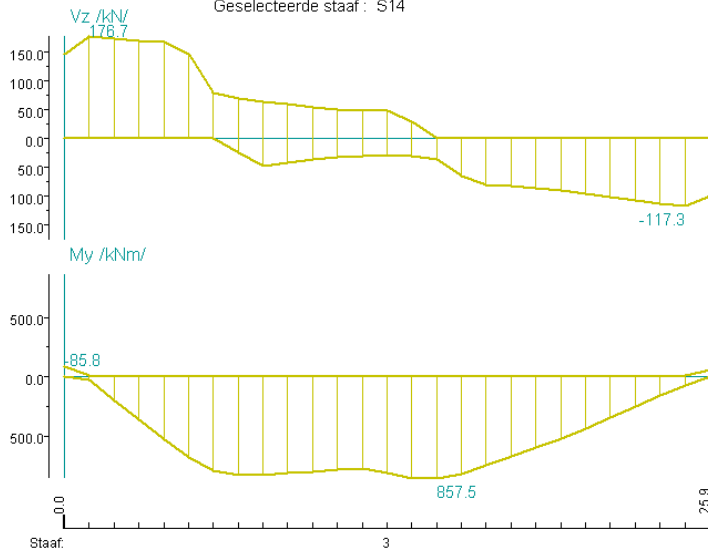
- Extreem
- Arcering

Instelling
Hertekenen

Sluiten

Ligger 3 Combinatie stomp

Interne krachten.
Geselecteerde staaf: S14



Componenten

- N
- V_y
- V_z
- M_x
- M_y
- M_z

Tekenen

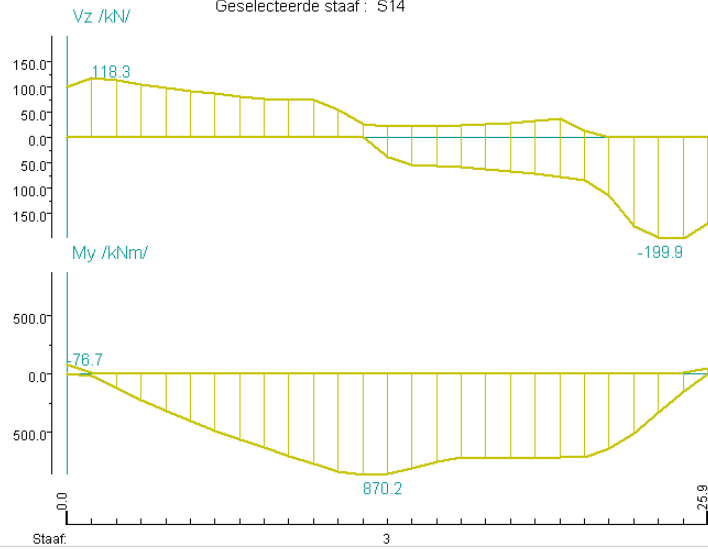
- Extreem
- Arcering

Instelling
Hertekenen

Sluiten

Ligger 3 Combinatie scherp

Interne krachten.
Geselecteerde staaf: S14



Componenten

- N
- V_y
- V_z
- M_x
- M_y
- M_z

Tekenen

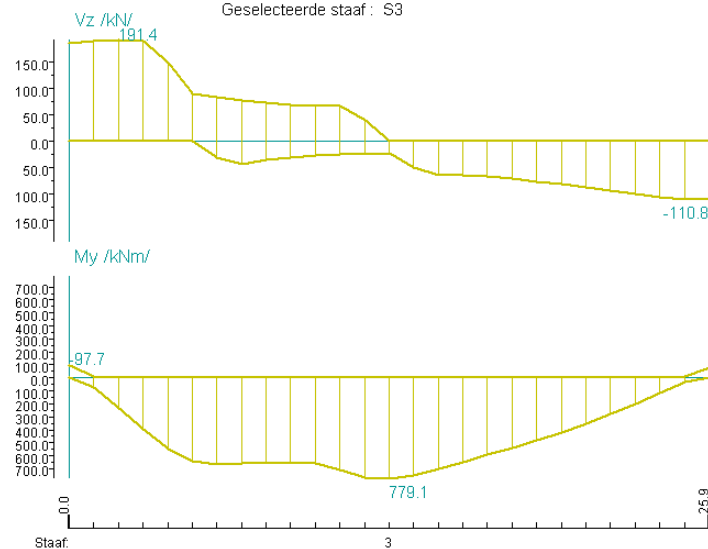
- Extreem
- Arcering

Instelling
Hertekenen

Sluiten

Ligger 3 Combinatie recht

Interne krachten.
Geselecteerde staaf: S3



Componenten

- N
- V_y
- V_z
- M_x
- M_y
- M_z

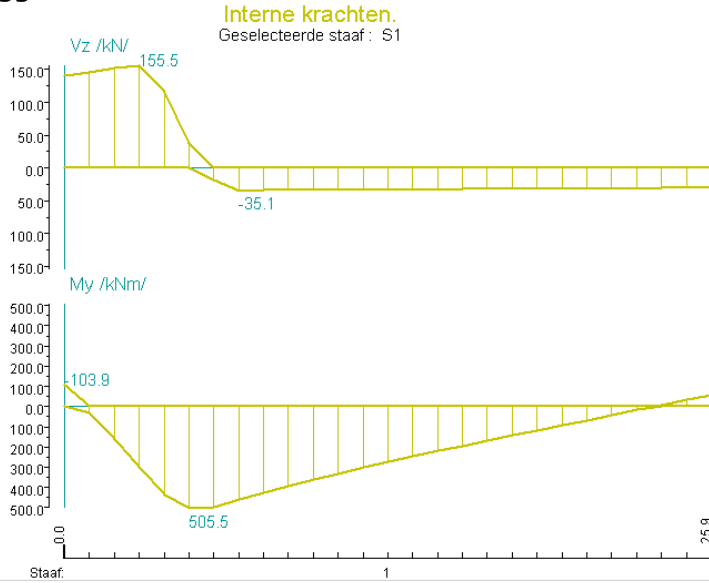
Tekenen

- Extreem
- Arcering

Instelling
Hertekenen

Sluiten

Ligger 1 TS600 Recht



Componenten

- N
- Vy
- Vz
- Mx
- My
- Mz

Tekenen

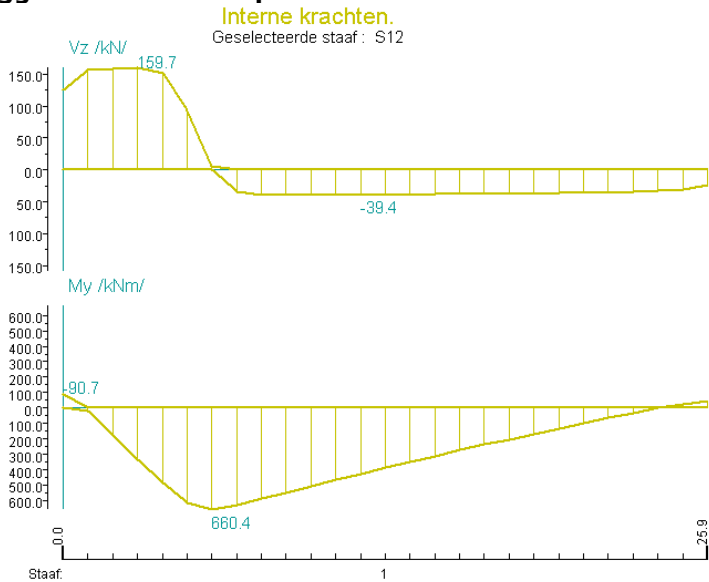
- Extreem
- Arcering

Instelling

Hertekenen

Sluiten

Ligger 1 TS600 Stomp



Componenten

- N
- Vy
- Vz
- Mx
- My
- Mz

Tekenen

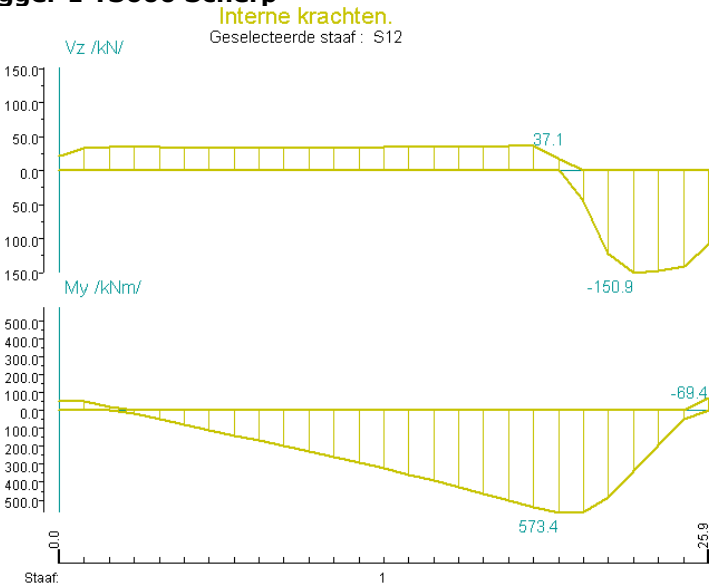
- Extreem
- Arcering

Instelling

Hertekenen

Sluiten

Ligger 1 TS600 Scherp



Componenten

- N
- Vy
- Vz
- Mx
- My
- Mz

Tekenen

- Extreem
- Arcering

Instelling

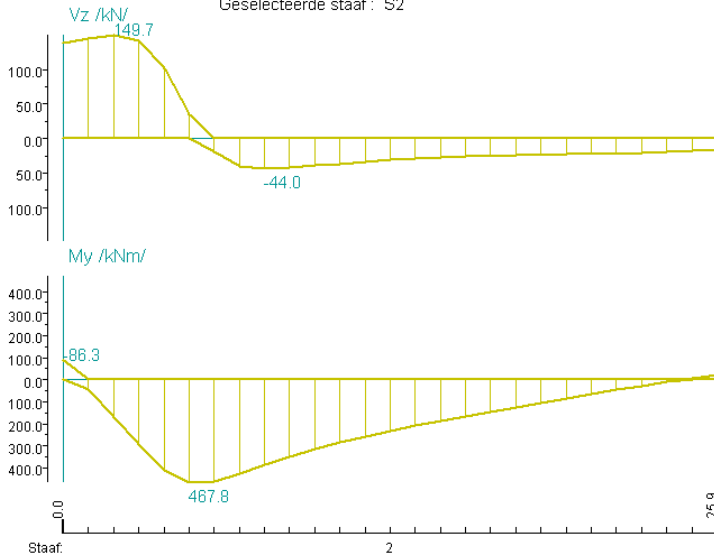
Hertekenen

Sluiten

Ligger 2 TS600 Recht

Interne krachten.

Geselecteerde staaf : S2



Componenten

- N
- Vy
- Vz
- Mx
- My
- Mz

Tekenen

- Extrem
- Arcering

Instelling

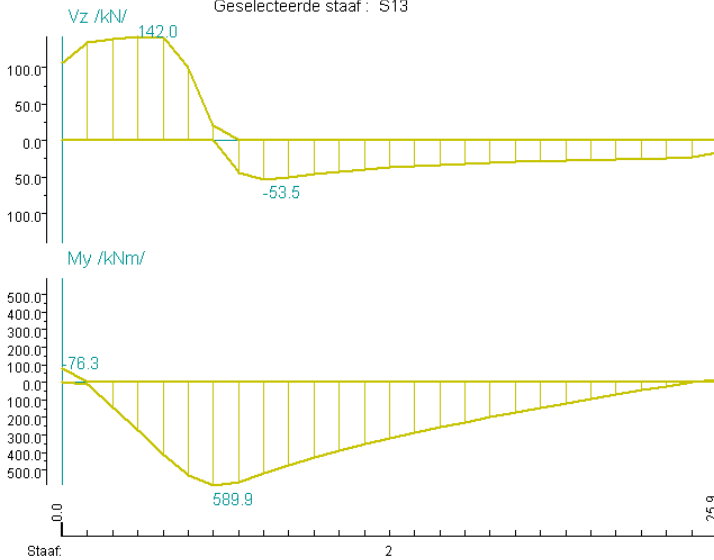
Herteken

Sluiten

Ligger 2 TS600 Stomp

Interne krachten.

Geselecteerde staaf : S13



Componenten

- N
- Vy
- Vz
- Mx
- My
- Mz

Tekenen

- Extrem
- Arcering

Instelling

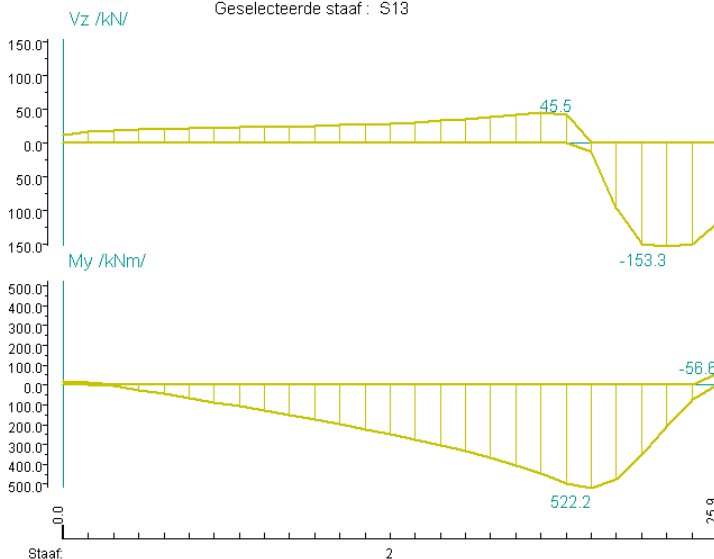
Herteken

Sluiten

Ligger 2 TS600 Scherp

Interne krachten.

Geselecteerde staaf : S13



Componenten

- N
- Vy
- Vz
- Mx
- My
- Mz

Tekenen

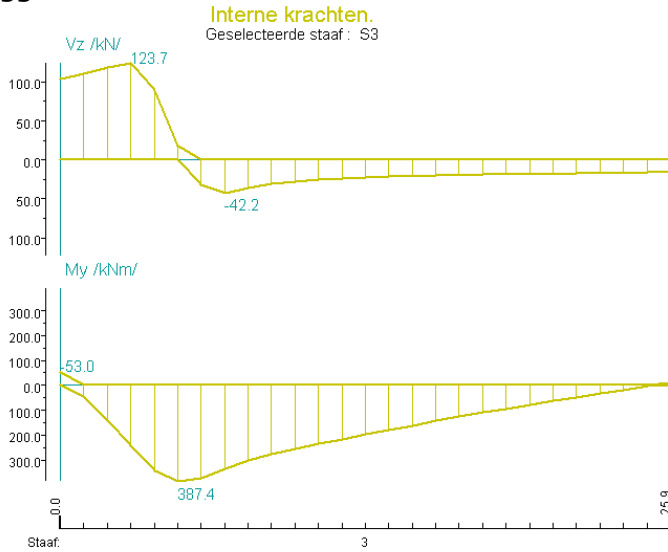
- Extrem
- Arcering

Instelling

Herteken

Sluiten

Ligger 3 TS600 Recht



Componenten

- N
- Vy
- Vz
- Mx
- My
- Mz

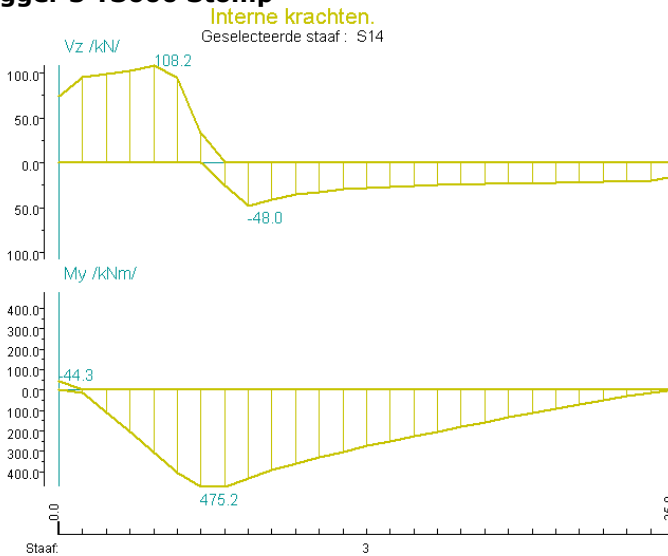
Tekenen

- Extreem
- Arcering

Instelling
Hertekenen

Sluiten

Ligger 3 TS600 Stomp



Componenten

- N
- Vy
- Vz
- Mx
- My
- Mz

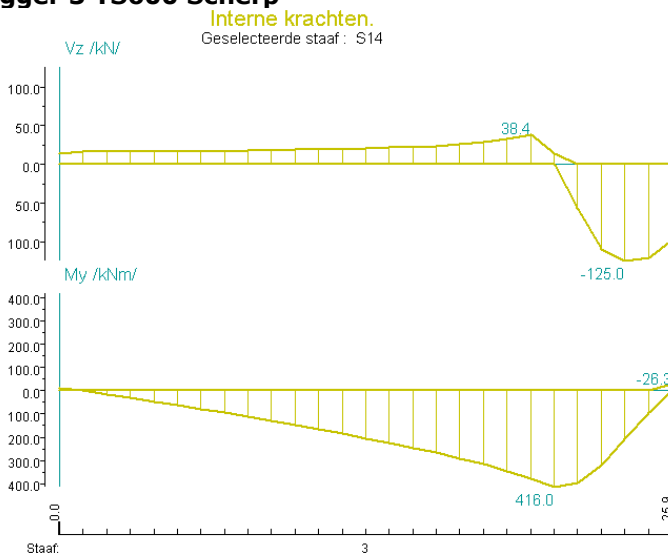
Tekenen

- Extreem
- Arcering

Instelling
Hertekenen

Sluiten

Ligger 3 TS600 Scherp



Componenten

- N
- Vy
- Vz
- Mx
- My
- Mz

Tekenen

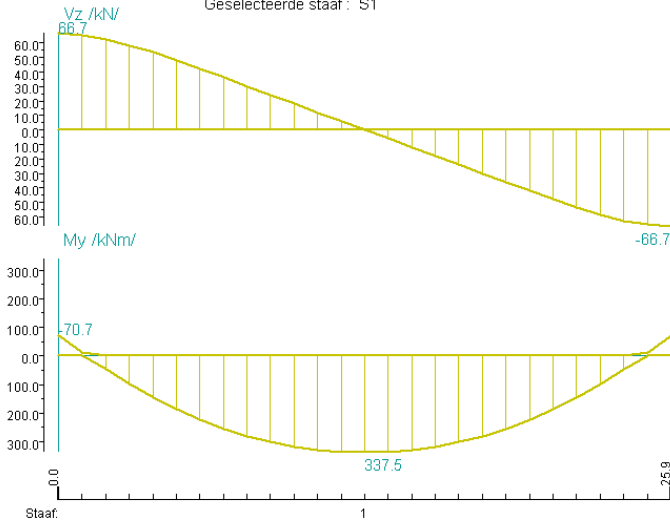
- Extreem
- Arcering

Instelling
Hertekenen

Sluiten

Ligger 1 UDL6.5 Recht

Interne krachten.
Geselecteerde staaf: S1



Componenten

- N
- V_y
- V_z
- M_x
- M_y
- M_z

Tekenen

- Extreem
- Arcering

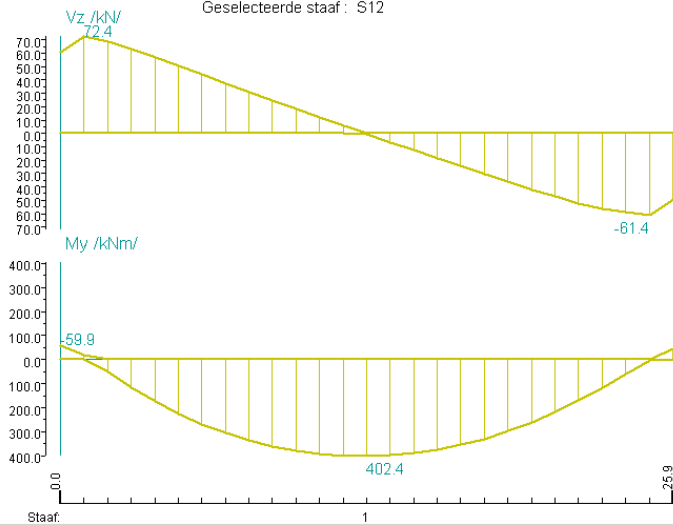
Instelling

Hertekenen

Sluiten

Ligger 1 UDL6.5 Stomp(links) Scherp (rechts)

Interne krachten.
Geselecteerde staaf: S12



Componenten

- N
- V_y
- V_z
- M_x
- M_y
- M_z

Tekenen

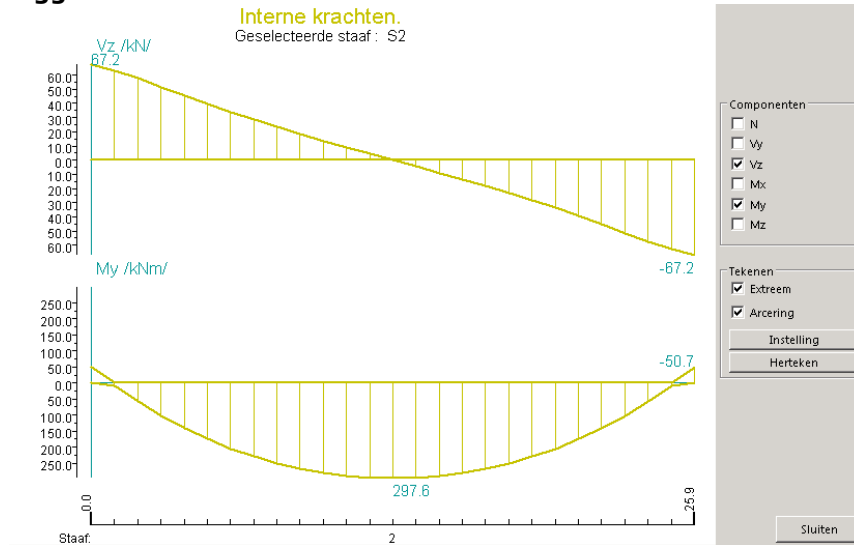
- Extreem
- Arcering

Instelling

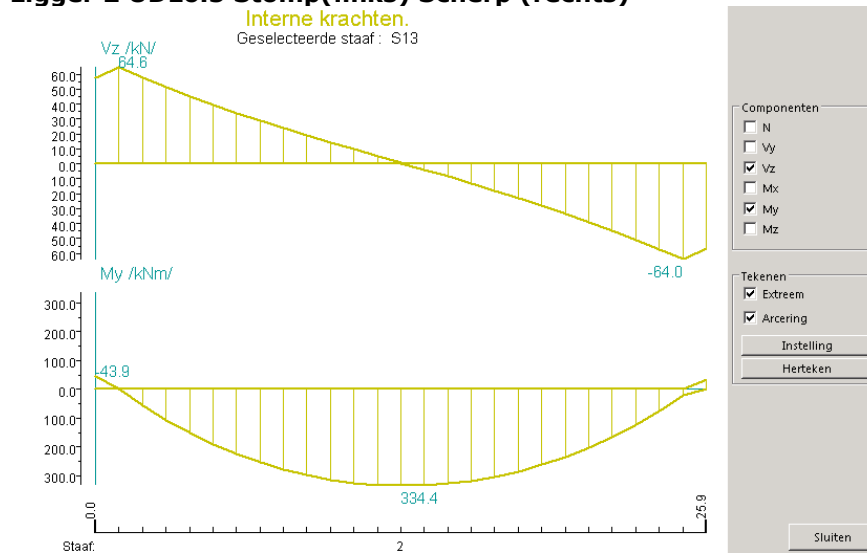
Hertekenen

Sluiten

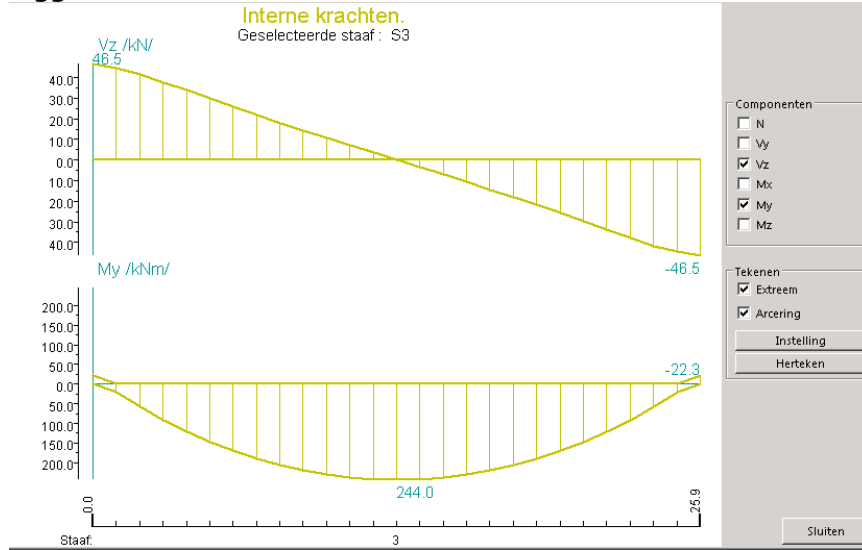
Ligger 2 UDL6.5 Recht



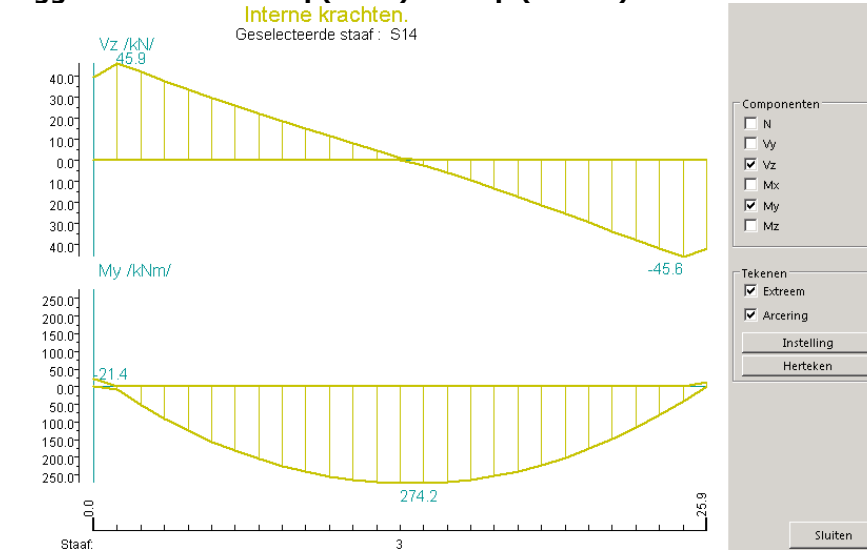
Ligger 2 UDL6.5 Stomp(links) Scherp (rechts)



Ligger 3 UDL6.5 Recht



Ligger 3 UDL6.5 Stomp(links) Scherp (rechts)



Andere aspecten

Hier wordt kort toegelicht welke andere aspecten nader zijn onderzocht en wat de resultaten hiervan waren.

Belasting stappen.

In de quickScan van Movares worden meer sneden uitgevoerd (100 per lengte richting) wat overeenkomt met ongeveer 0.20m per stap. Het vermoeden hierbij was dat er hogere maatgevende resultaten hiervoor gevonden zouden worden.

Om dit te onderzoeken wordt deze procedure nogmaals herhaald om te zien of de resultaten van de SCIA berekening dichterbij die van de quick scan komen. De resultaten bevestigen dit niet, wel is de mogelijkheid dat door de bewegingsvrijheid van de QuickScan de positie van de belastingen afwijkend zijn van die van de SCIA berekening. Echter zijn de lastposities op dit moment niet te achterhalen.

Oppervlak van de belasting

De aslasten conform de Eurocode hebben een lastvlak van $400 \times 400 \text{ mm}^2$. Deze wordt in de QuickScan alsmede in de SCIA berekening toegepast. Bij een calamiteit wordt de verkeersbelasting geplaatst op een randafstand van 300 mm vanaf de schampkant.

Het plaatmodel wordt beschouwd ter hoogte van het hart van de tussenstorten. De last kan zich zodoende nog verder spreiden door het asfalt, de uitvullaag en de helft van de hoogte van de tussenstorten. De spreiding vindt plaats onder een helling van 1:1. Het lastvlak heeft nu een breedte van:

$$B_{\text{spreid}}: 400 + 2(h_{\text{asfalt}} + h_{\text{vul}} + H_{\text{tussen}}/2) = 400 + 2(150 + 40 + 150/2) = 930 \text{ mm}$$

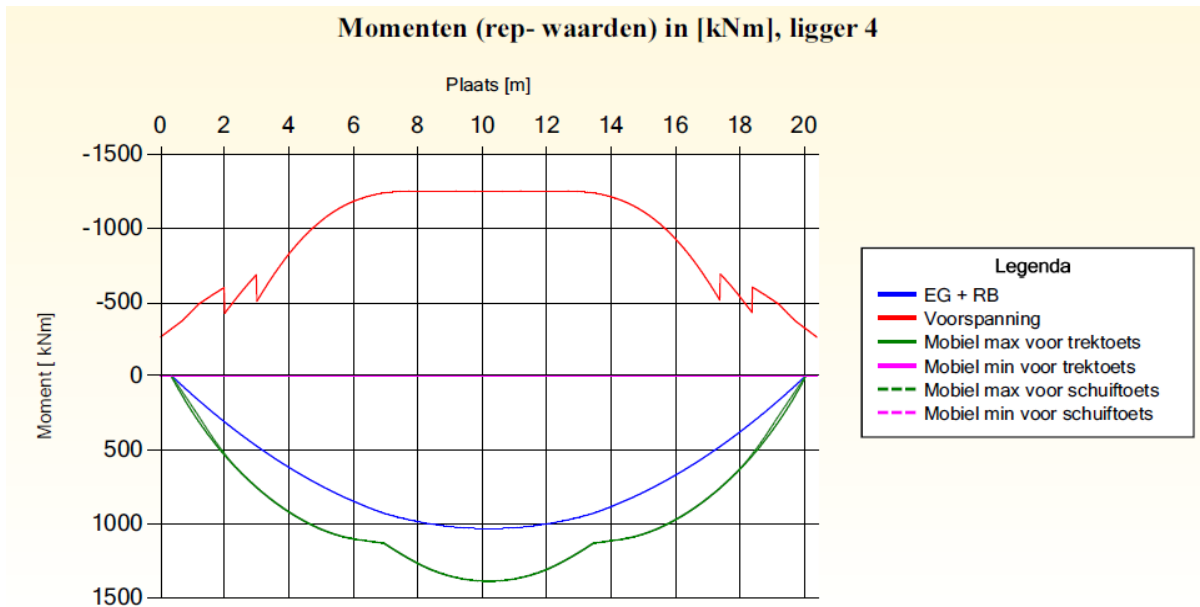
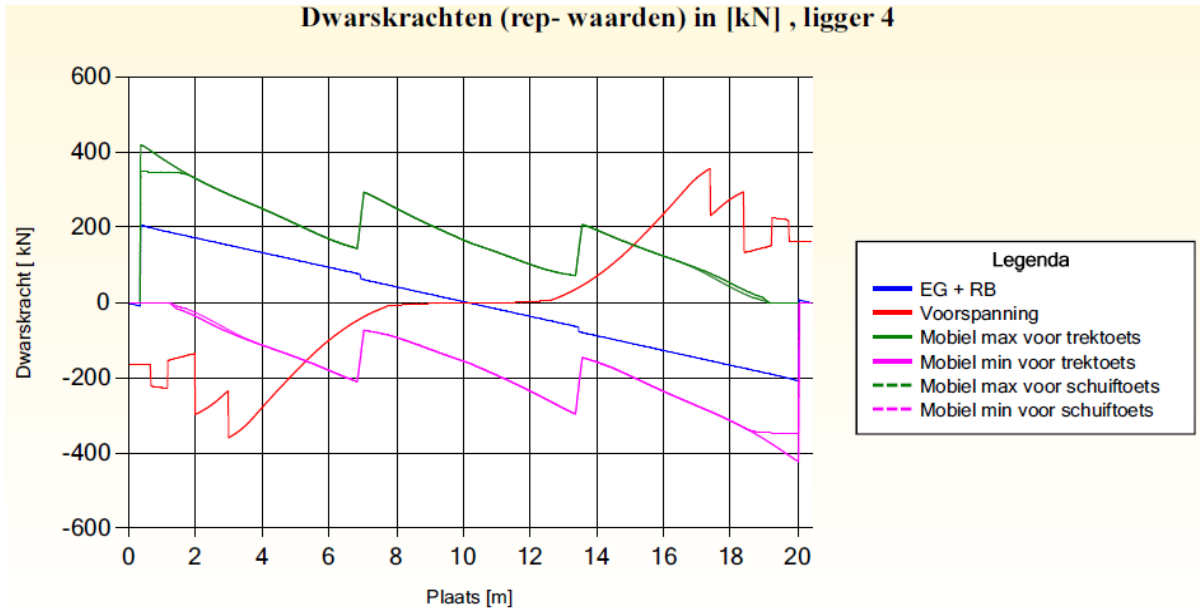
Opvallend is dat door de spreiding van de belasting de liggers een lagere maximale dwarskracht en moment hebben. Daar de door andere belastingoppervaktes ook de liggers anders belast worden.

Bijlage 3 Vergelijken resultaten diverse methoden

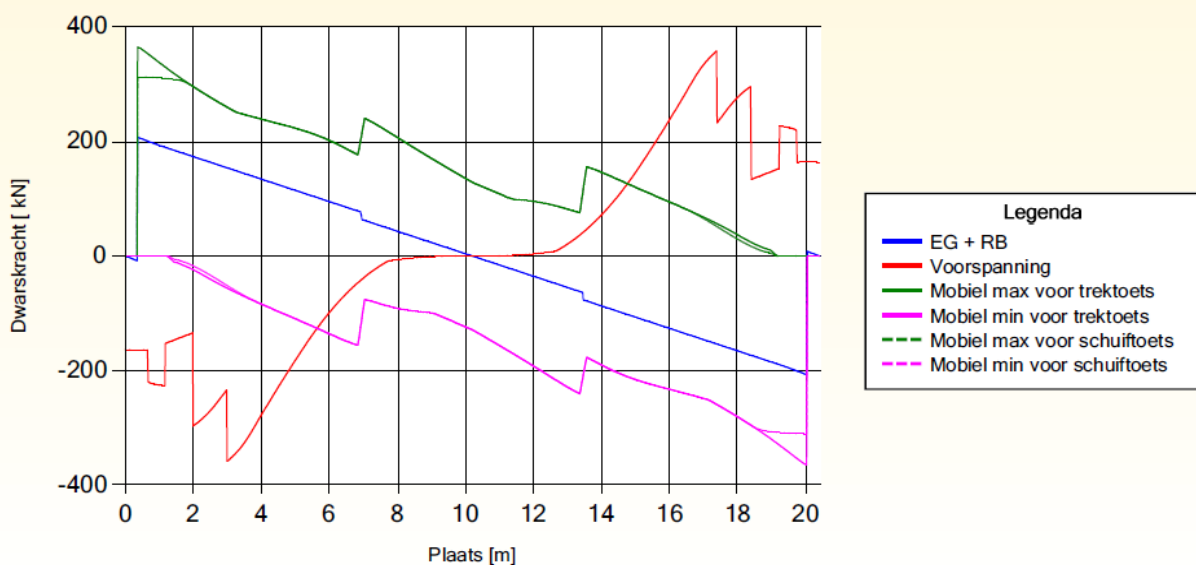
Voor de brug over de Ouderijn, Rotte en Hamersbrug zijn de resultaten van de Quickscan van Movares weergegeven. Deze resultaten worden op het eind van deze bijlage en in het rapport vergeleken met de behaalde resultaten uit de diverse toegepaste methoden.

Resultaten brug Ouderijn

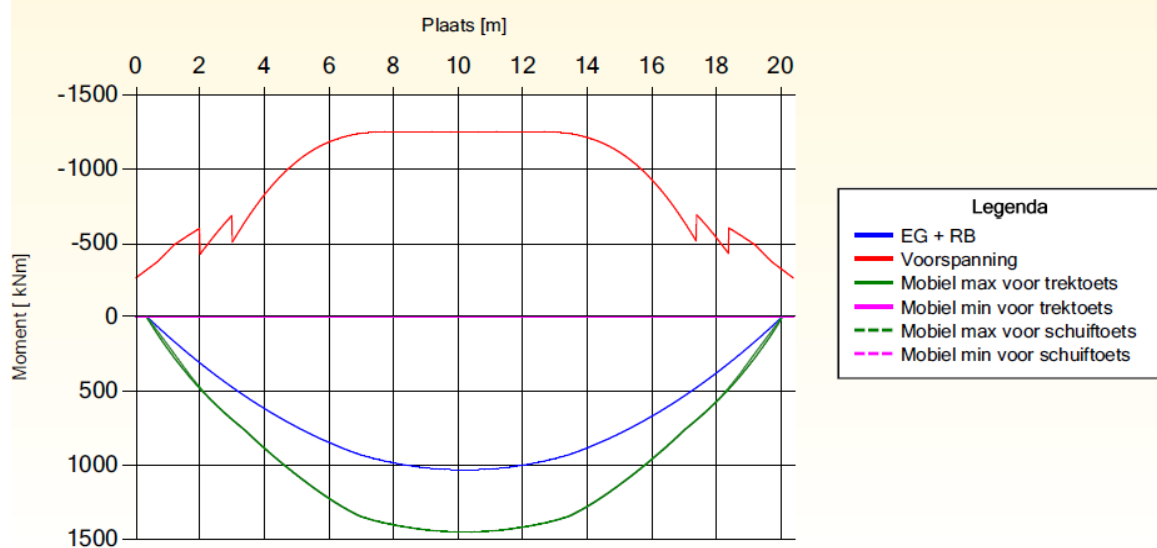
Voor de quickscan van Movares is de belasting positie is onbekend, echter zijn de maximaal omhullende resultaten hier weergegeven. Komend uit de rapportage van Movares.



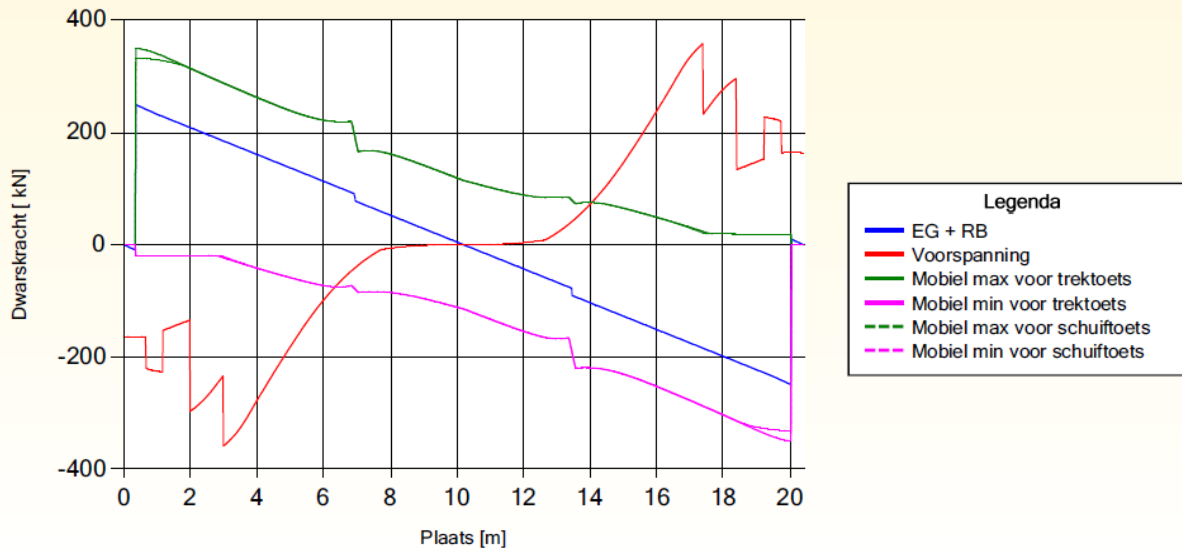
Dwarskrachten (rep- waarden) in [kN] , ligger 5



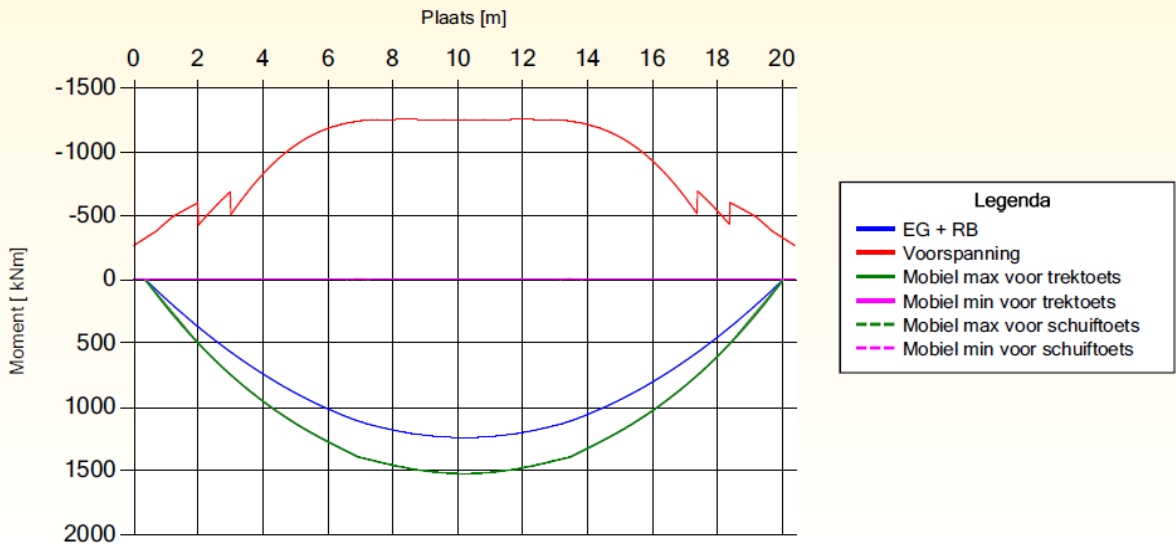
Momenten (rep- waarden) in [kNm], ligger 5



Dwarskrachten (rep- waarden) in [kN] , ligger 6 (rechter randligger)

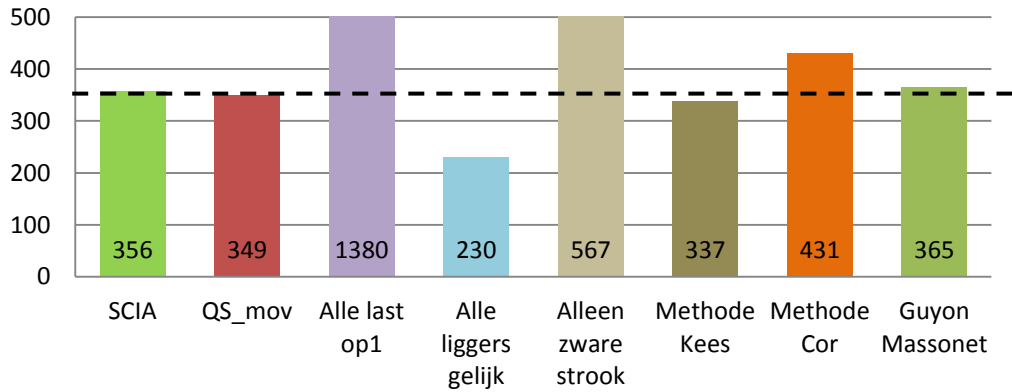


Momenten (rep- waarden) in [kNm], ligger 6 (rechter randligger)

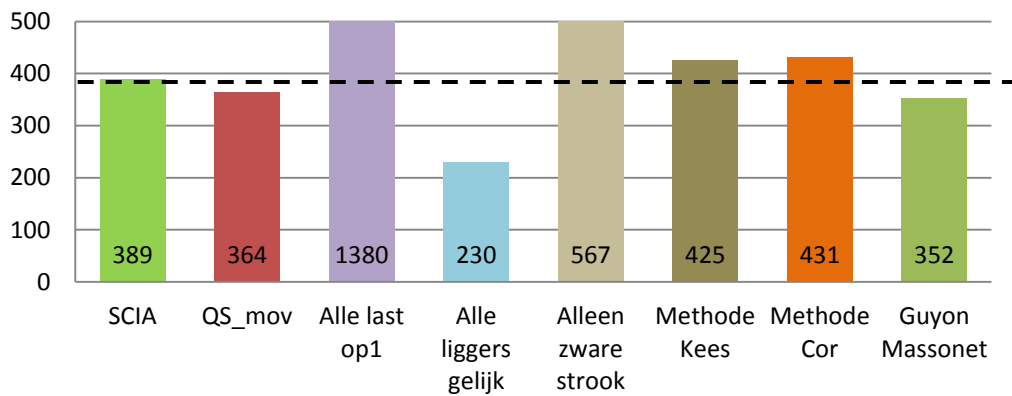


Resultaten brug OudeRijn

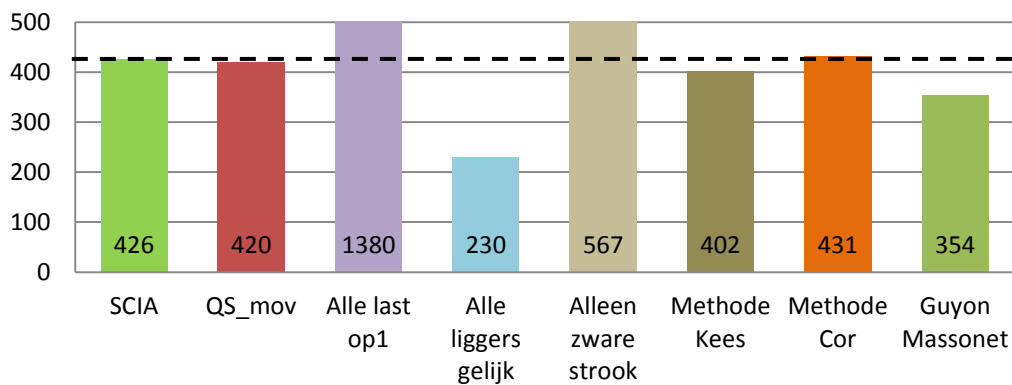
Max dwarskracht (verkeer) ligger 1

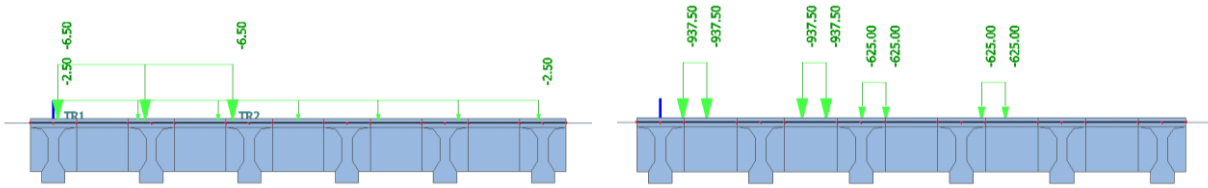


Max dwarskracht (verkeer) ligger 2

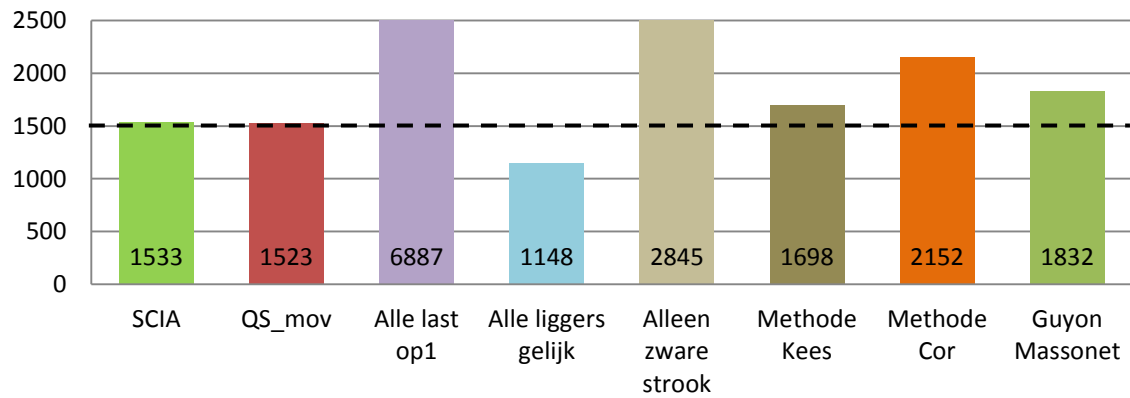


Max dwarskracht (verkeer) ligger 3

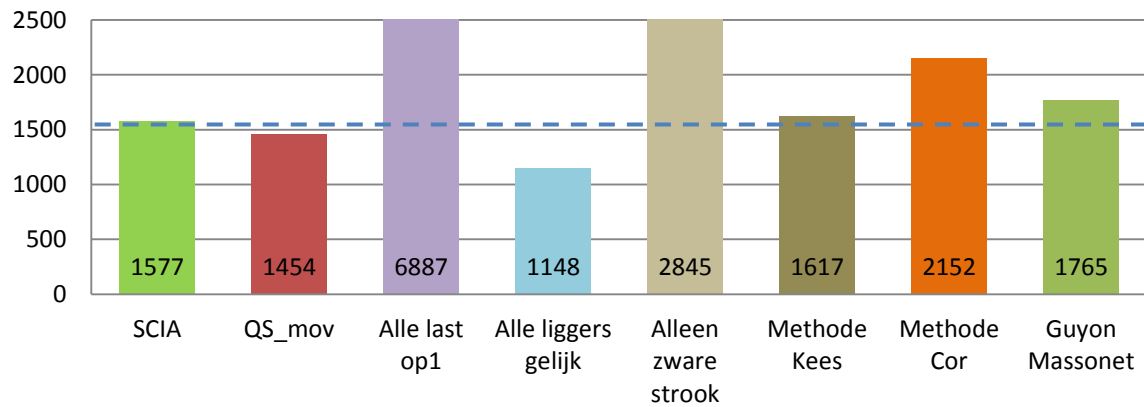




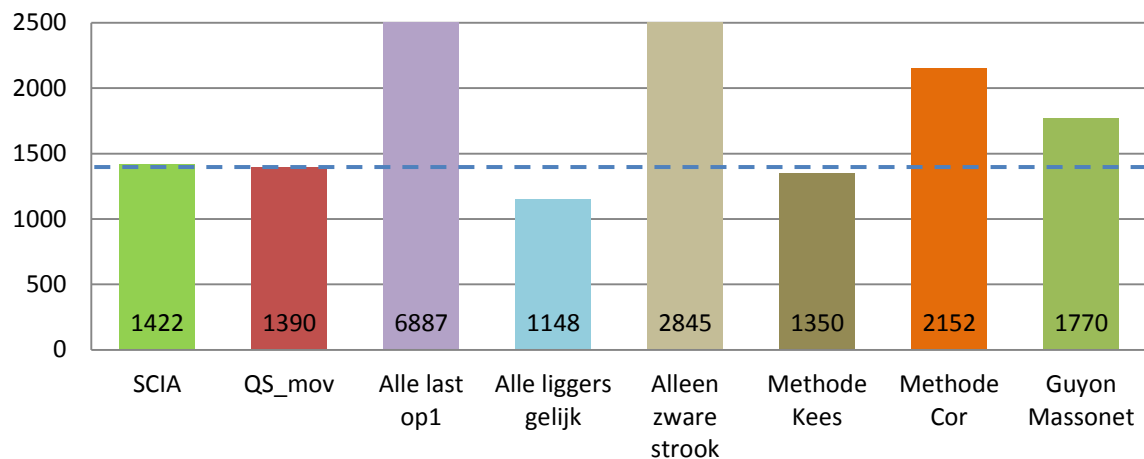
Max moment (verkeer) ligger 1

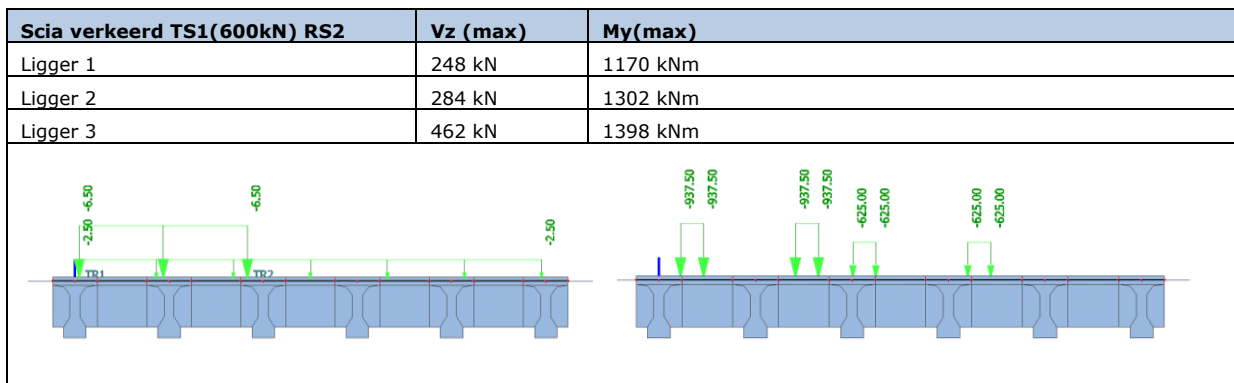
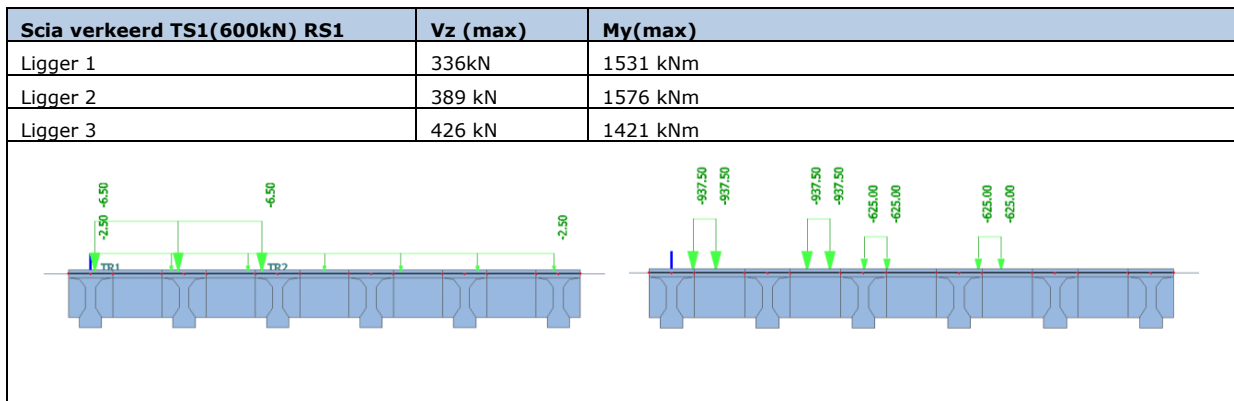


Max moment (verkeer) ligger 2

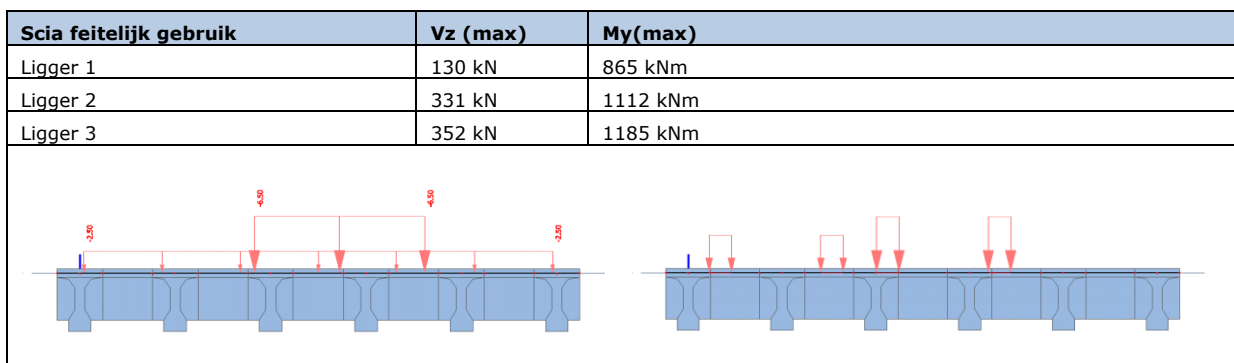


Max moment (verkeer) ligger 3





Maximale waarden voor de belastingposities omgedraaid ook weergegeven om inzichtelijk te maken wat de verschillen tussen de methoden zijn.



Brug over de Rotte

De meest interessante methoden zijn nader uitgewerkt voor brug over de Rotte, dat een viaduct zonder dwarsdragers is.

Opvallend is dat de Methode Kees ook hier in de buurt komt van de SCIA berekening.

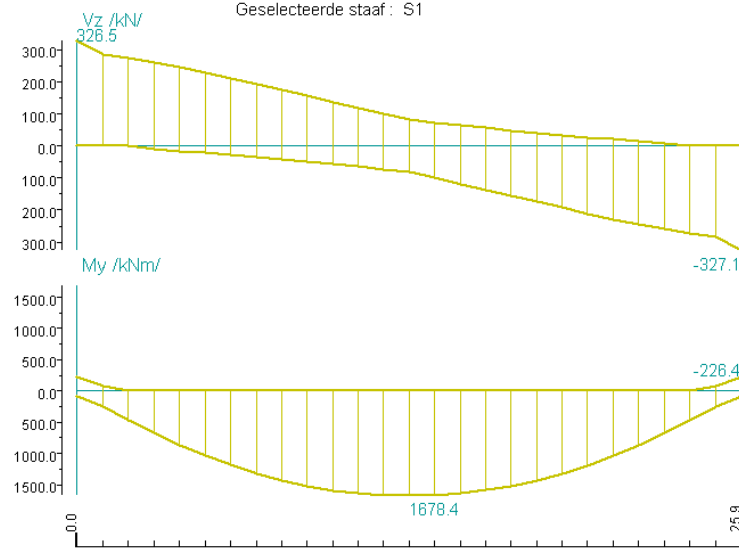
De methode Guyon Massonet komt nu iets verder af van de SCIA berekening, dit komt door dat er geen dwarsdragers aanwezig zijn en de T-ligger minder als een plaat gedragen.

ROTTE	waarde	V1 afw. %	waarde	M1 afw. %	waarde	V2 afw. %	waarde	M2 afw. %	waarde	V3 afw. %	waarde	M3 afw. %
SCIA	314	0	1804	0	401	0	1738	0	431	0	1656	0
QS_mov	269	-14	1551	-14	428	7	1421	-18	401	-7	1370	-17
Methode Kees	320	2	1634	-9	427	6	1692	-3	408	-5	1359	-18
Methode Cor	451	44	2877	59	451	12	2877	66	451	5	2877	74
Guyon Massonet	264	-16	1319	-27	277	-31	1384	-20	288	-33	1455	-12

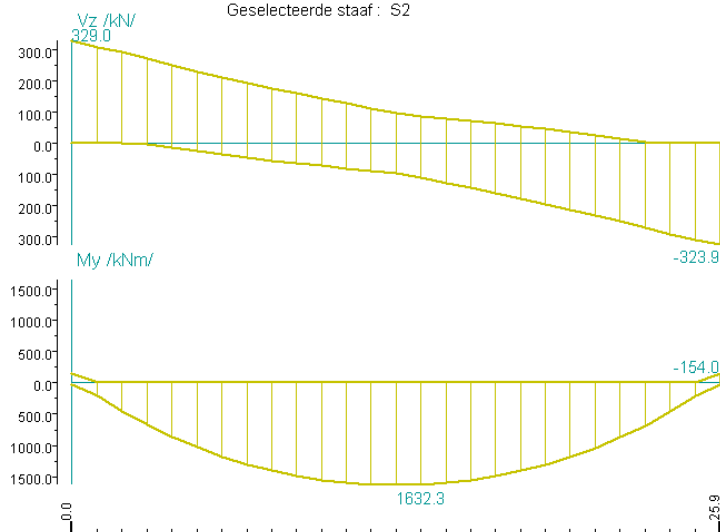
Scia resultaten

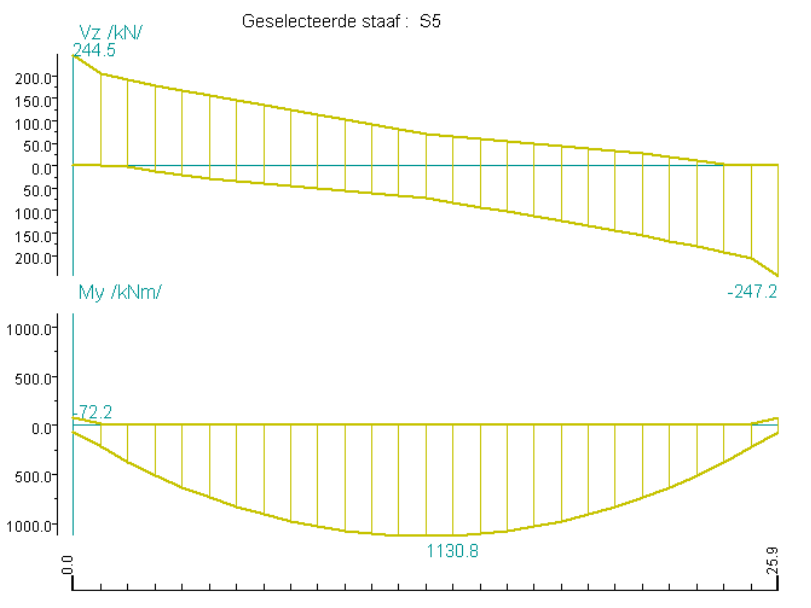
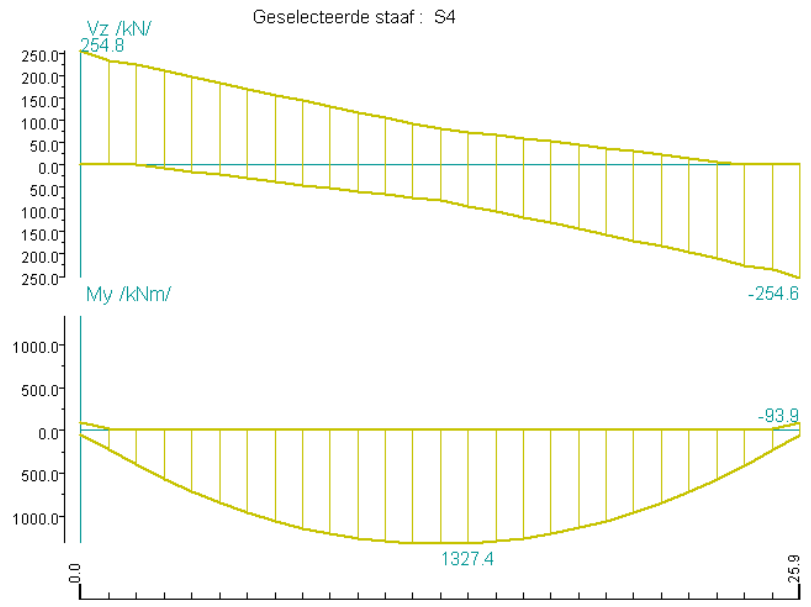
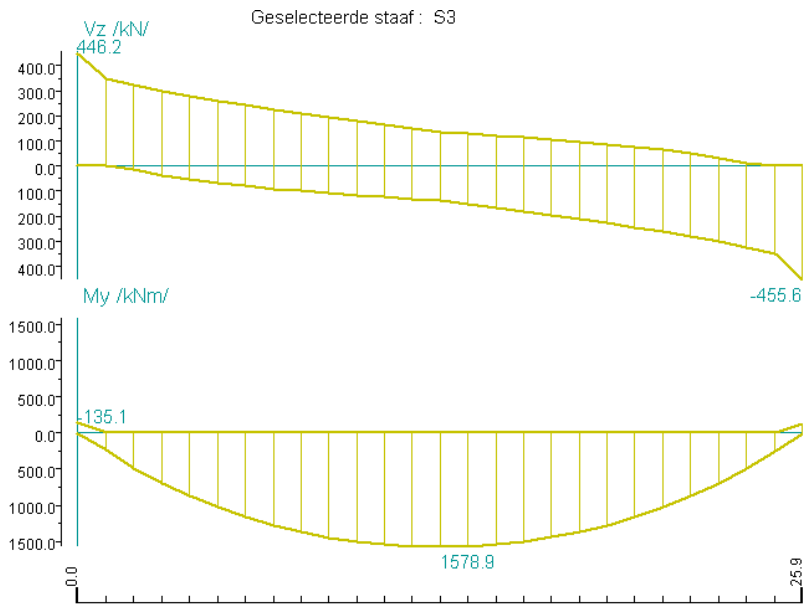
Interne krachten.

Geselecteerde staaf : S1



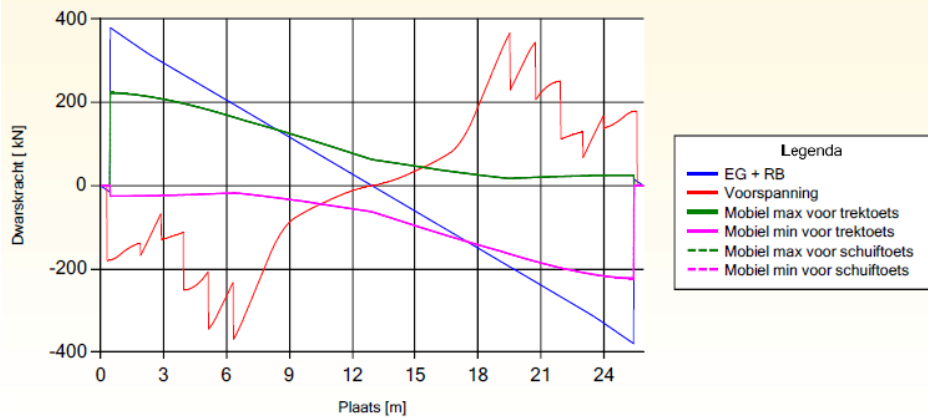
Geselecteerde staaf : S2





Movares resultaten

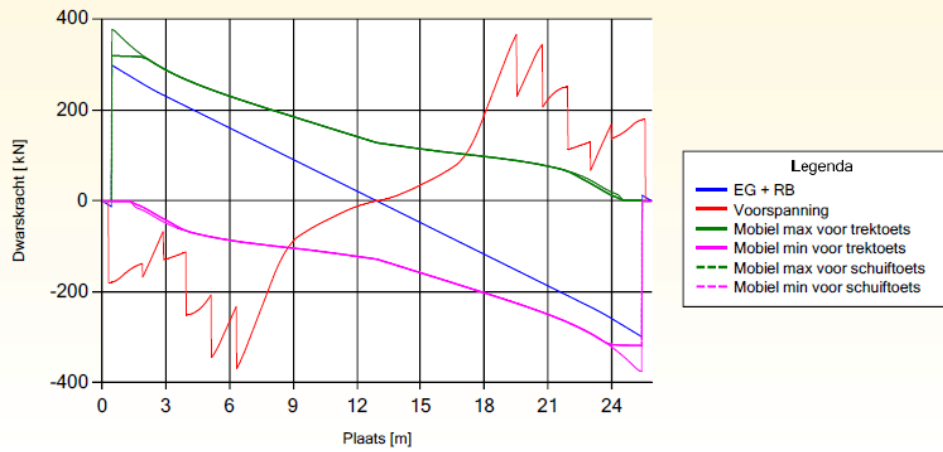
Dwarskrachten (rep- waarden, huidige/ geplande wegingeling) in [kN], ligger 1 (linker randligger)



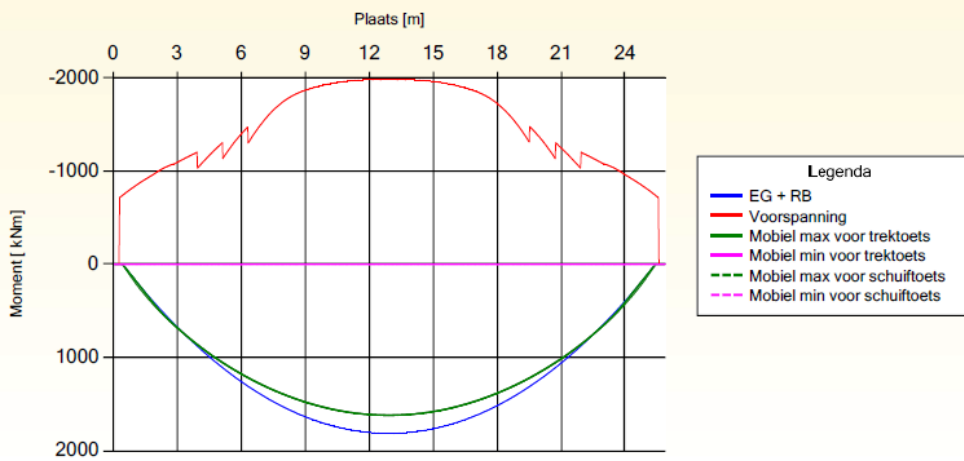
Momenten (rep- waarden, huidige/ geplande wegingeling) in [kNm], ligger 1 (linker randligger)



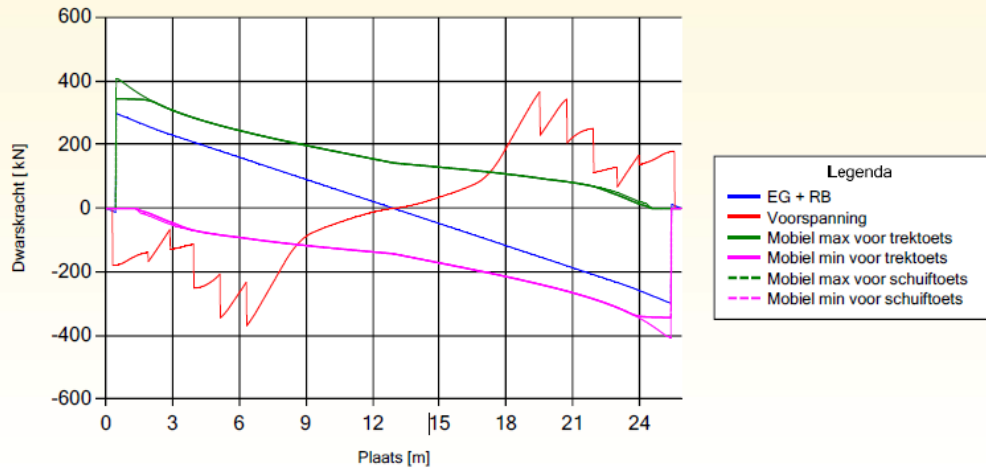
Dwarskrachten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kN] , ligger 2



Momenten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kNm], ligger 2



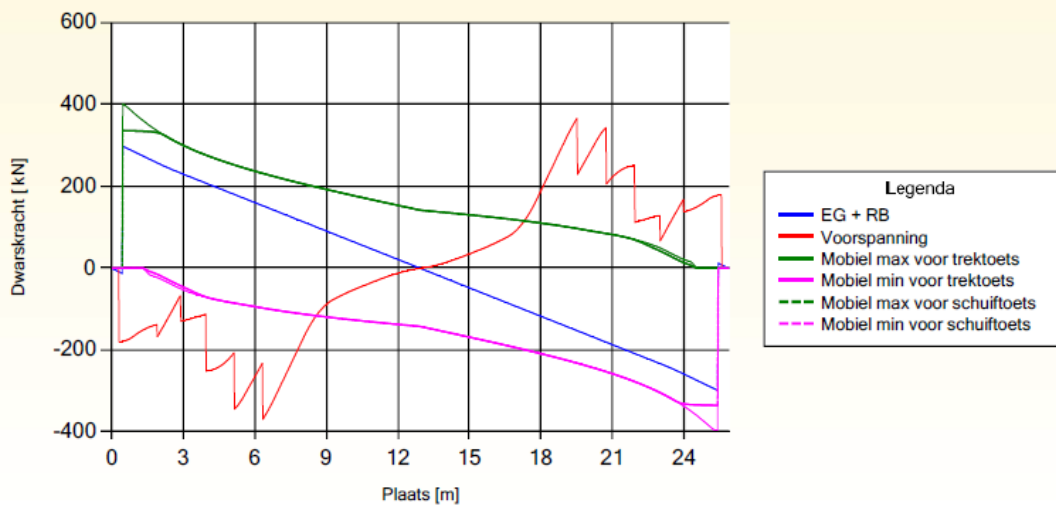
Dwarskrachten (rep- waarden, huidige/ geplande wegingdeling) in [kN] , ligger 3



Momenten (rep- waarden, huidige/ geplande wegingdeling) in [kNm], ligger 3



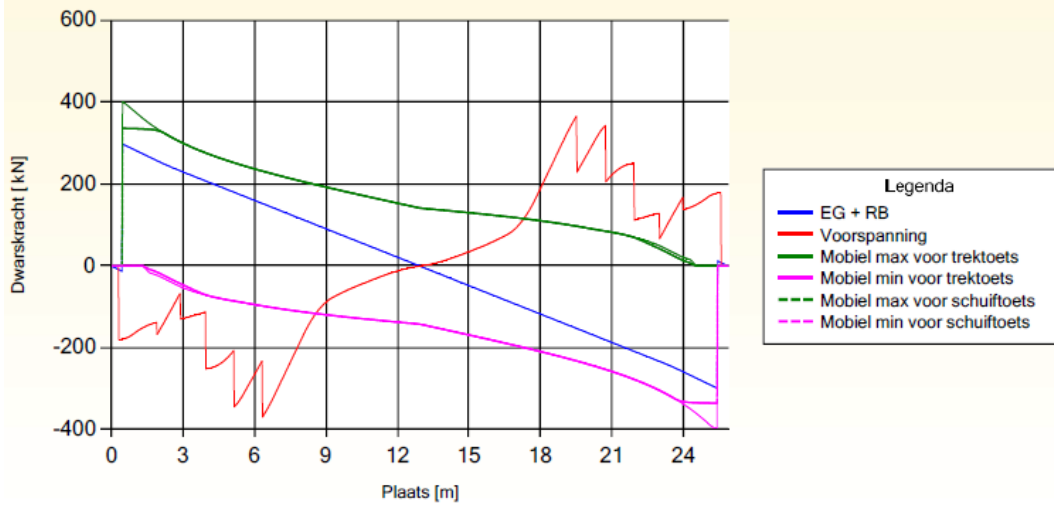
Dwarskrachten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kN] , ligger 4



Momenten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kNm], ligger 4



Dwarskrachten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kN] , ligger 5



Momenten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kNm], ligger 5

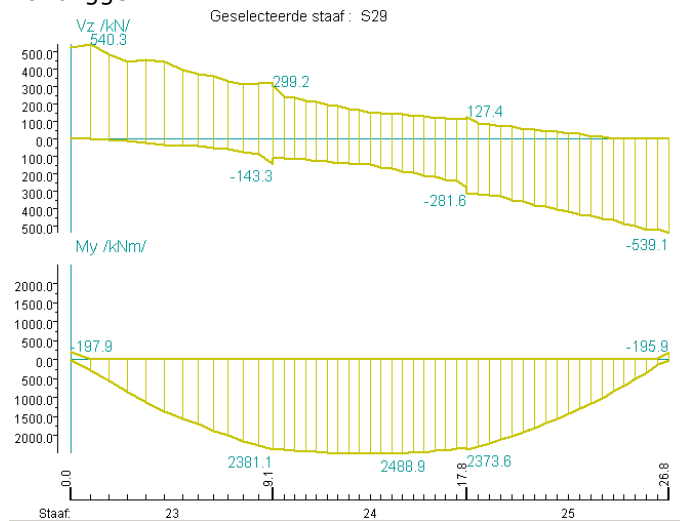


Hamersbrug

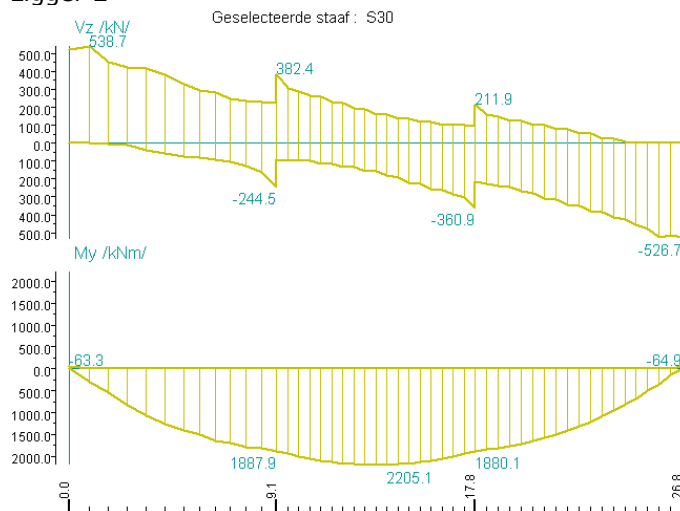
De Hamersbrug is een typische "langere" T-ligger brug, met twee tussendwarsdragers.

Resultaten SCIA berekening

Randligger



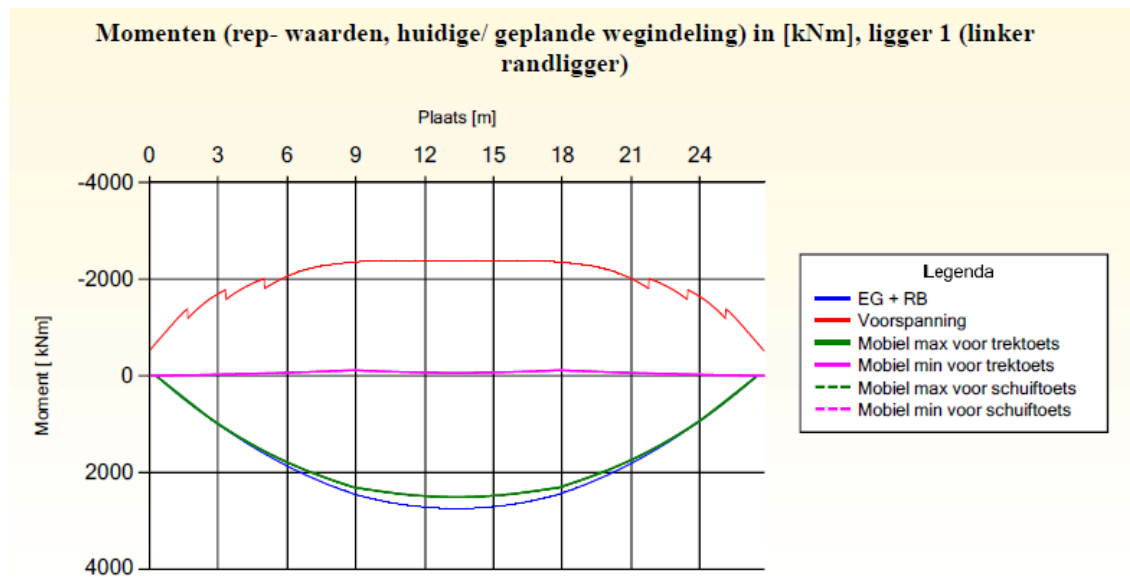
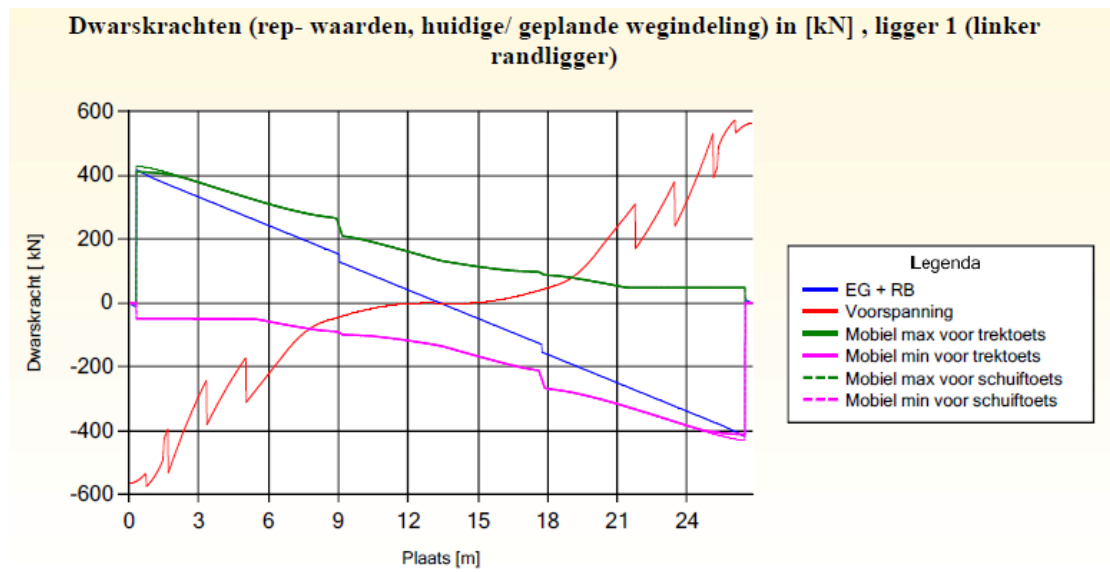
Ligger 2



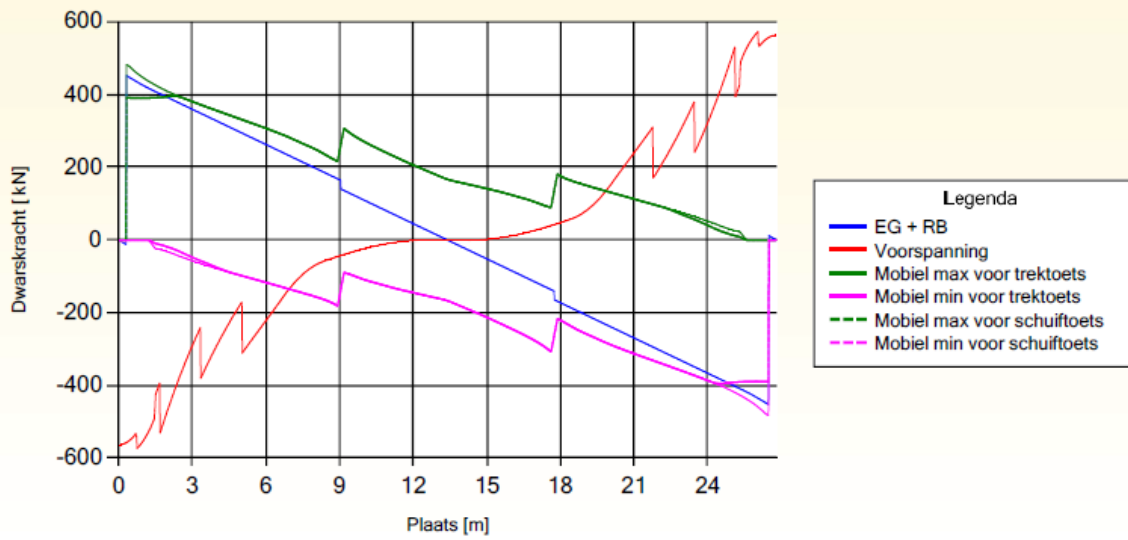
Ligger 3



Resultaten Movares



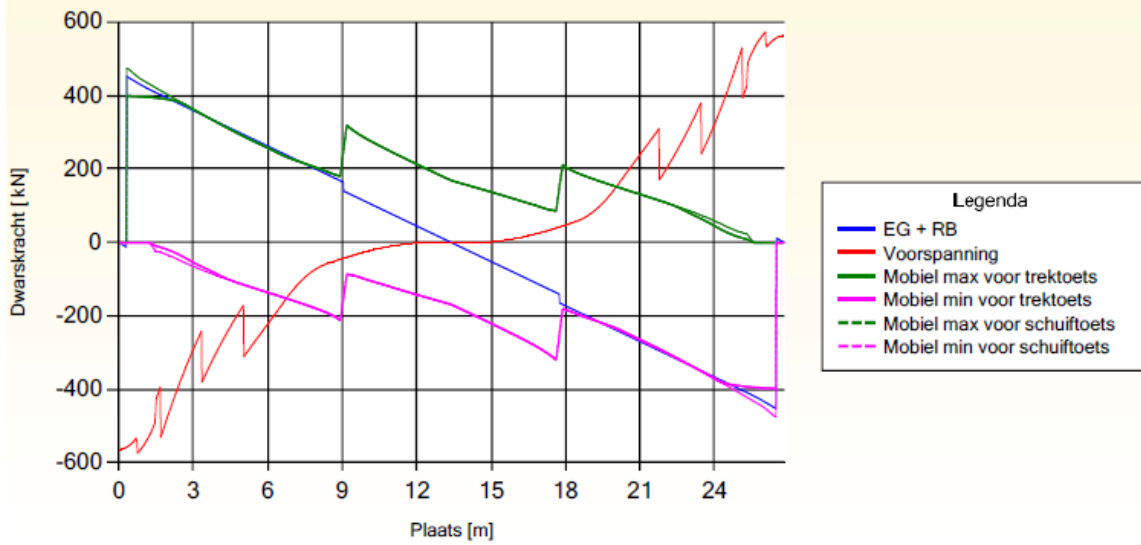
Dwarskrachten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kN] , ligger 2



Momenten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kNm], ligger 2

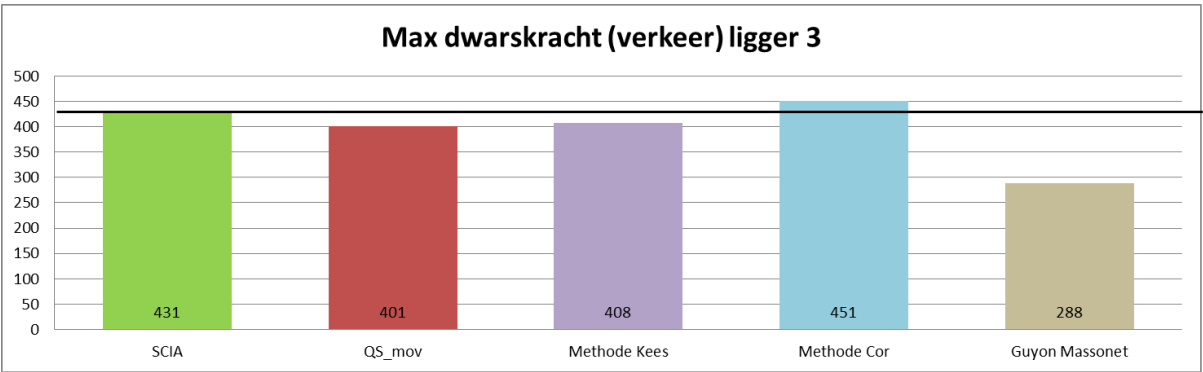
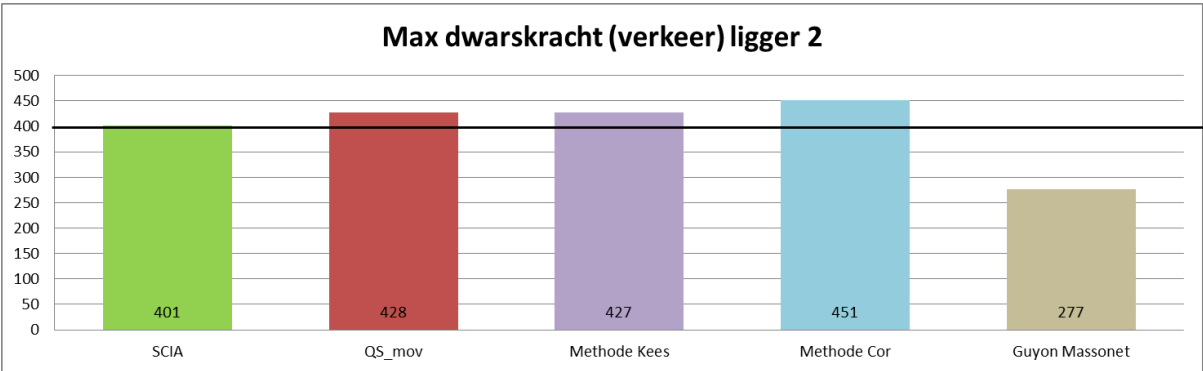
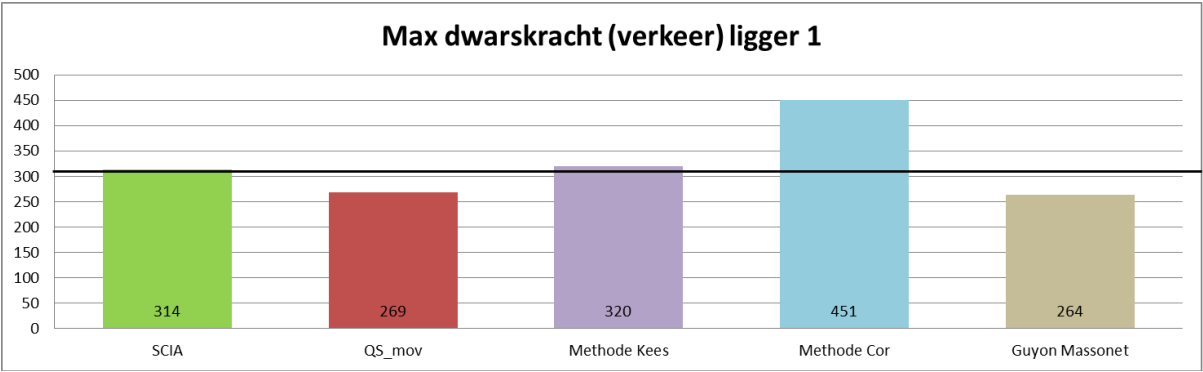


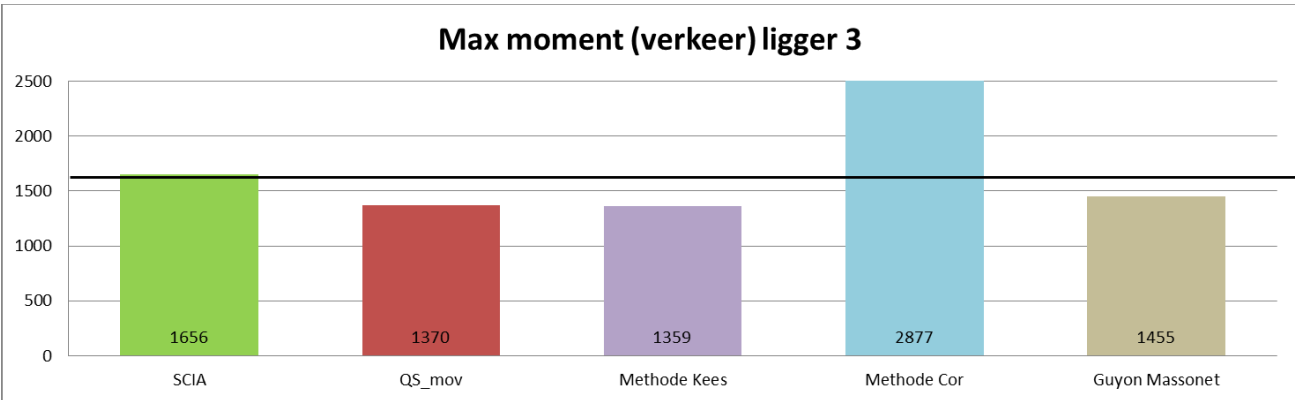
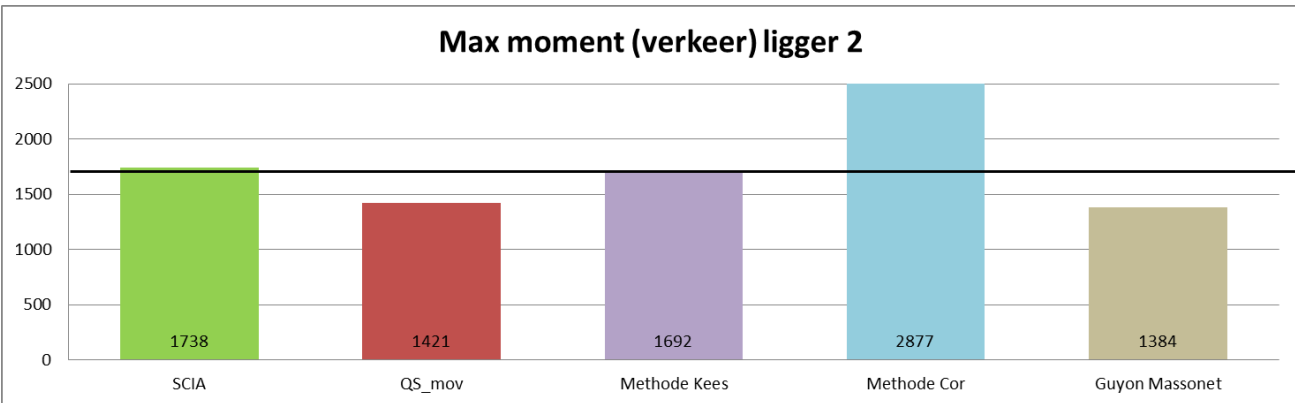
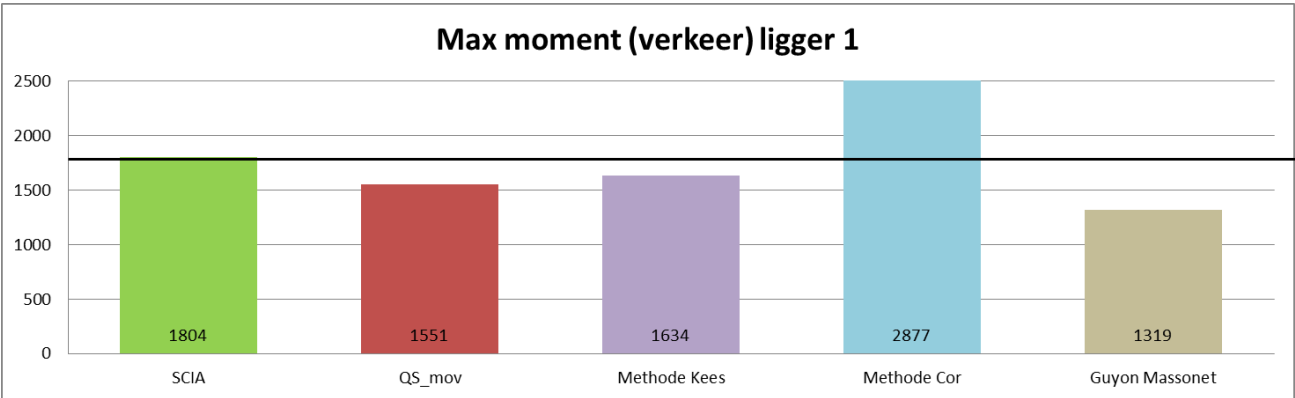
Dwarskrachten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kN] , ligger 3



Momenten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kNm], ligger 3







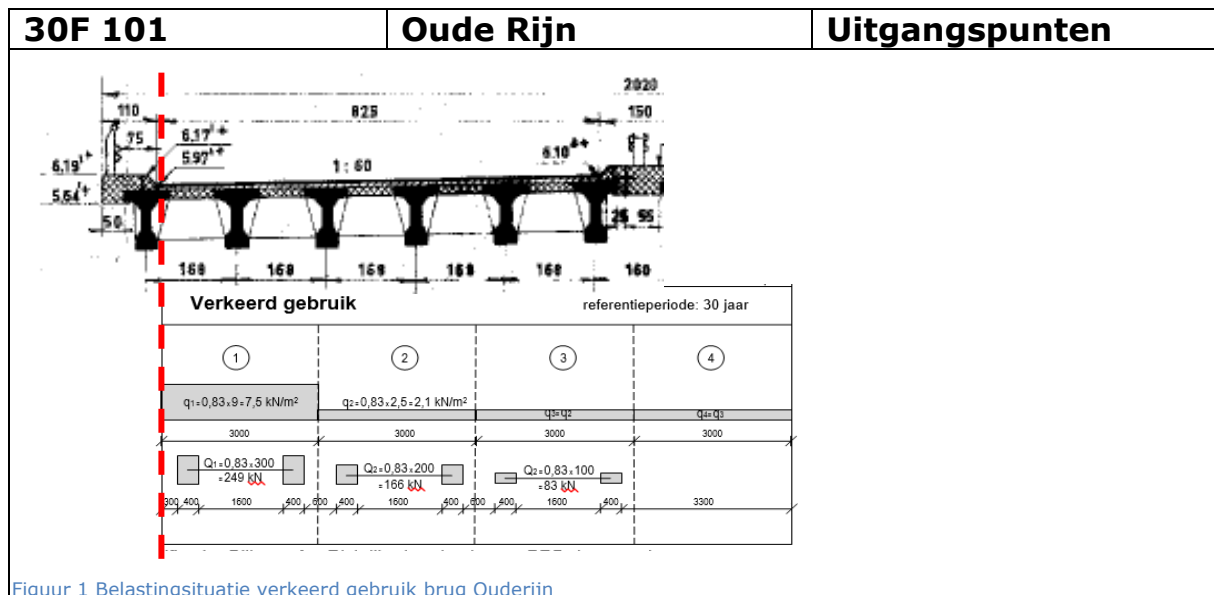
Bijlage 4 Bepalende belastingpositie

Om de te realiseren quickscan te laten werken moet een keuze gemaakt worden of deze alle mogelijke belastingposities voor alle sneden analyseert of of dit op een eenvoudiger (slimmere) manier toe te passen is.

Hiervoor is voor drie bruggen; Ouderijn, Rotte en Hamersbrug de maatgevende belastingpositie van het tandemstelsel weer gegeven.

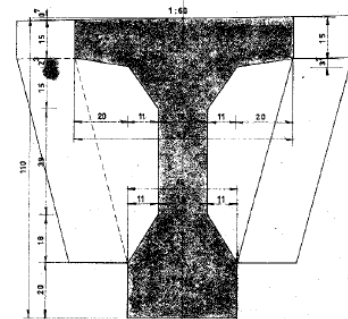
Door voor iedere kritische snede zijn de maatgevend belastingposities bepaald, tot 10% van de maximale waarde. Dit geeft een belastingvlak wat maatgevend is voor de kritische snede.

Opvallend aspect hierin is dat de maatgevende belastingpositie voor TS1, TS2 en TS3 nagenoeg altijd onder een hoek van 30 graden bevind vanaf de gekozen snede.



Figuur 1 Belasting situatie verkeerd gebruik brug Ouderijn

Omschrijving object	Brug over de Oude Rijn
Locatie	In A44
Lengte ligger	20.7 m
Lengte overstek	0.35 m
Lengte oplegblokken	0.30 m
Aantal liggers	6 stuks
H.o.h. afstand liggers	1.68 m
Hoogte ligger	1.10 m
Breedte boven flens	0.80 m
Dikte boven flens	0.16 m
Breedte onderflens	0.40 m
Dikte onderflens	0.20 m
Lengte kopdeel	0.32 m
Lengte overgang lijf-kop	0.50 m
Breedte lijf	0.18 m
Schamkant hart randligger	-0.075 m
Systeem	Statisch bepaald
Kruisingshoek	63.9 gon (57 graden)
Lengte tussenstort	0.88 m
Dikte tussenstort	0.15 m
Aantal dwarsdragers	2
Liggereinde->1 ^e dwarsdrager	6.938 m
1 ^e -> 2 ^e dwarsdrager	6.524 m
Aantal rijstroken	2 stuks
Wegindeling	Verkeerd gebruik
Belastingsfactoren	geen



Figuur 2 Dwarsdoorsnede ligger Ouderijn

Algemeen stuk over Ouderijn

Brug Ouderijn is de afstand tussen de dwarsdragers nagenoeg 6.5 meter en hoh afstand van 1.68 meter. Hierbij moet opgemerkt worden dat dit een vrij "stijf" object is en daardoor gelijkmatig verspreid over de liggers. De gemaakte stappen van de verkeersbelasting zijn 0,5 meter. De RBK omschrijft stappen klein genoeg moeten zijn. De onderstaande matrix geeft overzicht van de belastingsposities voor de aangegeven kritische doorsneden. De gemarkeerde punten hebben een afwijking van 10% van de maximale gevonden waarden voor de kritische punten. Dit geeft een range van de mogelijk te plaatsen punten geeft. De vetgedrukte lijn geeft indicatie van de dwarsbalk.

Dwarskracht (kN) in kritische punten object bij belastingspositie													
TS 1 RS 1	Afstand last hart opl.	Ligger 1				Ligger 2				Ligger 3			
		0m	1.35m	2m	3m	0m	1.35m	2m	3m	0m	1.35m	2m	3m
49	0	146	35	-3	-5	150	45	0	-13	109	26	4	8
48	0.5	182	81	21	-11	206	82	17	-19	138	58	11	-14
47	1	238	111	40	-6	249	118	46	-15	176	80	26	-12
46	1.5	214	140	94	18	237	150	89	0	158	100	62	2
45	2	190	167	132	38	209	172	129	29	138	119	89	17
44	2.5	182	164	155	89	199	173	154	68	130	115	105	52
43	3	179	162	177	123	185	165	170	105	123	111	119	75
42	3.5	173	156	172	144	176	156	167	128	117	104	114	91
41	4	170	151	169	164	164	143	158	143	112	98	109	104
40	4.5	165	147	164	159	154	135	149	140	106	93	103	96
39	5	161	144	160	156	142	125	138	131	101	89	98	94
38	5.5	156	140	155	150	133	118	130	124	96	84	93	88
37	6	152	136	151	146	123	109	120	115	91	80	88	84
36	6.5	146	131	146	141	116	103	114	109	87	76	74	79
35	7	141	127	141	137	109	96	106	102	82	73	80	75
34	7.5	135	122	135	131	103	91	100	96	79	69	76	72
33	8	130	117	130	126	97	85	94	90	75	66	72	68
32	8.5	124	112	124	121	91	81	89	85	71	63	68	64
31	9	118	107	119	116	86	86	84	80	67	59	65	61
30	9.5	113	101	113	110	81	72	79	76	64	56	61	58

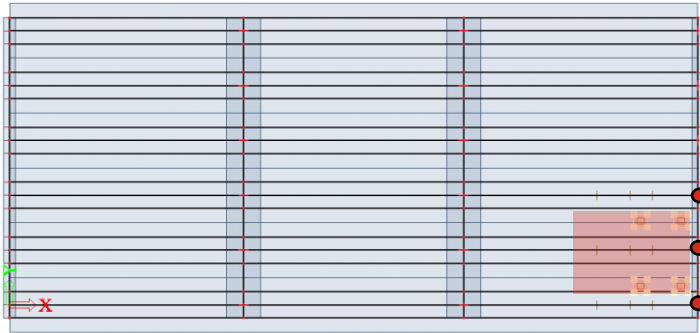
Tandemstelsel 1 op rijbaan 1

De posities van de tandemstelsels zijn grofweg geplaatst naar de invloed van de belastingsposities. Zoals zichtbaar in bovenstaande matrix zijn er soms kleine verschillen in belastingsstappen echter omdat de verschillen klein zijn worden de stappen als geheel weergegeven. De verschillen van belastingpositie tussen de liggers zijn klein doordat de afstand van TS1 gelijk is aan de liggers.

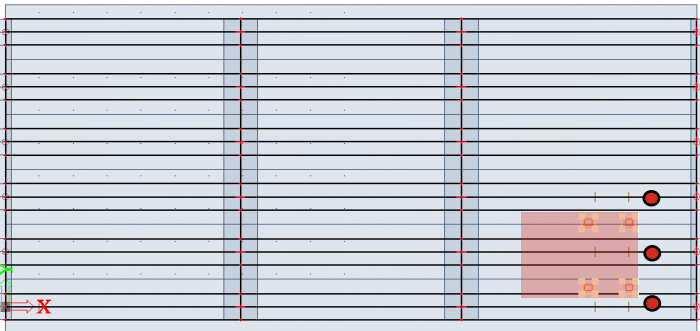
Belangrijk op te merken is dat de afstanden van de kritische punten niet gelijk zijn waardoor enkele belastingstappen een kleinere of grotere afstand vanaf kritische punt heeft. Hierbij moet rekening gehouden worden bij de afstanden.

De rode stippen in de figuren geven de locaties van de kritische punten weer. Daar de rode vlakken de positie van het tandemstelsel weergeven waarvoor de maximale waarden zijn gevonden voor de kritische punten.

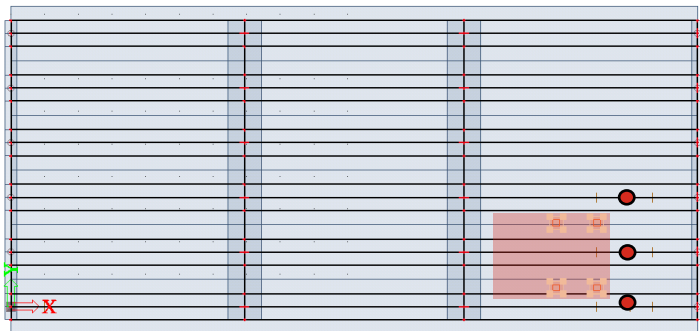
0 meter punt, alle liggers



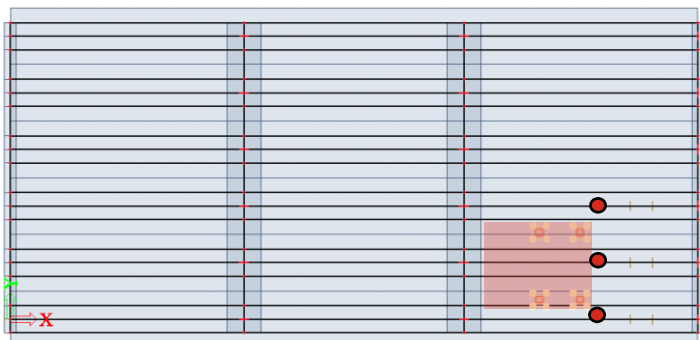
1.35 meter punt, alle liggers



2 meter punt voor grofweg alle liggers



3 meter punt voor alle liggers

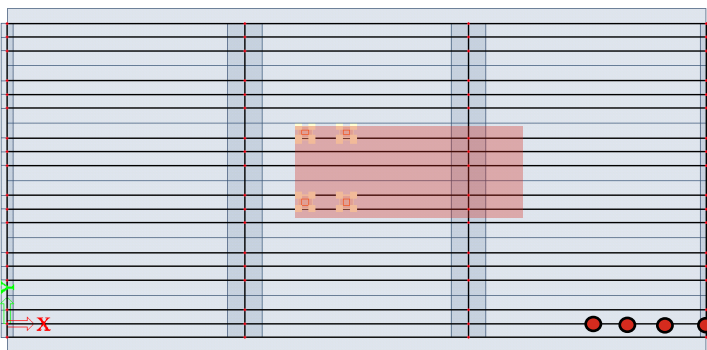


Tandemstelsel 2 op rijbaan 2

Dwarskracht (kN) in kritische punten object bij belastingspositie													
TS 2 RS 2	Afstand last hart opl.	Ligger 1				Ligger 2				Ligger 3			
		0 m	1.35 m	2 m	3 m	0 m	1.35 m	2 m	3 m	0 m	1.35 m	2 m	3 m
51	0	4	3	3	3	7	6	6	4	116	24	-14	-13
50	0.5	6	5	6	5	12	10	10	8	143	55	-2	-23
49	1	9	8	8	8	18	15	14	11	168	77	16	-24
48	1.5	12	10	11	10	23	19	19	15	167	90	42	-12
47	2	14	12	13	12	28	23	23	19	127	108	78	3
46	2.5	17	15	16	14	32	27	27	22	113	102	92	36
45	3	19	17	18	16	35	30	31	26	102	92	102	61
44	3.5	22	19	20	18	38	33	34	29	94	84	95	74
43	4	24	20	22	20	40	35	37	32	85	76	86	85
42	4.5	26	22	24	21	42	37	39	35	78	69	78	78
41	5	27	24	25	23	44	38	40	37	71	63	71	70
40	5.5	29	25	26	24	44	39	42	38	65	58	64	63
39	6	30	26	28	25	45	39	42	39	60	53	59	57
38	6.5	31	27	28	26	44	39	42	40	55	48	54	52
37	7	31	27	29	26	44	38	42	40	51	44	49	47
36	7.5	32	27	29	27	43	37	41	39	47	41	45	43
35	8	32	27	29	27	41	36	40	38	43	28	42	40
34	8.5	31	27	29	27	40	35	39	37	40	35	39	37
33	9	31	27	29	27	38	34	37	36	37	33	36	34
32	9.5	31	27	29	26	37	32	36	34	35	31	34	32
31	10	30	26	28	26	35	31	34	32	33	29	31	30
30	10.5	29	25	27	25	33	29	32	30	31	27	29	28
29	11	28	24	26	24	31	27	30	29	29	25	27	26

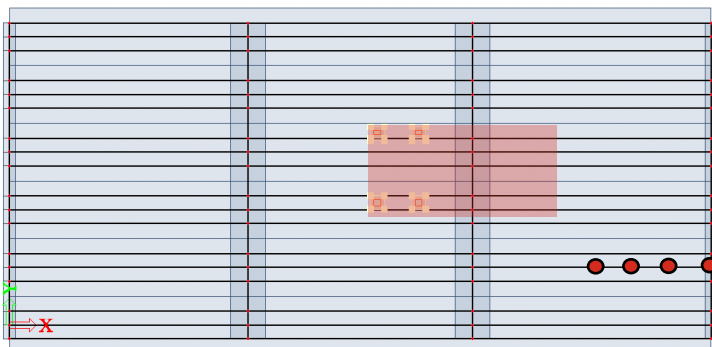
Positie van TS2 voor alle punten ligger 1.

De invloed van de dwarsdrager voor dwarskracht is zichtbaar aanwezig, door het grote rode gebied, waar de belasting aanwezig kan zijn om de maximale waarden bij de kritische punten weer te geven.



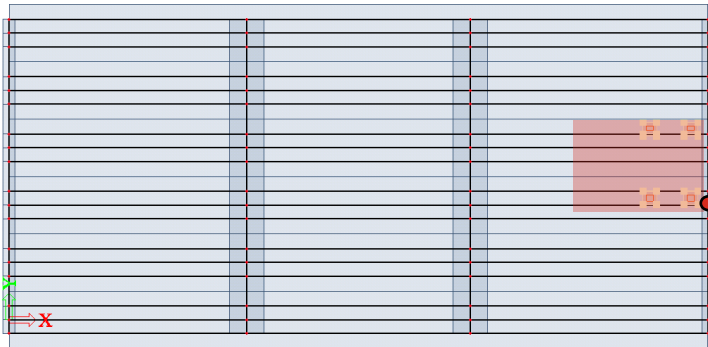
Positie van TS2 voor alle punten ligger 2

Door de invloed van de dwarsdragers is de spreiding meer gelijkmatig verdeeld.

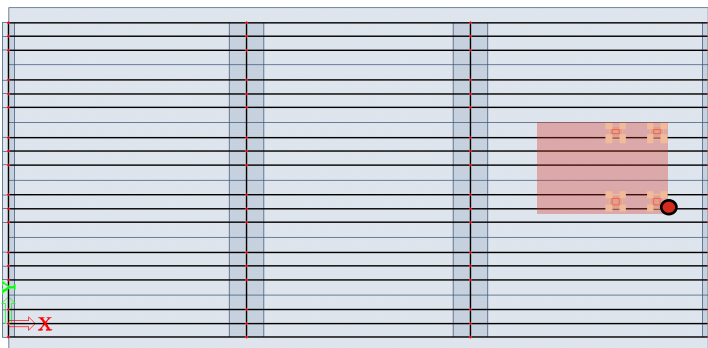


Positie van TS2 voor punt 0m ligger 3

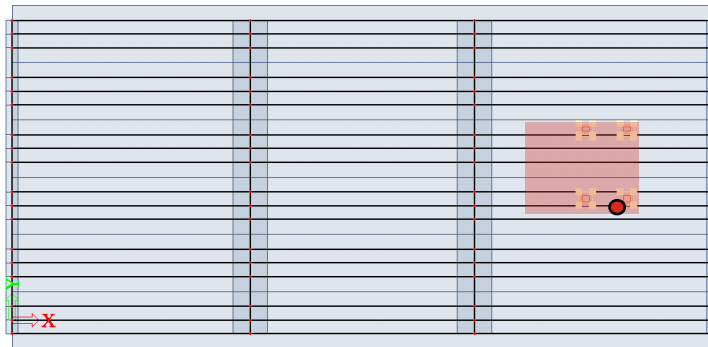
De afstand van belasting is bij alle kritische punten is overal ongeveer hetzelfde. De invloed van TS2 voor ligger 3 is groot omdat de afstand tot de punten klein is.



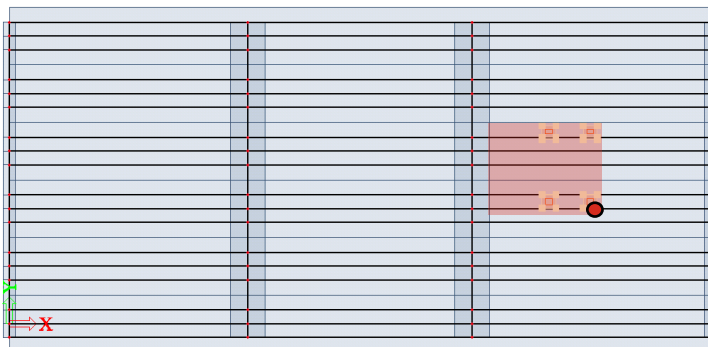
Positie van TS2 voor punt 1.35m ligger 3



Positie van TS2 voor punt 2m ligger 3



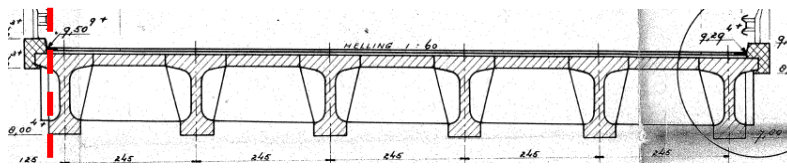
Positie van TS2 voor punt 3m ligger 3



44D 117

Hamersbrug

Uitgangspunten



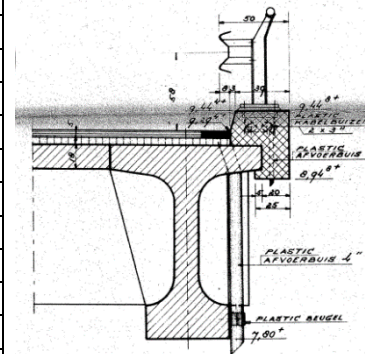
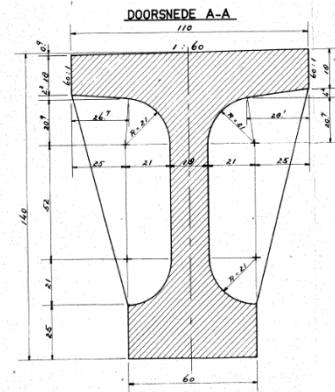
Verkeerd gebruik

referentieperiode: 30 jaar

1	2	3	4
$q_1 = 0,83 \times 9 = 7,5 \text{ kN/m}^2$	$q_2 = 0,83 \times 2,5 = 2,1 \text{ kN/m}^2$	$q_3 = q_2$	$q_4 = q_3$
3000	3000	3000	3000
$Q_1 = 0,83 \times 300 = 249 \text{ kN}$	$Q_2 = 0,83 \times 200 = 166 \text{ kN}$	$Q_3 = 0,83 \times 100 = 83 \text{ kN}$	
300 400 1600 500 400	400 1600 400 500	1600 500	3300



Omschrijving object	Brug over het Wilhelminkanaal
Locatie	In A59
Lengte ligger	26.80 m
Lengte overstek	0.30 m
Lengte oplegblokken	0.30 m
Aantal liggers	6 stuks
Hoh afstand liggers	2.45 m
Hoogte ligger	1.40 m
Breedte boven flens	1.10 m
Dikte boven flens	0.18 m
Breedte onderflens	0.60 m
Dikte onderflens	0.25 m
Lengte kopdeel	0.425 m
Lengte overgang lijf-kop	0.75 m
Breedte lijf	0.18 m
Schamkant hart randligger	-0.35 m
Systeem	Statisch bepaald
Kruisingshoek	100 gon (90 graden)
Lengte tussenstort	1.35 m
Dikte tussenstort	0.18 m
Aantal dwarsdragers	2
Liggereinde->1 ^e dwarsdrager	9.05 m
1 ^e -> 2 ^e dwarsdrager	8.70 m
Aantal rijstroken	3 stuks
Wegindeling	Verkeerd gebruik
Belastingsfactoren	geen



Algemeen stuk over Hamerbrug

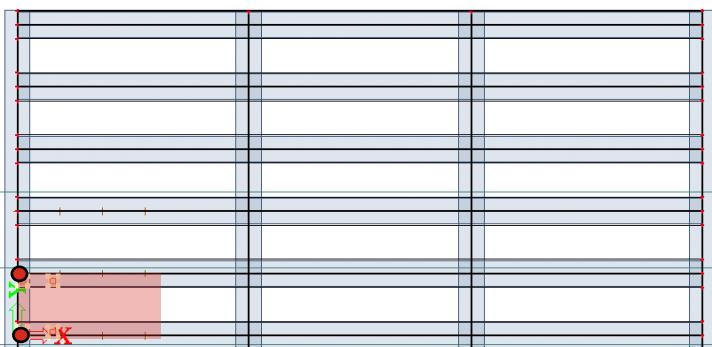
De Hamerbrug is als "extra" object gekozen omdat dit een typisch T-ligger object is qua hart op hart afstand en maatvoering. De afstand tussen de dwarsdragers nagenoeg 9 meter en hoh afstand van 2.45 meter. De gemaakte stappen van de verkeersbelasting zijn 1 meter. De RBK omschrijft stappen klein genoeg moeten zijn. De onderstaande matrix geeft overzicht van de belastingsposities voor de aangegeven kritische doorsneden. De gemarkeerde punten hebben ongeveer 10% afwijking van de maximale gevonden waarden voor de kritische punten. Wat een range van de mogelijk te plaatsen punten geeft. De vetgedrukte lijn geeft indicatie van de dwarsbalk.

Tandemstelsel 1 op rijbaan 1

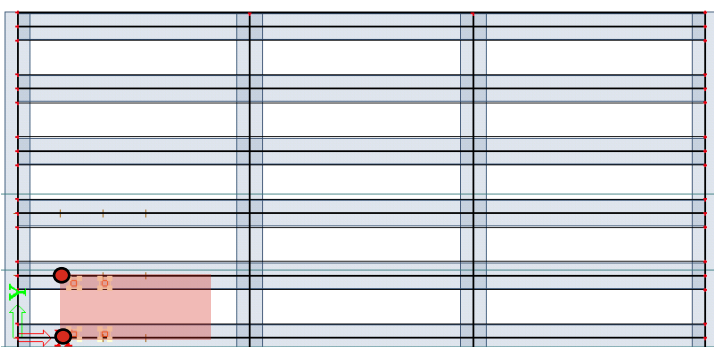
Dwarskracht (kN) in kritische punten object bij belastingspositie													
TS1 RS1	Afstand last hart opl.	Ligger 1				Ligger 2				Ligger 3			
		0m	1.68m	3.34m	5.01m	0m	1.68m	3.34m	5.01m	0m	1.68m	3.34m	5.01m
6	0	201	43	-12	-12	164	32	-15	-13	10	10	7	5
7	1	302	153	-23	-26	247	119	-29	-31	22	22	17	12
8	2	245	241	47	-40	192	191	24	-48	33	35	29	20
9	3	227	254	173	-31	172	195	129	-47	42	46	41	29
10	4	212	241	243	42	156	180	186	12	50	55	52	40
11	5	197	226	233	163	141	163	173	112	56	62	61	51
12	6	197	226	233	163	141	163	173	112	56	62	61	51
13	7	171	198	204	206	116	134	142	142	63	71	72	67
14	8	158	184	190	193	106	122	129	129	65	73	75	71
15	9	146	171	177	180	97	111	117	117	64	73	75	72
16	10	135	159	164	167	89	102	107	106	63	72	74	72
17	11	124	147	152	154	81	94	99	98	60	69	71	70
18	12	114	135	140	142	75	86	91	89	57	66	68	67
19	13	104	124	129	130	69	79	83	82	54	62	64	63
20	14	94	113	117	119	63	72	76	75	50	57	59	58
21	15	85	102	106	108	57	66	70	89	46	53	54	54
22	16	76	92	96	97	52	60	64	63	42	48	49	48

De afstand van de tandemstelsels is voor ligger 1 & 2 nagenoeg gelijk. Dit komt door de indeling van de liggers in combinatie met de rijstrookindeling

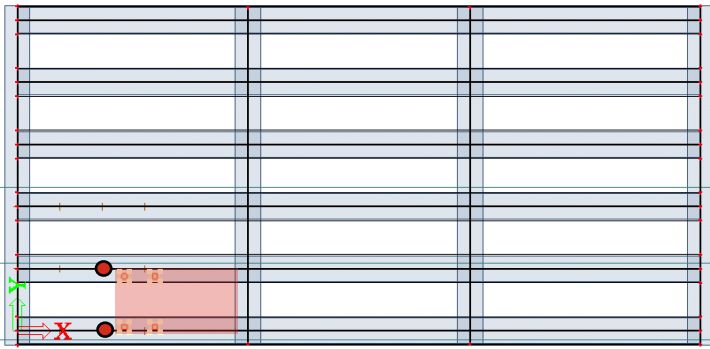
Positie van TS1 voor punt 0m ligger 1 & 2



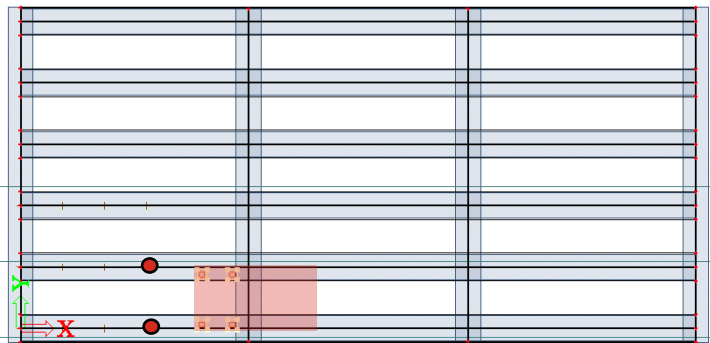
Positie van TS1 voor punt 1.68m ligger 1 & 2



Positie van TS1 voor punt 3.34m ligger 1 & 2

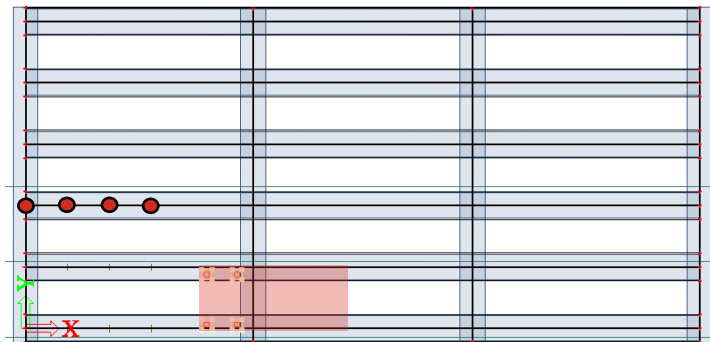


Positie van TS1 voor punt 5.01m ligger 1 & 2



Positie van TS1 voor gehele ligger 3

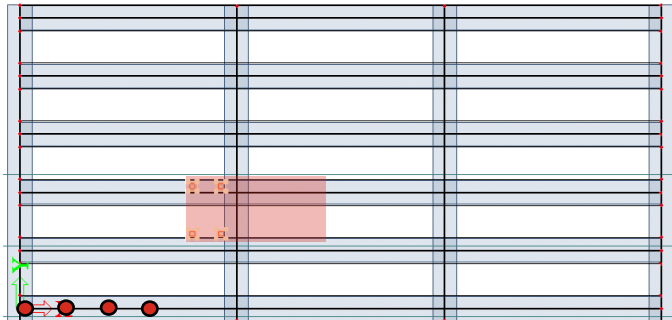
De maximale waarden voor ligger 3 ten gevolge van TS1 worden gevonden voor de posities rondom de dwarsdragers.



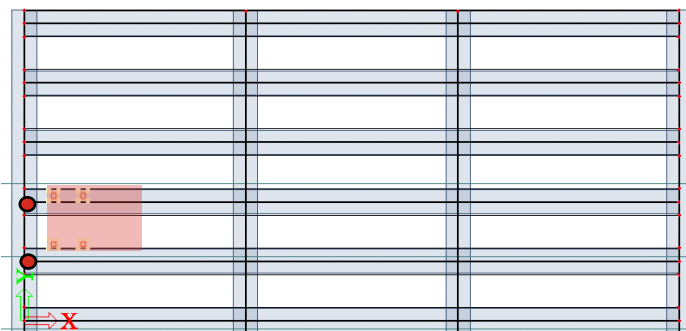
Tandemstelsel 2 op rijbaan 2

Dwarskracht (kN) in kritische punten object bij belastingspositie													
TS2 RS2	Afstand last hart opl.	Ligger 1				Ligger 2				Ligger 3			
		0m	1.68m	3.34m	5.01m	0m	1.68m	3.34m	5.01m	0m	1.68m	3.34m	5.01m
5	0	7	7	6	5	82	18	-6	-7	130	25	-16	-15
6	1	15	16	14	12	124	63	-10	-17	195	90	-31	-33
7	2	23	24	22	19	102	101	16	-26	147	144	6	-52
8	3	30	32	31	26	91	103	66	-23	123	142	86	-56
9	4	36	39	38	34	84	96	96	8	107	125	128	-12
10	5	41	45	45	42	76	87	92	57	90	106	115	64
11	6	46	51	51	48	68	79	83	77	76	89	96	92
12	7	49	55	55	53	61	71	75	75	64	75	80	83
13	8	51	57	58	56	56	54	68	68	54	64	67	69
14	9	52	58	59	58	50	58	61	61	46	54	57	57
15	10	50	57	58	58	41	48	51	51	35	41	43	42
16	11	48	55	56	56	38	44	46	46	31	36	37	37
17	12	46	52	53	53	34	40	42	42	27	32	33	33
18	13	43	49	50	50	31	36	38	38	25	29	30	29
19	14	39	45	47	47	28	33	34	34	22	26	27	26
20	15	36	42	43	43	25	29	31	31	20	23	24	24
21	16	33	38	39	39	23	26	28	27	18	21	22	21

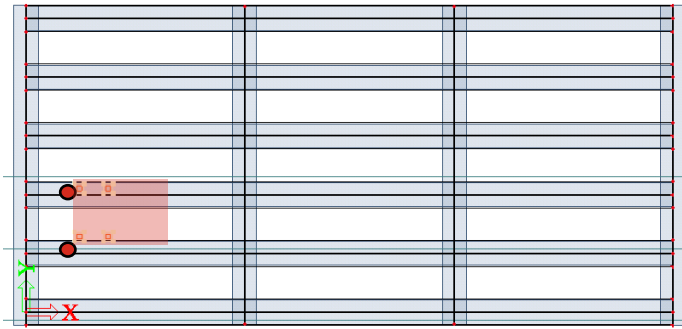
Positie van TS2 voor alle punten ligger 1



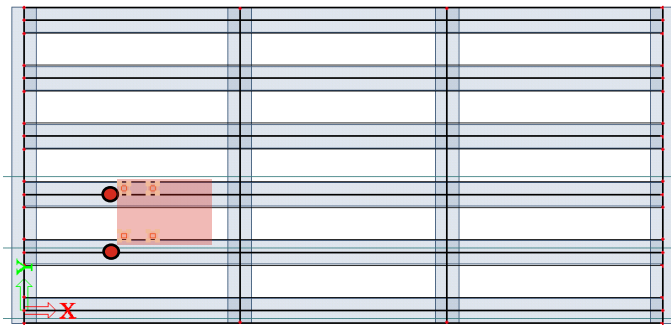
Positie van TS2 voor punt 0m ligger 2 & 3



Positie van TS2 voor punt 1.68m ligger 2 & 3



Positie van TS2 voor punt 3.34m ligger 2 & 3



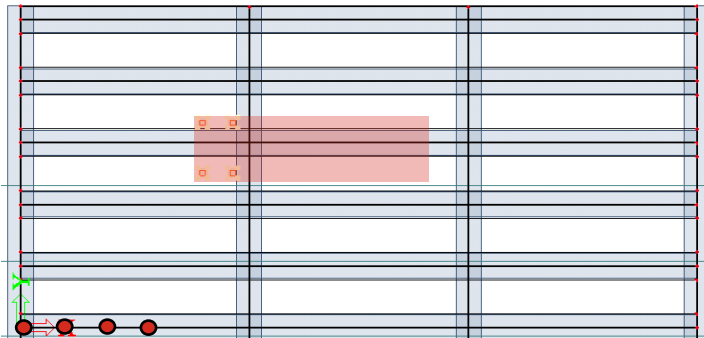
Positie van TS2 voor punt 5.01m ligger 2 & 3



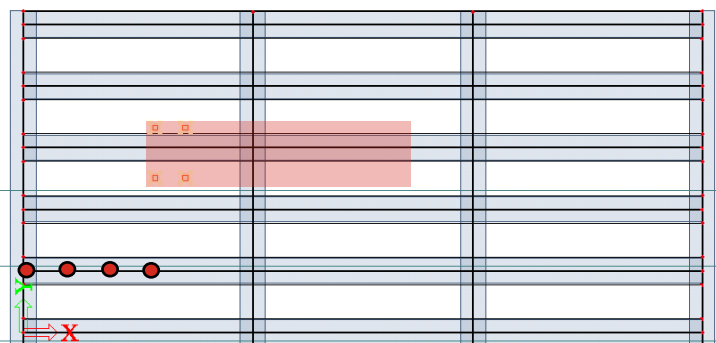
Tandemstelsel 3 op rijbaan 3

Dwarskracht (kN) in kritische punten object bij belastingspositie													
TS3 RS3	Afstand last hart opl.	Ligger 1				Ligger 2				Ligger 3			
		0 m	1.68 m	3.34 m	5.01 m	0 m	1.68 m	3.34 m	5.01 m	0 m	1.68 m	3.34 m	5.01 m
5	0	1	1	1	1	2	2	2	2	27	9	-2	-3
6	1	2	2	2	2	4	4	4	4	43	24	-10	-6
7	2	4	4	3	3	6	6	6	6	39	37	7	-8
8	3	5	5	4	4	8	9	9	8	34	39	23	-6
9	4	6	6	5	5	10	11	11	10	32	37	35	6
10	5	7	7	6	6	11	13	13	13	29	34	35	21
11	6	8	8	7	7	13	15	15	14	27	31	32	29
12	7	9	9	9	8	15	17	17	17	22	26	27	27
13	8	9	9	9	9	15	17	18	17	20	23	24	24
14	9	9	10	9	9	15	17	17	17	18	21	22	22
15	10	10	10	10	9	14	16	17	17	16	19	20	20
16	11	10	10	10	9	14	15	16	16	15	17	18	18
17	12	9	10	10	9	13	14	15	15	13	15	16	16
18	13	9	10	10	9	13	14	15	15	13	15	16	16
19	14	9	9	9	9	11	12	13	12	10	12	13	13
20	15	8	9	9	9	9	11	11	11	9	11	11	11
21	16	8	8	8	8	8	10	10	10	8	9	10	10

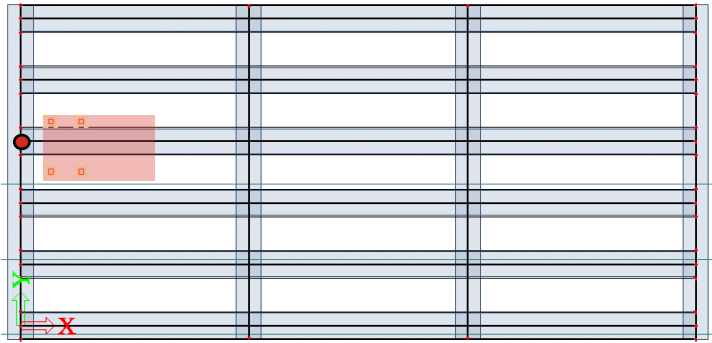
Positie van TS3 voor alle punten ligger 1



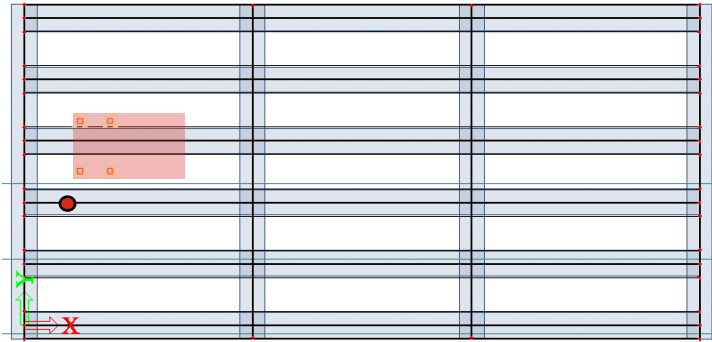
Positie van TS3 voor alle punten ligger 2



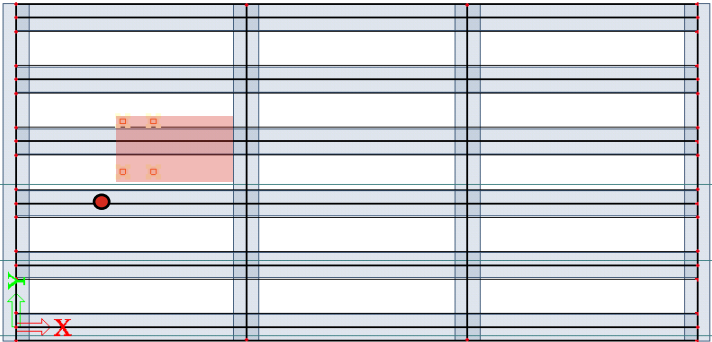
Positie van TS3 voor 0m punt ligger 3



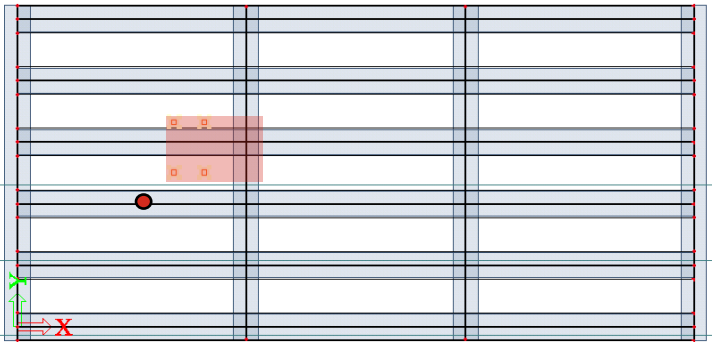
Positie van TS3 voor 1.68m punt ligger 3



Positie van TS3 voor 3.34m punt ligger 3



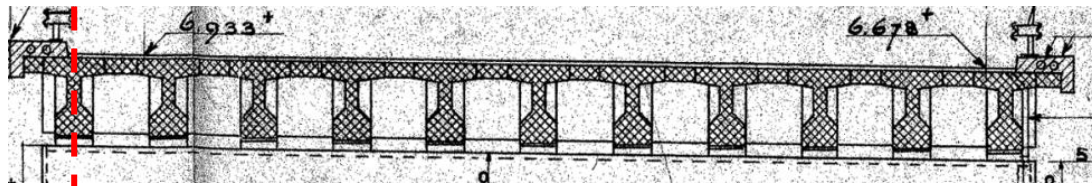
Positie van TS3 voor 5.01m punt ligger 3



37F 101

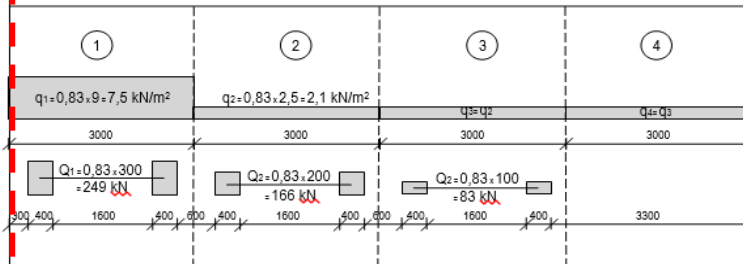
Brug over de Rotte

Uitgangspunten

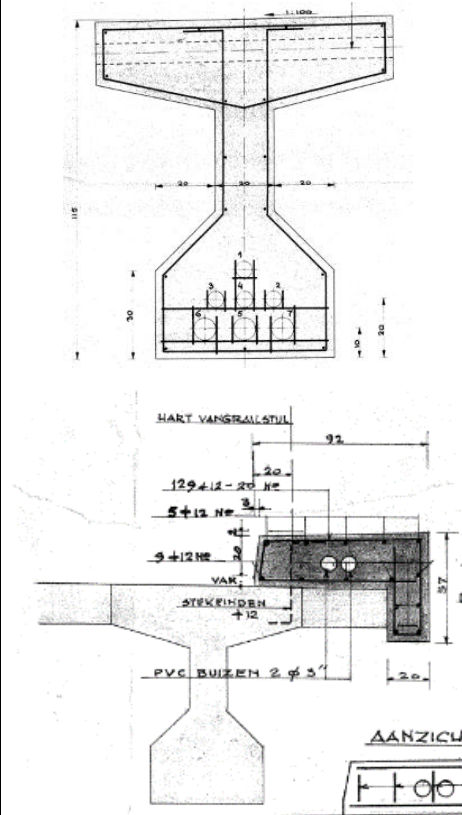


Verkeerd gebruik

referentieperiode: 30 jaar



Omschrijving object	Brug over de Rotte
Locatie	In A44
Lengte ligger	25.89 m
Lengte overstek	0.45 m
Lengte oplegblokken	0.30 m
Aantal liggers	11 stuks
Hoh afstand liggers	1.50 m
Hoogte ligger	1.15 m
Breedte boven flens	1.00 m
Dikte boven flens	0.21 m
Breedte onderflens	0.60 m
Dikte onderflens	0.30 m
Lengte kopdeel	1.45 m
Lengte overgang lijf-kop	1.00 m
Breedte lijf	0.20 m
Schamkant hart randligger	0.28 m
Systeem	Statisch bepaald
Kruisingshoek	85 gon (76.5 graden)
Lengte tussenstort	0.50 m
Dikte tussenstort	0.21 m
Aantal dwarsdragers	0
Liggereinde->1° dwarsdrager	0 m
1° -> 2° dwarsdrager	0 m
Aantal rijstroken	3 stuks
Wegindeling	Verkeerd gebruik
Belastingsfactoren	geen



De brug over de Rotte heeft geen dwarsdragers en een korte h.o.h. afstand van de liggers en overall een gemiddelde lengte.

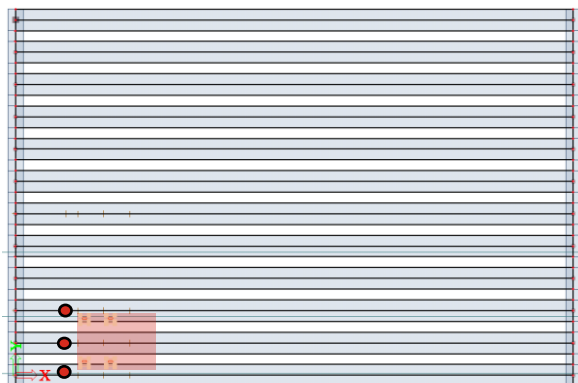
Algemeen stuk over Brug over de Rotte

De Brug over de Rotte is als "extra" object gekozen omdat dit een uniek T-ligger object is zonder aanwezige dwarsbalken. Hierdoor kan de "natuurlijke" spreiding van de liggers worden weergegeven. Met een relatief korte hoh afstand van 1.5 meter. De gemaakte stappen van de verkeersbelasting zijn 1 meter. De RBK omschrijft stappen klein genoeg moeten zijn. De onderstaande matrix geeft overzicht van de belastingsposities voor de aangegeven kritische doorsneden. De gemarkeerde punten hebben ongeveer 10% afwijking van de maximale gevonden waarden voor de kritische punten. Wat een range van de mogelijk te plaatsen punten geeft

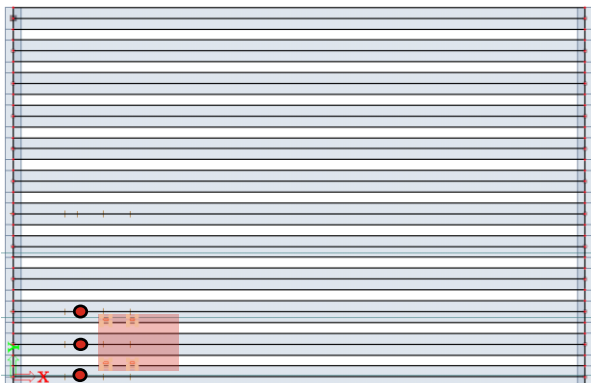
Tandemstelsel 1 op rijbaan 1

Dwarskracht (kN) in kritische punten object bij belastingspositie																					
TS1 RS1	Afstand last hart opl.	Ligger 1					Ligger 2					Ligger 3					Ligger 6				
		0	2.35	2.9	4.1	5.3	0	2.35	2.9	4.1	5.3	0	2.35	2.9	4.1	5.3	0	2.35	2.9	4.1	5.3
6	0	131	7	-7	-6	-5	121	14	-4	-7	-8	146	2	-14	-10	-7	2	1	1	1	1
7	1	201	47	3	-12	-12	192	56	8	-14	-18	211	40	-10	-22	-18	5	3	2	2	1
8	2	166	111	50	-1	-18	181	117	55	-2	-25	155	104	35	-17	-30	7	4	4	3	2
9	3	151	156	115	41	-11	161	157	114	40	-17	129	143	103	25	-28	8	6	5	4	3
10	4	143	151	146	101	28	148	155	145	95	23	114	127	127	84	9	10	7	6	5	4
11	5	136	141	141	134	89	134	142	141	128	81	102	110	113	114	72	11	8	7	6	5
12	6	130	134	133	132	132	120	130	130	128	122	92	98	100	104	112	12	9	8	6	6
13	7	123	127	127	124	130	107	117	119	117	124	83	89	89	90	102	13	10	9	7	6
14	8	116	121	120	117	119	96	106	107	107	113	75	81	81	81	87	14	11	9	8	7
15	9	109	114	113	110	112	85	95	97	97	103	69	73	73	73	78	15	11	10	9	8
16	10	102	107	106	104	106	76	85	87	88	94	62	67	67	66	69	15	12	11	9	8
17	11	95	99	99	97	99	68	76	78	79	84	57	61	61	59	63	15	12	11	10	9
18	12	88	92	92	90	92	60	69	70	70	75	51	55	55	54	56	15	12	11	10	9
19	13	80	84	85	83	85	54	51	53	53	57	46	50	50	59	51	15	12	11	10	9
20	14	73	77	77	76	77	48	54	56	56	60	42	45	45	44	46	14	12	11	10	9
21	15	66	70	70	69	70	42	48	49	50	53	37	40	40	39	41	14	12	11	10	9
22	16	59	62	62	61	63	37	42	43	44	46	33	35	35	35	36	13	11	10	9	9

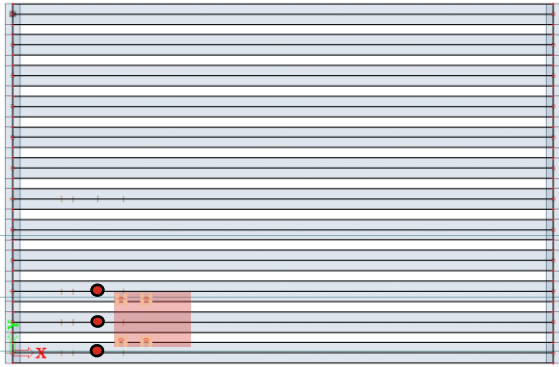
Positie van TS1 voor punt 2.35m ligger 1, 2 en 3



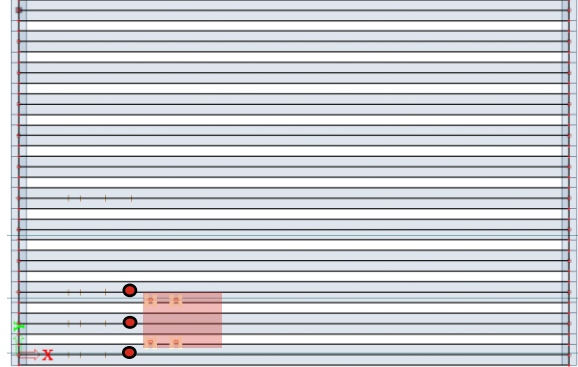
Positie van TS1 voor punt 2.9m ligger 1, 2 en 3



Positie van TS1 voor punt 4.1m ligger 1, 2 en 3



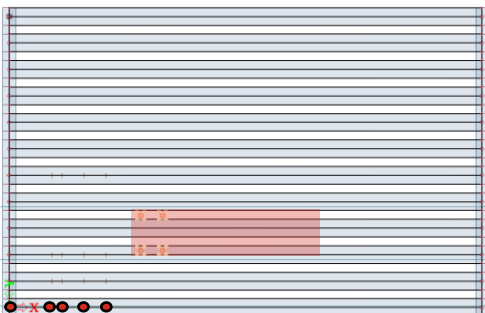
Positie van TS1 voor punt 5.3m ligger 1, 2 en 3



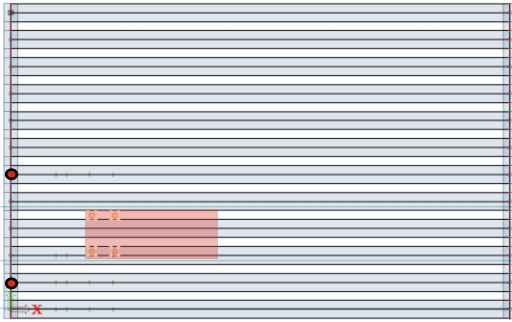
Tandemstelsel 2 op rijbaan 2

Dwarskracht (kN) in kritische punten object bij belastingspositie																					
TS2 RS2	Afstand last hart opl.	Ligger 1					Ligger 2					Ligger 3					Ligger 6				
		0	2.35	2.9	4.1	5.3	0	2.35	2.9	4.1	5.3	0	2.35	2.9	4.1	5.3	0	2.35	2.9	4.1	5.3
42	0	3	2	1	1	1	9	5	3	1	0	114	-2	-11	-7	-5	4	3	2	1	0
43	1	6	4	3	2	1	20	13	8	4	1	159	26	-15	-18	-13	9	7	5	3	1
44	2	9	6	5	3	2	29	22	16	9	3	111	78	20	14	23	14	12	9	6	4
45	3	11	8	7	5	4	34	29	23	15	8	92	105	76	16	-23	19	16	14	10	7
46	4	13	10	9	7	6	38	35	30	22	14	79	90	93	63	4	22	20	18	14	20
47	5	15	12	11	9	7	40	38	34	28	21	70	77	80	83	56	25	23	21	17	14
48	6	16	14	12	10	9	40	39	37	32	27	62	68	70	73	82	26	25	23	20	17
49	7	17	15	14	12	11	40	39	37	34	30	56	61	62	63	71	27	26	25	22	20
50	8	18	16	15	13	12	39	39	37	34	32	50	55	55	56	61	26	26	25	23	21
51	9	19	17	16	14	13	37	37	36	34	33	45	50	50	50	53	26	26	25	24	22
52	10	19	17	16	15	14	35	36	35	33	32	41	45	45	44	47	25	26	25	23	23
53	11	19	17	16	15	14	33	34	33	31	31	37	40	40	40	42	24	24	24	23	23
54	12	19	17	17	15	15	31	31	31	29	30	33	36	36	36	38	22	23	23	22	22
55	13	18	17	16	15	15	28	29	28	27	28	30	33	33	32	34	21	22	21	21	21
56	14	17	16	16	15	14	26	27	26	25	26	26	29	29	29	30	19	20	20	19	19
57	15	16	16	15	14	14	23	24	24	23	23	23	26	26	25	27	18	18	18	18	18
58	16	15	15	14	13	13	21	22	21	21	21	21	23	23	22	23	16	16	16	16	16
59	17	14	14	13	12	12	18	19	19	18	19	18	20	20	19	20	14	15	15	14	14
60	18	13	12	12	11	11	16	17	16	16	16	15	17	17	17	17	12	13	13	12	13

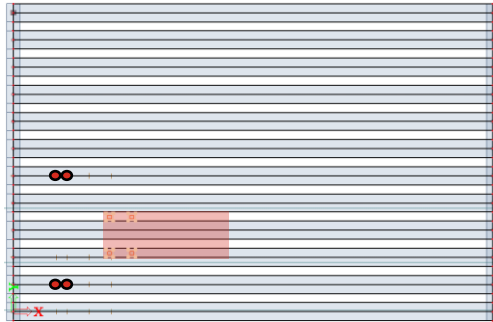
Positie van TS2 voor alle punten ligger 1



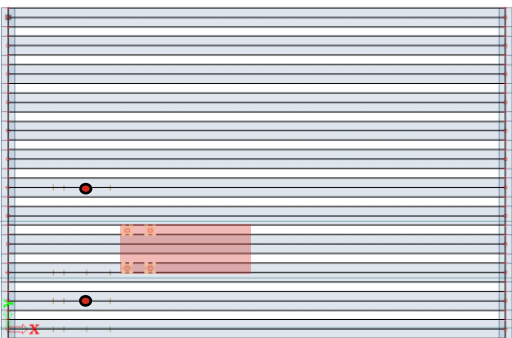
Positie van TS2 voor 0m punt ligger 2 en 6



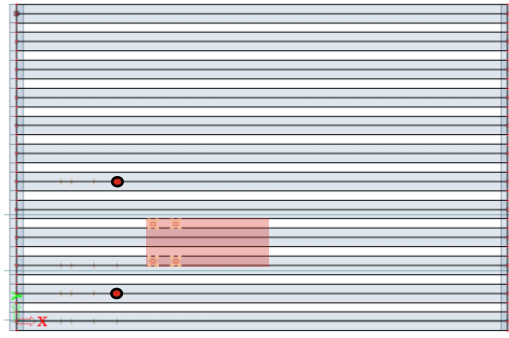
Positie van TS2 voor 2.35&2.9m punt ligger 2 en 6



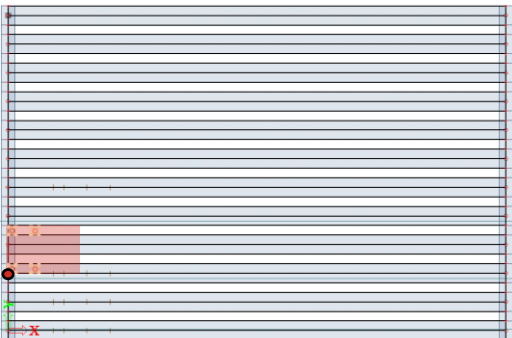
Positie van TS2 voor 4.1m punt ligger 2 en 6



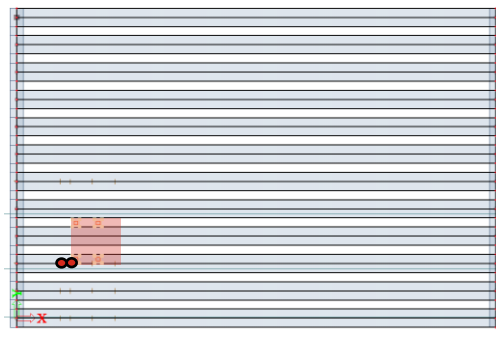
Positie van TS2 voor 5.3m punt ligger 2 en 6



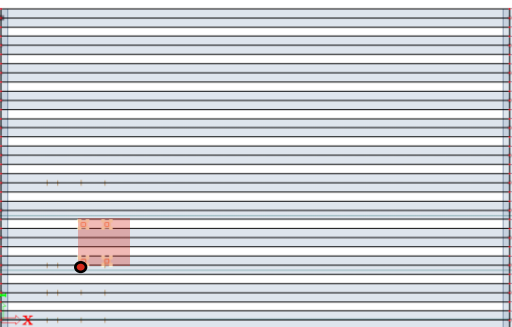
Positie van TS2 voor 0m punt ligger 3



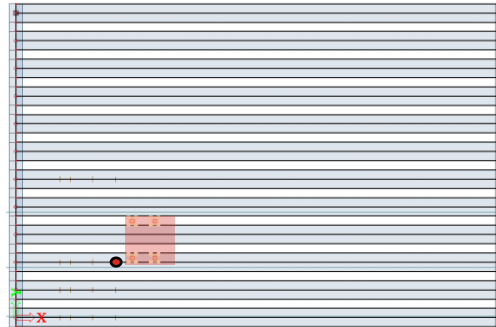
Positie van TS2 voor 2.35&2.9m punt ligger 3



Positie van TS2 voor 4.1m punt ligger 3



Positie van TS2 voor 5.3m punt ligger 3



Tandemstelsel 3 op rijbaan 3

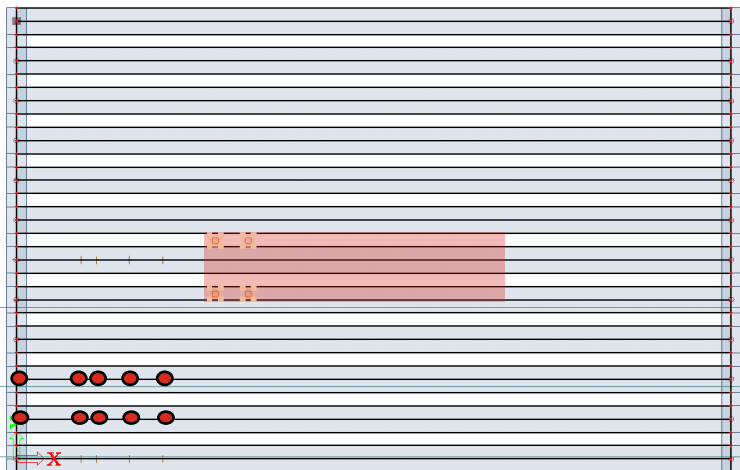
Dwarskracht (kN) in kritische punten object bij belastingspositie																					
TS3 RS3	Afstand last hart opl.	Ligger 1					Ligger 2					Ligger 3					Ligger 6				
		0	2.35	2.9	4.1	5.3	0	2.35	2.9	4.1	5.3	0	2.35	2.9	4.1	5.3	0	2.35	2.9	4.1	5.3
78	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	44	3	-3	-3	-3
79	1	1	0	0	0	0	2	1	1	1	1	3	2	2	1	1	68	16	0	-6	-7
80	2	1	0	0	0	0	3	2	2	1	1	4	3	3	2	2	58	38	16	-3	-10
81	3	1	1	0	0	0	3	2	2	2	1	5	4	4	3	3	50	51	37	11	-8
82	4	1	1	0	0	0	3	2	2	2	1	5	4	4	3	3	50	51	37	11	-8
83	5	2	1	0	0	0	5	4	3	2	2	7	7	6	5	4	39	43	43	40	25
84	6	2	1	0	0	0	5	4	3	3	2	8	7	7	6	5	35	38	39	39	39
85	7	2	1	0	0	0	6	4	4	3	3	9	8	8	7	6	30	34	34	34	38
86	8	2	1	0	0	0	6	5	4	3	3	9	9	8	7	7	27	30	30	31	33
87	9	2	1	0	0	0	6	5	4	4	3	10	9	9	8	7	23	26	27	27	29
88	10	2	1	0	0	0	7	5	5	4	4	10	9	9	8	8	20	23	24	24	26
89	11	2	1	0	0	0	7	6	5	4	4	10	9	9	8	8	18	20	21	21	23
90	12	2	1	0	0	0	7	5	5	4	4	9	9	9	8	8	16	18	18	18	20
91	13	2	1	0	0	0	6	5	5	4	4	9	9	8	8	8	14	16	16	16	17
92	14	2	1	1	0	0	6	5	5	4	4	8	8	8	8	7	12	13	14	14	15
93	15	2	1	1	0	0	6	5	5	4	4	8	8	8	7	7	10	12	12	12	13
94	16	2	1	1	0	0	6	5	4	4	4	7	7	7	7	7	9	10	10	10	11
95	17	2	1	1	0	0	5	4	4	4	3	6	6	6	6	6	8	9	9	9	9
96	18	1	1	1	1	1	5	4	4	3	3	6	6	6	5	5	7	7	8	8	8

Positie van TS3 voor alle punten ligger 1

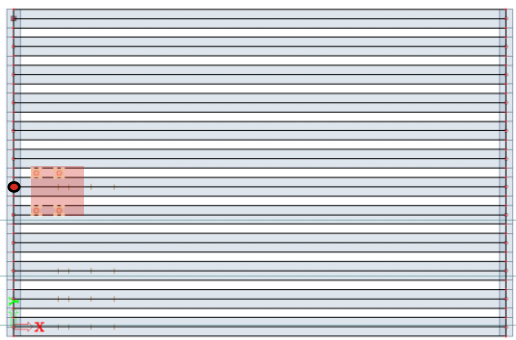
Omdat de invloed van TS3 voor de randligger zo klein is wordt deze niet meegenomen in een figuur

Positie van TS3 voor alle punten ligger 2 en 3

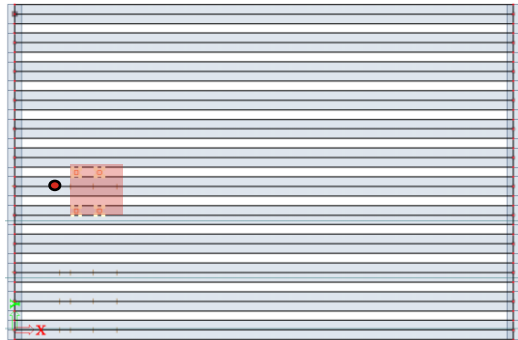
Is een grove benadering van de punten, omdat de waarden klein zijn



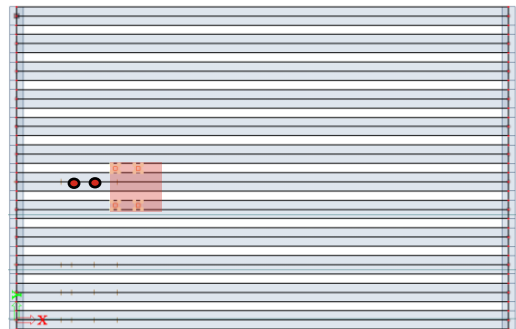
Positie van TS3 voor 0m punt ligger 6



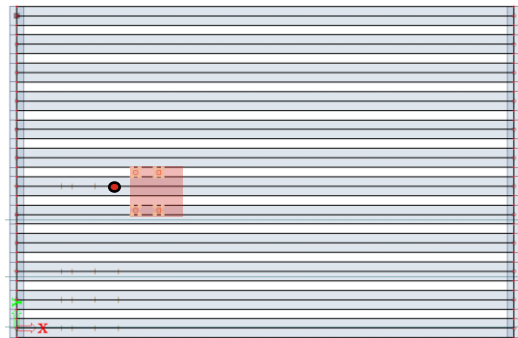
Positie van TS3 voor 2.35m punt ligger 6



Positie van TS3 voor 2.9 en 4.1m punt ligger 6



Positie van TS3 voor 5.3m punt ligger 6



Bijlage 5 Resultaten quickscan Boon

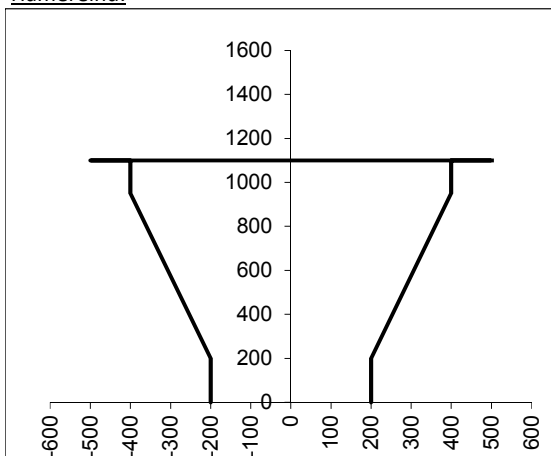
Omschrijving kunstwerk

Naam kunstwerk:	Brug over de Oude Rijn in de A4	nice to know
Topografische code en ligging:	30F 101 01	must know
Stichtingsjaar:	1963	to check
Aantal overspanningen:	4 st.	

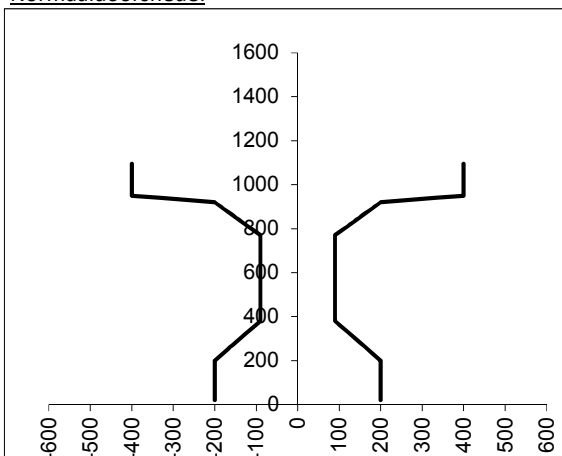
Geometrie hoofdliggers

Type constructie:	één veld zonder tanden		
Liggervorm:	constante hoogte	Afstand hart brug tot:	
Aantal hoofdliggers:	6 st.	Ligger 1	4.20 m
h.o.h. afstand hoofdliggers:	1.68 m	Ligger 2	2.52 m
Totale lengte incl. overstekken:	20.40 m	Ligger 3	0.84 m
Lengte overstek:	0.35 m	Ligger 4	-0.84 m
Lengte oplegblocken:	0.30 m	Ligger 5	-2.52 m
		hart brug	0 m
		Traagheid brugdek	49.392
			$=2*(afs. L1^2+afs. L2^2+afs. L3^2)$

Hamereind:



Normaaldoorsnede:



Gegevens tussenstorten

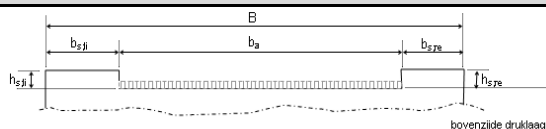
Betonkwaliteit	C45/55
Dikte tussenstort in [m]	0.15 m
Breedte tussenstort in [m]	0.80 m

Gegevens dwarsdragers

Aantal dwarsdragers	2 st.
Breedte dwarsdragers [m]	0.4 m
Hoogte dwarsdragers [m]	0.75 m
Hoek met hoofdliggers [graden]	57.3 graden
Doorsnede voorspanning [mm ²]	750 mm ²
Afstand van oorsprong tot 1e dwarsdrager [m]	6.938 m
Afstand van 1e tot 2e dwarsdrager [m]	6.524 m

Rijvloergegevens

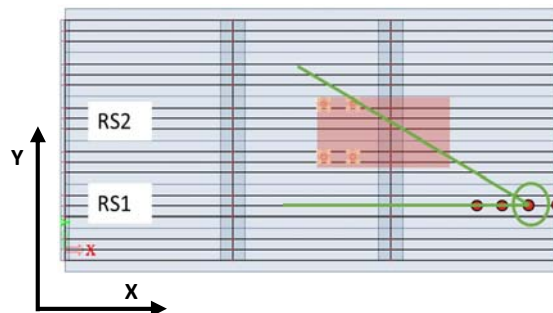
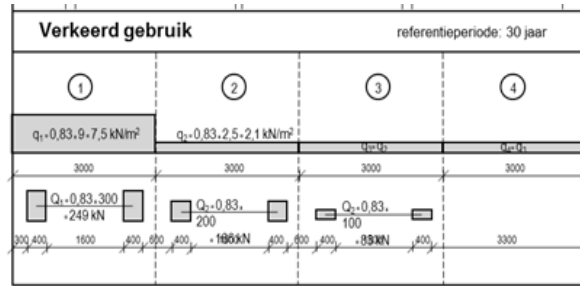
Breedte (B) = uitwendige breedte [m]	8.40 m
$b_{s,links}$ = breedte schampstrook links [m]	0.78 m
$b_{s,rechts}$ = breedte schampstrook rechts [m]	0.78 m
b_{asfalt} = breedte asfalt tussen schampkan	8.40 m
$b_{rand,links}$ = afstand schamprand over hart ra	0.075 m
$d_{randafwerking}$ = dikte randafwerking	0.500 m
h_{ligger} = hoogte 'standaard' ligger [m]	1.095 m
$h_{s,links}$ = hoogte schamprand links [m]	0.55 m
$h_{s,rechts}$ = hoogte schamprand rechts [m]	0.55 m
h_{asfalt} = dikte asfalt (gem. over breedte) [m]	0.14 m



d_{druklaag} = dikte druklaag (gem. over breedte) **40** mm

Verkeersbelastingen

Aantal rijstroken	2	st.
Rijwegindeling	"V2"	
Afstand wiel TS1-b&TS2-a	1.00 m	
Breedte rijstrook 1	3.00 m	
Afstand Schampkant -> hart RS1	1.80 m	
Breedte rijstrook 2	3.00 m	
Afstand schampkant-> hart RS2	4.80 m	
Breedte rijstrook 3	nvt	
Afstand schampkant-> hart RS3	nvt	
Breedte rijstrook 4	nvt	
Afstand schampkant-> hart RS4	nvt	
Afstand schampkant	0.30 m	
TS1	600	600 kN
TS2	400	400 kN
TS3	0	0 kN
UDL1	9	9 kN/m
UDL2	2.5	2.5 kN/m
Afstand wielprint x-richting		1.2 m
Afstand wielprint y-richting		2 m



Tan 30 graden 0.57735 $\text{Afst}_x = \text{Afst}_y / \text{Tan}(30)$

Belastingspositie

Afstand tussen hart TS en de ligger

Hart	Hart TS1		Hart TS2		Hart RS3		Hart RS4		Hart RS5	
	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx
Brug	2.33 m	4.03 m	-0.68 m	-1.17 m	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	nvt	nvt
Ligger 1	1.88 m	3.25 m	4.88 m	8.44 m	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	nvt	nvt
Ligger 2	0.20 m	0.34 m	3.20 m	5.53 m	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	nvt	nvt
Ligger 3	1.49 m	2.57 m	1.52 m	2.62 m	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	nvt	nvt

De afstand vanaf de ligger tot hart rijstrook wordt gedeeld door de tan 30 graden en bepaald de afstand in x-richting

Δy = Afstand tussen hart ligger en hart rijstrook

Δx = Afstand tussen (kritische) snede en belastingspositie

Uitgangspunt van de methode is:

De positie in y en x-richting worden bepaald door een hoek te maken van 30 graden vanaf gekozen punt.

Dit heeft tot gevolg dat voor elke ligger de afstand tot snede en hart TS bepaald is.

Belastingsfactoren

Type gebruik

Gebruik

Alpha-factoren

Al phafactor-rijstrook 1	$\alpha_{q1} =$	1	Past automatisch aan aan aantal rijstroken
Alphafactor-rijstrook > 1	$\alpha_{q>1} =$	1	

Reductie-factoren door korte referentieperiode

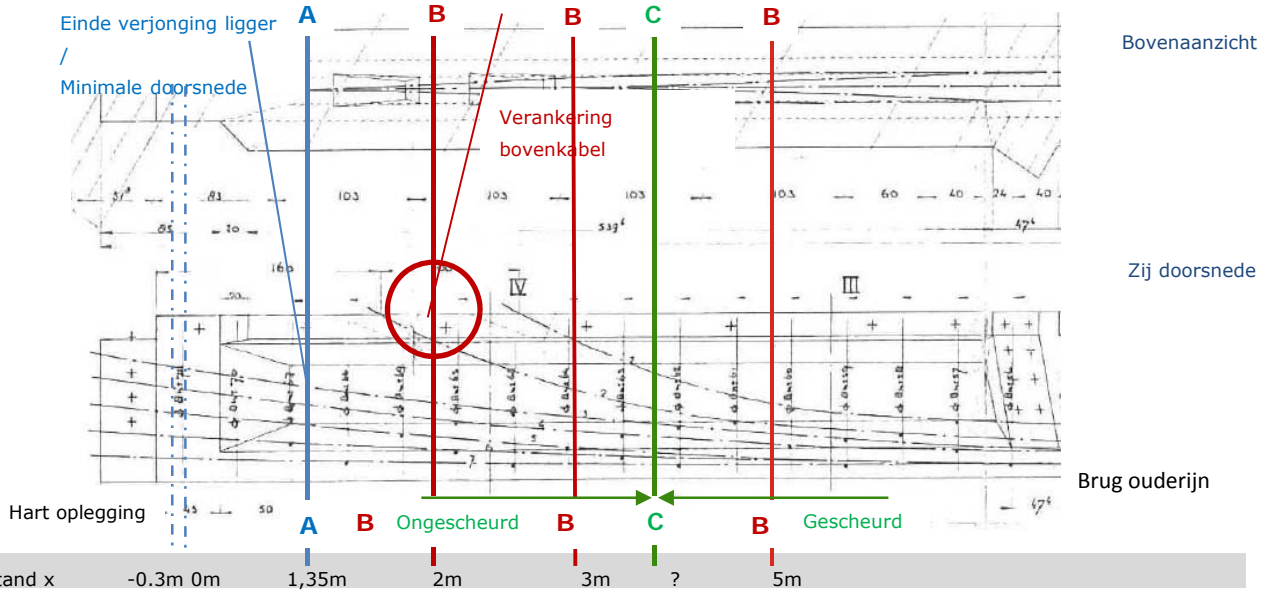
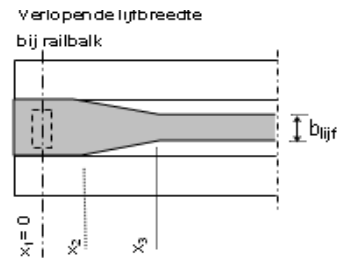
$\psi =$ 0.98

Belastings-factoren

$\beta =$	3.30
$\gamma\text{-EG,max} =$	1.25
$\gamma\text{-EG,min} =$	1.15
$\gamma\text{-verkeer} =$	1.25
$\Psi\text{-verkeer} =$	0.80

Te Beschouwen (kritische) snedes vanaf hart assen/steunpunt

Sne	hart stpt.	balkeinde	
0	0.00 m	0.35 m	Hart van de oplegging
A	1.35 m	1.70 m	Einde verjonging ligger/Minimale doorsnede
B1	2.00 m	2.35 m	Verankering bovenkabel
B2	3.00 m	3.35 m	Verankering bovenkabel
C	2.50 m	2.85 m	Zoekpunt voor Gescheurd/Ongescheurd
B3	5.00 m	5.35 m	Extra toegevoegd punt



Belastingspositie afstand x rijstrook t.g.v. (kritische) snee op ligger

Sne		Ligger 1			Ligger 2			Ligger 3		
		RS1	RS2	RS3	RS1	RS2	RS3	RS1	RS2	RS3
0	0.00 m	3.25 m	8.44 m	#VALUE!	0.34 m	5.53 m	#VALUE!	2.57 m	2.62 m	#VALUE!
A	1.35 m	4.60 m	9.79 m	#VALUE!	1.69 m	6.88 m	#VALUE!	3.92 m	3.97 m	#VALUE!
B1	2.00 m	5.25 m	10.44 m	#VALUE!	2.34 m	7.53 m	#VALUE!	4.57 m	4.62 m	#VALUE!
B2	3.00 m	6.25 m	11.44 m	#VALUE!	3.34 m	8.53 m	#VALUE!	5.57 m	5.62 m	#VALUE!
C	2.50 m	5.75 m	10.94 m	#VALUE!	2.84 m	8.03 m	#VALUE!	5.07 m	5.12 m	#VALUE!
B3	5.00 m	8.25 m	13.44 m	#VALUE!	5.34 m	10.53 m	#VALUE!	7.57 m	7.62 m	#VALUE!

Belastingsfactoren

Alpha factoren	$\alpha_q =$	1
	$\alpha_{trend} =$	1
	$\Phi_{trend} =$	1
	$\gamma_{eg} =$	1.25
	$\gamma_{vsp} =$	1
	$\gamma_{mob} =$	1.25
	red mob:	0.9
Gebriikfactoren	huidig ge	1

Hulbuisreductie

Hulbuisreductie toepassen?	nee	diameter voorspar	48 mm
----------------------------	-----	-------------------	-------

Aftrek halve diameter

0 mm

Materiaaleigenschappen: Beton, betonstaal en voorspanstaal

Beton / RBK v1.1 Ligger tussenstort

originele kwaliteit = C70/85 K300 -

f_{ck}	80	20	N/mm ²
$f_{ck,cube}$	95	25	N/mm ²
f_{cm}	88	28	N/mm ²
f_{cd}	45.3	13.3	N/mm ²
f_{ctm}	4.84	2.21	N/mm ²
$f_{ctk,0.05}$	3.39	1.55	N/mm ²
$f_{ctk,0.95}$	6.29	2.87	N/mm ²
f_{ctd}	2.26	1.03	N/mm ²
E_{fic}	25905	7619	N/mm ²

Meting: k_t 0.85

De waarden zonder onderzoek moeten zijn beschouwd als betonsterkte bepaald op ouderdom $t > 28$ dagen met bijbehorende waarde voor k_t

In het geval de sterkte gelijk aan de ontwerpklasse (druklaag), is een waarde $k_t = 1,0$ aangehouden.

Betonstaal
(beugelwapening)

QR 40

Eigenschappen volgens RBK v1.1:

$f_{y;d}$	330	N/mm ²
$\epsilon_{s;u}$	4.00	%
E_s	200000	N/mm ²
$f_{y;rep}$	400	N/mm ²

Voorspanstaal

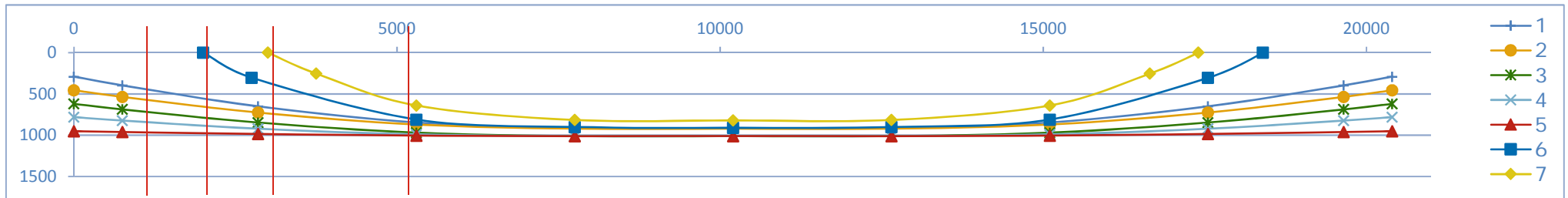
QP 150

Eigenschappen volgens RBK v1.1:

f_{purep}	1470	N/mm ²
f_{pu}	1262	N/mm ²
$f_{p;rep}$	1220	N/mm ²
σ_{pi}	956	N/mm ²
$\epsilon_{p;u}$	3.50	%
E_p	200000	N/mm ²
$\sigma_{pw,max}$	809	N/mm ²

Invoer kabelverloop

Voorspankabel	1		2		3		4		5		6		7	
Doorsnede [mm ²]	531		531		531		531		531		531		531	
Spanwijze	Links > Rechts		Rechts > Links		Links > Rechts		Rechts > Links		Links > Rechts		Rechts > Links		Links > Rechts	
	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]
1	0	290	0	455	0	620	0	780	0	950	2000	0	3000	0
2	750	396	750	535	750	687	750	822	750	960	2750	303	3750	253
3	2850	650	2850	725	2850	846	2850	921	2850	985	5300	810	5300	640
4	5300	845	5300	870	5300	969	5300	990	5300	1004	7750	900	7750	815
5	7750	915	7750	920	7750	1010	7750	1010	7750	1010	10200	910	10200	820
6	10200	915	10200	920	10200	1010	10200	1010	10200	1010	12650	900	12650	815
7	12650	915	12650	920	12650	1010	12650	1010	12650	1010	15100	810	15100	640
8	15100	845	15100	870	15100	969	15100	990	15100	1004	17550	304	16650	253
9	17550	650	17550	725	17550	846	17550	921	17550	985	18400	0	17400	0
10	19650	396	19650	535	19650	687	19650	822	19650	960				
11	20400	290	20400	455	20400	620	20400	780	20400	950				



Verificatie kabelverloop

Voorspankabel Ned punt	1		2		3		4		5		6		7	
	hoek	Vvrs	hoek	Vvrs	hoek	Vvrs	hoek	Vvrs	hoek	Vvrs	hoek	Vvrs	hoek	Vvrs
1	8	57	6	43	5	36	3	23	1	5	25			
2	7	49	5	37	4	31	3	19	1	5	22	152	19	130
3	5	32	3	24	3	20	2	11	0	3	11	79	14	98
4	2	12	1	8	1	7	0	3	0	1	2	15	4	29
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	0	-1
7	-2	-12	-1	-8	-1	-7	0	-3	0	-1	-2	-15	-4	-29
8	-5	-32	-3	-24	-3	-20	-2	-11	0	-3	-12	-82	-14	-98
9	-7	-49	-5	-37	-4	-31	-3	-19	-1	-5	-20	-137	-19	-130
10	-8	-57	-6	-43	-5	-36	-3	-23	-1	-5				
SOM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sneede A	Y		Y in punt x	z	Ap _i *z _i 10 ³	Ap _i *z _i ² 10 ⁶	N _{ed}	M _{vrsp}	Hoek intrede	Hoek _{vrsp} Arctan	V _{vrsp}	
	Ap	xL										xR
	[mm2]	750	2850	1350			kN	kNm				
d1	531	396	650	469	372	197456	73425477	406	-4	8	7	53
d2	531	535	725	589	493	261555	128834731	406	45	6	6	40
d3	531	687	846	732	636	337564	214594439	406	103	5	5	33
d4	531	822	921	850	754	400146	301538916	406	151	3	3	21
d5	531	960	985	967	870	462198	402309972	406	198	1	1	5
	A _{tot}			d _{max}	0,1d _{max}	ΣAp _i *z _i 10 ³	ΣAp _i *z _i ² 10 ⁶		ΣM _{vrsp}			ΣV _{vrsp}
	2655			967	97	1658920	1120703535		494			152
	mm2			mm	mm				kNm			kN
d _{eff} volgens modelcode												
z _{eff} = ΣAp _i *z _i ² / ΣAp _i *z _i			676 mm									
d _{eff} = z _{eff} + 0,1d _{max}			772 mm									

Toelichting

Invullen van de blauwe cellen zorgt voor een zoekfunctie
Geel gemarkeerd zijn de hoogtes in de aangegeven punten
Invullen x in punt op sneede

Vergelijken

Quickscan check geeft		% tov Movares
Positie kritischpunt A [mm]	1350	
d _{eff} = [mm]	770	100%
N _{ed} = [kN]	2010	101%
V _{vrsp} = [kN]	149	102%
M _{vrsp.ligg} = [kNm]	520	95%

$$M_{vrsp} = (x - z_{br}) * N_{ed}$$

Aantal kabels	5 st.
Zwaartepunt bovenflens	478 mm
Totaal opp	2655 mm ²
f _{pk}	1470 mPa
Ned	2029 kN
M.vrsp.ligg	493.63 kNm

Snedes B1

Links	Y		Y	Y in punt		$A_{pi} * z_i \cdot 10^3$	$A_{pi} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	Hoek _{vrsp} Arctan	V_{vrsp}
	Ap	xL	xR	x	z							
		750	2850	1990								
d1	531	396	650	546	449	238156	106814113	406	27	7	7	49 kN
d2	531	535	725	647	550	291898	160460658	406	69	5	5	37 kN
d3	531	687	846	781	683	362890	248002795	406	123	4	4	31 kN
d4	531	822	921	880	783	415763	325534420	406	163	3	3	19 kN
d5	531	960	985	975	877	465839	408673649	406	202	1	1	5 kN
	A_{tot}			d_{max}	$0,1d_{max}$	$\sum A_{pi} * z_i \cdot 10^3$	$\sum A_{pi} * z_i^2 \cdot 10^6$		$\sum M_{vrsp}$			$\sum V_{vrsp}$
	2655			975	97	1774546	1249485634		584			140
	mm2			mm	mm				kNm			kN
d_{eff} volgens modelcode								Aantal kabels				5 st.
$z_{eff} = \sum A_{pi} * z_i^2 / \sum A_{pi} * z_i$		704 mm						Zwaartepunt t.o.v. bovenflens				478 mm
$d_{eff} = z_{eff} + 0,1d_{max}$		802 mm						Totaal opp				2655 mm2
								fpk				1470 mPa
								Ned				2029 kN
								M.vrsp.ligg				584 kNm

$$M_{vrsp} = (x - z_{bf}) * N_{Ed}$$

Toelichting

Invullen van de blauwe cellen zorgt voor een zoekfunct
 Geel gemarkeerd zijn de hoogtes in de aangegeven pu
 Invullen x in punt op snede

Vergelijken

Quickscan check geeft		% tov Movares
Positie kritischpunt B1 [mm]	2000	Links
d_{eff} = [mm]	800	100%
N_{ed} = [kN]	2006	101%
V_{vrsp} = [kN]	134	104%
$M_{vrsp.ligg}$ = [kNm]	600	97%

Snede B1

Rechts		Y		Y		x in punt		z	$A_{p_i} * z_i 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}
	Ap	xL	xR										Arctan		kN
	[mm2]										kN	kNm			
d1	531	396	650	548	451	239428	107958040	406	28	5	6	40	kN		
d2	531	535	725	649	552	292847	161504845	406	69	3	4	30	kN		
d3	531	687	846	782	685	363682	249085733	406	123	3	4	26	kN		
d4	531	822	921	881	784	416251	326299081	406	164	2	2	15	kN		
d5	531	960	985	975	878	465965	408895507	406	202	0	1	4	kN		
	Ap	xL	xR	x in punt	z	$A_{p_i} * z_i 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}			
	[mm2]							kN	kNm	Arctan		kN			
d6	531	0	303	4	0	0	0	406	-193	25	23	162	kN		
	A_{tot}	d_{max}	$0,1d_{max}$	$\sum A_{p_i} * z_i 10^3$	$\sum A_{p_i} * z_i^2 10^6$	$\sum M_{vrsp}$	$\sum V_{vrsp}$								
	3186	975	98	1778172	1253743206	394	277 kN								
	mm2	mm	mm			kNm	kN								
$M_{vrsp} = (x - z_{bf}) * N_{Ed}$															
d_{eff} volgens modelcode															
$z_{eff} = \sum A_{p_i} * z_i^2 / \sum A_{p_i} * z_i$	705 mm														
$d_{eff} = z_{eff} + 0,1d_{max}$	803 mm														
Aantal kabels	6 st.														
Zwaartepunt t.o.v. bovenflens	478 mm														
Totaal opp	3186 mm2														
fpk	1470 mPa														
Ned	2435 kN														
M.vrsp.ligg	394 kNm														

Toelichting

Invullen van de blauwe cellen zorgt voor een zoekfunctie
Geel gemarkeerd zijn de hoogtes in de aangegeven punten
Invullen x in punt op snede

Vergelijken

Quickscan check geeft		% tov Movares
Positie kritischpunt B1 [mm]	2000	Rechts
$d_{eff} = [mm]$	800	100%
$N_{ed} = [kN]$	2376	102%
$V_{vrsp} = [kN]$	295	94%
$M_{vrsp.ligg} = [kNm]$	431	91%

Snede B2

	Y		Y		x in punt	z	$A_{pi} * z_i * 10^3$	$A_{pi} * z_i^2 * 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}
	Ap [mm2]	xL	xR										
d1	531	650	845	2990	661	563	298732	168062138	406	74	7	6	40 kN
d2	531	725	870	2990	729	631	335010	211358546	406	102	5	4	30 kN
d3	531	846	969	2990	850	751	398901	299664930	406	151	4	4	26 kN
d4	531	921	990	2990	923	825	437844	361030513	406	181	3	2	15 kN
d5	531	985	1004	2990	986	887	471011	417798976	406	206	1	1	4 kN
d6	531	303	810	2990	351	252	133897	33763239	406	-52	22	17	116 kN
A_{tot}				d_{max}	$0,1d_{max}$		$\sum A_{pi} * z_i * 10^3$	$\sum A_{pi} * z_i^2 * 10^6$		$\sum M_{vrsp}$		$\sum V_{vrsp}$	
3186				986	99		2075394	1491678343		662		232	
mm2				mm	mm					kNm		kN	
d_{eff} volgens modelcode $z_{eff} = \sum A_{pi} * z_i^2 / \sum A_{pi} * z_i$ 719 mm $d_{eff} = z_{eff} + 0,1d_{max}$ 817 mm													
$M_{vrsp} = (x - z_{bf}) * N_{Ed}$ Aantal kabels 6 st. Zwaartepunt t.o.v. bovenflens 478 mm Totaal opp 3186 mm2 fpk 1470 mPa Ned 2435 kN M.vrsp.ligg 661.59 kNm													

Toelichting

Voorspankabel 6 (d6) heeft andere punten in tekening zijn waardoor de zoekfunctie gesplitst is. Hier moet re gehouden worden.

Vergelijken

Quickscan check geeft		% tov Movares
Positie kritischpunt B2 [mm]	3000	Links
$d_{eff} = [mm]$	810	101%
$N_{ed} = [kN]$	2435	100%
$V_{vrsp} = [kN]$	234	99%
$M_{vrsp.ligg} = [kNm]$	685	97%

Snede B2

	Y		Y		z	$A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}
	Ap	xL	xR	x in punt								
	[mm2]	2850	5300	3010				kN	kNm		Arctan	
d1	531	650	845	663	564	299543	168975236	406	75	7	6	40 kN
d2	531	725	870	734	636	337634	214682904	406	104	5	4	30 kN
d3	531	846	969	854	755	401122	303010960	406	153	4	4	26 kN
d4	531	921	990	926	827	439074	363062706	406	182	3	2	15 kN
d5	531	985	1004	986	888	471324	418355501	406	206	1	1	4 kN

	Y		Y		z	$A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}
	Ap	xL	xR	x in punt								
	[mm2]	2750	5300	3010				kN	kNm		Arctan	kN
d6	531	303	810	355	256	135973	34818659	406	-50	22	17	116 kN

	Y		Y		z	$A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	gem P_{vrsp}	V_{vrsp}
	Ap	xL	xR	x in punt								
	[mm2]	3000	3750	3010				kN	kNm			
d7	531	0	253	3	-95	-50578	4817606	406	-193	19	19	130 kN

A_{tot}	d_{max}	$0,1d_{max}$	$\sum A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$\sum A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	$\sum M_{vrsp}$	$\sum V_{vrsp}$
3717	986	99	2034092	1507723573	476	361
mm2	mm	mm			kNm	kN

d_{eff} volgens modelcode	$M_{vrsp} = (x - z_{bf}) * N_{Ed}$	Aantal kabels	7 st.
$z_{eff} = \frac{\sum A_{p_i} * z_i^2}{\sum A_{p_i} * z_i}$		Zwaartepunt t.o.v. bovenflens	478 mm
$d_{eff} = z_{eff} + 0,1d_{max}$		Totaal opp	3717 mm2
		fpk	1470 mPa
		Ned	2841 kN
		M.vrsp.ligg	476.06 kNm

Toelichting

Voorspankabel 6 (d6) heeft andere punten in tekening zijn waardoor de zoekfunctie gesplitst is. Hier moet re gehouden worden.

Vergelijken

Quickscan check geeft		% tov Movares
Positie kritischpunt B2 [mm]	3000	Rechts
$d_{eff} = [mm]$	810	104%
$N_{ed} = [kN]$	2755	103%
$V_{vrsp} = [kN]$	358	101%
$M_{vrsp.ligg} = [kNm]$	507	94%

Snedes B3

	Y		x in punt	z	$A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}		
	Ap [mm2]	xL										xR	
d1	531	650	845	821	721	382827	276001194	406	139	2	3	22	kN
d2	531	725	870	852	752	399353	300344561	406	152	1	2	16	kN
d3	531	846	969	954	854	453353	387059521	406	193	1	2	14	kN
d4	531	921	990	982	881	468015	412500543	406	204	0	1	7	kN
d5	531	985	1004	1002	902	478700	431550756	406	212	0	0	2	kN
d6	Ap [mm2]	xL	xR	x in punt	z	$A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}	
	531	2750	5300	5000	750	345249	224475634	406	110	2	7	47	kN
d7	Ap [mm2]	xL	xR	x in punt	z	$A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}	
	531	3750	5300	5000	565	246878	114780627	406	35	4	9	64	kN
A_{tot}				d_{max}	$0,1d_{max}$	$\sum A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$\sum A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$		$\sum M_{vrsp}$			$\sum V_{vrsp}$	
3717				1002	100	2774374	2146712836		1046			172	
mm2				mm	mm				kNm			kN	
d_{eff} volgens modelcode $z_{eff} = \sum A_{p_i} * z_i^2 / \sum A_{p_i} * z_i$ 774 mm $d_{eff} = z_{eff} + 0,1d_{max}$ 874 mm													
$M_{vrsp} = (x - z_{bf}) * N_{Ed}$										Aantal kabels			7 st.
										Zwaartepunt t.o.v. bovenflens			478 mm
										Totaal opp			3717 mm2
										fpk			1470 mPa
										Ned			2841 kN
										M.vrsp.ligg			1046.32 kNm

Toelichting

Voorspankabel 6 (d6) heeft andere punten in tekening zijn waardoor de zoekfunctie gesplitst is. Hier moet rekening mee gehouden worden.

Vergelijken

Quickscan check geeft		% tov Movares
Positie kritischpunt B3 [mm]	5000	
d_{eff} = [mm]	860	102%
N_{ed} = [kN]	2841	100%
V_{vrsp} = [kN]	188	92%
$M_{vrsp.ligg}$ = [kNm]	1052	99%

Snedes	Y		Y		x in punt	z	$A_{p_i} * z_i * 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 * 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}
	A_p [mm ²]	xL	xR										
d1	531	290	650	2500	606	508	269599	136880588	406	52	7	7	50
d2	531	455	725	2500	692	594	315293	187212071	406	87	5	5	37
d3	531	620	846	2500	818	720	382413	275404564	406	138	4	4	31
d4	531	780	921	2500	904	806	427781	344626420	406	173	3	3	20
d5	531	950	985	2500	981	883	468677	413669446	406	204	1	1	5
d6	531	0	810	2500	123	25	13093	322833	406	-144	25	19	135
A_{tot}				d_{max}	$0,1d_{max}$	$\sum A_{p_i} * z_i * 10^3$	$\sum A_{p_i} * z_i^2 * 10^6$		$\sum M_{vrsp}$			$\sum V_{vrsp}$	
2655				981	98	1876856	1358115922		509			278	kN
mm ²				mm	mm				kNm			kN	
d_{eff} volgens modelcode									Aantal kabels				6 st.
$z_{eff} = \sum A_{p_i} * z_i^2 / \sum A_{p_i} * z_i$		724 mm							$M_{vrsp} = (x - z_{bf}) * N_{Ed}$				478 mm
$d_{eff} = z_{eff} + 0,1d_{max}$		822 mm							Zwaartepunt t.o.v. bovenflens				
									Totaal opp				3186 mm ²
									fpk				1470 mPa
									Ned				2435 kN
									M.vrsp.ligg				508.64 kNm

Toelichting

Voorspankabel 6 (d6) heeft andere punten in tekening zijn waardoor de zoekfunctie gesplitst is. Hier moet re gehouden worden.
Snedes C is een gekozen waarde, hierom moet gecontroleerd worden of het kabelverloop voldoet

Vergelijken

Quicksan check geeft		% tov Movares
Positie kritischpunt B3 [mm]	5000	
$d_{eff} = [mm]$	800	103%
$N_{ed} = [kN]$	2373	103%
$V_{vrsp} = [kN]$	269	103%
$M_{vrsp.ligg} = [kNm]$	568	90%

Maximale oplegreactie t.b.v. eigengewicht

		L1	L2	L3	
Eigengewicht doorsnede ligger incl. tussenstort		11.25 kN/m	12.75 kN/m	12.75 kN/m	
Vulbetonlaag 40mm		1.68 kN/m	1.68 kN/m	1.68 kN/m	
Asfalt 140mm		2.46 kN/m	5.41 kN/m	5.41 kN/m	
Brugrand		6.875 kN/m	0 kN/m	0 kN/m	
Schamkant		3.325 kN/m	0 kN/m	0 kN/m	
	Som	25.59 kN/m	19.84 kN/m	19.84 kN/m	
Dwarsdragers	126 kN	12	10.5 kN	10.5 kN	10.5 kN
Maximale oplegreactie eigengewicht		261.03 kN	202.34 kN	202.34 kN	

Gewicht dwarsdragers verdeeld over 12 steunpunten

Maximale oplegreactie t.b.v. TS, belasting direct opgenomen

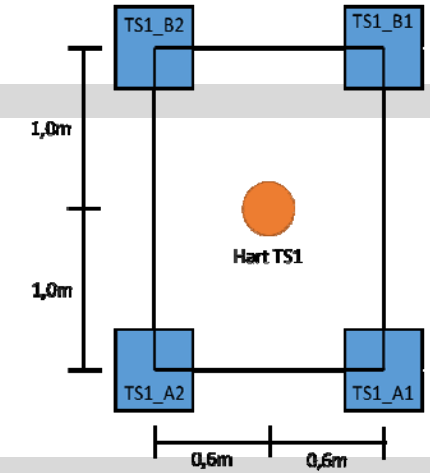
Eccentriciteit belasting Δy

	positie last y	Deel op L1	Deel op L2	Deel op L2	Deel op L3	Deel op L3
TS1_A	3.33 m	47.92%	52.08%	0.00%	0.00%	0.00%
TS1_B	1.33 m	0.00%	0.00%	28.87%	71.13%	0.00%
TS2_A	0.33 m	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	69.35%
TS2_B	-1.68 m	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
TS3_A	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!
TS3_B	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!

Door de rijstrookindeling i.c.m de ligger positie wordt de eccentriciteit en de invloed van de last per ligger bepaald.

1e wiel	100%
2e wiel	94%

direct = [hoh-abs(afst.L1-eccTS1a)]/hoh



Maximale oplegreactie t.b.v. TS, belasting indirect opgenomen

	positie last y	Deel op L1	Deel op L2	Deel op L3
Gem cen.		7.84%	7.84%	7.84%
TS1_A	3.33 m	17.83%	10.70%	3.57%
TS1_B	1.33 m	7.10%	4.26%	1.42%
TS2_A	0.33 m	1.74%	1.05%	0.35%
TS2_B	-1.68 m	8.98%	5.39%	1.80%
TS3_A	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!
TS3_B	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!

Last gelijkmatig verdeeld over alle liggers

kracht %

(F/2)* (ecc_last_y*ecc_L1)*(Afst_e_m+afst_m_m-1.2/2)/L

UDL1. & UDL2. Direct opgenomen

De gelijkmatig verdeelde strook word opgesplitst door een deel wat zich op het eindveld bevind (dit wordt direct naar de oplegging afgedragen) en een deel in het middenveld wat indirect word afgedragen

UDLop	Deel op L1		Deel op L2		Deel op L3	
	deel y	opp m2	deel y	opp m2	deel y	opp m2
RS1	0.77 m	5.31	1.68 m	11.66	0.56 m	3.85
RS2	0.00 m	0.00	0.00 m	0.00	1.13 m	7.81

afstand tot middendwarsdrager maal deel y

UDL1. & UDL2. Indirect opgenomen

UDL op	Deel op L1	Deel op L2	Deel op L3
Gem cent.	opp m2	opp m2	opp m2
UDL1	1.63	1.63	1.63
UDL2	4.57	4.57	4.57
stat eq UDL1			
RS1	14.20 kN	8.52 kN	2.84 kN
RS2	-2.03 kN	-1.22 kN	-0.41 kN

[(Breedte_RS1*AfstM_M)/Aantal_opleggingen]

[(Breedte_brug*AfstM_M)/Aantal_opleggingen]

{[(Breedte_RS1*AfstM_M)*(UDL1-UDL2)*Ecc_RS1]*(Afst_L1/l_brug)}/2

{[(Breedte_RS2*AfstM_M)*(UDL1-UDL2)*Ecc_RS2]*(Afst_L1/l_brug)}/2

		Ligger 1					
Snedes		0	A	B1	B2	C	B3
Positie snede		0.00 m	1.35 m	2.00 m	3.00 m	2.50 m	5.00 m
Belasting positie x-richting op	RS1	3.25 m	4.60 m	5.25 m	6.25 m	5.75 m	8.25 m
Belasting positie x-richting op	RS2	8.44 m	9.79 m	10.44 m	11.44 m	10.94 m	13.44 m

TS1 op RS2 & TS2 op RS1

Dwarskracht in punt

Eigengewicht			261.03	226.48	209.84	184.25	197.05	133.07	kN
Voorspanbelasting (Links)				151.99	139.90	231.63	277.88	172.09	kN
Voorspanbelasting (Rechts)				151.99	277.37	361.37	277.88	172.09	kN
TS1_A1	100	kN	41.70	38.53	37.00	34.65	35.83	29.95	kN
TS1_A2	100	kN	38.88	35.71	34.18	31.83	33.01	27.13	kN
TS1_B1	100	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS1_B2	100	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS2_A1	150	kN	8.43	7.48	7.02	6.31	6.66	4.90	kN
TS2_A2	150	kN	8.43	7.48	7.02	6.31	6.66	4.90	kN
TS2_B1	150	kN	14.79	13.12	12.32	11.08	11.70	8.60	kN
TS2_B2	150	kN	14.79	13.12	12.32	11.08	11.70	8.60	kN
TS3_A1	0	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_A2	0	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B1	0	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B2	0	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
UDL1_RS1_DIR	9	kN/m	0	0	0	0	0	0	kN
UDL1_RS1_INC	9	kN/m	39	34	31	28	29	20	kN
UDL2_DIR	2.5	kN/m	20	17	16	14	15	10	kN
UDL2_INDIR	2.5	kN/m	18	8	8	7	7	5	kN
Verkeer Som reactiekracht/dwarskracht			203.87	174.40	164.49	149.25	156.87	118.76	kN
ΣVrep in punt	links		464.89	248.88	234.43	101.87	76.03	79.73	kN
	rechts		464.89	248.88	96.97	-27.87	76.03	79.73	kN
ΣVd in punt, gebruik	links		581.12	349.10	328.01	185.24	144.90	127.85	kN
	rechts		581.12	349.10	190.55	55.50	144.90	127.85	kN

Moment in punt

Eigengewicht moment			0.00	314.89	449.87	636.42	546.34	932.75	kNm
Voorspan moment	links			493.63	583.56	661.59	508.64	1046.32	kNm
	rechts			493.63	393.87	476.06	508.64	1046.32	kNm
Verkeer moment	TS1_A1	150	0.00	72.31	102.54	143.25	123.78	203.51	kNm
	TS1_A2	150	0.00	78.02	111.00	155.93	134.35	224.65	kNm
	TS1_B1	150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS1_B2	150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS2_A1	100	0.00	10.09	14.03	18.94	16.66	24.51	kNm
	TS2_A2	100	0.00	10.09	14.03	18.94	16.66	24.51	kNm
	TS2_B1	100	0.00	17.71	24.63	33.24	29.24	43.02	kNm
	TS2_B2	100	0.00	17.71	24.63	33.24	29.24	43.02	kNm
	TS3_A1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_A2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_B1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_B2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
UDL1_RS1_DIR	9	kN/m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
UDL1_RS1_INC	9	kN/m	0.00	37.57	44.82	42.24	45.62	12.90	kNm
UDL2_DIR	2.5	kN/m	0.00	24.59	35.19	49.92	42.79	73.63	kNm
UDL2_INDIR	2.5	kN/m	0.00	8.72	10.10	8.63	9.91	7.32	kNm
Som M			0.00	276.81	380.99	504.32	448.25	657.09	kNm
ΣMrep in punt	links		0.00	98.07	247.29	479.15	485.96	543.52	kNm
	rechts		0.00	98.07	436.99	664.67	485.96	543.52	kNm
ΣMd in punt, gebruik	links		0.00	245.99	455.01	764.33	678.57	858.85	kNm
	rechts		0.00	245.99	644.70	949.86	678.57	858.85	kNm

Belastingscombinaties

		Ligger2					
Snedes		0	A	B1	B2	C	B3
Positie snede		0.00 m	1.35 m	2.00 m	3.00 m	2.50 m	5.00 m
Belasting positie x-richting op	RS1	0.34 m	1.69 m	2.34 m	3.34 m	2.84 m	5.34 m
Belasting positie x-richting op	RS2	5.53 m	6.88 m	7.53 m	8.53 m	8.03 m	10.53 m

TS1 op RS1 & TS2 op RS2

Dwarskracht in punt

		0	A	B1	B2	C	B3
Eigengewicht	kN	212.84	186.06	173.16	153.33	163.25	113.65
Voorspanbelasting (Links)			151.99	139.90	231.63	277.88	172.09
Voorspanbelasting (Rechts)			151.99	277.37	361.37	277.88	172.09
TS1_A1	150 kN	1.00	-4.17	-6.65	-10.48	-8.57	-18.14
TS1_A2	150 kN	74.53	69.36	66.87	63.04	64.96	55.39
TS1_B1	150 kN	0.56	-2.31	-3.69	-5.81	-4.75	-10.06
TS1_B2	150 kN	41.31	38.45	37.07	34.94	36.01	30.70
TS2_A1	100 kN	0.00	0.00	5.61	5.17	5.39	4.30
TS2_A2	100 kN	0.00	5.89	5.61	5.17	5.39	4.30
TS2_B1	100 kN	0.00	0.00	8.34	7.70	8.02	6.40
TS2_B2	100 kN	0.00	0.00	8.34	7.70	8.02	6.40
TS3_A1	0 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TS3_A2	0 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TS3_B1	0 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TS3_B2	0 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
UDL1_RS1_DIR	9 kN/m	154	134	124	109	116	79
UDL1_RS1_INDIF	9 kN/m	23	20	19	16	18	12
UDL2_DIR	2.5 kN/m	0	0	0	0	0	0
UDL2_INDIR	2.5 kN/m	10	9	8	7	8	5
Verkeer Som reactiekracht/dwarskracht		305.03	270.02	272.33	239.87	256.10	174.93

Vergelijk resultaten Movares

0		A		B1		B2		B3	
kN	%	kN	%	kN	%	kN	%	kN	%
305	100%	243	111%	266	102%	201	119%		

ΣVrep in punt	links	517.87	304.08	305.59	161.56	141.46	116.49
	rechts	517.87	304.08	168.13	31.82	141.46	116.49
ΣVd in punt, gebruik	links	647.34	418.10	416.97	259.86	246.30	188.64
	rechts	647.34	418.10	279.50	130.12	246.30	188.64

280	109%	305	100%	122	132%	149	78%
		144	117%	-2	-1591%		

Moment in punt

Eigengewicht moment		0.00	230.41	323.00	475.75	407.11	700.73
Voorspan moment	links		493.63	583.56	661.59	508.64	1046.32
	rechts		493.63	393.87	476.06	508.64	1046.32
Verkeer moment	TS1_A1	150	0.00	5.62	13.31	31.45	21.42
	TS1_A2	150	0.00	99.85	142.94	202.92	173.89
	TS1_B1	150	0.00	3.12	7.38	17.43	11.88
	TS1_B2	150	0.00	55.34	79.23	112.48	96.38
	TS2_A1	100	0.00	0.00	11.21	15.51	13.47
	TS2_A2	100	0.00	7.95	11.21	15.51	13.47
	TS2_B1	100	0.00	0.00	16.69	23.09	20.05
	TS2_B2	100	0.00	0.00	16.69	23.09	20.05
	TS3_A1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	TS3_A2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	TS3_B1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	TS3_B2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
UDL1_RS1_DIR	9 kN/m	0.00	194.42	278.21	394.63	338.31	582.12
UDL1_RS1_INDIF	9 kN/m	0.00	27.17	37.30	49.13	43.78	59.13
UDL2_DIR	2.5 kN/m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
UDL2_INDIR	2.5 kN/m	0.00	9.67	11.40	10.35	11.44	-5.25
Som M		0.00	403.15	625.57	895.59	764.14	1350.12

202	114%	315	103%	481	99%	745	94%
520	95%	600	97%	685	97%	1052	99%
520	95%	431	91%	507	94%	1052	99%
299	135%	477	131%	700	128%	1070	126%
405	100%	598	105%	828	108%		

ΣMrep in punt	links	0.00	139.92	365.01	709.75	662.61	1004.53
	rechts	0.00	139.92	554.70	895.28	662.61	1004.53
ΣMd in punt, gebruik	links	0.00	298.31	602.15	1052.59	955.42	1517.25
	rechts	0.00	298.31	791.84	1238.11	955.42	1517.25

87	161%	192	190%	624	114%	763	132%
		361	154%	802	112%		

Belastingscombinaties

		Ligger2					
Snedes		0	A	B1	B2	C	B3
Positie snede		0.00 m	1.35 m	2.00 m	3.00 m	2.50 m	5.00 m
Belasting positie x-richting op	RS1	0.34 m	1.69 m	2.34 m	3.34 m	2.84 m	5.34 m
Belasting positie x-richting op	RS2	5.53 m	6.88 m	7.53 m	8.53 m	8.03 m	10.53 m

TS1 op RS2 & TS2 op RS1

Dwarskracht in punt

Eigengewicht	kN	212.84	186.06	173.16	153.33	163.25	113.65	kN
Voorspanbelasting (Links)			151.99	139.90	231.63	277.88	172.09	kN
Voorspanbelasting (Rechts)			151.99	277.37	361.37	277.88	172.09	kN
TS1_A1	100 kN	-25.37	-28.82	-30.48	-33.03	-31.75	-38.14	kN
TS1_A2	100 kN	49.69	46.24	44.58	42.03	43.31	36.92	kN
TS1_B1	100 kN	0.56	-2.31	-3.69	-5.81	-4.75	-10.06	kN
TS1_B2	100 kN	41.31	38.45	37.07	34.94	36.01	30.70	kN
TS2_A1	150 kN	0.00	0.00	5.61	5.17	5.39	4.30	kN
TS2_A2	150 kN	0.00	5.89	5.61	5.17	5.39	4.30	kN
TS2_B1	150 kN	0.00	0.00	8.34	7.70	8.02	6.40	kN
TS2_B2	150 kN	0.00	0.00	8.34	7.70	8.02	6.40	kN
TS3_A1	0 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_A2	0 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B1	0 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B2	0 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
UDL1_RS1_DIR	9 kN/m	0	0	0	0	0	0	kN
UDL1_RS1_INDIF	9 kN/m	40	35	32	28	30	20	kN
UDL2_DIR	2.5 kN/m	43	37	34	30	32	22	kN
UDL2_INDIR	2.5 kN/m	10	9	8	7	8	5	kN
Verkeer Som reactiekracht/dwarskracht		159.11	140.08	150.09	129.46	139.77	88.20	kN
ΣVrep in punt	links	371.95	174.14	183.35	51.15	25.14	29.76	kN
	rechts	371.95	174.14	45.88	-78.58	25.14	29.76	kN
ΣVd in punt, gebruik	links	464.94	255.67	264.16	121.85	100.89	80.22	kN
	rechts	464.94	255.67	126.70	-7.89	100.89	80.22	kN

Moment in punt

Eigengewicht moment		0.00	230.41	333.50	475.75	407.11	700.73	kNm	
Voorspan moment	links		493.63	583.56	661.59	508.64	1046.32	kNm	
	rechts		493.63	393.87	476.06	508.64	1046.32	kNm	
Verkeer moment	TS1_A1	100	0.00	5.62	13.31	31.45	21.42	90.72	kNm
	TS1_A2	100	0.00	99.85	142.94	202.92	173.89	299.91	kNm
	TS1_B1	100	0.00	3.12	7.38	17.43	11.88	50.28	kNm
	TS1_B2	100	0.00	55.34	79.23	112.48	96.38	166.23	kNm
	TS2_A1	150	0.00	0.00	11.21	15.51	13.47	21.49	kNm
	TS2_A2	150	0.00	7.95	11.21	15.51	13.47	21.49	kNm
	TS2_B1	150	0.00	0.00	16.69	23.09	20.05	32.00	kNm
	TS2_B2	150	0.00	0.00	16.69	23.09	20.05	32.00	kNm
	TS3_A1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_A2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_B1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_B2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
UDL1_RS1_DIR	9 kN/m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm	
UDL1_RS1_INDIF	9 kN/m	0.00	46.72	64.13	84.46	75.27	101.67	kNm	
UDL2_DIR	2.5 kN/m	0.00	54.01	77.28	109.62	93.98	161.70	kNm	
UDL2_INDIR	2.5 kN/m	0.00	9.67	11.40	10.35	11.44	-5.25	kNm	
Som M		0.00	282.27	451.47	645.92	551.30	972.24	kNm	
ΣMrep in punt	links	0.00	19.04	201.41	460.08	449.77	626.65	kNm	
	rechts	0.00	19.04	391.10	645.60	449.77	626.65	kNm	
ΣMd in punt, gebruik	links	0.00	147.21	397.65	740.49	689.37	1044.89	kNm	
	rechts	0.00	147.21	587.34	926.02	689.37	1044.89	kNm	

		Ligger3					
Kritische snede		0	A	B1	B2	C	B3
Positie kritische snede		0.00 m	1.35 m	2.00 m	3.00 m	2.50 m	5.00 m
Belasting positie x-richtir	RS1	2.57 m	3.92 m	4.57 m	5.57 m	5.07 m	7.57 m
Belasting positie x-richtir	RS2	2.62 m	3.97 m	4.62 m	5.62 m	5.12 m	7.62 m

TS1 op RS2 & TS2 op RS1

Dwarskracht in punt

Eigengewicht	kN	212.84	186.06	173.16	153.33	163.25	113.65	kN
Voorspanbelasting (Links)			151.99	139.90	231.63	277.88	172.09	kN
Voorspanbelasting (Rechts)			151.99	277.37	361.37	277.88	172.09	kN
TS1_A1	100 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS1_A2	100 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS1_B1	100 kN	96.38	89.32	85.92	80.69	83.31	70.23	kN
TS1_B2	100 kN	90.11	83.04	79.65	74.42	77.03	63.95	kN
TS2_A1	150 kN	7.14	6.60	6.33	5.93	6.13	5.13	kN
TS2_A2	150 kN	7.14	6.60	6.33	5.93	6.13	5.13	kN
TS2_B1	150 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.04	kN
TS2_B2	150 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.04	kN
TS3_A1	0 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_A2	0 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B1	0 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B2	0 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
UDL1_RS1_D	9 kN/m	103	90	83	73	78	53	kN
UDL1_RS1_IN	9 kN/m	41	35	33	29	31	21	kN
UDL2_DIR	2.5 kN/m	14	12	11	10	11	7	kN
UDL2_INDIR	2.5 kN/m	7	6	6	5	5	4	kN
Som reactiekracht/dwarskracht		365.80	328.75	310.92	283.47	297.19	240.66	kN
ΣVrep in punt	links	578.64	362.82	344.18	205.17	182.56	182.22	kN
	rechts	578.64	362.82	206.71	75.43	182.56	182.22	kN
ΣVd in punt, gebruik	links	723.30	491.52	465.20	314.37	297.67	270.80	kN
	rechts	723.30	491.52	327.73	184.63	297.67	270.80	kN

Moment in punt

Eigengewicht moment		0.00	240.91	344.00	486.25	417.61	711.23	kNm
Voorspan Moment	links		493.63	583.56	661.59	508.64	1046.32	kNm
	rechts		493.63	393.87	476.06	508.64	1046.32	kNm
Verkeer mom	TS1_A1	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS1_A2	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS1_B1	100	0.00	112.11	159.29	223.25	192.58	kNm
	TS1_B2	100	0.00	120.58	171.84	242.07	208.27	kNm
	TS2_A1	150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS2_A2	150	0.00	8.90	12.67	17.80	15.34	kNm
	TS2_B1	150	0.00	0.00	0.00	0.00	30.18	kNm
	TS2_B2	150	0.00	0.00	0.00	0.00	30.18	kNm
	TS3_A1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_A2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_B1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_B2	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
UDL1_RS1_D	9 kN/m	0.00	130.19	186.30	264.26	226.55	389.81	kNm
UDL1_RS1_IN	9 kN/m	0.00	47.67	65.43	86.18	76.80	103.73	kNm
UDL2_DIR	2.5 kN/m	0.00	17.84	25.53	36.21	31.05	53.42	kNm
UDL2_INDIR	2.5 kN/m	0.00	8.10	11.12	14.65	13.05	17.63	kNm
Som M		0.00	445.40	632.19	884.42	763.63	1321.54	kNm
ΣMrep in punt	links	0.00	192.68	392.63	709.08	672.59	986.45	kNm
	rechts	0.00	192.68	582.32	894.61	672.59	986.45	kNm
ΣMd in punt, gebruik	links	0.00	364.25	636.67	1051.75	967.90	1494.65	kNm

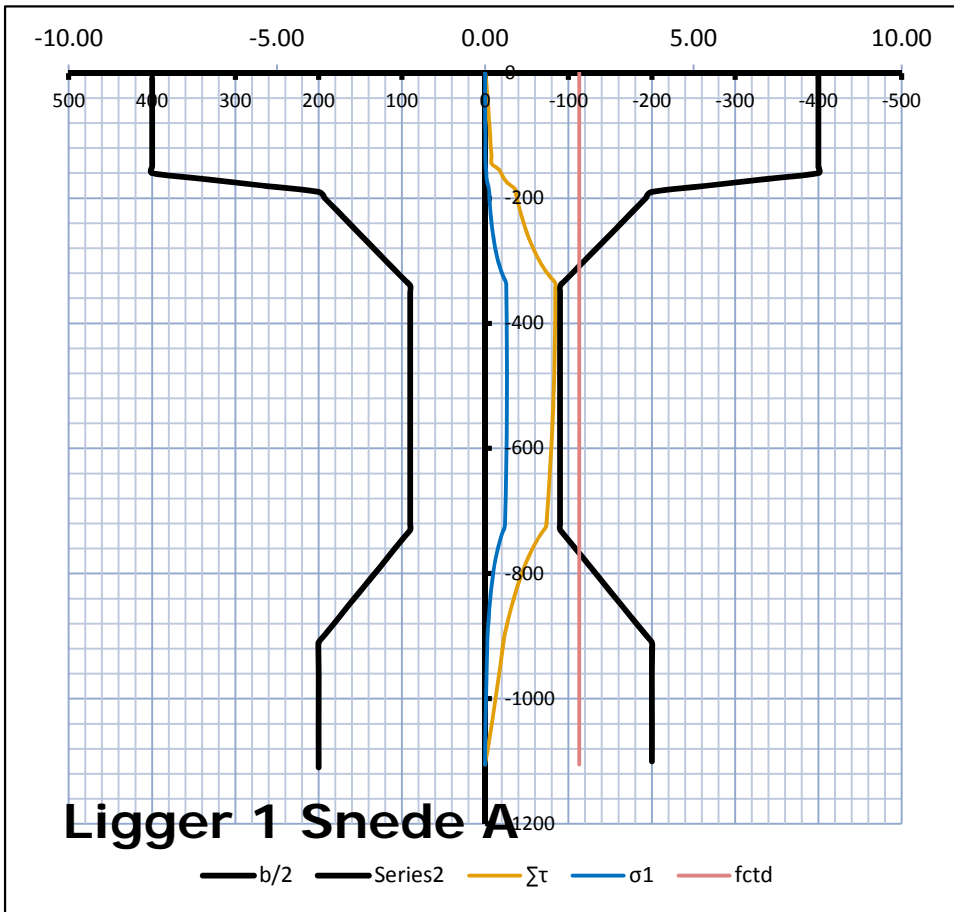
AFSCHUIFBUIGBREUK

De capaciteitsberekening voor afschuifbuigbreuk op voorbenoemde snedes, de invoer is gelinkt zodat er (mits gewenst) snel wijzigingen kunnen worden toegepast

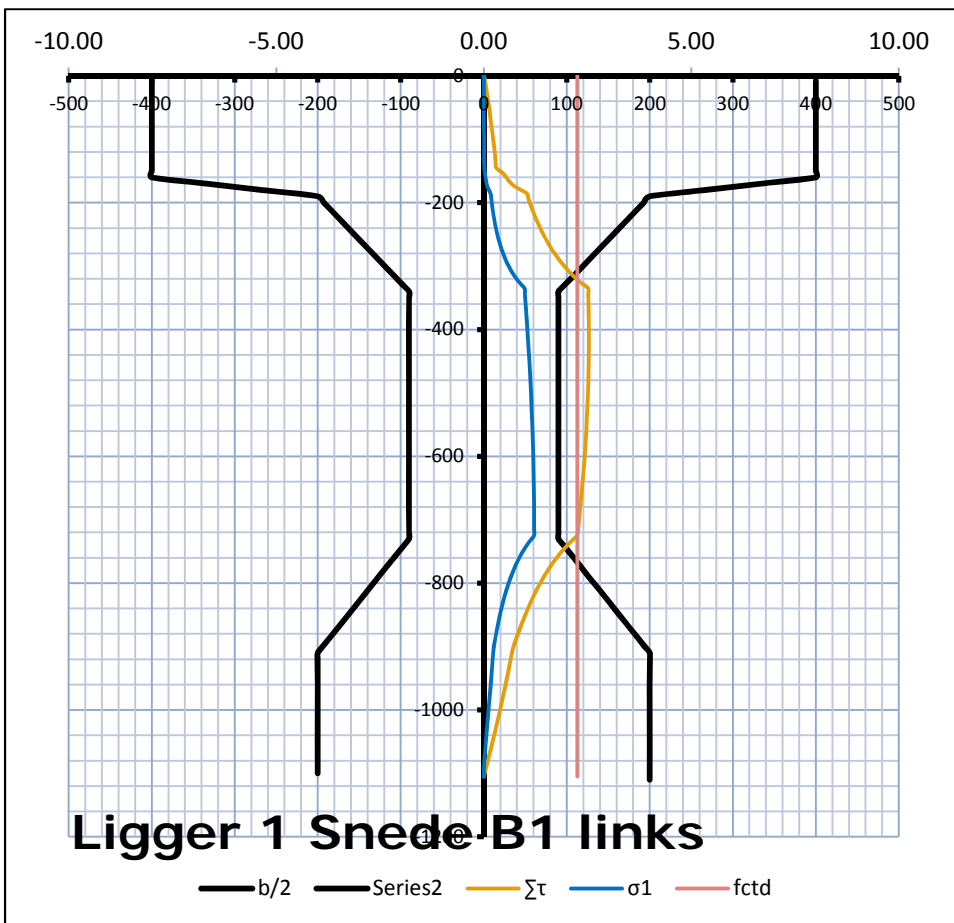
Invoer

$f_{ck} =$	80	N/mm ²		
$b_w =$	225	mm	rekenwaarde breedte	bw.min=1.25*blijf note: de rekenwaarde door oppervlakte is niet toegepast
$A_{p\,tbv\,d} =$	2655	mm ²	opp. van aantal kabels meegeteld voor effectieve hoogte	
$f_{pk} =$	1470	N/mm ²		
$A_c =$	0.3899	m ²	Gaat uit van oppervlak ligger	

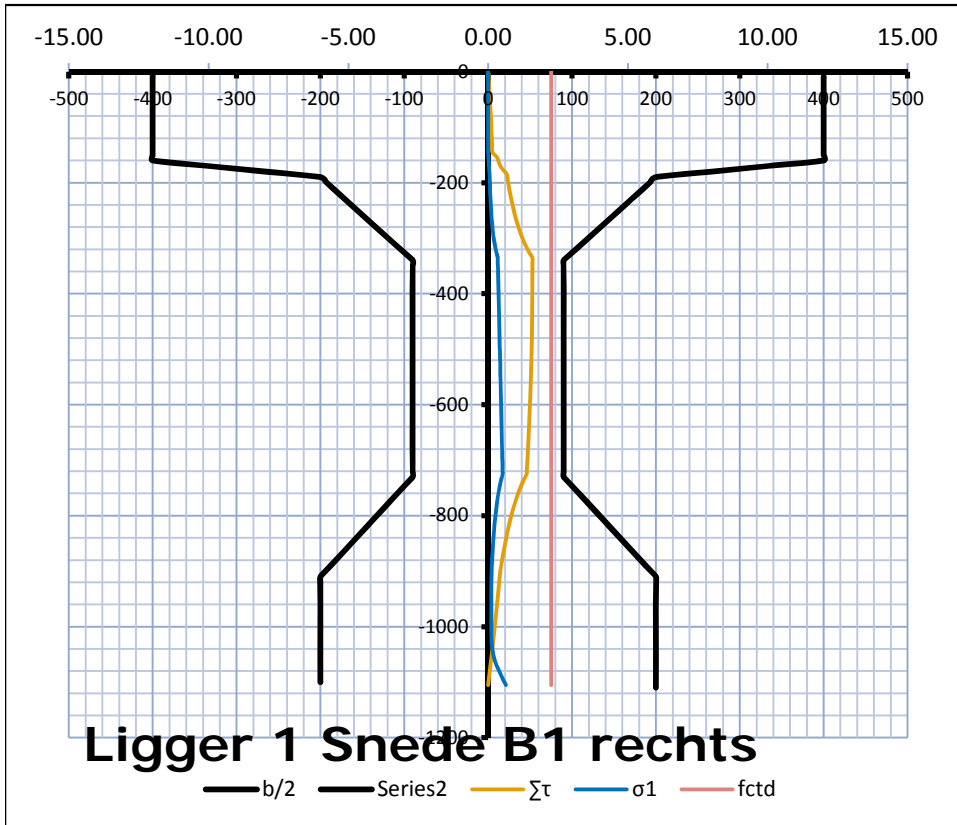
Snede	Punt A		Punt B1 Links		Punt B1 Rechts		Punt B2 Links		Punt B2 Rechts		Punt B3		Punt C	
Positie snede			1990 mm		2010 mm									
Afschuifbuigbreuk	d =	772 mm	d =	802 mm	d =	803 mm	d =	817 mm	d =	840 mm	d =	874 mm	d =	822 mm
berekenen	$A_{sl\,tbv\,d} =$	2655 mm ²	$A_{sl\,tbv\,d} =$	2655 mm ²	$A_{sl\,tbv\,d} =$	3186 mm ²	$A_{sl\,tbv\,d} =$	3186 mm ²	$A_{sl\,tbv\,d} =$	3717 mm ²	$A_{sl\,tbv\,d} =$	3717 mm ²	$A_{sl\,tbv\,d} =$	3186 mm ²
$k = 1+v(200/d) \leq 0,02$	k =	1.51	k =	1.50	k =	1.50	k =	1.49	k =	1.49	k =	1.48	k =	1.49
$N_{Ed} = 0,8*0,65*f_{pk}*A_{totaal}$	$N_{Ed} =$	2029 kN	$N_{Ed} =$	2029 kN	$N_{Ed} =$	2435 kN	$N_{Ed} =$	2435 kN	$N_{Ed} =$	2841 kN	$N_{Ed} =$	2841 kN	$N_{Ed} =$	2435 kN
$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$	$\sigma_{cp} =$	5.21 N/mm ²	$\sigma_{cp} =$	5.21 N/mm ²	$\sigma_{cp} =$	6.25 N/mm ²	$\sigma_{cp} =$	6.25 N/mm ²	$\sigma_{cp} =$	7.29 N/mm ²	$\sigma_{cp} =$	7.29 N/mm ²	$\sigma_{cp} =$	6.25 N/mm ²
$\rho_1 = A_{sl} / b_w d \leq 0,02$	$\rho_1 =$	0.01528	$\rho_1 =$	0.01472	$\rho_1 =$	0.01764	$\rho_1 =$	0.01733	$\rho_1 =$	#####	$\rho_1 =$	0.01890	$\rho_1 =$	0.01723
	100 $\rho_1 =$	1.528	100 $\rho_1 =$	1.472	100 $\rho_1 =$	1.764	100 $\rho_1 =$	1.733	100 $\rho_1 =$	1.967	100 $\rho_1 =$	1.890	100 $\rho_1 =$	1.723
$\tau_{1,62a} = C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3}$	$\tau_{1,62a} =$	0.90 N/mm ²	$\tau_{1,62a} =$	0.88 N/mm ²	$\tau_{1,62a} =$	0.94 N/mm ²	$\tau_{1,62a} =$	0.93 N/mm ²	$\tau_{1,62a} =$	0.96 N/mm ²	$\tau_{1,62a} =$	0.95 N/mm ²	$\tau_{1,62a} =$	0.93 N/mm ²
$\tau_{1,62b} = 0,035 * k_1^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$	$\tau_{1,62b} =$	0.58 N/mm ²	$\tau_{1,62b} =$	0.57 N/mm ²	$\tau_{1,62b} =$	0.57 N/mm ²	$\tau_{1,62b} =$	0.57 N/mm ²	$\tau_{1,62b} =$	0.57 N/mm ²	$\tau_{1,62b} =$	0.56 N/mm ²	$\tau_{1,62b} =$	0.57 N/mm ²
$\tau_{1,mtg}$	$\tau_{1,mtg} =$	0.90 N/mm ²	$\tau_{1,mtg} =$	0.88 N/mm ²	$\tau_{1,mtg} =$	0.94 N/mm ²	$\tau_{1,mtg} =$	0.93 N/mm ²	$\tau_{1,mtg} =$	0.96 N/mm ²	$\tau_{1,mtg} =$	0.95 N/mm ²	$\tau_{1,mtg} =$	0.93 N/mm ²
$\tau_n = k_1 \sigma_{cp} =$	$\tau_n =$	0.78 N/mm ²	$\tau_n =$	0.78 N/mm ²	$\tau_n =$	0.94 N/mm ²	$\tau_n =$	0.94 N/mm ²	$\tau_n =$	1.09 N/mm ²	$\tau_n =$	1.09 N/mm ²	$\tau_n =$	0.94 N/mm ²
$\tau_1 + \tau_n =$	$\tau_1 + \tau_n =$	1.68 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n =$	1.66 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n =$	1.87 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n =$	1.87 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n =$	2.06 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n =$	2.04 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n =$	1.86 N/mm ²
VRd,c	VRd,c =	292 kN	VRd,c =	300 kN	VRd,c =	338 kN	VRd,c =	343 kN	VRd,c =	389 kN	VRd,c =	401 kN	VRd,c =	344 kN
	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC
Ligger1	426.69	1.46	401.19	1.34	263.73	0.78	251.64	0.73	121.90	0.31	125.80	0.31	207.71	0.60
Ligger2	418.10	1.43	416.97	1.39	279.50	0.83	259.86	0.76	130.12	0.33	188.64	0.47	246.30	0.72
Ligger3	429.84	1.47	408.04	1.36	270.58	0.80	264.19	0.77	134.45	0.35	234.55	0.59	244.00	0.71



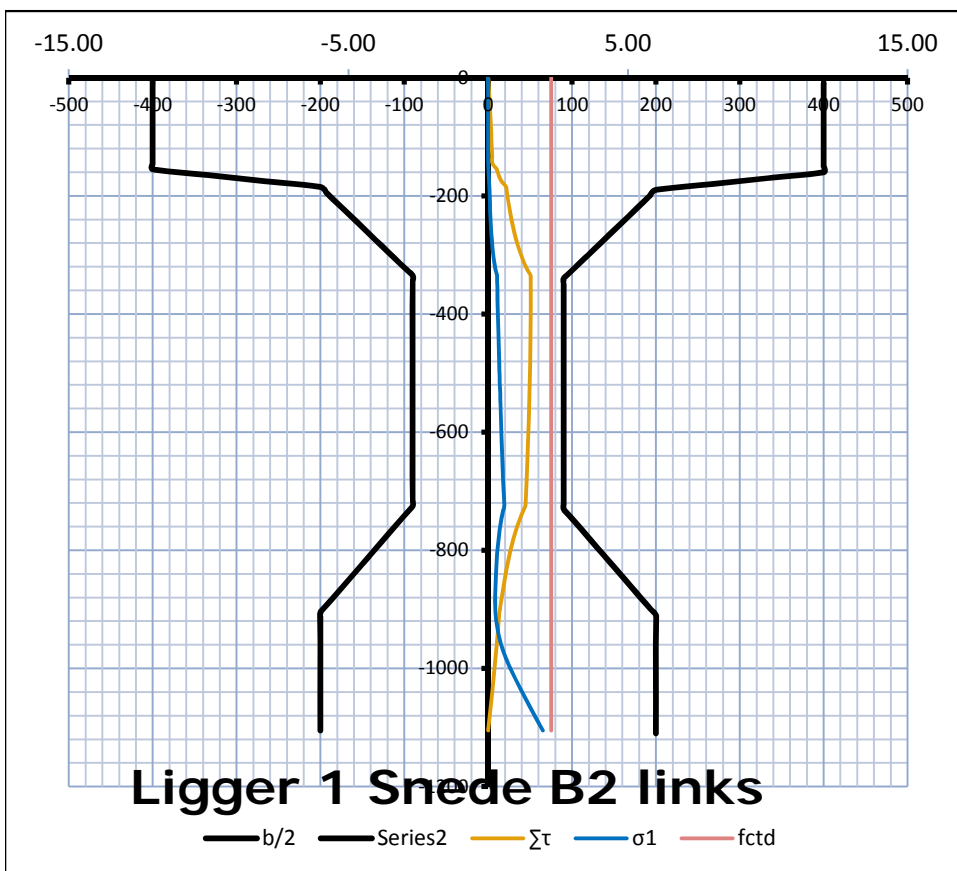
Ligger 1	
Snede	A
Positie snede [m]	1.35
Belastingspositie	RS1 4.60 m
	RS2 9.79 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	0.74



Ligger 1	
Snede	B1 links
Positie snede [m]	1.90
Belastingspositie	RS1 5.25 m
	RS2 10.44 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	1.12

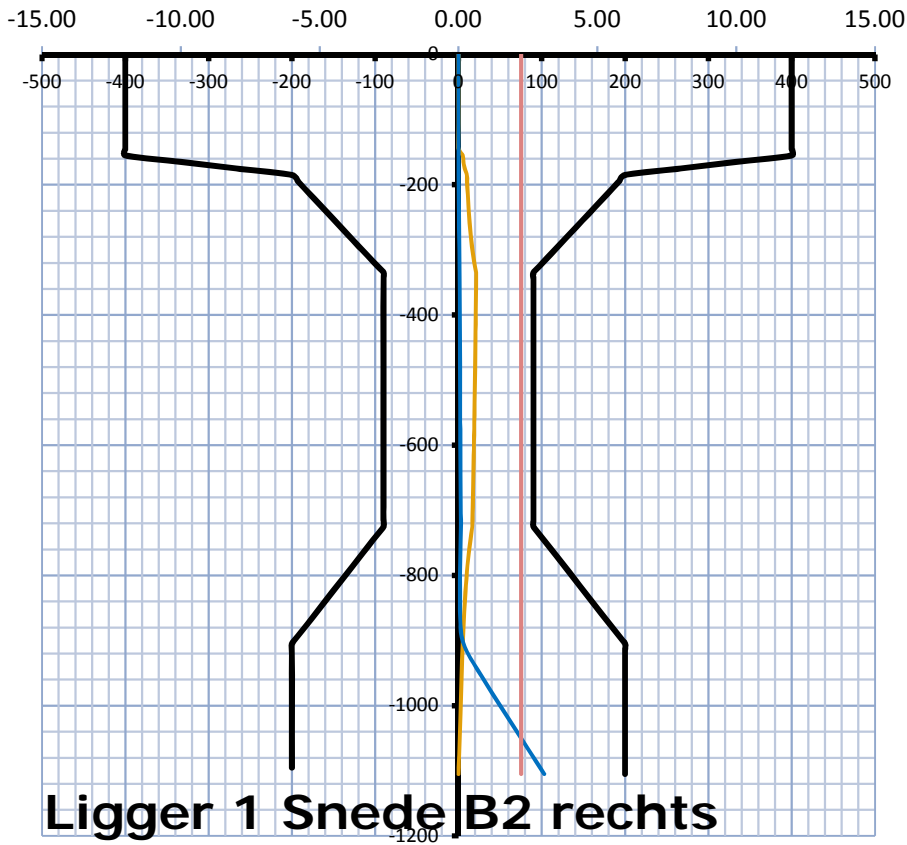


<u>Ligger 1</u>	
Snede	B1 rechts
Positie snede [m]	2.10
Belastingspositie	RS1 5.25 m
	RS2 10.44 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	0.70



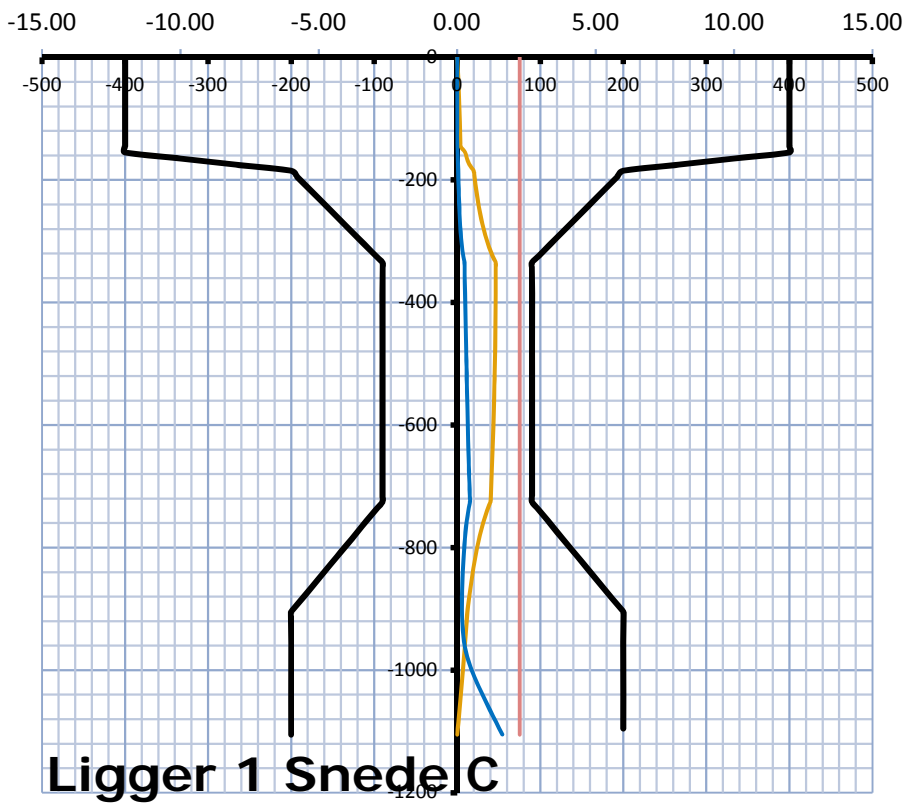
<u>Ligger 1</u>	
Snede	B2 links
Positie snede [m]	2.90
Belastingspositie	RS1 6.25 m
	RS2 11.44 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	0.67

Hulbuisred: 0



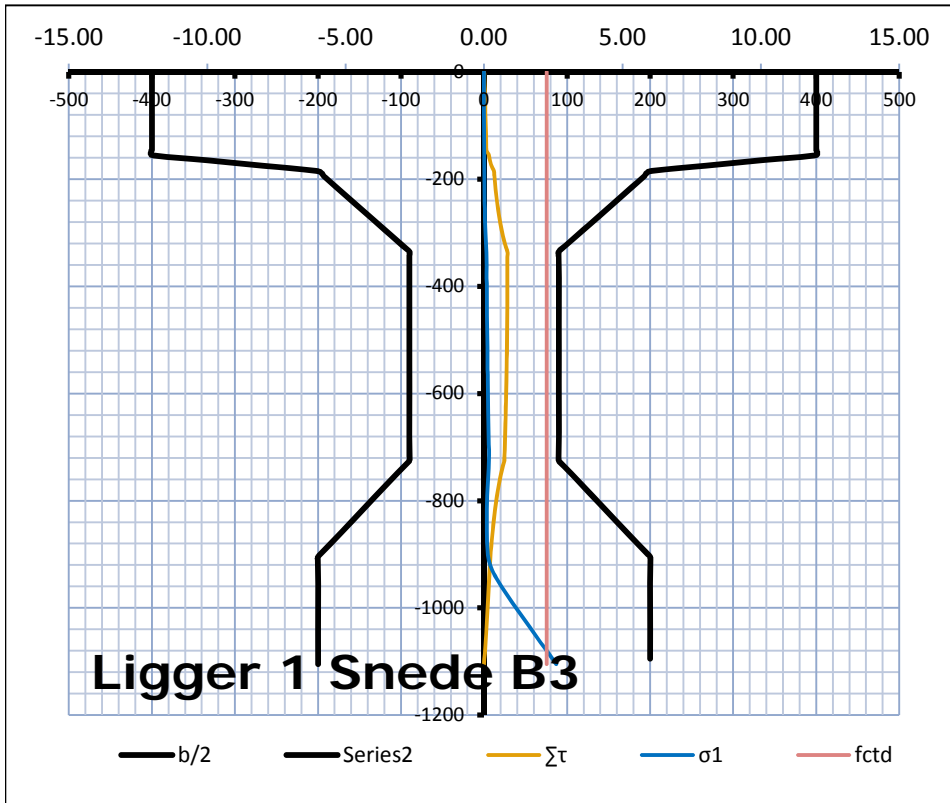
— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

<u>Ligger 1</u>	
Snede	B2 rechts
Positie snede [m]	3.10
Belastingspositie	RS1 6.25 m
	RS2 11.44 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.28

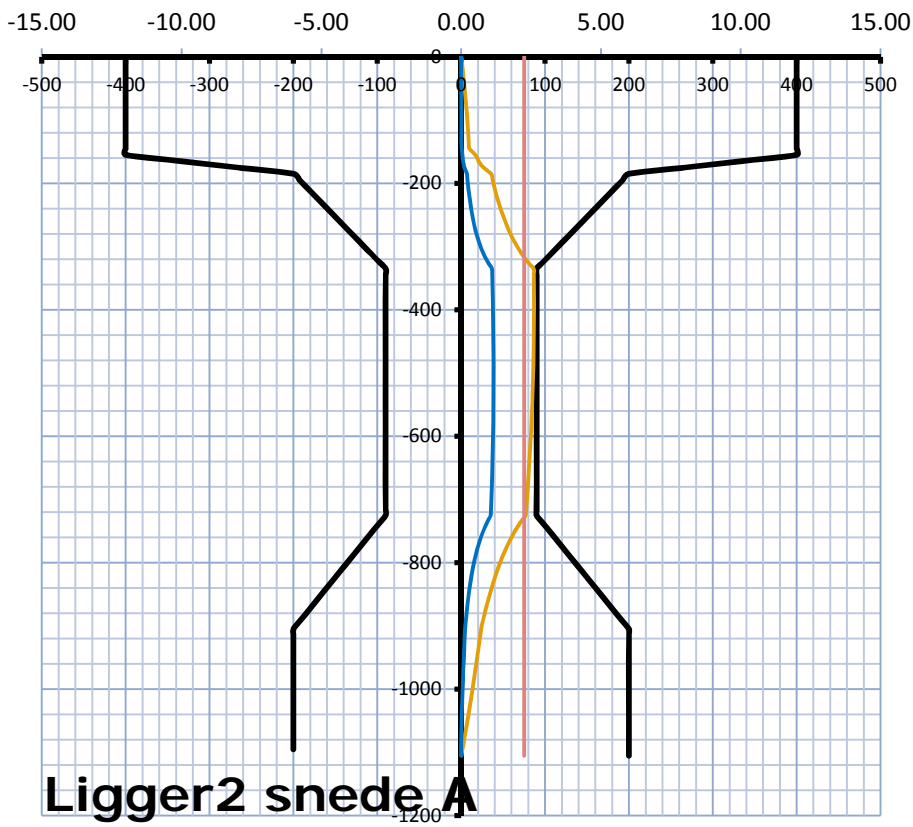


— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

<u>Ligger 1</u>	
Snede	C
Positie snede [m]	2.50
Belastingspositie	RS1 5.75 m
	RS2 10.94 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	0.62



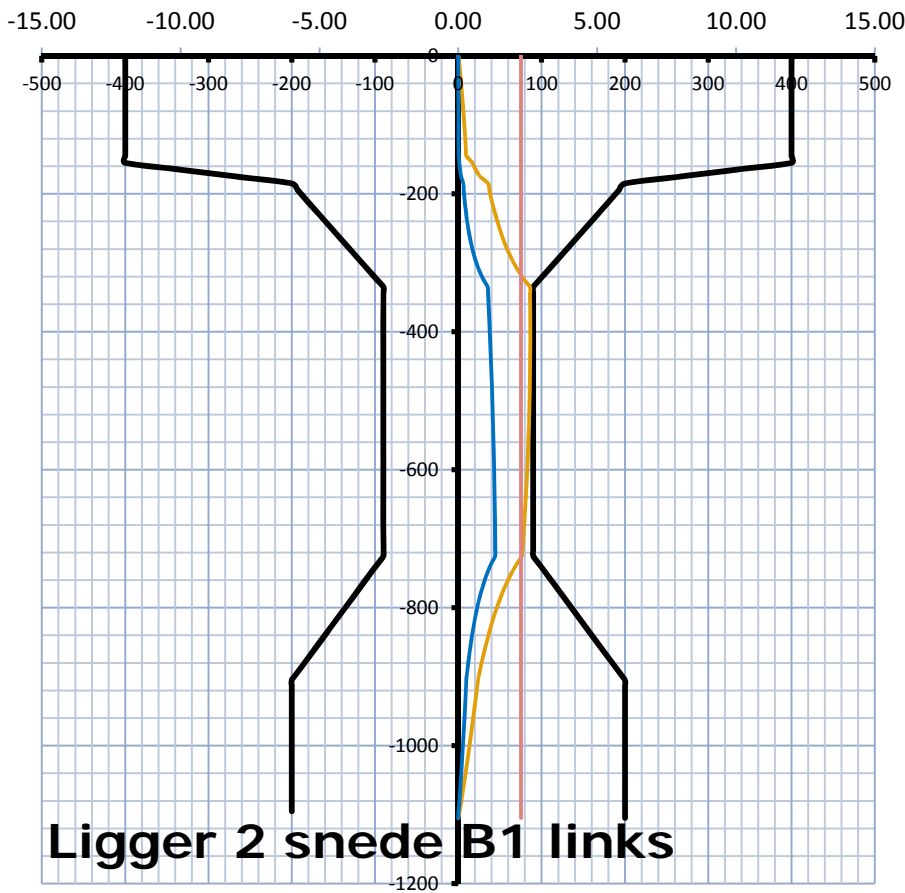
<i>Ligger 1</i>	
Snede	B3
Positie snede [m]	5.00
Belastingspositie	RS1 8.25 m
	RS2 13.44 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.37



Ligger 2 snede A

— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

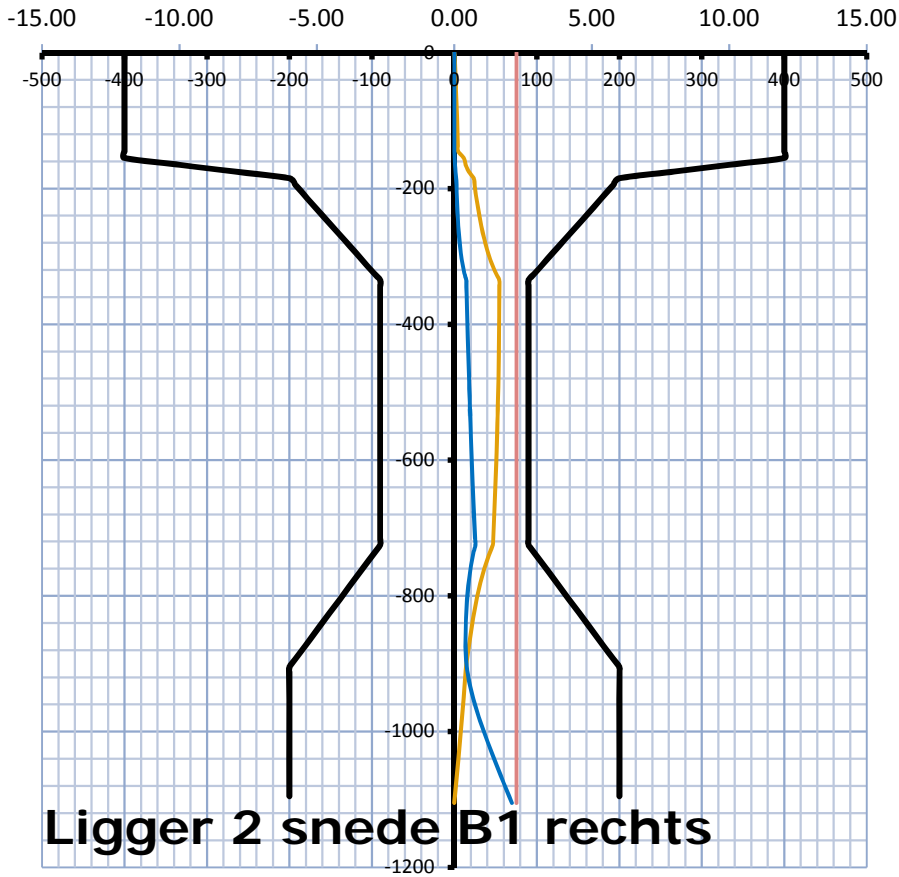
<u>Ligger 2</u>	
Snedes	A
Positie snede [m]	1.35
Belastingspositie	RS1 1.69
	RS2 9.79
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	1.15



Ligger 2 snede B1 links

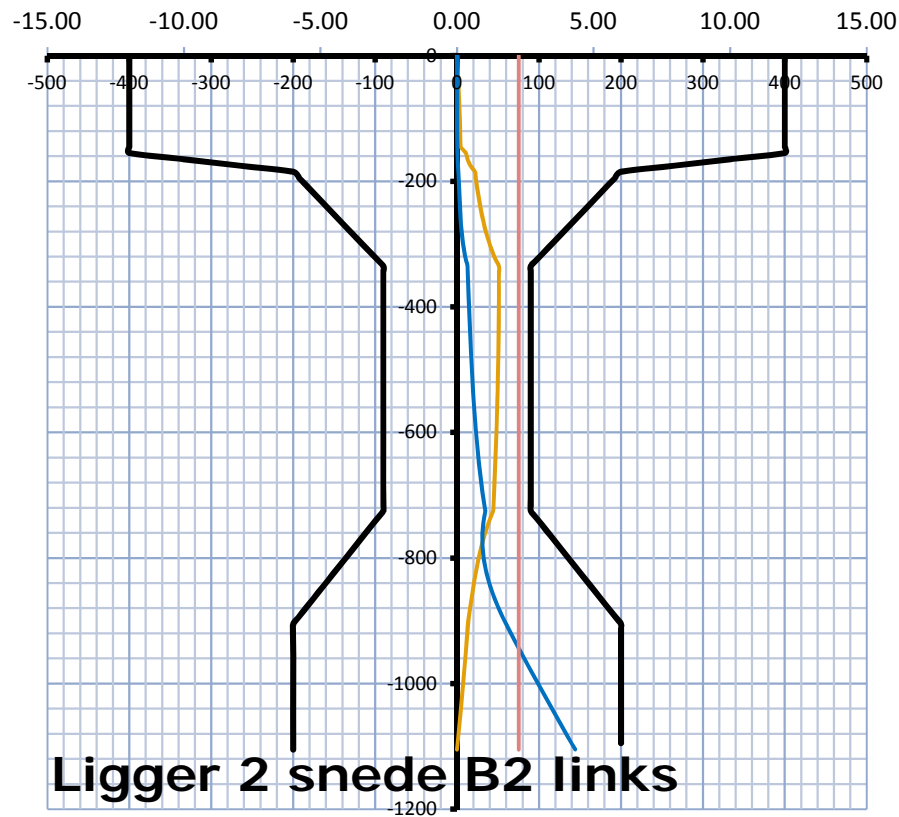
— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

<u>Ligger 2</u>	
Snedes	B1 links
Positie snede [m]	1.90
Belastingspositie	RS1 2.34
	RS2 10.44
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	1.15



— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

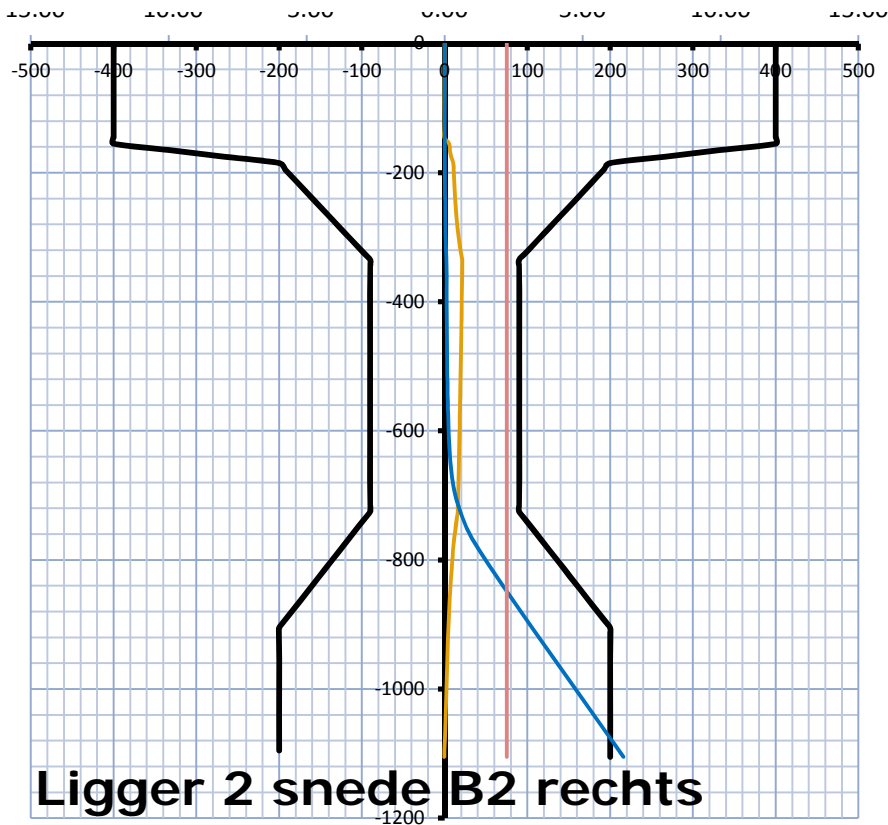
<u>Ligger 2</u>	
Snede	B1 rechts
Positie snede [m]	2.10
Belastingspositie	RS1 2.34
	RS2 10.44
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	0.72



— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

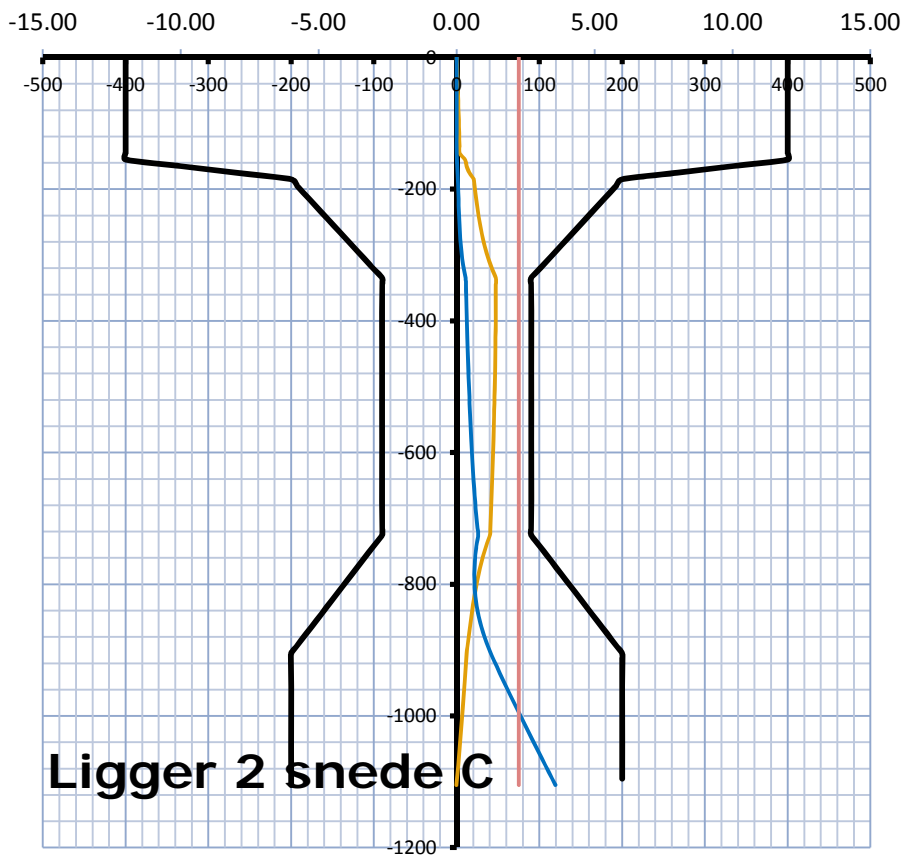
<u>Ligger 2</u>	
Snede	B2 links
Positie snede [m]	2.90
Belastingspositie	RS1 0.00
	RS2 11.44
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.68

-15.00 -10.00 -5.00 0.00 5.00 10.00 15.00



— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

<u>Ligger 2</u>	
Snedes	B2 rechts
Positie snede [m]	3.10
Belastingspositie	RS1 6.25
	RS2 11.44
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.28

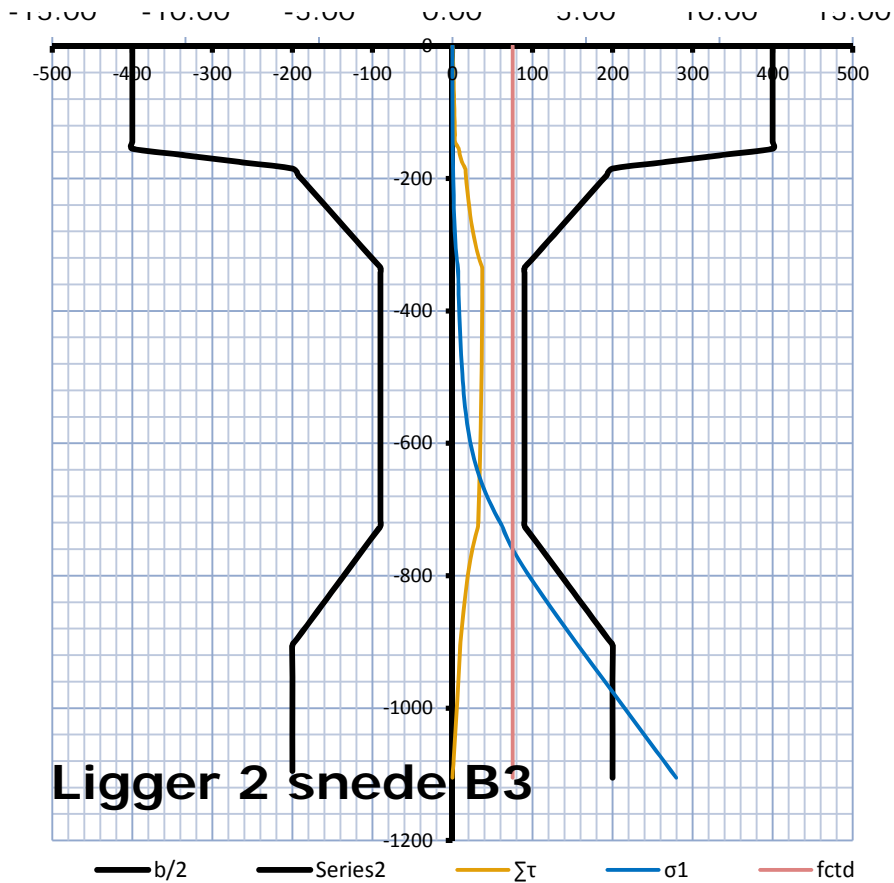


— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

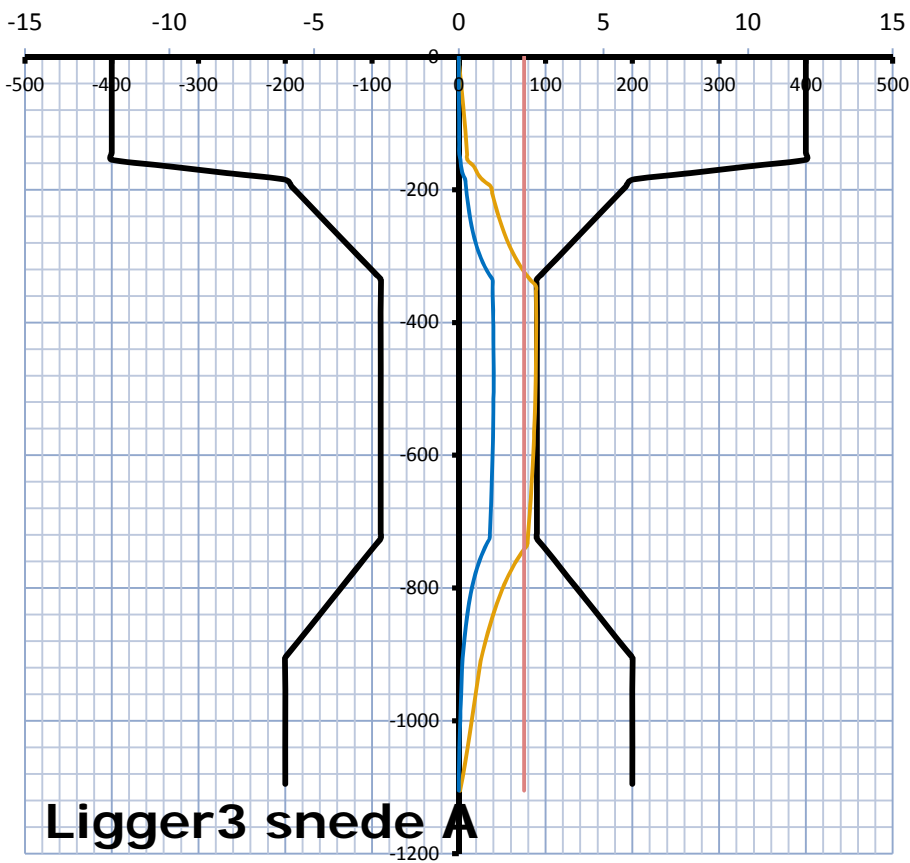
<u>Ligger 2</u>	
Snedes	C
Positie snede [m]	2.50
Belastingspositie	RS1 5.75
	RS2 10.94
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.63

-15.00 -10.00 -5.00 0.00 5.00 10.00 15.00

Ligger 2

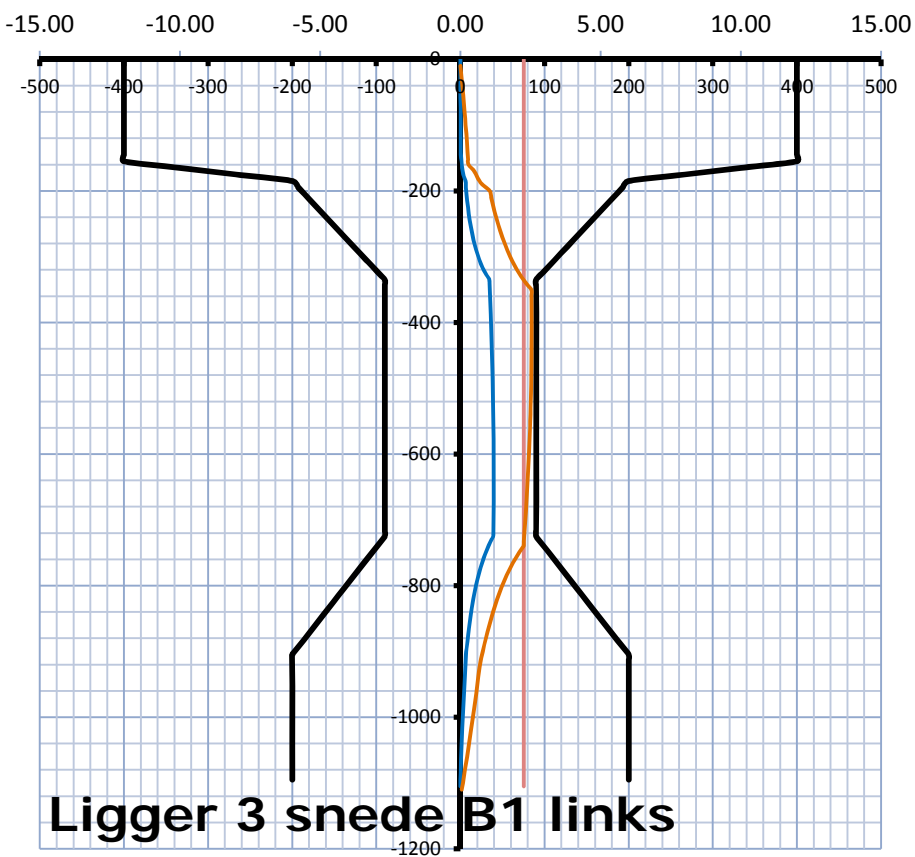


Sned	B3
Positie snede [m]	5.00
Belastingspositie	RS1 8.25
	RS2 13.44
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.49



— b/2 — Series2 — Στ — σ1 — fctd

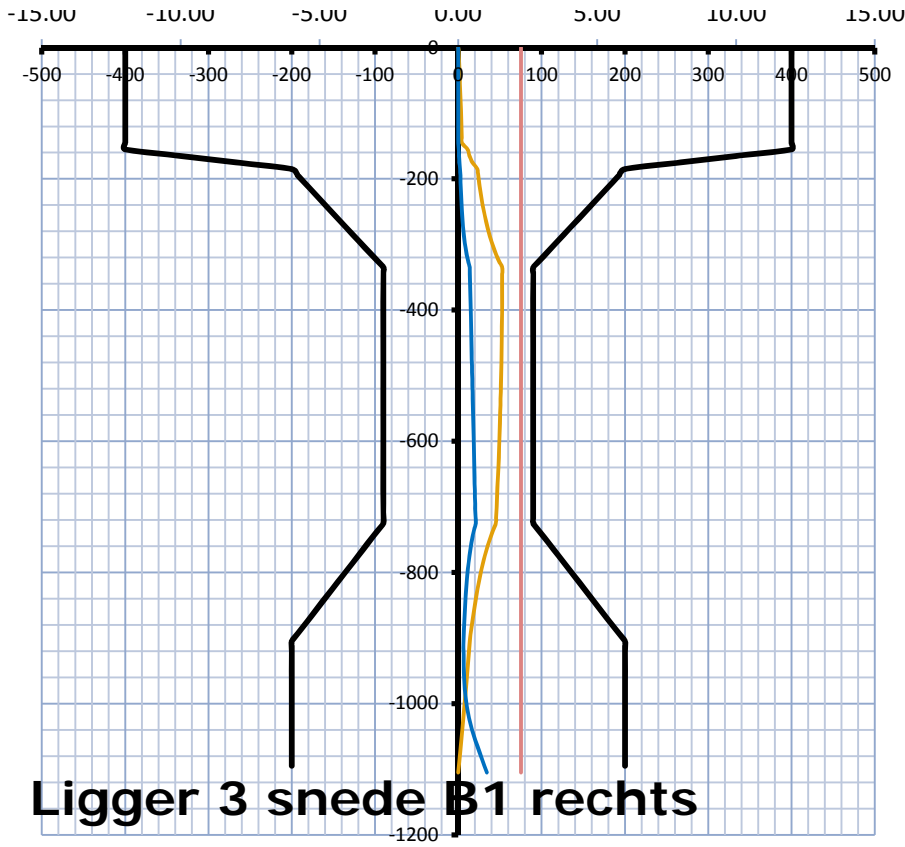
<u>Ligger 3</u>	
Snedes	A
Positie snede [m]	1.35
Belastingspositie	RS1 4.60 m
	RS2 9.79 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	1.18



— b/2 — Series2 — σ1 — fctd — Στ

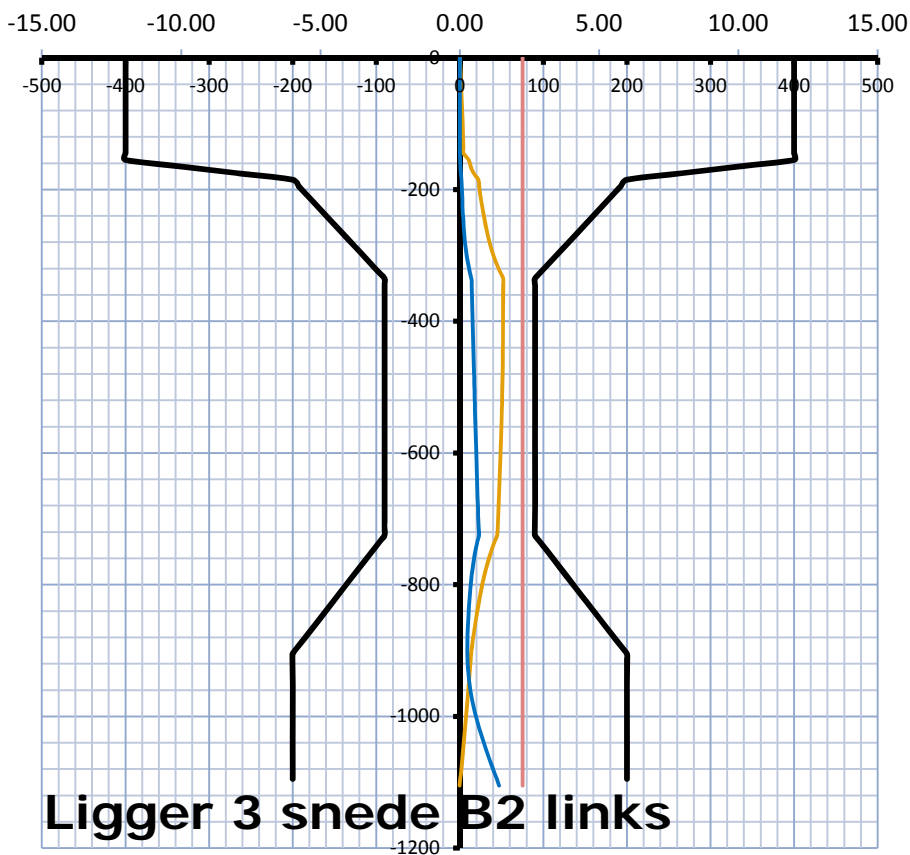
<u>Ligger 3</u>	
Snedes	B1 links
Positie snede [m]	1.90
Belastingspositie	RS1 5.25 m
	RS2 10.44 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	1.12

15.00 10.00 5.00 0.00 5.00 10.00 15.00



— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

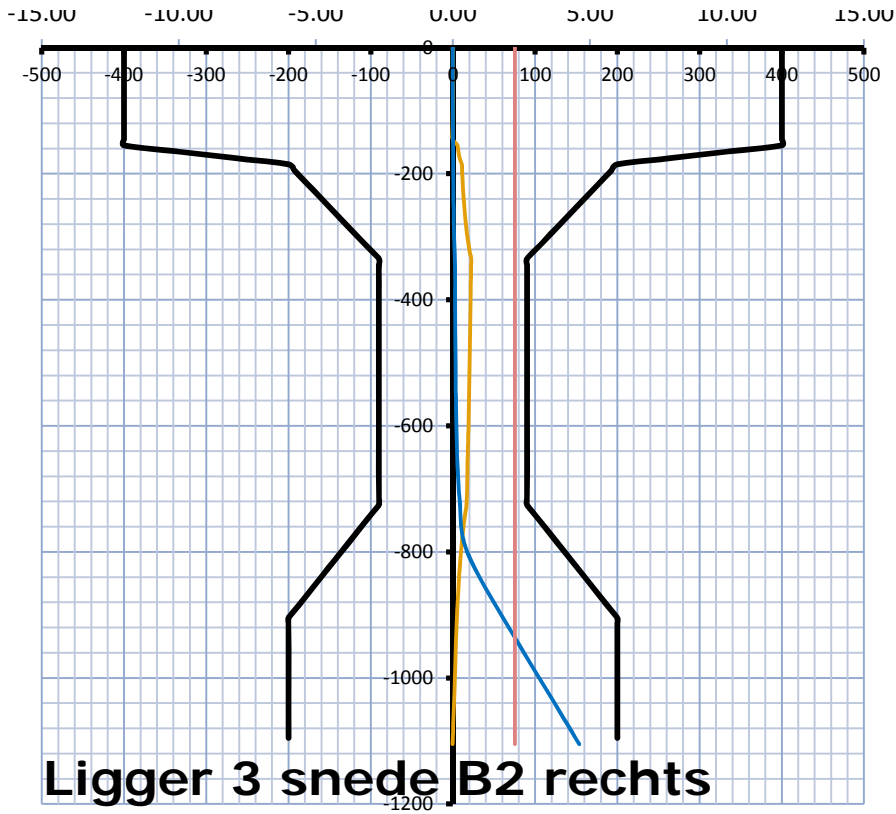
<u>Ligger 3</u>	
Snedes	B1 rechts
Positie snede [m]	2.10
Belastingspositie	RS1 5.25 m
	RS2 10.44 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	0.70



— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

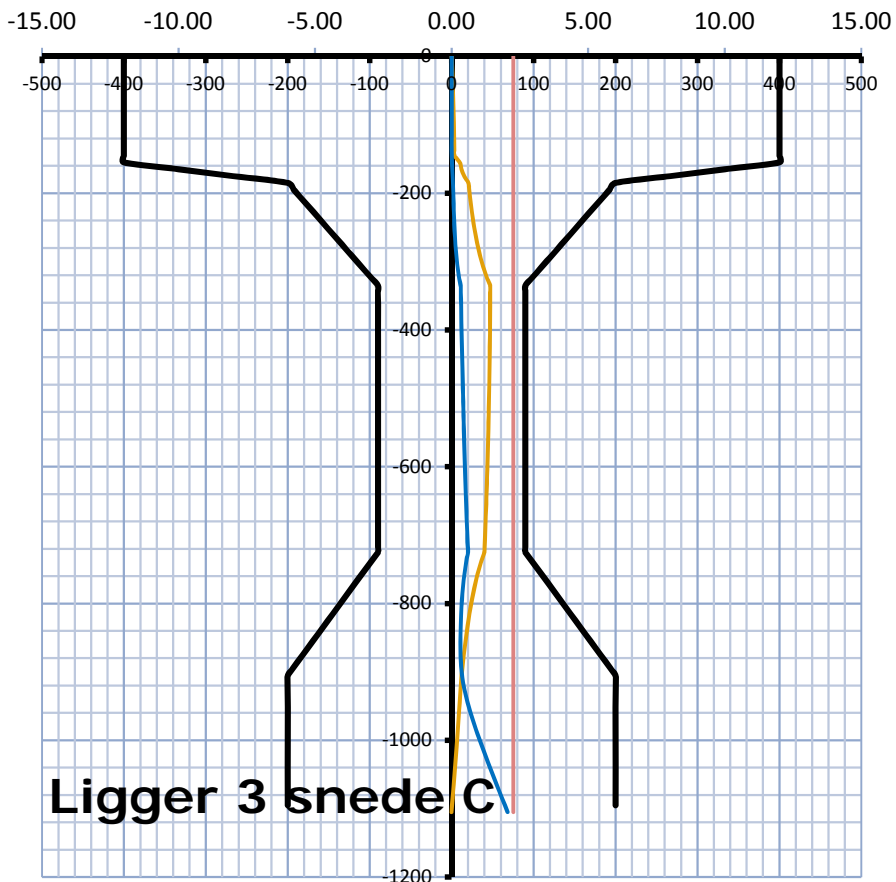
<u>Ligger 3</u>	
Snedes	B2 links
Positie snede [m]	2.90
Belastingspositie	RS1 6.25 m
	RS2 11.44 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	0.69

15.00 10.00 5.00 0.00 5.00 10.00 15.00



— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

Ligger 3	
Snedes	B2 rechts
Positie snede [m]	3.10
Belastingspositie	RS1 6.25 m
	RS2 11.44 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.30

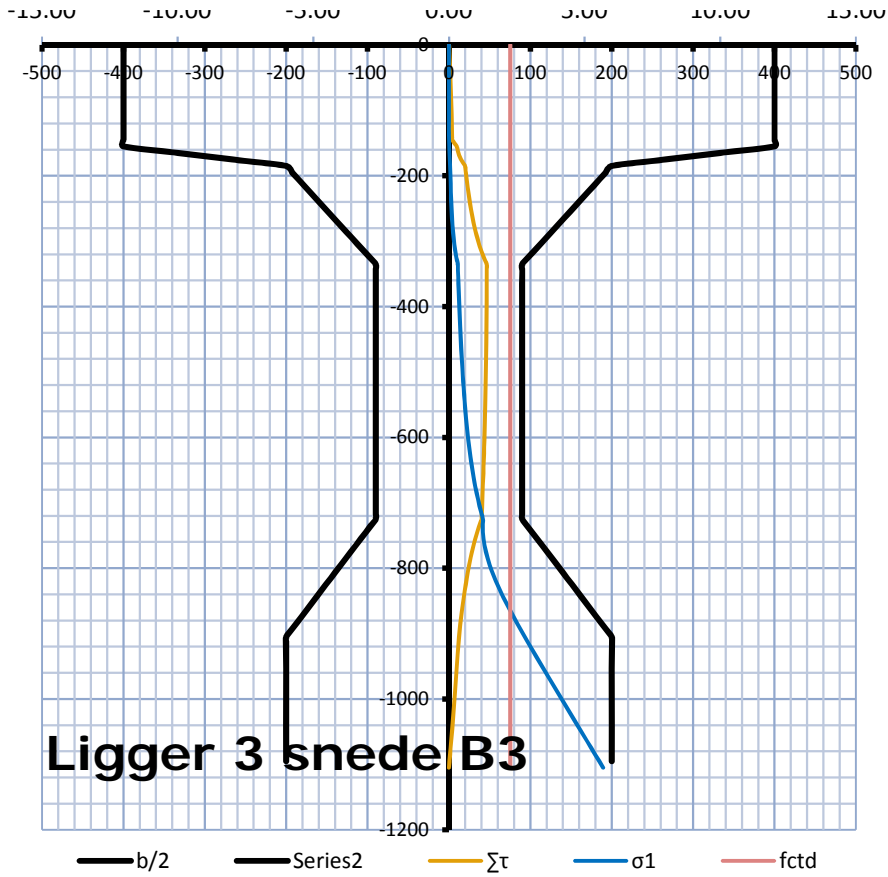


— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

Ligger 3	
Snedes	C
Positie snede [m]	2.50
Belastingspositie	RS1 5.75 m
	RS2 10.94 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	0.62

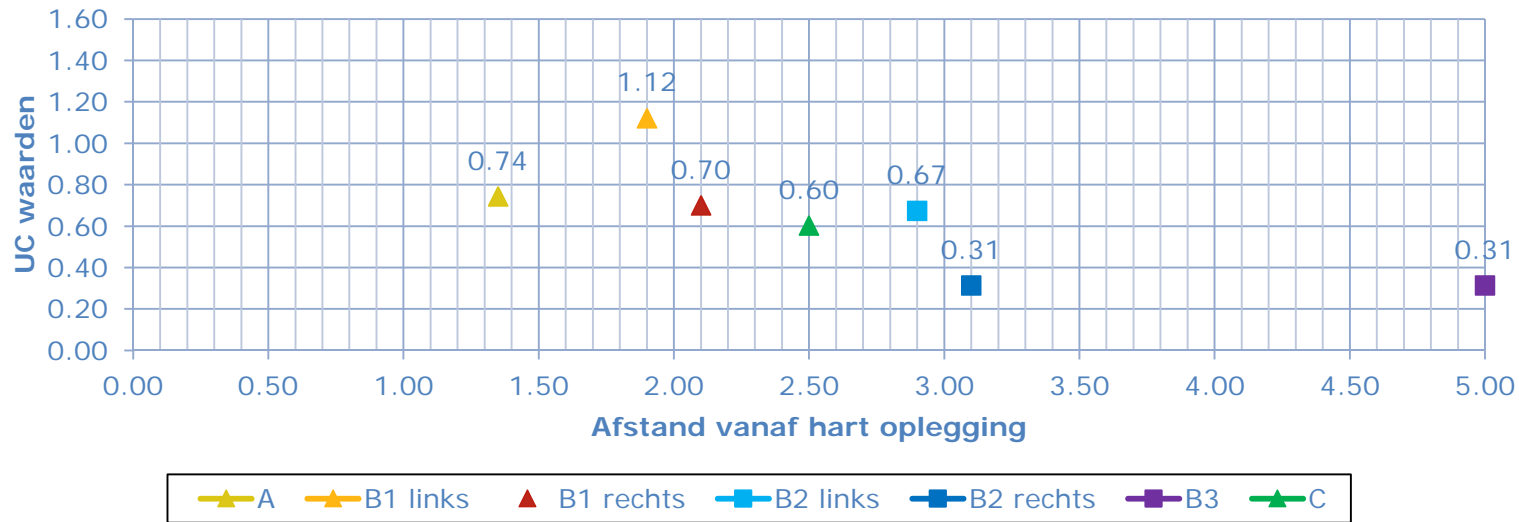
-15.00 -10.00 -5.00 0.00 5.00 10.00 15.00

Ligger 3



Snede	B3
Positie snede [m]	5.00
Belastingspositie	RS1 8.25 m
	RS2 13.44 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.62

Ligger 1 UC dwarskracht

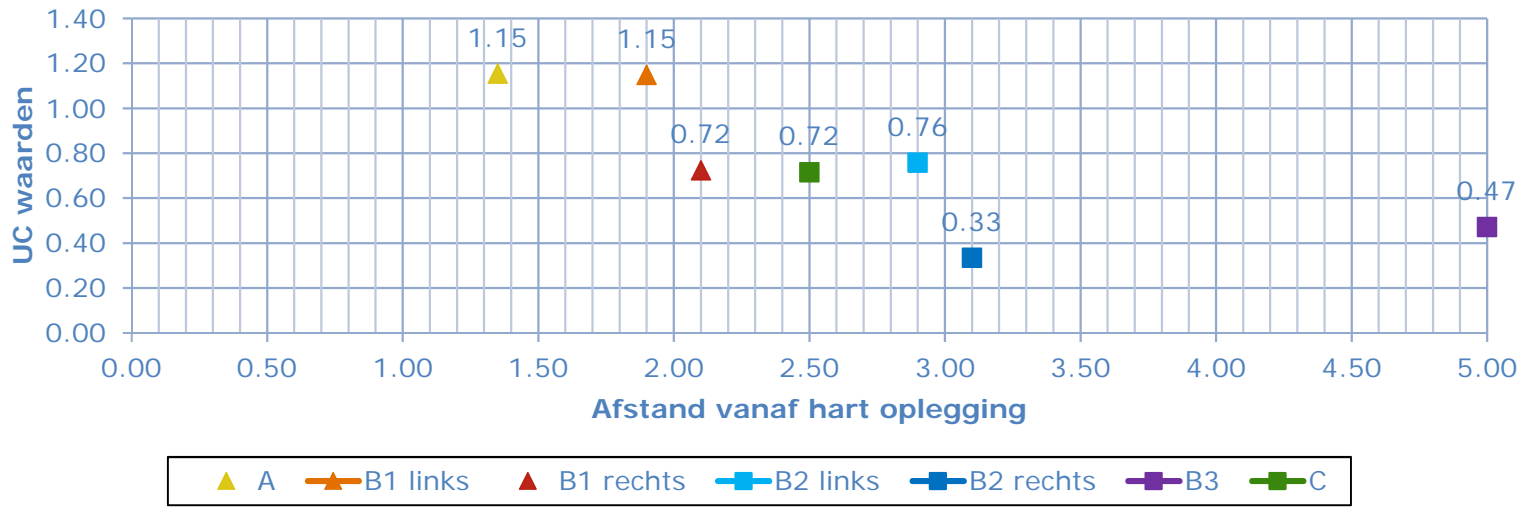


Ligger 1

Snede		A	B1 links	B1 rechts	B2 links	B2 rechts	B3	C
Positie snede [m]		1.35	1.90	2.10	2.90	3.10	5.00	2.50
Belastingspositie	RS1	4.60 m	5.25 m	5.25 m	6.25 m	6.25 m	8.25 m	5.75 m
	RS2	9.79 m	10.44 m	10.44 m	11.44 m	11.44 m	13.44 m	10.94 m
Gescheurd/ongescheurd		Ongescheurd	Ongescheurd	Ongescheurd	Ongescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Ongescheurd
ATB/ABB		ATB	ATB	ATB	ATB	ABB	ABB	ATB
UC		0.74	1.12	0.70	0.67	0.31	0.31	0.60
	MOV	0.77	0.76	0.56	0.46	0.40	0.50	
	%	97%	147%	125%	146%	78%	63%	

Ligger 2 UC dwarskracht

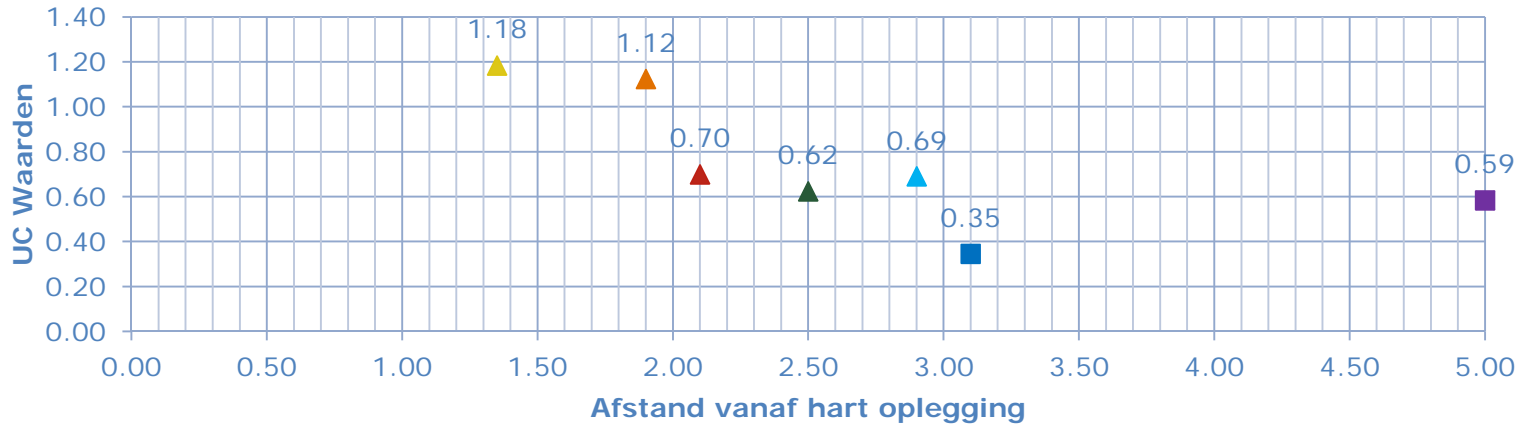
Driehoekje is ATB
Vierkantje is ABB



Ligger 2

Snede		A	B1 links	B1 rechts	B2 links	B2 rechts	B3	C
Positie snede [m]		1.35	1.90	2.10	2.90	3.10	5.00	2.50
Belastingspositie	RS1	1.69	2.34	2.34	3.34	6.25	8.25	5.75
	RS2	9.79	10.44	10.44	11.44	11.44	13.44	10.94
Gescheurd/ongescheurd		Ongescheurd	Ongescheurd	Ongescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Gescheurd
ATB/ABB		ATB	ATB	ATB	ABB	ABB	ABB	ABB
UC		1.15	1.15	0.72	0.76	0.33	0.47	0.72
	MOV	0.92	0.84	0.52	0.66	0.35	0.48	
	%	125%	137%	139%	115%	96%	98%	

Ligger 3 UC dwarskracht



Driehoekje is ATB
Vierkantje is ABB



Ligger 3

Snede		A	B1 links	B1 rechts	B2 links	B2 rechts	B3	C
Positie snede[m]		1.35	1.90	2.10	2.90	3.10	5.00	2.50
Belastingspositie	RS1	4.60 m	5.25 m	5.25 m	6.25 m	6.25 m	8.25 m	5.75 m
	RS2	9.79 m	10.44 m	10.44 m	11.44 m	11.44 m	13.44 m	10.94 m
Gescheurd/ongescheurd		Ongescheurd	Ongescheurd	Ongescheurd	Ongescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Ongescheurd
ATB/ABB		ATB	ATB	ATB	ATB	ABB	ABB	ATB
UC		1.18	1.12	0.70	0.69	0.35	0.59	0.62
	Mov	1.08	1.01	0.62	0.71	0.52	0.55	0.89
	%	10%	11%	13%	-3%	-33%	6%	-30%

Omschrijving kunstwerk

Naam kunstwerk:	Brug over de Rotte in A20
Topografische code en ligging:	37F-101
Stichtingsjaar:	1970
Aantal overspanningen:	6 st.

opm.

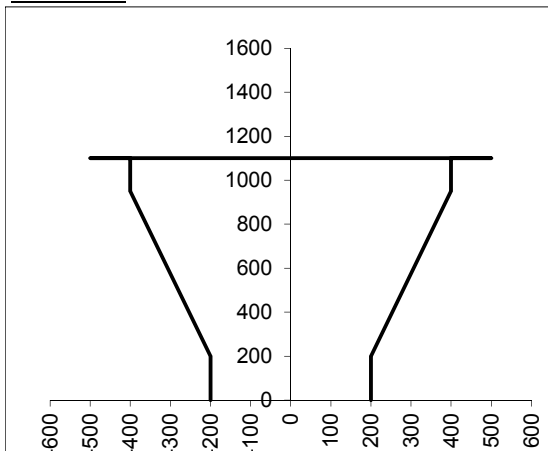
Lichtblauw alleen info

Donkerblauw benodigd voor t

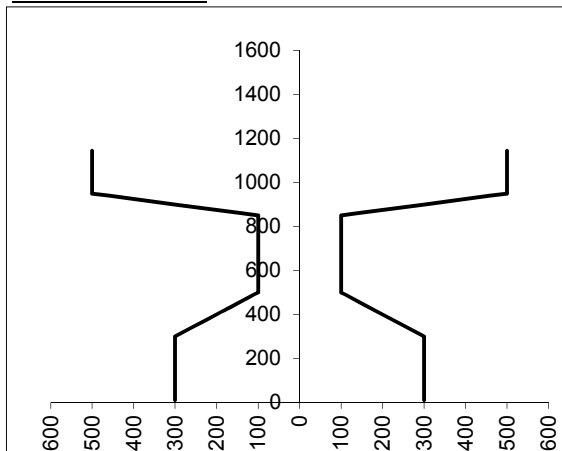
Geometrie hoofdliggers

Type constructie:	één veld zonder tanden		
Liggervorm:	constante hoogte	Afstand hart brug tot:	
Aantal hoofdliggers:	11 st.	Ligger 1	7.50 m
h.o.h. afstand hoofdliggers:	1.50 m	Ligger 2	6.00 m
Totale lengte incl. overstekken:	25.89 m	Ligger 3	4.50 m
Lengte overstek:	0.45 m	Ligger 4	3.00 m
Lengte oplegblocken:	0.30 m	Ligger 5	1.50 m
		hart brug	0 m
		Traagheid brugdek	247.5
		$=2*(afs. L1^2+afs. L2^2+afs. L3^2)$	

Hamereind:



Normaaldoorsnede:



Gegevens tussenstorten

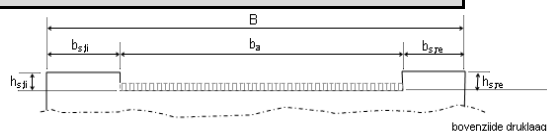
Betonkwaliteit	C45/55
Dikte tussenstort in [m]	0.15 m
Breedte tussenstort in [m]	0.50 m

Gegevens dwarsdragers

Aantal dwarsdragers	0 st.
Breedte dwarsdragers [m]	0 m
Hoogte dwarsdragers [m]	0 m
Hoek met hoofdliggers [graden]	- graden
Doorsnede voorspanning [mm ²]	- mm ²
Afstand van oorsprong tot 1e dwarsdrager [m]	25.89 m
Afstand van 1e tot 2e dwarsdrager [m]	25.89 m

Rijvloergegevens

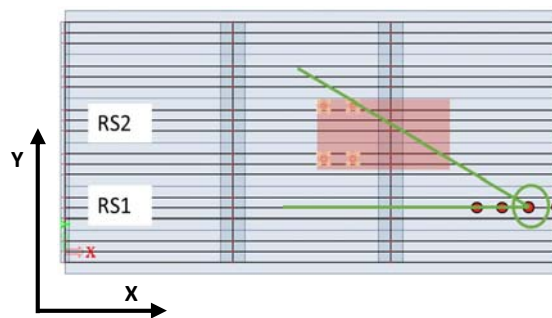
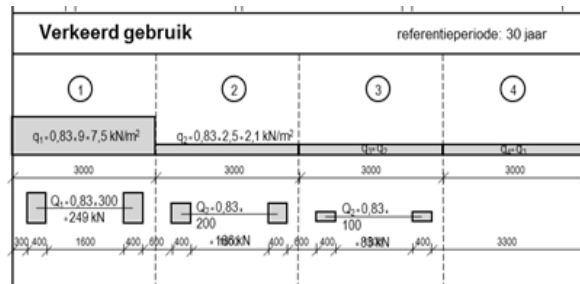
Breedte (B) = uitwendige breedte [m]	15.00 m
$b_{s,links}$ = breedte schampstrook links [m]	0.49 m
$b_{s,rechts}$ = breedte schampstrook rechts [m]	0.30 m
b_{asfalt} = breedte asfalt tussen schampkan	15.00 m
$b_{rand,links}$ = afstand schamprand over hart ra	-0.220 m
$d_{randafwerking}$ = dikte randafwerking	0.620 m
h_{ligger} = hoogte 'standaard' ligger [m]	1.145 m
$h_{s,links}$ = hoogte schamprand links [m]	0.55 m
$h_{s,rechts}$ = hoogte schamprand rechts [m]	0.55 m
h_{asfalt} = dikte asfalt (gem. over breedte) [m]	0.21 m



d_{druklaag} = dikte druklaag (gem. over breedte) 25 mm

Verkeersbelastingen

Aantal rijstroken	4	st.
Rijwegindeling	"V2"	
Afstand wiel TS1-b&TS2-a	1.00 m	
Breedte rijstrook 1	3.00 m	
Afstand Schampkant -> hart RS1	1.80 m	
Breedte rijstrook 2	3.00 m	
Afstand schampkant-> hart RS2	4.80 m	
Breedte rijstrook 3	3.00 m	
Afstand schampkant-> hart RS3	7.80 m	
Breedte rijstrook 4	3.00 m	
Afstand schampkant-> hart RS4	10.80 m	
Afstand schampkant	0.30 m	
TS1	600	600 kN
TS2	400	400 kN
TS3	200	200 kN
UDL1	9	9 kN/m
UDL2	2.5	2.5 kN/m
Afstand wielprint x-richting		1.2 m
Afstand wielprint y-richting		2 m



Tan 30 graden 0.57735 $\text{Afst}_x = \text{Afst}_y / \text{Tan}(30)$

Belastingspositie

Afstand tussen hart TS en de ligger

Hart	Hart TS1		Hart TS2		Hart RS3		Hart RS4		Hart RS5	
	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx
Brug	5.92 m	10.25 m	2.92 m	5.06 m	-0.08 m	-0.14 m	-3.08 m	-5.33 m	nvt	nvt
Ligger 1	1.58 m	2.74 m	4.58 m	7.93 m	7.58 m	13.13 m	10.58 m	18.33 m	nvt	nvt
Ligger 2	0.08 m	0.14 m	3.08 m	5.33 m	6.08 m	10.53 m	9.08 m	15.73 m	nvt	nvt
Ligger 3	1.42 m	2.46 m	1.58 m	2.74 m	4.58 m	7.93 m	7.58 m	13.13 m	nvt	nvt
Ligger 4	2.92 m	5.06 m	0.08 m	0.14 m	3.08 m	5.33 m	6.08 m	10.53 m	nvt	nvt
Ligger 5	4.42 m	7.66 m	1.42 m	2.46 m	1.58 m	2.74 m	4.58 m	7.93 m	nvt	nvt
Ligger 6	5.92 m	10.25 m	2.92 m	5.06 m	0.08 m	0.14 m	3.08 m	5.33 m	nvt	nvt

De afstand vanaf de ligger tot hart rijstrook wordt gedeeld door de tan 30 graden en bepaald de afstand in x-richting

Δy = Afstand tussen hart ligger en hart rijstrook

Δx = Afstand tussen (kritische) snede en belastingspositie

Uitgangspunt van de methode is:

De positie in y en x-richting worden bepaald door een hoek te maken van 30 graden vanaf gekozen punt. Dit heeft tot gevolg dat voor elke ligger de afstand tot snede en hart TS bepaald is.

Belastingsfactoren

Type gebruik

Gebruik

Alpha-factoren

Al phafactor-rijstrook 1	$aq_1 =$	1
Alphafactor-rijstrook > 1	$aq > 1 =$	1

Past automatisch aan aan aantal rijstroken

Reductie-factoren door korte referentieperiode

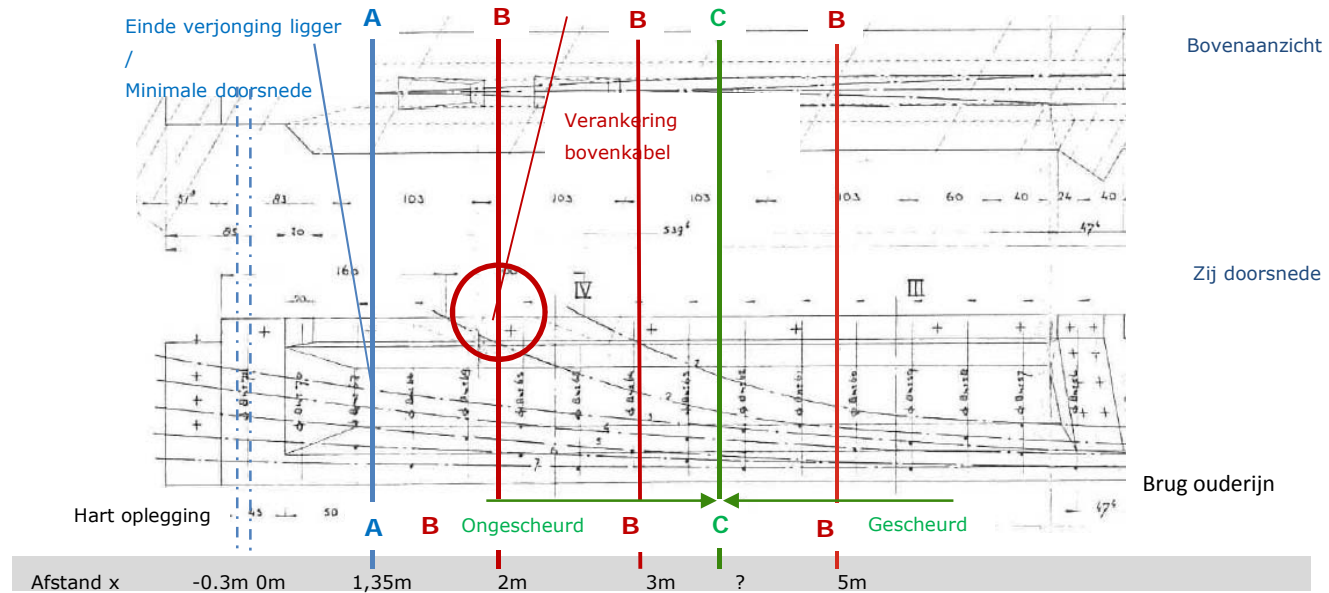
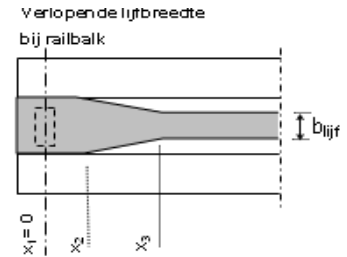
$\psi =$ 0.98

Belastings-factoren

$\beta =$	3.30
$\gamma\text{-EG,max} =$	1.25
$\gamma\text{-EG,min} =$	1.15
$\gamma\text{-verkeer} =$	1.25
$\Psi\text{-verkeer} =$	0.80

Te Beschouwen (kritische) snedes vanaf hart assen/steunpunt

Snede	hart stpt.	balkeinde	
0	0.00 m	0.45 m	Hart van de oplegging
A	2.45 m	2.90 m	Einde verjonging ligger/Minimale doorsnede
B1	3.95 m	4.40 m	Verankering bovenkabel
B2	5.15 m	5.60 m	Verankering bovenkabel
C	3.63 m	4.08 m	Zoekpunt voor Gescheurd/Ongescheurd
B3	6.35 m	6.80 m	Extra toegevoegd punt



Belastingspositie afstand x rijstrook t.g.v. (kritische) snede op ligger

Snede		Ligger 1				Ligger 2				Ligger	
		RS1	RS2	RS3	RS4	RS1	RS2	RS3	RS4	RS1	RS2
0	0.00 m	2.74 m	7.93 m	13.13 m	18.33 m	0.14 m	5.33 m	10.53 m	15.73 m	2.46 m	2.74 m
A	2.45 m	5.19 m	10.38 m	15.58 m	20.78 m	2.59 m	7.78 m	12.98 m	18.18 m	4.91 m	5.19 m
B1	3.95 m	6.68 m	11.88 m	17.07 m	22.27 m	4.08 m	9.28 m	14.48 m	19.67 m	6.40 m	6.68 m
B2	5.15 m	7.88 m	13.08 m	18.27 m	23.47 m	5.28 m	10.48 m	15.68 m	20.87 m	7.60 m	7.88 m
C	3.63 m	6.37 m	11.56 m	16.76 m	21.96 m	3.77 m	8.96 m	14.16 m	19.36 m	6.09 m	6.37 m
B3	6.35 m	9.08 m	14.28 m	19.47 m	24.67 m	6.48 m	11.68 m	16.88 m	22.07 m	8.80 m	9.08 m

Belastingsfactoren

Alpha factoren	$\alpha_q =$	1
	$\alpha_{trend} =$	1
	$\Phi_{trend} =$	1
	$\gamma_{eg} =$	1.25

$\gamma_{vsp} = 1$
 $\gamma_{mob} = 1.25$
 $red\ mob = 0.9$

Gebruikfactoren huidig ge 1

Hulbuisreductie

Hulbuisreductie toepassen? **nee** diameter voorspar 23 mm
 Aftrek halve diameter 0 mm

Materiaaleigenschappen: Beton, betonstaal en voorspanstaal

Beton / RBK v1.1 Ligger 'ussenstort

originele kwaliteit = C70/85 C35/45 -

$f_{ck} = 80$ 35 N/mm²
 $f_{ck,cube} = 95$ 45 N/mm²
 $f_{cm} = 88$ 43 N/mm²
 $f_{cd} = 45.3$ 23.3 N/mm²
 $f_{ctm} = 4.84$ 3.21 N/mm²
 $f_{ctk,0.05} = 3.39$ 2.25 N/mm²
 $f_{ctk,0.95} = 6.29$ 4.17 N/mm²
 $f_{ctd} = 1.92$ 1.50 N/mm²
 $E_{fic} = 25905$ 13333 N/mm²

Meting: $k_t = 0.85$

De waarden zonder onderzoek moeten zijn beschouwd als betonsterkte bepaald op ouderdom $t > 28$ dagen met bijbehorende waarde voor k_t

In het geval de sterkte gelijk aan de ontwerpklasse (druklaag), is een waarde $k_t = 1,0$ aangehouden.

Betonstaal

QR 22

(beugelwapening)

Eigenschappen volgens RBK v1.1:

$f_{y;d} = 191$ N/mm²
 $\epsilon_{s;u} = 5.00$ %
 $E_s = 200000$ N/mm²
 $f_{y;rep} = 220$ N/mm²

Voorspanstaal

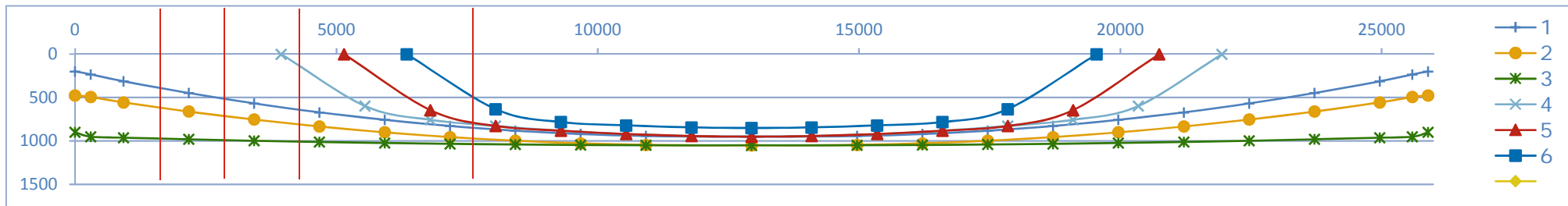
QP 190

Eigenschappen volgens RBK v1.1:

$f_{purep} = 1864$ N/mm²
 $f_{pu} = 1600$ N/mm²
 $f_{p;rep} = 1610$ N/mm²
 $\sigma_{pi} = 1212$ N/mm²
 $\epsilon_{p;u} = 3.50$ %
 $E_p = 200000$ N/mm²
 $\sigma_{pw,max} = 1025$ N/mm²

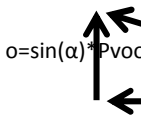
Invoer kabelverloop

Voorspankabel Doorsnede [mm ²] Spanwijze	1		2		3		4		5		6	
	414		1114		2228		414		414		414	
	Rechts > Links		Links > Rechts		Rechts > Links		Links > Rechts		Rechts > Links		Links > Rechts	
	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]	X[mm]	Y[mm]
1	0	200	0	475	0	900	3945	0	5145	0	6345	0
2	300	233	300	494	300	951	5545	597	6795	645	8045	633
3	925	313	925	556	925	962	6795	756	8045	827	9295	782
4	2175	448	2175	661	2175	980	8045	827	9295	882	10545	820
5	3425	567	3425	753	3425	997	9295	882	10545	920	11795	843
6	4675	670	4675	833	4675	1011	10545	920	11795	943	12945	850
7	5925	756	5925	900	5925	1023	11795	943	12945	950	14095	843
8	7175	827	7175	955	7175	1033	12945	950	14095	943	15345	820
9	8425	882	8425	997	8425	1040	14095	943	15345	920	16595	782
10	9675	920	9675	1027	9675	1046	15345	920	16595	882	17845	633
11	10925	943	10925	1045	10925	1049	16595	882	17845	827	19545	0
12	12945	950	12945	1050	12945	1050	17845	827	19095	645		
13	14965	943	14965	1045	14965	1049	19095	756	20745	0		
14	16215	920	16215	1027	16215	1046	20345	597				
15	17465	882	17465	997	17465	1040	21945	0				
16	18715	827	18715	955	18715	1033						
17	19965	756	19965	900	19965	1023						
18	21215	670	21215	833	21215	1011						
19	22465	567	22465	753	22465	997						
20	23715	448	23715	661	23715	980						
21	24965	313	24965	556	24965	962						
22	25590	233	25590	494	25590	951						
23	25890	200	25890	475	25890	900						



Verificatie kabelverloop

Voorspankabel	1		2		3		4		5		6	
	Ned punt	hoek Vvrsp	1080 hoek Vvrsp	401 hoek Vvrsp	2160 hoek Vvrsp	401 hoek Vvrsp	401 hoek Vvrsp	401 hoek Vvrsp	401 hoek Vvrsp	401 hoek Vvrsp		
1	6	44	4	68	10	362	24	24	24	24	24	
2	7	51	6	107	1	38	20	140	21	146	20	140
3	6	43	5	90	1	31	7	51	8	58	7	47
4	5	38	4	79	1	29	3	23	3	18	2	12
5	5	33	4	69	1	24	3	18	2	12	1	7
6	4	28	3	58	1	21	2	12	1	7	0	2
7	3	23	3	47	0	17	1	7	0	2	0	-2
8	3	18	2	36	0	12	0	2	0	-2	-1	-7
9	2	12	1	26	0	10	0	-2	-1	-7	-2	-12
10	1	7	1	16	0	5	-1	-7	-2	-12		
SOM	42	296	32	596	15	550	33	231	30	204	51	188



Snedes A	Y		Y in punt x	z	Ap _i *z _i 10 ³	Ap _i *z _i ² 10 ⁶	N _{ed}	M _{vrsp}	Hoek intrede	Hoek _{vrsp} Arctan	V _{vrsp}	
	Ap	xL										xR
	[mm2]	2175	3425	2450			kN	kNm				
d1	414	448	567	474	376	155584	58469282	401	-19	5	5	38
d2	1114	661	753	681	583	649313	378462310	1080	173	4	4	79
d3	2228	980	997	984	885	1972595	1746468941	2160	999	1	1	34
	A _{tot}			d _{max}	0,1d _{max}	ΣAp _i *z _i 10 ³	ΣAp _i *z _i ² 10 ⁶		ΣM _{vrsp}			ΣV _{vrsp}
	3756			984	98	2777492	2183400534		1154			151
	mm2			mm	mm				kNm			kN
	$M_{vrsp} = (x - z_{bf}) * N_{Ed}$											
d _{eff} volgens modelcode							Aantal kabels	3 st.				
z _{eff} = ΣAp _i *z _i ² / ΣAp _i *z _i							Totaal opp	3756 mm ²				
d _{eff} = z _{eff} + 0,1d _{max}							f _{pk}	1864 mPa				
							Ned	3641 kN				
							M.vrsp.ligg	1153.62 kNm				
							M.vrsp.ligg+tuss	kNm				

Toelichting

Invullen van de blauwe cellen zorgt voor een zoekfunctie in Geel gemarkeerd zijn de hoogtes in de aangegeven punten Invullen x in punt op snede

Vergelijken

Quickscan check geeft		% tov Movares
Positie kritischpunt A	1350	
d _{eff} = [mm]	900	98%
N _{ed} = [kN]	3224	113%
V _{vrsp} = [kN]	113	134%
M _{vrsp.ligg} = [kNm]	1050	110%
M _{vrsp.ligg+tuss} = [kNm]		

Snede B1

Links	Y		Y		Y		Ap _i * z _i 10 ³	Ap _i * z _i ² 10 ⁶	N _{ed}	M _{vrsp}	Hoek intrede	Hoek _{vrsp} Arctan	V _{vrsp}
	Ap	xL	xR	Y in punt	x	z							
	[mm2]	3425	4675	3935									
d1	414	567	670	609	509	210624	107155376	401	35	5	5	33	kN
d2	1114	753	833	786	685	763501	523279657	1080	286	4	4	69	kN
d3	2228	997	1011	1003	902	2010638	1814481858	2160	1040	1	1	31	kN
	A _{tot}			d _{max}	0,1d _{max}	ΣAp _i * z _i 10 ³	ΣAp _i * z _i ² 10 ⁶		ΣM _{vrsp}			ΣV _{vrsp}	
	3756			1003	100	2984763	2444916891		1361			133	
	mm2			mm	mm				kNm			kN	
d _{eff} volgens modelcode									Aantal kabels			3 st.	
z _{eff} = ΣA _{pi} * z _i ² / ΣA _{pi} * z _i		819 mm							Totaal opp			3756 mm2	
d _{eff} = z _{eff} + 0,1d _{max}		919 mm							f _{pk}			1864 mPa	
									N _{ed}			3641 kN	
									M.vrsp.ligg			1361 kNm	
									M.vrsp.ligg+tuss			kNm	

Vergelijken

Quickscan check geeft		% tov Movares
Positie kritischpunt B: 2000	Links	
d _{eff} = [mm]	930	99%
N _{ed} = [kN]	3209	113%
V _{vrsp} = [kN]	116	115%
M _{vrsp.ligg} = [kNm]	1192	114%
M _{vrsp.ligg+tuss} = [kNm]		

Snedeberekening

	Y		Y		x in punt	z	$A_{pi} * z_i^3 \cdot 10^3$	$A_{pi} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}
	A_p	xL	xR										
	[mm ²]	3425	4675		3955				kN	kNm		Arctan	kN
d1	414	567	670		611	510	211297	107841250	401	36	5	5	35
d2	1114	753	833		787	687	764902	525201776	1080	287	4	4	69
d3	2228	997	1011		1003	903	2011087	1815292637	2160	1041	1	1	31

	A_p	xL	xR	x in punt	z	$A_{pi} * z_i^3 \cdot 10^3$	$A_{pi} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}
	[mm ²]	3945	5545	3955				kN	kNm	Arctan		kN
d4	414	0	597	4	0	0	0	401	-208	20	20	140

d_{eff} volgens modelcode

$z_{eff} = \frac{\sum A_{pi} * z_i^2}{\sum A_{pi} * z_i} = 820 \text{ mm}$
 $d_{eff} = z_{eff} + 0,1d_{max} = 920 \text{ mm}$

A_{tot}	d_{max}	$0,1d_{max}$	$\sum A_{pi} * z_i^3 \cdot 10^3$	$\sum A_{pi} * z_i^2 \cdot 10^6$	$\sum M_{vrsp}$	$\sum V_{vrsp}$
4170	1003	100	2987286	2448335663	1156	276 kN
mm ²	mm	mm		$M_{vrsp} = (x - z_{bf}) * N_{Ed}$	kNm	kN

Aantal kabels	4 st.
Totaal opp	4170 mm ²
f _{pk}	1864 mPa
N _{ed}	4042 kN
M.vrsp.ligg	1156 kNm
M.vrsp.ligg+tuss	kNm

Vergelijken

Quickscan check geeft		% tov Movares
Positie kritischpunt B: 2000	Rechts	
$d_{eff} = [mm]$	930	99%
$N_{ed} = [kN]$	3538	114%
$V_{vrsp} = [kN]$	250	110%
$M_{vrsp.ligg} = [kNm]$	1037	112%
$M_{vrsp.ligg+tuss} = [kNm]$		

Snede B2

Links		Y	Y										
	Ap	xL	xR	x in punt	z	$A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}	
	[mm2]							kN	kNm	Arctan			kN
d1	414	567	670	708	607	251400	152661751	401	75	5	5	35	kN
d2	1114	753	833	808	707	787668	556930083	1080	310	4	4	74	kN
d3	2228	997	1011	1007	906	2018386	1828493193	2160	1049	1	1	31	kN
	Ap	xL	xR	x in punt	z	$A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}	
	[mm2]							kN	kNm	Arctan			kN
d6	414	0	597	444	343	142152	48809308	401	-31	7	14	96	kN
	A_{tot}			d_{max}	$0,1d_{max}$	$\sum A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$\sum A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	$\sum M_{vrsp}$				$\sum V_{vrsp}$	
	4170			1007	101	3199605	2586894334	1402				237	
	mm2			mm	mm			kNm				kN	
d_{eff} volgens modelcode	$M_{vrsp} = (x - z_{bf}) * N_{ed}$												
$z_{eff} = \sum A_{p_i} * z_i^2 / \sum A_{p_i} * z_i$	809 mm												
$d_{eff} = z_{eff} + 0,1d_{max}$	909 mm												
											Aantal kabels	4 st.	
											Totaal opp	4170 mm2	
											fpk	1864 mPa	
											Ned	4042 kN	
											M.vrsp.ligg	1402.41 kNm	
											M.vrsp.ligg+tuss	kNm	

Toelichting

Voorspankabel 6 (d6) heeft andere punten in tekening die b zijn waardoor de zoekfunctie gesplitst is. Hier moet rekening gehouden worden.

Vergelijken

Quickscan check geeft	% tov Movares	
Positie kritischpunt B: 3000	Links	
$d_{eff} = [mm]$	940	97%
$N_{ed} = [kN]$	3528	115%
$V_{vrsp} = [kN]$	215	110%
$M_{vrsp.ligg} = [kNm]$	1295	108%
$M_{vrsp.ligg+tuss} = [kNm]$		

Snedeberekening B2

Rechts		Y		Y									
	Ap	xL	xR	x in punt	z	$A_{pi} * z_i \cdot 10^3$	$A_{pi} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}	
	[mm ²]							kN	kNm	Arctan			kN
d1	414	670	756	703	601	249006	149767804	401	73	5	5	33	kN
d2	1114	833	900	859	757	843484	638658616	1080	365	4	4	69	kN
d3	2228	1011	1023	1016	914	2036497	1861454528	2160	1068	1	1	29	kN
	Ap	xL	xR	x in punt	z	$A_{pi} * z_i \cdot 10^3$	$A_{pi} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	P_{vrsp}	V_{vrsp}	
	[mm ²]							kN	kNm	Arctan			kN
d6	414	0	597	451	350	144867	50691949	401	-28	7	14	96	kN
	Ap	xL	xR	x in punt	z	$A_{pi} * z_i \cdot 10^3$	$A_{pi} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek intrede	gem P_{vrsp}	V_{vrsp}	
	[mm ²]							kN	kNm				kN
d7	414	0	645	4	-98	-40428	3947845	401	-207	21	21	146	kN
A_{tot}				d_{max}	$0,1d_{max}$	$\sum A_{pi} * z_i \cdot 10^3$	$\sum A_{pi} * z_i^2 \cdot 10^6$	$\sum M_{vrsp}$		$\sum V_{vrsp}$			
4584				1016	102	3233426	2704520742	1271		373			
mm ²				mm	mm			kNm		kN			
d_{eff} volgens modelcode $z_{eff} = \frac{\sum A_{pi} * z_i^2}{\sum A_{pi} * z_i}$ 836 mm $d_{eff} = z_{eff} + 0,1d_{max}$ 938 mm													
$M_{vrsp} = (x - z_{bf}) * N_{ed}$ Aantal kabels 5 st. Totaal opp 4584 mm ² fpk 1864 mPa Ned 4443 kN M.vrsp.ligg 1270.54 kNm M.vrsp.ligg+tuss kNm													

Toelichting

Voorspankabel 6 (d6) heeft andere punten in tekening die b zijn waardoor de zoekfunctie gesplitst is. Hier moet rekening gehouden worden.

Vergelijken

Quickscan check geeft	% tov Movares
Positie kritischpunt B: 3000	Rechts
$d_{eff} = [mm]$	940 100%
$N_{ed} = [kN]$	3856 115%
$V_{vrsp} = [kN]$	344 108%
$M_{vrsp.ligg} = [kNm]$	1151 110%
$M_{vrsp.ligg+tuss} = [kNm]$	

Snedes B3

Links		Y		Y											
	Ap	xL	xR	x in punt	z	$A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek	P_{vrsp}	V_{vrsp}			
	[mm ²]							kN	kNm	intrede	ArcTan				
d1	414	5925	7175	6335	779	280137	189557665	401	104	5	4	30	kN		
d2	1114	900	955	918	815	908369	740694957	1080	429	4	3	63	kN		
d3	2228	1023	1033	1026	924	2057897	1900780362	2160	1091	1	1	23	kN		
	Ap	xL	xR	x in punt	z	$A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek	P_{vrsp}	V_{vrsp}			
	[mm ²]							kN	kNm	intrede	ArcTan				
d4	414	5545	6795	6335	627	217229	113981853	401	43	3	2	17	kN		
	Ap	xL	xR	x in punt	z	$A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek	P_{vrsp}	V_{vrsp}			
	[mm ²]							kN	kNm	intrede	ArcTan				
d5	414	5145	6795	6335	465	150097	54418342	401	-22	8	15	103	kN		
	A_{tot}			d_{max}	$0,1d_{max}$	$\sum A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$\sum A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$		$\sum M_{vrsp}$			$\sum V_{vrsp}$			
	4584			1026	103	3613729	2999433179		1644			236			
	mm ²			mm	mm		$M_{vrsp} = (x - z_{bf}) * N_{Ed}$		kNm			kN			
d_{eff} volgens modelcode $z_{eff} = \sum A_{p_i} * z_i^2 / \sum A_{p_i} * z_i$ 830 mm $d_{eff} = z_{eff} + 0,1d_{max}$ 933 mm															
Aantal kabels 5 st. Totaal opp 4584 mm ² fpk 1864 mPa Ned 4443 kN M.vrsp.ligg 1643.90 kNm M.vrsp.ligg+tuss kNm															

Toelichting

Voorspankabel 6 (d6) heeft andere punten in tekening die b zijn waardoor de zoekfunctie gesplitst is. Hier moet rekening gehouden worden.

Vergelijken

Quickscan check geeft		% tov Movares
Positie kritischpunt B: 5000		
$d_{eff} = [mm]$	940	99%
$N_{ed} = [kN]$	3839	116%
$V_{vrsp} = [kN]$	235	101%
$M_{vrsp.ligg} = [kNm]$	1470	112%
$M_{vrsp.ligg+tuss} = [kNm]$		

Snede B3

Rechts

	Y	Y											
	Ap	xL	xR	x in punt	z	$A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	N_{ed}	M_{vrsp}	Hoek	P_{vrsp}	V_{vrsp}	
	[mm2]							kN	kNm	intrede	Arctan		kN
d1	414	5925	7175	6355	677	280137	189557665	401	104	5	4	30	kN
d2	1114	900	955	918	815	908369	740694957	1080	429	4	3	63	kN
d3	2228	1023	1033	1026	924	2057897	1900780362	2160	1091	1	1	23	kN
d4	414	5545	6795	6355	525	217229	113981853	401	43	3	3	19	kN
d5	414	5145	6795	6355	363	150097	54418342	401	-22	8	15	103	kN
d6	414	6345	8045	6355	-99	-40946	4049787	401	-208	24	22	154	kN

	A_{tot}	d_{max}	$0,1d_{max}$	$\sum A_{p_i} * z_i \cdot 10^3$	$\sum A_{p_i} * z_i^2 \cdot 10^6$	$\sum M_{vrsp}$	$\sum V_{vrsp}$
	mm2	mm	mm			kNm	kN
	4998	1026	103	3572783	3003482966	1436	392

d_{eff} volgens modelcode

$z_{eff} = \frac{\sum A_{p_i} * z_i^2}{\sum A_{p_i} * z_i}$ 841 mm

$d_{eff} = z_{eff} + 0,1d_{max}$ 943 mm

$M_{vrsp} = (x - z_{bf}) * N_{Ed}$

Aantal kabels
 Totaal opp
 fpk
 Ned
 M.vrsp.ligg
 M.vrsp.ligg+tuss

6 st.
 4998 mm2
 1864 mPa
 4844 kN
 1436.34 kNm
 kNm

Toelichting

Voorspankabel 6 (d6) heeft andere punten in tekening die b zijn waardoor de zoekfunctie gesplitst is. Hier moet rekening gehouden worden.

Vergelijken

Quickscan check geeft		% tov Movares
Positie kritischpunt B: 5000		
$d_{eff} = [mm]$	940	100%
$N_{ed} = [kN]$	4153	117%
$V_{vrsp} = [kN]$	368	107%
$M_{vrsp.ligg} = [kNm]$	1319	109%
$M_{vrsp.ligg+tuss} = [kNm]$		

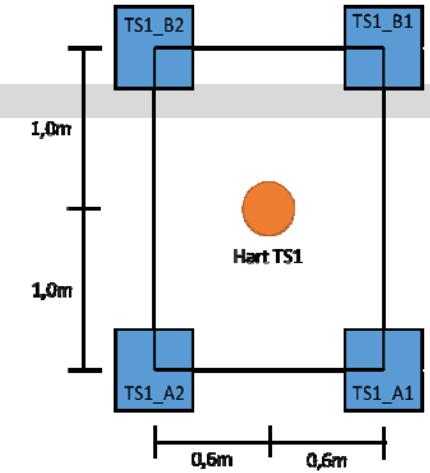
Maximale oplegreactie t.b.v. eigengewicht

		L1	L2	L3	L4	L5
Eigengewicht doorsnede ligger incl. tussenstort		16.38 kN/m	17.95 kN/m	17.95 kN/m	17.95 kN/m	17.95 kN/m
Vulbetonlaag 40mm		0.9375 kN/m	0.9375 kN/m	0.9375 kN/m	0.9375 kN/m	0.9375 kN/m
Asfalt 140mm		4.69 kN/m	7.25 kN/m	7.25 kN/m	7.25 kN/m	7.25 kN/m
Brugrand		8.525 kN/m	0 kN/m	0 kN/m	0 kN/m	0 kN/m
Schamprand		3.325 kN/m	0 kN/m	0 kN/m	0 kN/m	0 kN/m
	Som	33.85 kN/m	26.13 kN/m	26.13 kN/m	26.13 kN/m	26.13 kN/m
Dwarsdragers	0 kN	12	0 kN	0 kN	0 kN	0 kN
Maximale oplegreactie eigengewicht		438.16 kN	338.29 kN	338.29 kN	338.29 kN	338.29 kN

Maximale oplegreactie t.b.v. TS, belasting direct opgenomen

Eccentriciteit belasting Δy Door de rijstrookindeling i.c.m de ligger positie wordt de eccentriciteit en de invloed van de last per ligger bepaald.

	positie last y	Deel op L1	Deel op L2	Deel op L2	Deel op L3	Deel op L3	Deel op L4	Deel op L4	Deel op L5	Deel op L5	Deel op L6	Deel op L6
TS1_A	6.92 m	61.33%	38.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
TS1_B	4.92 m	0.00%	0.00%	28.00%	72.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
TS2_A	3.92 m	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	61.33%	38.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
TS2_B	1.92 m	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	28.00%	72.00%	0.00%	0.00%	0.00%
TS3_A	0.92 m	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	61.33%	38.67%	0.00%
TS3_B	-1.08 m	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
TS4_A	-2.08 m	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
TS4_B	-4.08 m	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%



Maximale oplegreactie t.b.v. TS, belasting indirect opgenomen

	positie last y	Deel op L1	Deel op L2	Deel op L3	Deel op L4	Deel op L5
Gem cen.		13.43%	13.43%	13.43%	13.43%	13.43%
TS1_A	6.92 m	41.45%	33.16%	24.87%	16.58%	8.29%
TS1_B	4.92 m	29.47%	23.58%	17.68%	11.79%	5.89%
TS2_A	3.92 m	23.48%	18.79%	14.09%	9.39%	4.70%
TS2_B	1.92 m	11.50%	9.20%	6.90%	4.60%	2.30%
TS3_A	0.92 m	5.51%	4.41%	3.31%	2.20%	1.10%
TS3_B	-1.08 m	-6.47%	-5.18%	-3.88%	-2.59%	-1.29%

Last gelijkmatig verdeeld over alle liggers
 kracht %
 $(F/2) * ((ecc_last_y * ecc_L1) * (Afst_e_m + afst_m_m - 1.2/2)) / L$

UDL1. & UDL2. Direct opgenomen

De gelijkmatig verdeelde strook word opgesplitst door een deel wat zich op het eindveld bevind (dit wordt direct naar de oplegging afgedragen) en een deel in het middenveld wat indirect word afgedragen

UDLop	Deel op L1		Deel op L2		Deel op L3	
	deel y	opp m2	deel y	opp m2	deel y	opp m2
RS1	0.97 m	25.11	1.50 m	38.84	0.53 m	13.72
RS2	0.00 m	0.00	0.00 m	0.00	0.97 m	25.11

afstand tot middendwarsdrager maal deel y

UDL1. & UDL2. Indirect opgenomen

UDL op	Deel op L1		Deel op L2		Deel op L3	
	opp m2		opp m2		opp m2	
Gem cent.						
UDL1	3.53		3.53		3.53	
UDL2	17.65		17.65		17.65	
stat eq UDL1						
RS1	47.58 kN		38.06 kN		28.55 kN	
RS2	24.63 kN		19.70 kN		14.78 kN	

$[(Breedte_RS1 * AfstM_M) / Aantal_opleggingen]$
 $[(Breedte_brug * AfstM_M) / Aantal_opleggingen]$
 $\{[(Breedte_RS1 * AfstM_M) * (UDL1 - UDL2) * Ecc_RS1] * (Afst_L1 / l_brug)\} / 2$
 $\{[(Breedte_RS2 * AfstM_M) * (UDL1 - UDL2) * Ecc_RS2] * (Afst_L1 / l_brug)\} / 2$

Belastingscombinaties

		Ligger 1					
Snedes		0	A	B1	B2	C	B3
Positie snede		0.00 m	2.45 m	3.95 m	5.15 m	3.63 m	6.35 m
Belasting positie x-richting op	RS1	2.74 m	5.19 m	6.68 m	7.88 m	6.37 m	9.08 m
Belasting positie x-richting op	RS2	7.93 m	10.38 m	11.88 m	13.08 m	11.56 m	14.28 m

TS1 op RS2 & TS2 op RS1

Dwarskracht in punt

Eigengewicht			438.16	355.23	304.63	264.01	315.29	223.39	kN
Voorspanbelasting (Links)				150.97	133.01	236.79	#N/A	236.23	kN
Voorspanbelasting (Rechts)				150.97	275.83	372.88	#N/A	392.32	kN
TS1_A1	100	kN	56.27	50.47	46.93	44.08	47.67	41.24	kN
TS1_A2	100	kN	53.43	47.62	44.08	41.24	44.83	38.40	kN
TS1_B1	100	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS1_B2	100	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS2_A1	150	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS2_A2	150	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS2_B1	150	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS2_B2	150	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_A1	50	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_A2	50	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B1	50	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B2	50	kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
UDL1_RS1_DIR	9	kN/m	0	0	0	0	0	0	kN
UDL1_RS1_INC	9	kN/m	184	149	128	111	132	94	kN
UDL2_DIR	2.5	kN/m	31	25	22	19	23	16	kN
UDL2_INDIR	2.5	kN/m	56	56	48	41	49	35	kN
Verkeer Som reactiekracht/dwarskracht			381.00	328.06	288.22	256.24	296.61	224.26	kN
ΣVrep in punt	links		819.16	532.32	459.84	283.46	#N/A	211.42	kN
	rechts		819.16	532.32	317.02	147.37	#N/A	55.34	kN
ΣVd in punt, gebruik	links		1023.94	703.14	608.05	413.52	#N/A	295.30	kN
	rechts		1023.94	703.14	465.23	277.43	#N/A	139.22	kN

Moment in punt

Eigengewicht moment			0.00	971.90	1465.14	1806.33	1367.51	2098.77	kNm
Voorspan moment	links			1153.62	1361.43	1402.41	#N/A	1643.90	kNm
	rechts			1153.62	1156.40	1270.54	#N/A	1436.34	kNm
Verkeer moment	TS1_A1	150	0.00	175.02	260.86	318.27	244.10	365.45	kNm
	TS1_A2	150	0.00	185.47	277.68	340.21	259.58	392.51	kNm
	TS1_B1	150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS1_B2	150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS2_A1	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS2_A2	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS2_B1	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS2_B2	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_A1	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_A2	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_B1	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_B2	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
UDL1_RS1_DIR	9	kN/m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
UDL1_RS1_INC	9	kN/m	0.00	337.48	433.27	449.76	420.02	412.46	kNm
UDL2_DIR	2.5	kN/m	0.00	69.63	104.97	129.41	97.97	150.37	kNm
UDL2_INDIR	2.5	kN/m	0.00	129.08	169.14	180.08	163.14	172.12	kNm
Som M			0.00	896.68	1245.92	1417.73	1184.81	1492.90	kNm
ΣMrep in punt	links		0.00	714.96	1349.64	1821.65	#N/A	1947.77	kNm
	rechts		0.00	714.96	1554.67	1953.52	#N/A	2155.33	kNm
ΣMd in punt, gebruik	links		0.00	1182.10	2027.40	2627.66	#N/A	2659.07	kNm
	rechts		0.00	1182.10	2232.44	2759.54	#N/A	2866.64	kNm



1e wiel	100%
2e wiel	95%

direct = [hoh-abs(afst.L1-eccTS1a)]/hoh



Belastingscombinaties

		Ligger2					
Snedes		0	A	B1	B2	C	B3
Positie snede		0.00 m	2.45 m	3.95 m	5.15 m	3.63 m	6.35 m
Belasting positie x-richting op	RS1	0.14 m	2.59 m	4.08 m	5.28 m	3.77 m	6.48 m
Belasting positie x-richting op	RS2	5.33 m	7.78 m	9.28 m	10.48 m	8.96 m	11.68 m

TS1 op RS2 & TS2 op RS1

Dwarskracht in punt

Eigengewicht	kN	338.29	274.26	235.19	203.83	243.42	172.47	kN
Voorspanbelasting (Links)			150.97	133.01	236.79	#N/A	236.23	kN
Voorspanbelasting (Rechts)			150.97	275.83	372.88	#N/A	392.32	kN
TS1_A1	100 kN	-18.64	-22.30	-24.54	-26.33	-24.07	-28.12	kN
TS1_A2	100 kN	37.56	33.90	31.67	29.88	32.14	28.09	kN
TS1_B1	100 kN	0.75	-3.23	-5.65	-7.60	-5.14	-9.54	kN
TS1_B2	100 kN	40.80	36.83	34.40	32.46	34.91	30.51	kN
TS2_A1	150 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS2_A2	150 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS2_B1	150 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS2_B2	150 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_A1	50 kN	0.00	27.60	25.83	24.41	26.20	22.99	kN
TS3_A2	50 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B1	50 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B2	50 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
UDL1_RS1_DIR	9 kN/m	0	0	0	0	0	0	kN
UDL1_RS1_INDIF	9 kN/m	179	145	124	108	128	91	kN
UDL2_DIR	2.5 kN/m	49	39	34	29	35	25	kN
UDL2_INDIR	2.5 kN/m	64	52	44	38	46	33	kN
Verkeer Som reactiekracht/dwarskracht		351.42	308.69	264.00	228.13	273.42	192.26	kN
ΣVrep in punt	links	689.71	431.98	366.18	195.17	#N/A	128.50	kN
	rechts	689.71	431.98	223.36	59.09	#N/A	-27.58	kN
ΣVd in punt, gebruik	links	862.14	577.72	490.98	303.16	#N/A	219.69	kN
	rechts	862.14	577.72	348.16	167.08	#N/A	63.60	kN

Moment in punt

Eigengewicht moment		0.00	750.37	1131.18	1394.60	1055.80	1620.39	kNm	
Voorspan moment	links		1153.62	1361.43	1402.41	#N/A	1643.90	kNm	
	rechts		1153.62	1156.40	1270.54	#N/A	1436.34	kNm	
Verkeer moment	TS1_A1	100	0.00	10.91	30.79	53.98	25.77	83.63	kNm
	TS1_A2	100	0.00	131.19	198.02	244.43	184.77	284.38	kNm
	TS1_B1	100	0.00	7.90	22.29	39.09	18.66	60.56	kNm
	TS1_B2	100	0.00	95.00	143.40	177.00	133.80	205.93	kNm
	TS2_A1	150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS2_A2	150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS2_B1	150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS2_B2	150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_A1	50	0.00	67.62	101.90	125.58	95.12	145.85	kNm
	TS3_A2	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_B1	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_B2	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
UDL1_RS1_DIR	9 kN/m	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm	
UDL1_RS1_INDIF	9 kN/m	0.00	354.71	489.79	553.60	466.45	577.69	kNm	
UDL2_DIR	2.5 kN/m	0.00	107.68	162.32	200.12	151.51	232.52	kNm	
UDL2_INDIR	2.5 kN/m	0.00	119.29	155.63	164.81	150.27	156.18	kNm	
Som M		0.00	894.30	1304.14	1558.62	1226.35	1746.75	kNm	
ΣMrep in punt	links	0.00	491.04	1073.89	1550.80	#N/A	1723.23	kNm	
	rechts	0.00	491.04	1278.93	1682.68	#N/A	1930.80	kNm	
ΣMd in punt, gebruik	links	0.00	902.21	1682.73	2289.11	#N/A	2565.01	kNm	
	rechts	0.00	902.21	1887.76	2420.98	#N/A	2772.58	kNm	

Belastingscombinaties

		Ligger3					
Kritische snede		0	A	B1	B2	C	B3
Positie kritische snede		0.00 m	2.45 m	3.95 m	5.15 m	3.63 m	6.35 m
Belasting positie x-richtir	RS1	2.46 m	4.91 m	6.40 m	7.60 m	6.09 m	8.80 m
Belasting positie x-richtir	RS2	2.74 m	5.19 m	6.68 m	7.88 m	6.37 m	9.08 m

TS1 op RS2 & TS2 op RS1

Dwarskracht in punt

Eigengewicht	kN	338.29	274.26	235.19	203.83	243.42	172.47	kN
Voorspanbelasting (Links)			150.97	133.01	236.79	#N/A	236.23	kN
Voorspanbelasting (Rechts)			150.97	275.83	372.88	#N/A	392.32	kN
TS1_A1	100 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS1_A2	100 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS1_B1	100 kN	100.24	90.02	83.79	78.78	85.10	73.77	kN
TS1_B2	100 kN	95.24	85.02	78.78	73.77	80.09	68.77	kN
TS2_A1	150 kN	24.61	22.00	20.41	19.14	20.75	41.24	kN
TS2_A2	150 kN	24.61	22.00	20.41	19.14	20.75	41.24	kN
TS2_B1	150 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS2_B2	150 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_A1	50 kN	27.75	24.85	23.08	21.66	23.45	20.24	kN
TS3_A2	50 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B1	50 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
TS3_B2	50 kN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kN
UDL1_RS1_D	9 kN/m	113	92	79	68	81	58	kN
UDL1_RS1_IN	9 kN/m	174	141	121	105	125	89	kN
UDL2_DIR	2.5 kN/m	17	14	12	10	12	9	kN
UDL2_INDIR	2.5 kN/m	37	30	26	23	27	19	kN
Som reactiekracht/dwarskracht		613.63	520.51	463.68	418.07	475.66	419.22	kN
ΣVrep in punt	links	951.92	643.80	565.86	385.11	#N/A	355.46	kN
	rechts	951.92	643.80	423.04	249.03	#N/A	199.37	kN
ΣVd in punt, gebruik	links	1189.90	842.49	740.58	540.59	#N/A	503.38	kN
	rechts	1189.90	842.49	597.76	404.50	#N/A	347.29	kN

Moment in punt

Eigengewicht moment		0.00	750.37	1131.18	1394.60	1055.80	1620.39	kNm
Voorspan Moment	links		1153.62	1361.43	1402.41	#N/A	1643.90	kNm
	rechts		1153.62	1156.40	1270.54	#N/A	1436.34	kNm
Verkeer mom	TS1_A1	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS1_A2	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS1_B1	100	0.00	208.29	310.79	379.57	290.74	kNm
	TS1_B2	100	0.00	220.56	330.54	405.33	308.91	kNm
	TS2_A1	150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS2_A2	150	0.00	53.91	80.53	98.47	75.32	kNm
	TS2_B1	150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS2_B2	150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_A1	50	0.00	60.89	91.05	111.44	85.14	kNm
	TS3_A2	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_B1	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
	TS3_B2	50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kNm
UDL1_RS1_D	9 kN/m	0.00	250.67	377.89	465.89	352.71	541.32	kNm
UDL1_RS1_IN	9 kN/m	0.00	344.92	476.28	538.33	453.59	561.75	kNm
UDL2_DIR	2.5 kN/m	0.00	38.05	57.35	70.71	53.53	82.16	kNm
UDL2_INDIR	2.5 kN/m	0.00	74.24	102.51	115.86	97.62	120.90	kNm
Som M		0.00	1251.52	1826.94	2185.60	1717.56	2600.65	kNm
ΣMrep in punt	links	0.00	848.26	1596.69	2177.78	#N/A	2577.13	kNm
	rechts	0.00	848.26	1801.73	2309.66	#N/A	2784.70	kNm
ΣMd in punt, gebruik	links	0.00	1348.73	2336.23	3072.83	#N/A	3632.39	kNm

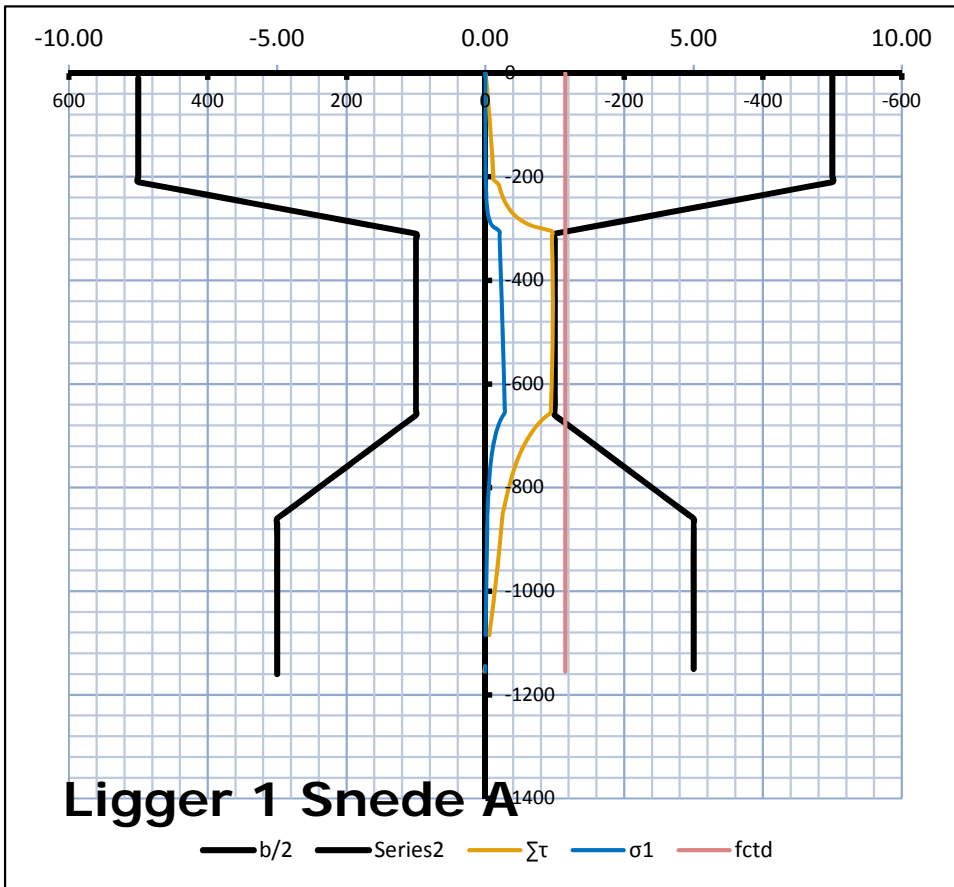
AFSCHUIFBUIGBREUK

De capaciteitsberekening voor afschuifbuigbreuk op voorbenoemde snedes, de invoer is gelinkt zodat er (mits gewenst) snel wijzigingen kunnen worden toegepast

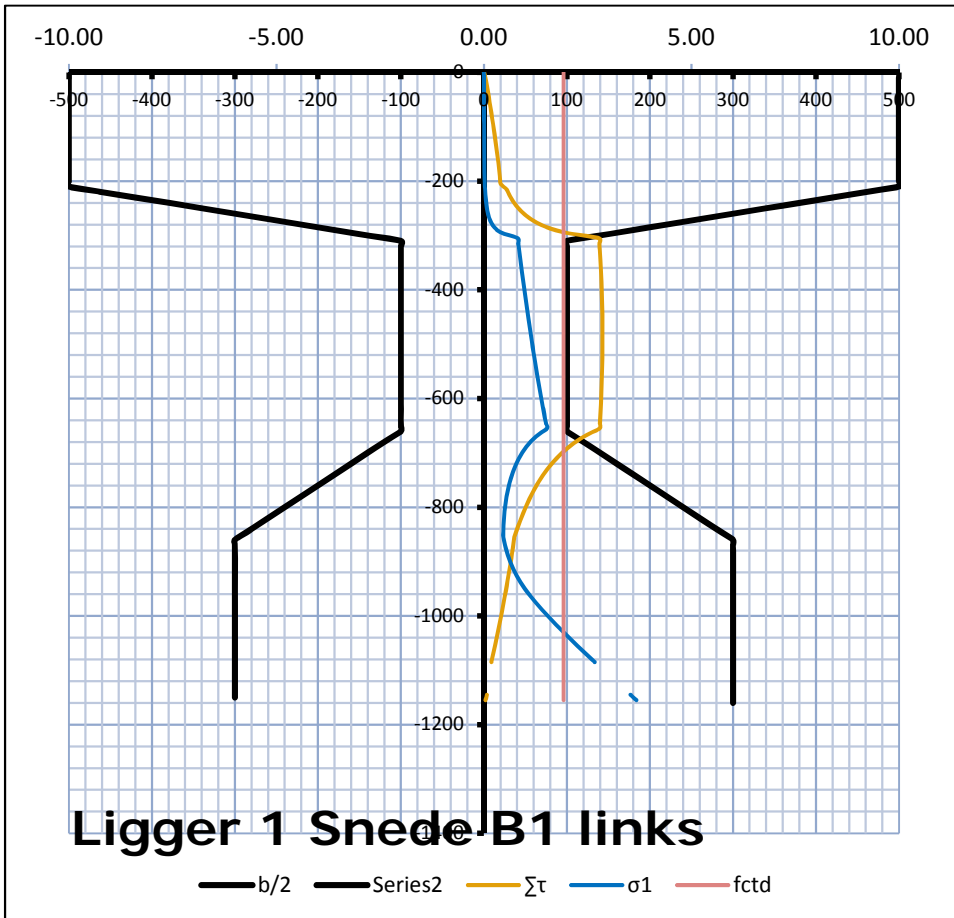
Invoer

f_{ck} =	80	N/mm ²		
b_w =	250	mm	rekenwaarde breedte	bw.min=1.25*blijf note: de rekenwaarde door oppervlakte is niet toegepast
$A_{p\ tbv\ d}$ =	4584	mm ²	opp. van aantal kabels meegeteld voor effectieve hoogte	
f_{pk} =	1864	N/mm ²		
A_c =	0.592	m ²	Gaat uit van oppervlak ligger	

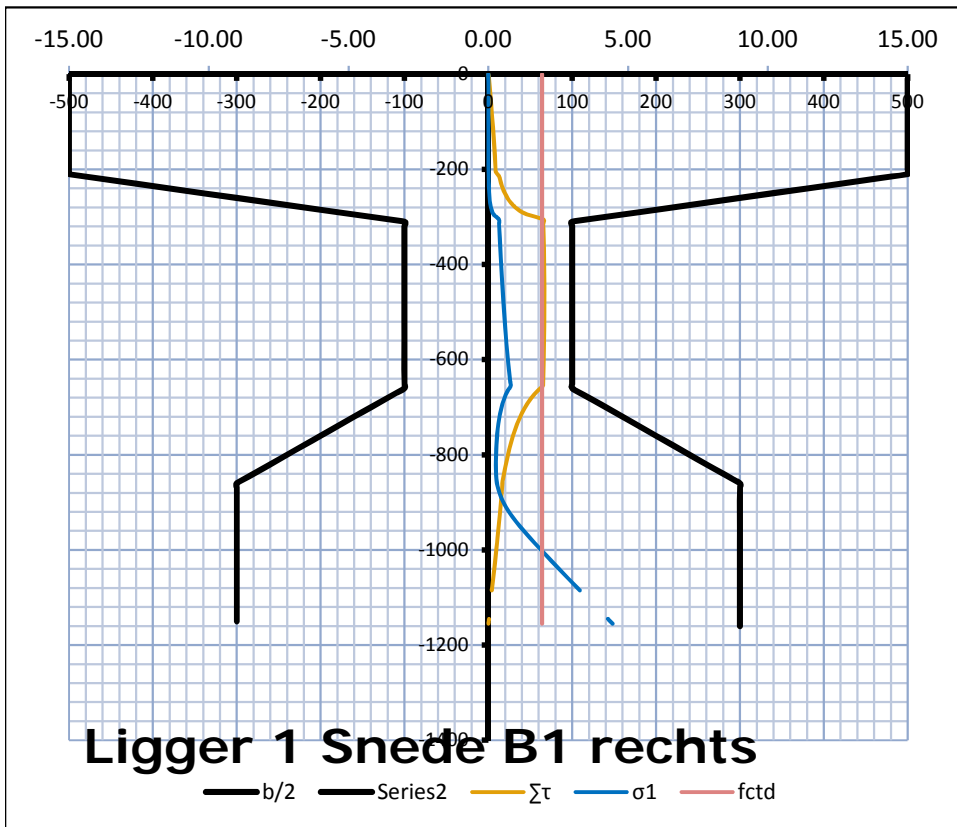
Snede	Punt A		Punt B1 Links		Punt B1 Rechts		Punt B2 Links		Punt B2 Rechts		Punt B3 Links		Punt B3 Rechts		Punt C	
Positie snede			1990 mm		2010 mm											
Afschuifbuigbreuk	d =	884 mm	d =	919 mm	d =	920 mm	d =	909 mm	d =	938 mm	d =	933 mm	d =	943 mm	d =	#N/A mm
berekenen	$A_{sl\ tbv\ d}$ =	3756 mm ²	$A_{sl\ tbv\ d}$ =	3756 mm ²	$A_{sl\ tbv\ d}$ =	4170 mm ²	$A_{sl\ tbv\ d}$ =	4170 mm ²	$A_{sl\ tbv\ d}$ =	4584 mm ²	$A_{sl\ tbv\ d}$ =	4584 mm ²	$A_{sl\ tbv\ d}$ =	4998 mm ²	$A_{sl\ tbv\ d}$ =	1242 mm ²
$k = 1+v(200/d) \leq 0,02$	k =	1.48	k =	1.47	k =	1.47	k =	1.47	k =	1.46	k =	1.46	k =	1.46	k =	#N/A
$N_{Ed} = 0,8*0,65*f_{pk}*A_{totaal}$	N_{Ed} =	3641 kN	N_{Ed} =	3641 kN	N_{Ed} =	4042 kN	N_{Ed} =	4042 kN	N_{Ed} =	4443 kN	N_{Ed} =	4443 kN	N_{Ed} =	4844 kN	N_{Ed} =	1204 kN
$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c$	σ_{cp} =	6.15 N/mm ²	σ_{cp} =	6.15 N/mm ²	σ_{cp} =	6.83 N/mm ²	σ_{cp} =	6.83 N/mm ²	σ_{cp} =	7.51 N/mm ²	σ_{cp} =	7.51 N/mm ²	σ_{cp} =	8.18 N/mm ²	σ_{cp} =	2.03 N/mm ²
$\rho_1 = A_{sl} / b_w d \leq 0,02$	ρ_1 =	0.01699	ρ_1 =	0.01634	ρ_1 =	0.01813	ρ_1 =	0.01835	ρ_1 =	#####	ρ_1 =	0.01966	ρ_1 =	0.01944	ρ_1 =	#N/A
	100 ρ_1 =	1.699	100 ρ_1 =	1.634	100 ρ_1 =	1.813	100 ρ_1 =	1.835	100 ρ_1 =	1.955	100 ρ_1 =	1.966	100 ρ_1 =	1.944	100 ρ_1 =	#N/A
$\tau_{1,62a} = C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3}$	$\tau_{1,62a}$ =	0.91 N/mm ²	$\tau_{1,62a}$ =	0.89 N/mm ²	$\tau_{1,62a}$ =	0.92 N/mm ²	$\tau_{1,62a}$ =	0.93 N/mm ²	$\tau_{1,62a}$ =	0.95 N/mm ²	$\tau_{1,62a}$ =	0.95 N/mm ²	$\tau_{1,62a}$ =	0.94 N/mm ²	$\tau_{1,62a}$ =	#N/A N/mm ²
$\tau_{1,62b} = 0,035 * k_1^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$	$\tau_{1,62b}$ =	0.56 N/mm ²	$\tau_{1,62b}$ =	0.56 N/mm ²	$\tau_{1,62b}$ =	0.56 N/mm ²	$\tau_{1,62b}$ =	0.56 N/mm ²	$\tau_{1,62b}$ =	0.55 N/mm ²	$\tau_{1,62b}$ =	0.55 N/mm ²	$\tau_{1,62b}$ =	0.55 N/mm ²	$\tau_{1,62b}$ =	#N/A N/mm ²
$\tau_{1,mtg}$	$\tau_{1,mtg}$ =	0.91 N/mm ²	$\tau_{1,mtg}$ =	0.89 N/mm ²	$\tau_{1,mtg}$ =	0.92 N/mm ²	$\tau_{1,mtg}$ =	0.93 N/mm ²	$\tau_{1,mtg}$ =	0.95 N/mm ²	$\tau_{1,mtg}$ =	0.95 N/mm ²	$\tau_{1,mtg}$ =	0.94 N/mm ²	$\tau_{1,mtg}$ =	#N/A N/mm ²
$\tau_n = k_1 \sigma_{cp}$	τ_n =	0.92 N/mm ²	τ_n =	0.92 N/mm ²	τ_n =	1.02 N/mm ²	τ_n =	1.02 N/mm ²	τ_n =	1.13 N/mm ²	τ_n =	1.13 N/mm ²	τ_n =	1.23 N/mm ²	τ_n =	0.31 N/mm ²
$\tau_1 + \tau_n$	$\tau_1 + \tau_n$ =	1.83 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n$ =	1.82 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n$ =	1.95 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n$ =	1.95 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n$ =	2.07 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n$ =	2.07 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n$ =	2.17 N/mm ²	$\tau_1 + \tau_n$ =	#N/A N/mm ²
VRd,c	VRd,c =	405 kN	VRd,c =	417 kN	VRd,c =	448 kN	VRd,c =	444 kN	VRd,c =	486 kN	VRd,c =	483 kN	VRd,c =	512 kN	VRd,c =	#N/A kN
	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC	Vdtot [kN]	UC
Ligger1	591.52	1.46	516.63	1.24	373.81	0.83	338.32	0.76	202.23	0.42	242.22	0.50	86.13	0.18	#N/A	#N/A
Ligger2	594.63	1.47	524.09	1.26	381.27	0.85	349.27	0.79	213.19	0.44	278.80	0.58	122.71	0.25	#N/A	#N/A
Ligger3	560.05	1.38	496.17	1.19	353.35	0.79	326.69	0.74	190.60	0.39	261.56	0.54	5.91	0.01	#N/A	#N/A



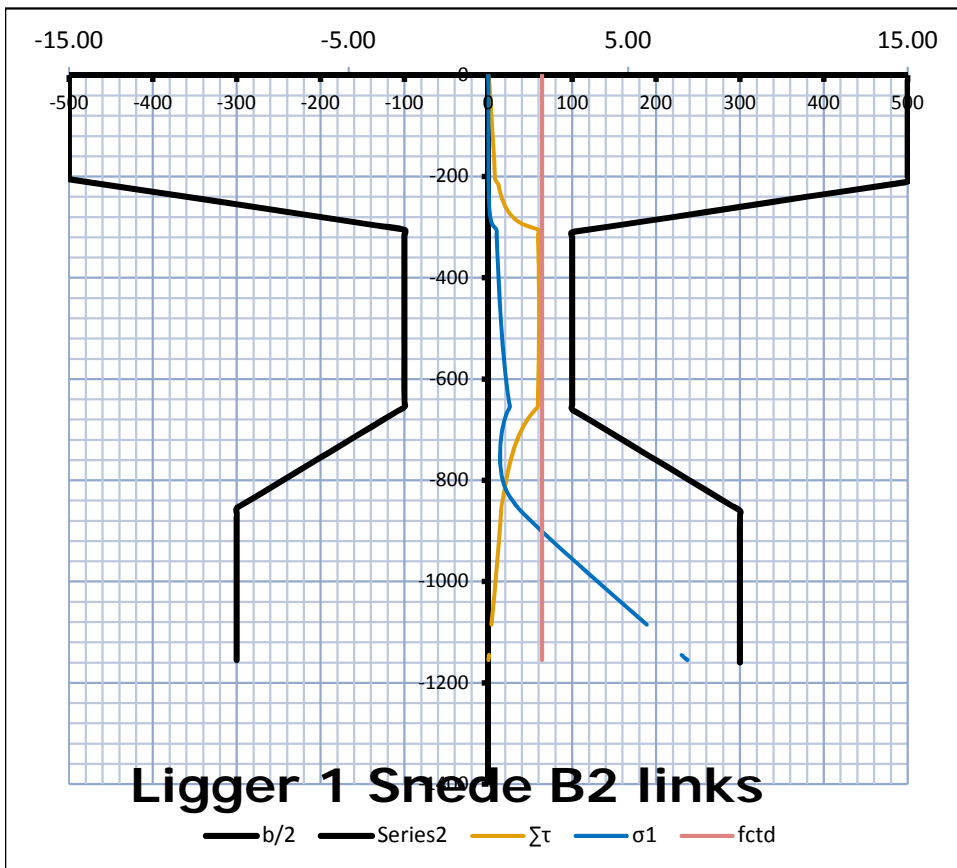
Ligger 1	
Snede	A
Positie snede [m]	2.45
Belastingspositie	RS1 5.19 m
	RS2 10.38 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	0.84



Ligger 1	
Snede	B1 links
Positie snede [m]	3.85
Belastingspositie	RS1 6.68 m
	RS2 11.88 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	1.49

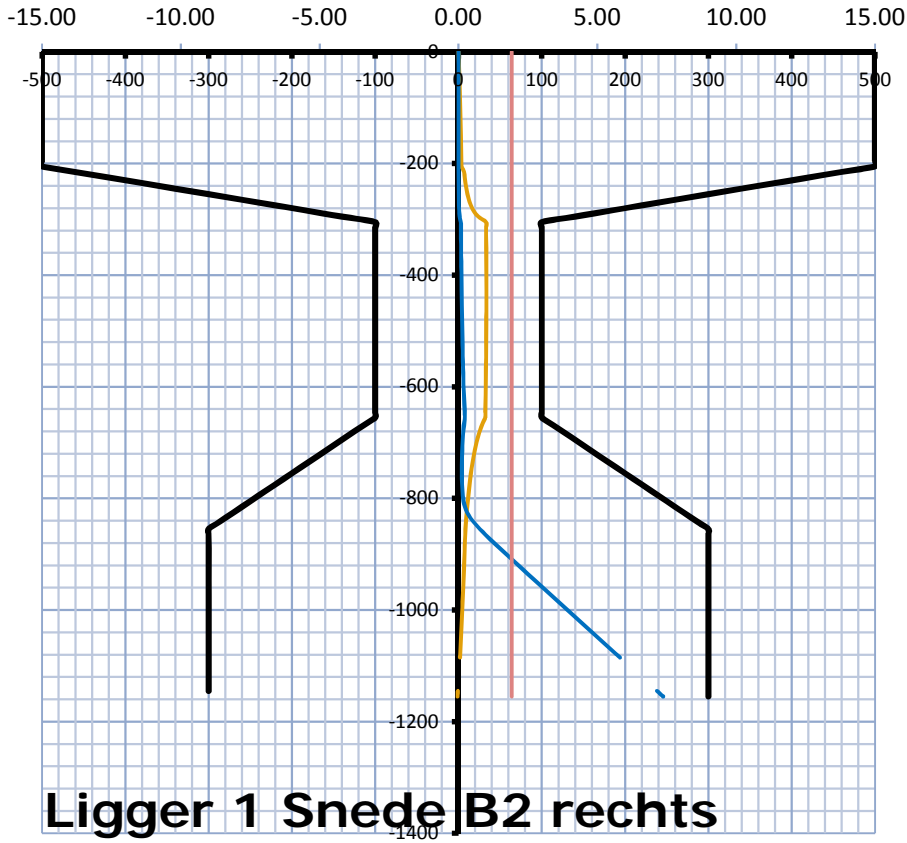


<u>Ligger 1</u>	
Snede	B1 rechts
Positie snede [m]	4.05
Belastingspositie	RS1 6.68 m
	RS2 11.88 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	1.04



<u>Ligger 1</u>	
Snede	B2 links
Positie snede [m]	5.05
Belastingspositie	RS1 7.88 m
	RS2 13.08 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.94

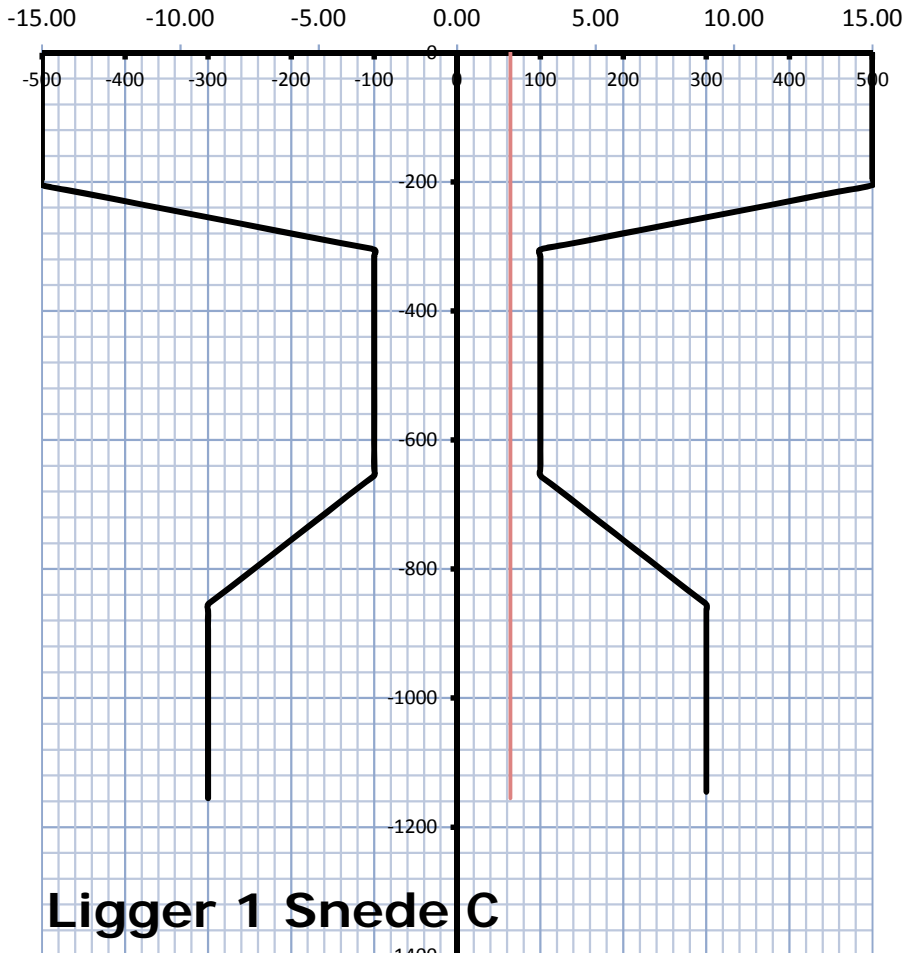
Hulbuisred: 0



<u>Ligger 1</u>	
Snede	B2 rechts
Positie snede [m]	5.25
Belastingspositie	RS1 7.88 m
	RS2 13.08 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.52

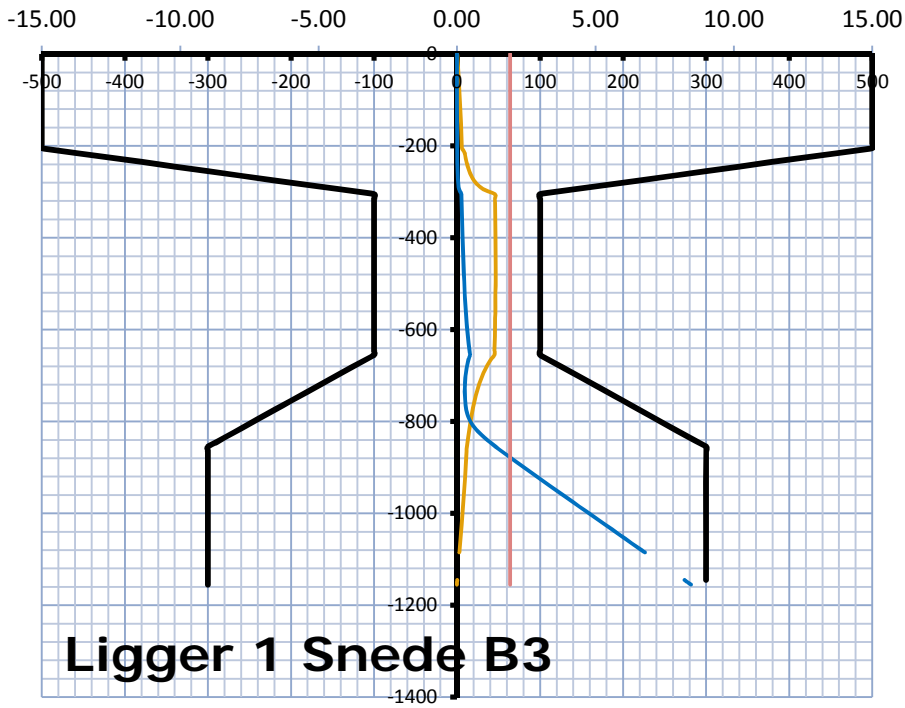
Ligger 1 Snede B2 rechts

— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

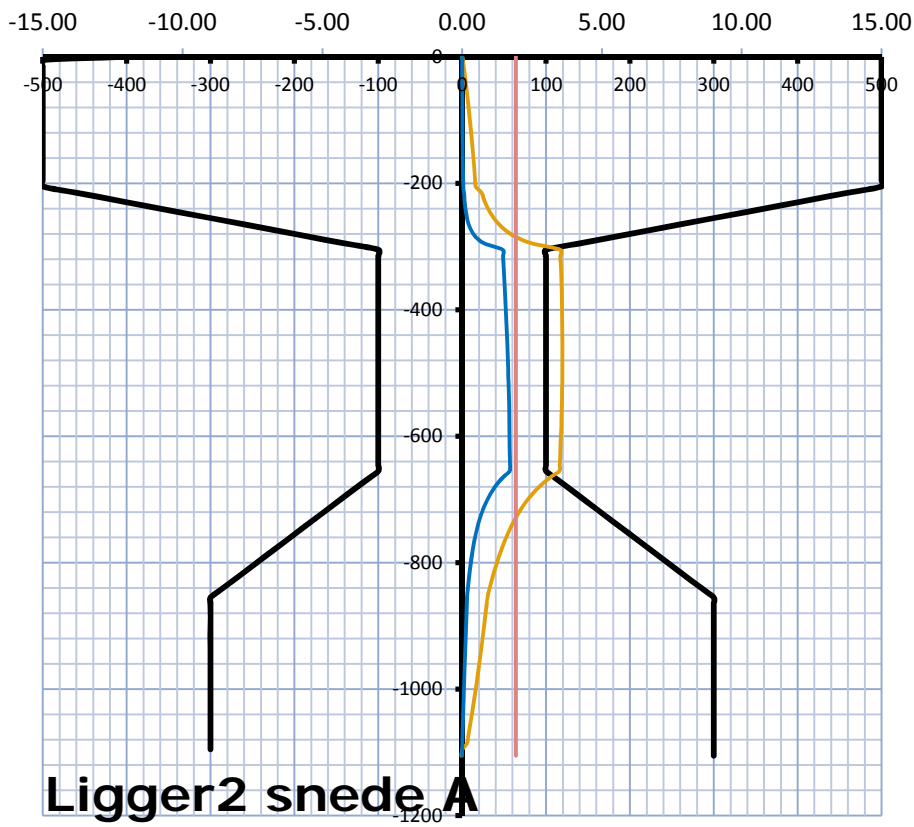


<u>Ligger 1</u>	
Snede	C
Positie snede [m]	3.63
Belastingspositie	RS1 6.37 m
	RS2 11.56 m
Gescheurd?	#N/A
ATB/ABB	#N/A
UC_ATB	#N/A

Ligger 1 Snede C



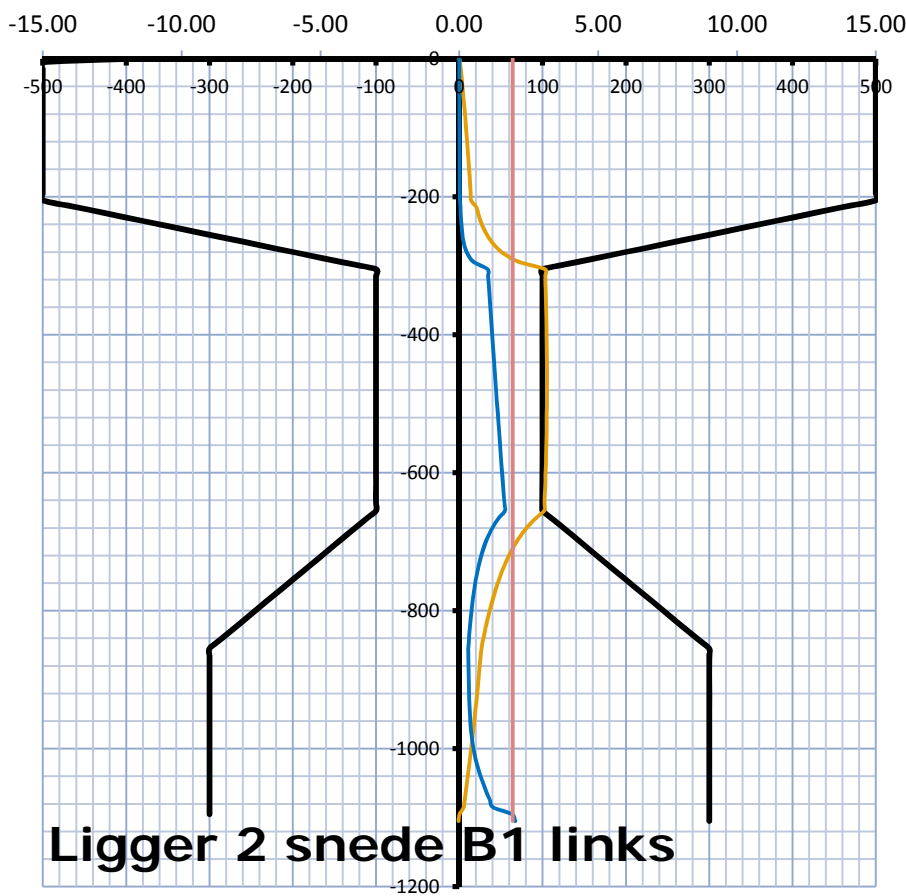
<i>Ligger 1</i>	
Snede	B3
Positie snede [m]	6.35
Belastingspositie	RS1 9.08 m
	RS2 14.28 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.73



Ligger2 snede A

— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

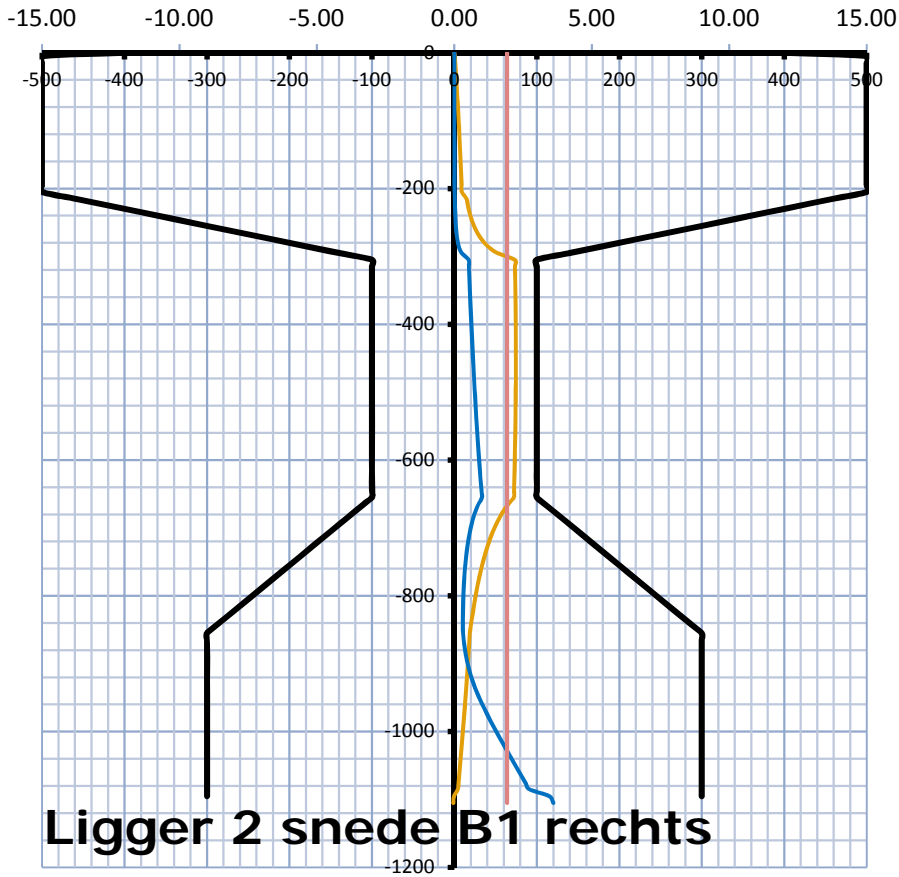
<u>Ligger 2</u>	
Snede	A
Positie snede [m]	2.45
Belastingspositie	RS1 2.59
	RS2 10.38
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	1.87



Ligger 2 snede B1 links

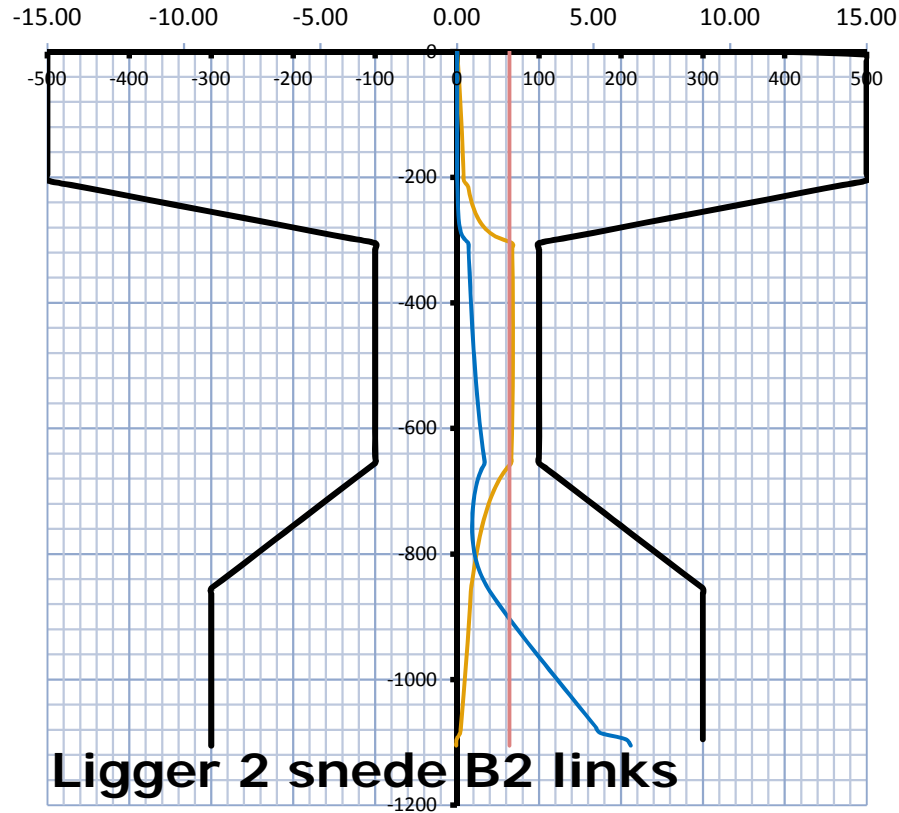
— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

<u>Ligger 2</u>	
Snede	B1 links
Positie snede [m]	3.85
Belastingspositie	RS1 4.08
	RS2 11.88
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	1.64



— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

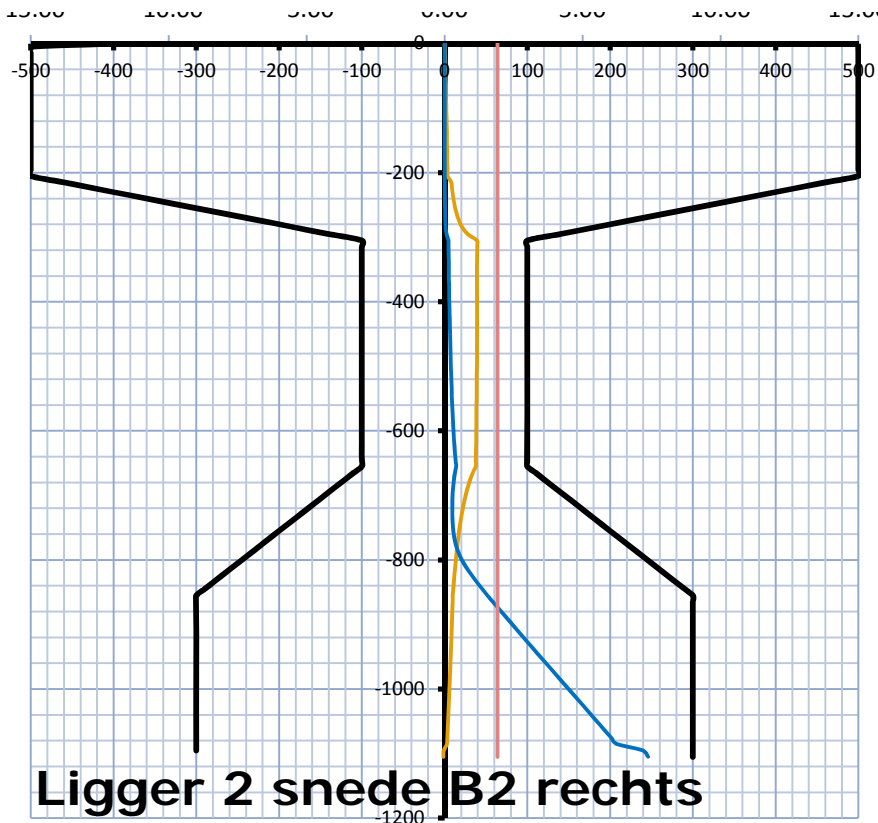
<u>Ligger 2</u>	
Snedes	B1 rechts
Positie snede [m]	4.05
Belastingspositie	RS1 4.08
	RS2 11.88
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	1.17



— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

<u>Ligger 2</u>	
Snedes	B2 links
Positie snede [m]	5.05
Belastingspositie	RS1 0.00
	RS2 13.08
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	1.07

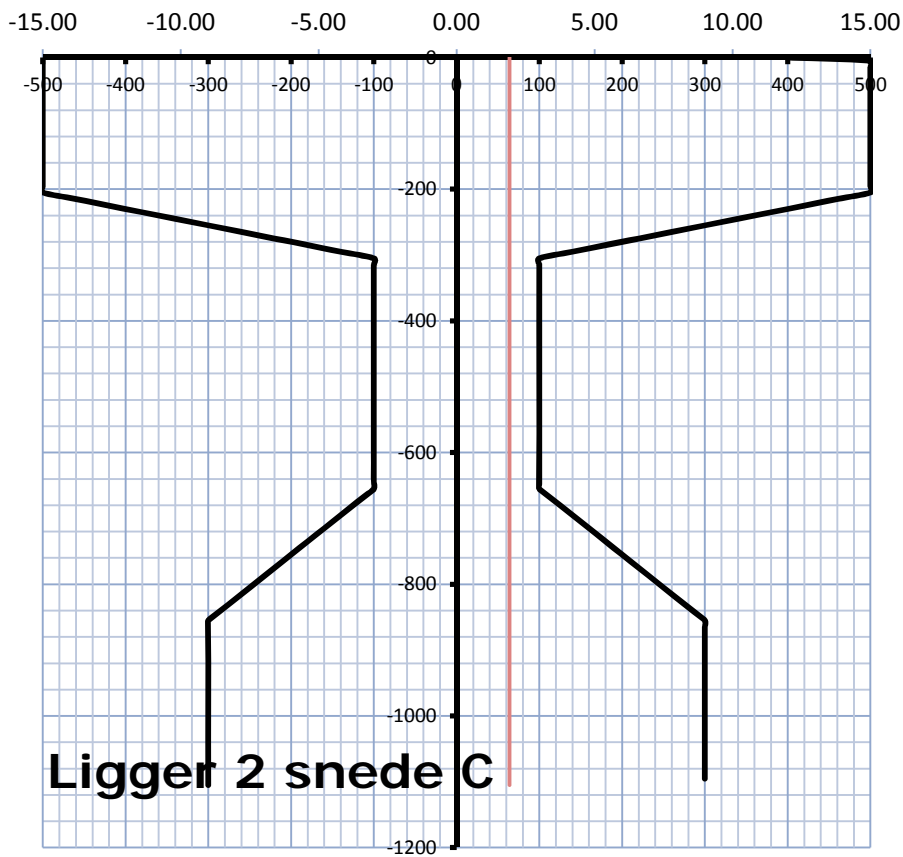
-15.00 -10.00 -5.00 0.00 5.00 10.00 15.00



Ligger 2 snede B2 rechts

— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

<u>Ligger 2</u>	
Snedes	B2 rechts
Positie snede [m]	5.25
Belastingspositie	RS1 7.88
	RS2 13.08
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.61



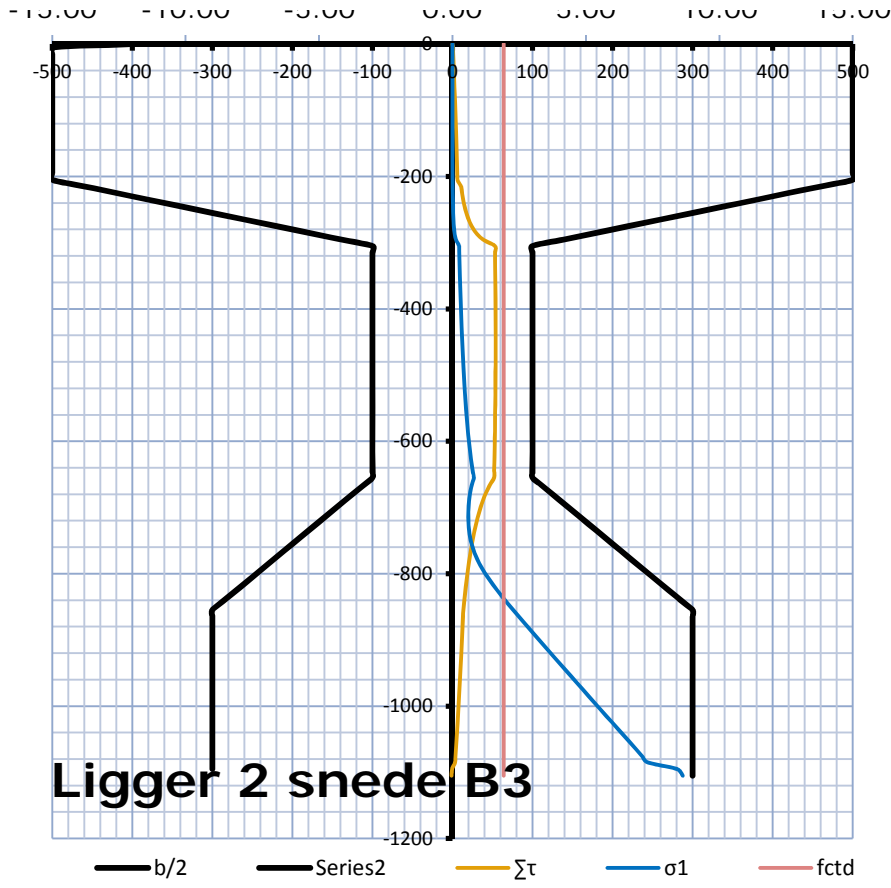
Ligger 2 snede C

— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

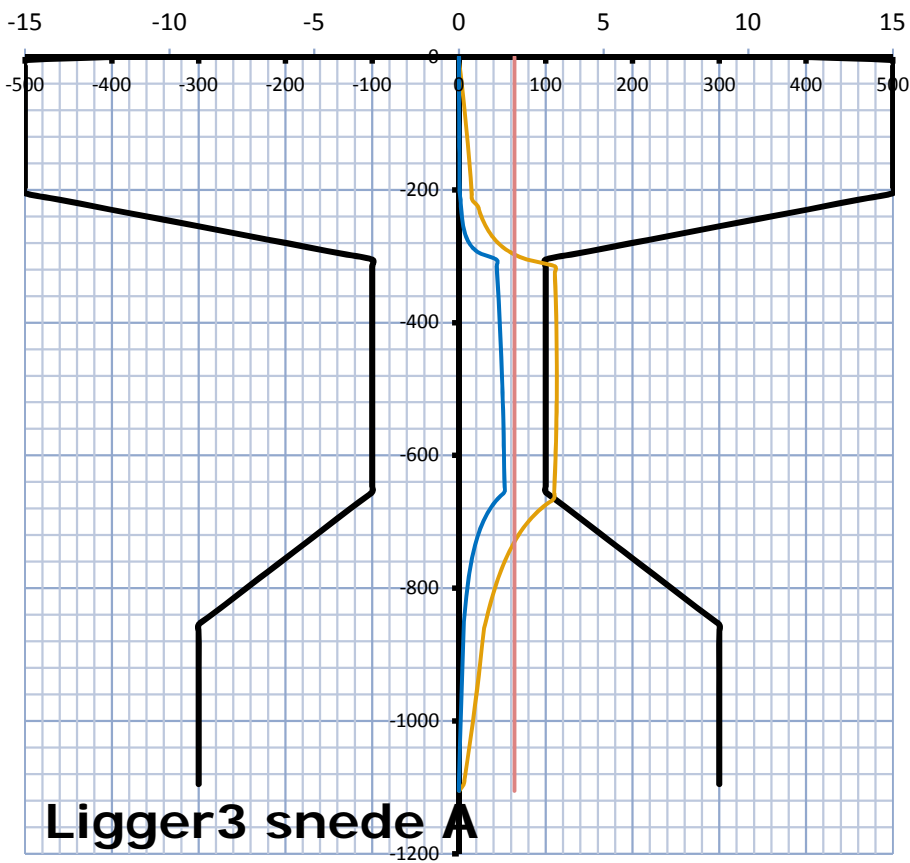
<u>Ligger 2</u>	
Snedes	C
Positie snede [m]	3.63
Belastingspositie	RS1 6.37
	RS2 11.56
Gescheurd?	#N/A
ATB/ABB	#N/A
UC_ATB	#N/A

-15.00 -10.00 -5.00 0.00 5.00 10.00 15.00

Ligger 2



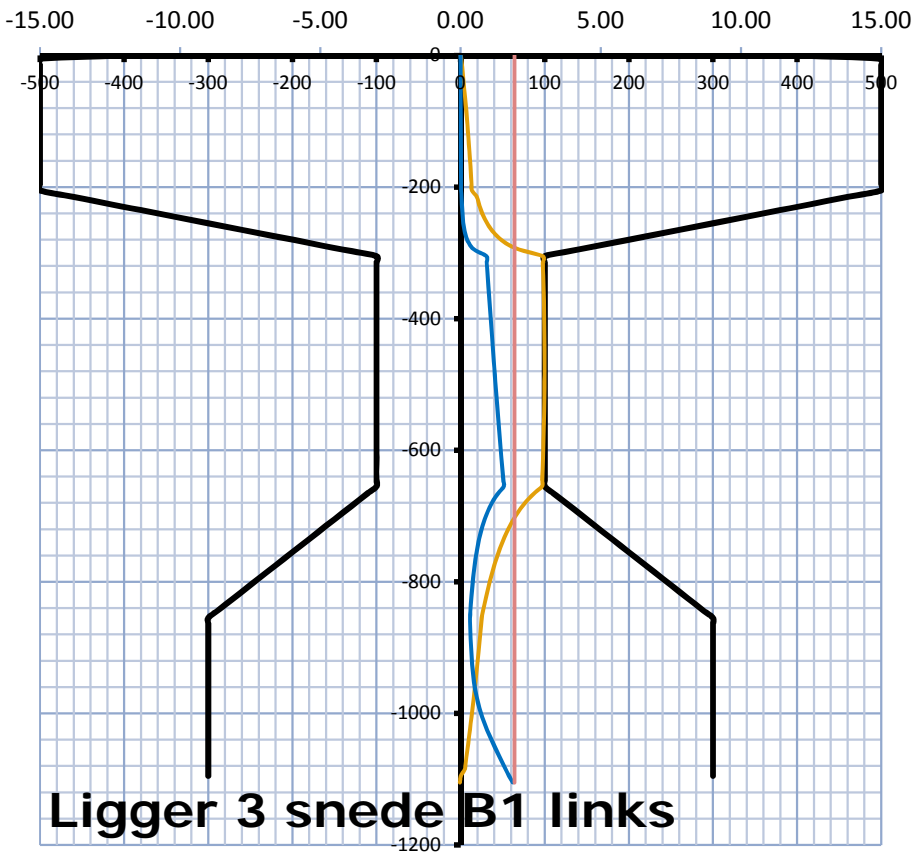
Sned	B3
Positie snede [m]	6.35
Belastingspositie	RS1 9.08
	RS2 14.28
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.84



Ligger3 snede A

— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

<u>Ligger 3</u>	
Snedes	A
Positie snede [m]	2.45
Belastingspositie	RS1 5.19 m
	RS2 10.38 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	1.76

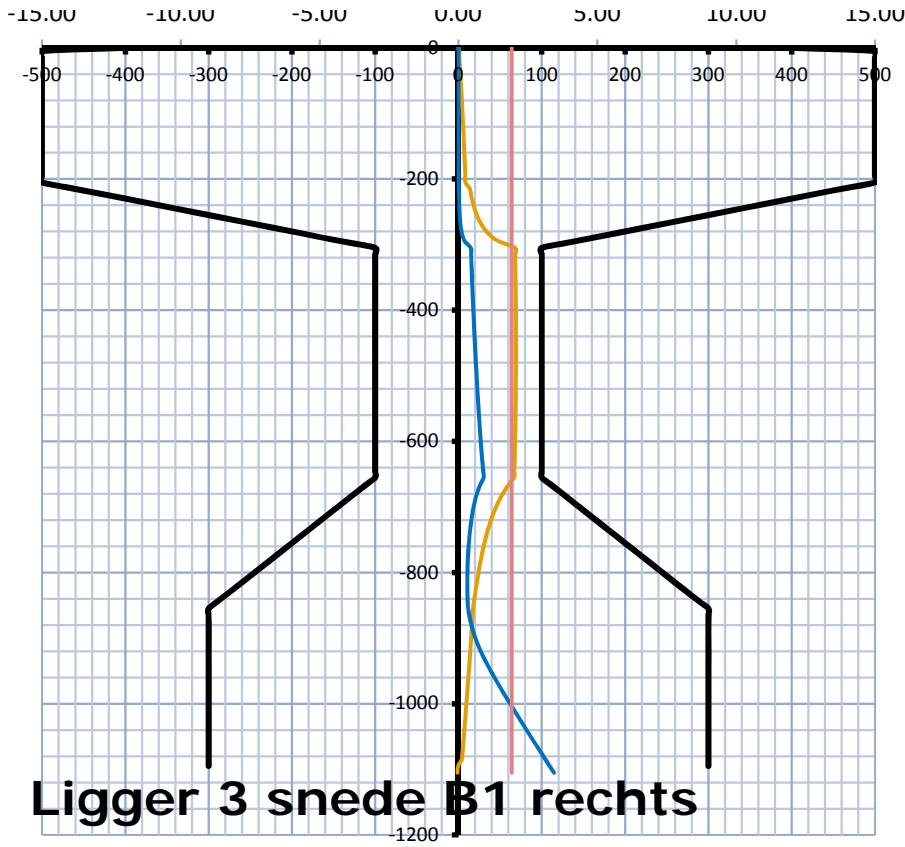


Ligger 3 snede B1 links

— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

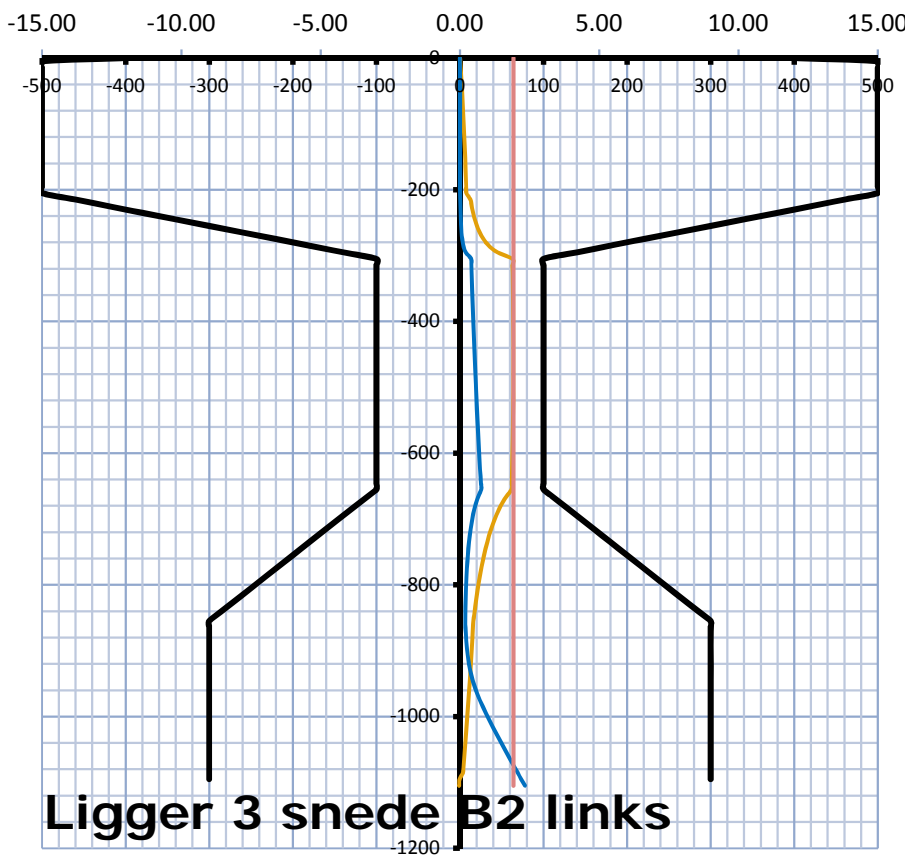
<u>Ligger 3</u>	
Snedes	B1 links
Positie snede [m]	3.85
Belastingspositie	RS1 6.68 m
	RS2 11.88 m
Gescheurd?	Ongescheurd
ATB/ABB	ATB
UC_ATB	1.56

15.00 10.00 5.00 0.00 5.00 10.00 15.00



— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

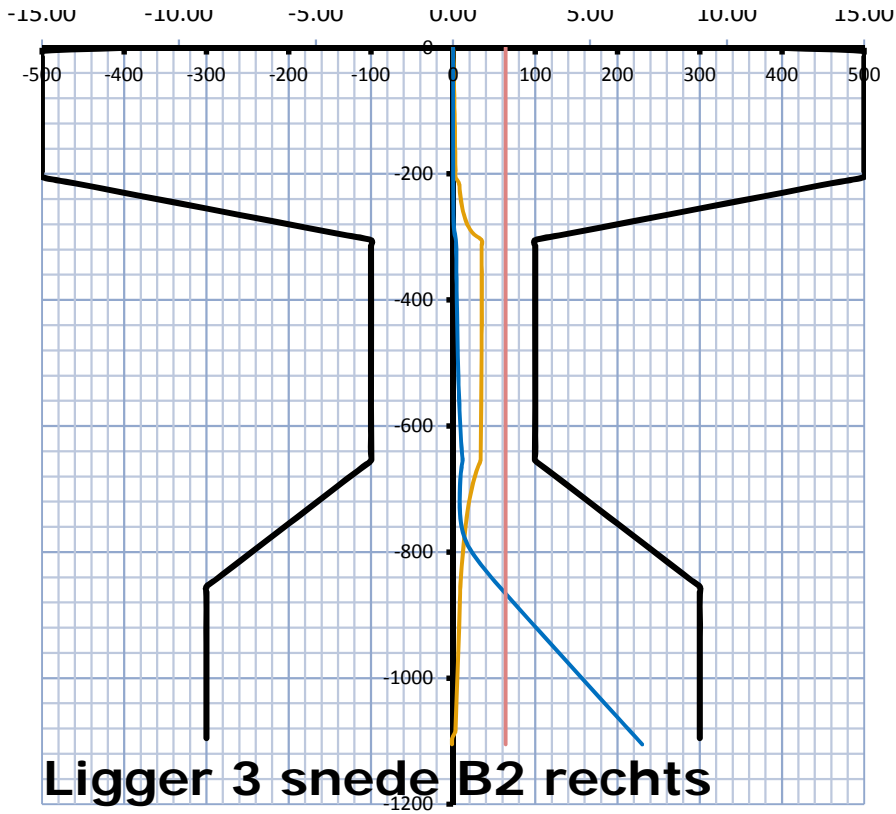
Ligger 3	
Snede	B1 rechts
Positie snede [m]	4.05
Belastingspositie	RS1 6.68 m
	RS2 11.88 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	1.08



— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

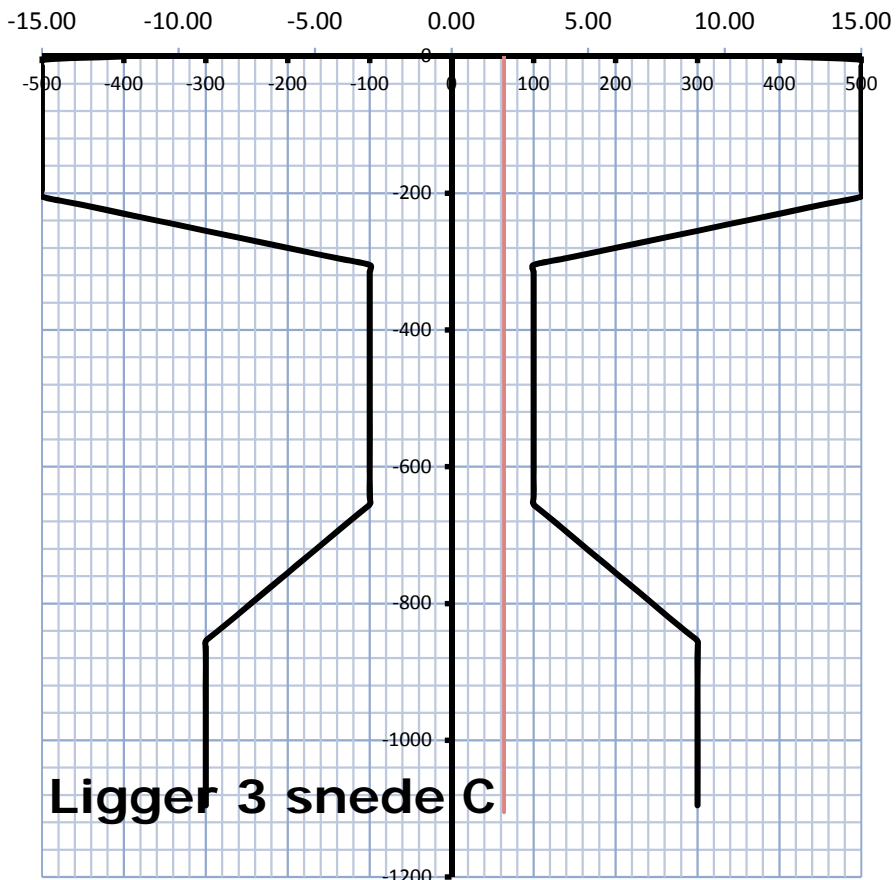
Ligger 3	
Snede	B2 links
Positie snede [m]	5.05
Belastingspositie	RS1 7.88 m
	RS2 13.08 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	1.00

15.00 10.00 5.00 0.00 5.00 10.00 15.00



<u>Ligger 3</u>	
Snedes	B2 rechts
Positie snede [m]	5.25
Belastingspositie	RS1 7.88 m
	RS2 13.08 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.54

— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

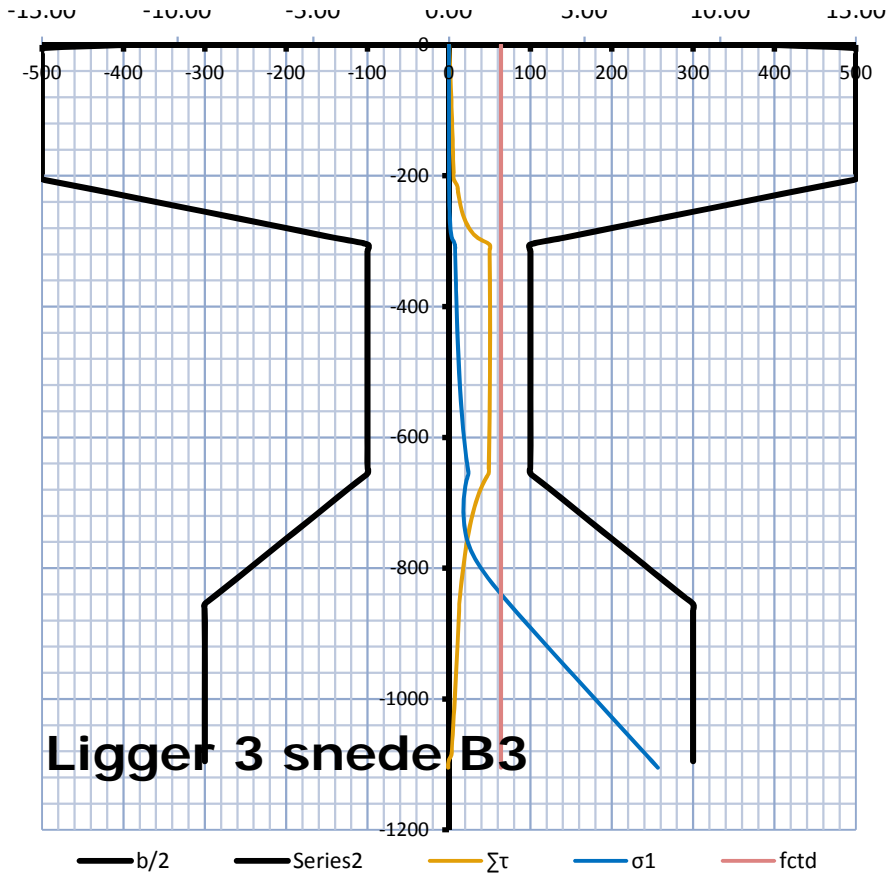


<u>Ligger 3</u>	
Snedes	C
Positie snede [m]	3.63
Belastingspositie	RS1 6.37 m
	RS2 11.56 m
Gescheurd?	#N/A
ATB/ABB	#N/A
UC_ATB	#N/A

— b/2 — Series2 — $\Sigma\tau$ — σ_1 — fctd

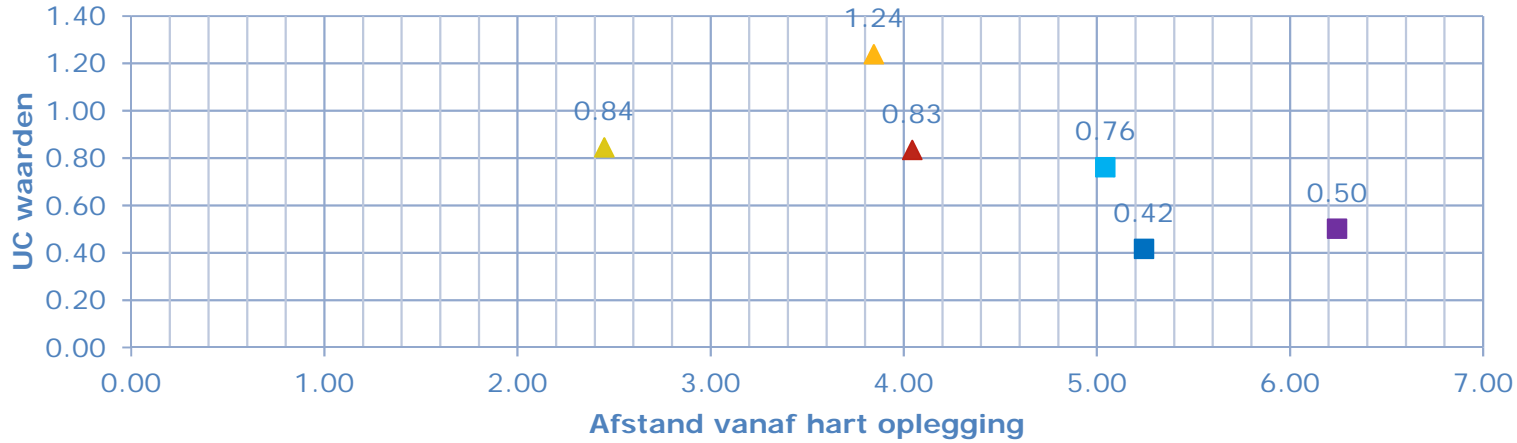
-15.00 -10.00 -5.00 0.00 5.00 10.00 15.00

Ligger 3



Snede	B3
Positie snede [m]	6.35
Belastingspositie	RS1 9.08 m
	RS2 14.28 m
Gescheurd?	Gescheurd
ATB/ABB	ABB
UC_ATB	0.79

Ligger 1 UC dwarskracht



Driehoekje is ATB
Vierkantje is ABB



Ligger 1

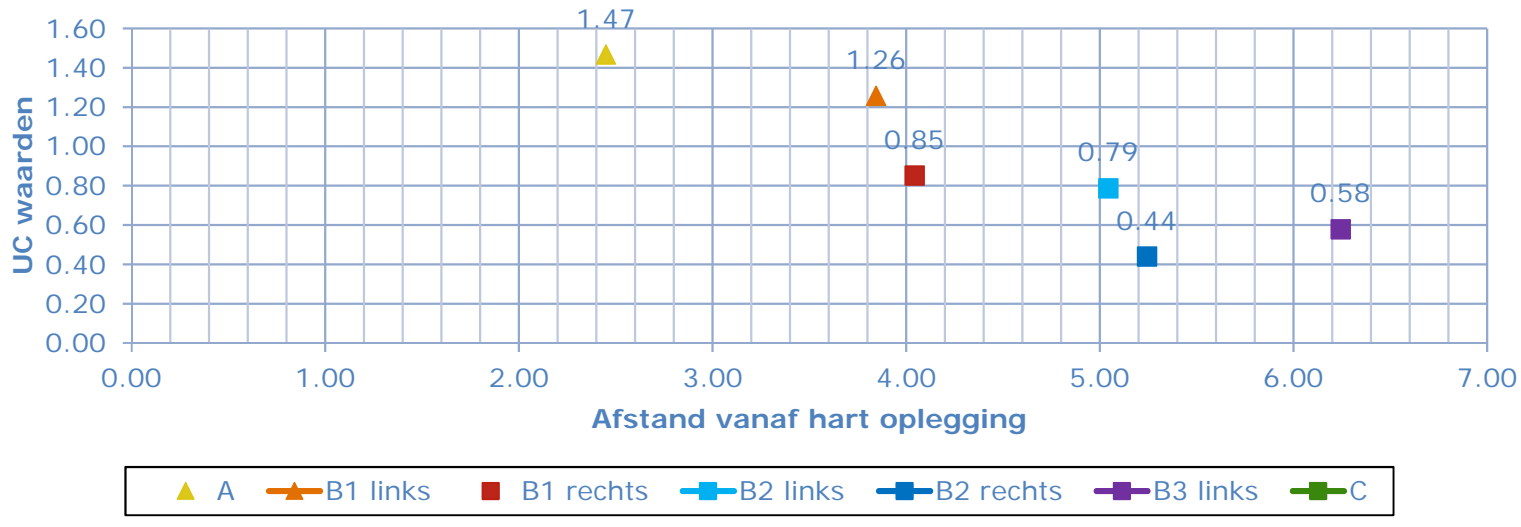
Snede		A	B1 links	B1 rechts	B2 links	B2 rechts	B3 links	B3rechts	C
Positie snede [m]		2.45	3.85	4.05	5.05	5.25	6.25	6.45	3.63
Belastingspositie	RS1	5.19 m	6.68 m	6.68 m	7.88 m	7.88 m	9.08 m	9.08 m	6.37 m
	RS2	10.38 m	11.88 m	11.88 m	13.08 m	13.08 m	14.28 m	14.28 m	11.56 m
Gescheurd/ongescheurd		Ongescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Gescheurd		#N/A
ATB/ABB		ATB	ABB	ABB	ABB	ABB	ABB		#N/A
UC		0.84	1.24	0.83	0.76	0.42	0.50	0.18	#N/A
MOV		0.80	1.62	1.12	1.04	0.64	0.72	0.50	
%		106%	76%	74%	73%	65%	70%	36%	

gescheurd -> ongescheurd 3.56 m



Ligger 2 UC dwarskracht

Driehoekje is ATB
Vierkantje is ABB



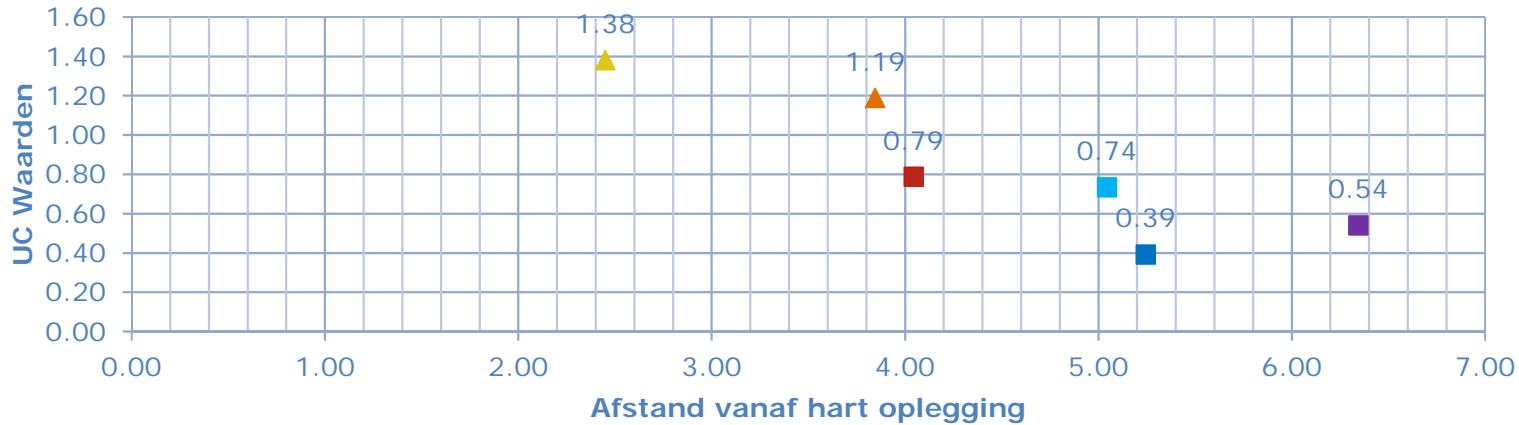
Ligger 2

Snede		A	B1 links	B1 rechts	B2 links	B2 rechts	B3 links	B3rechts	C
Positie snede [m]		2.45	3.85	4.05	5.05	5.25	6.25	6.45	3.63
Belastingspositie	RS1	2.59	4.08	4.08	5.28	7.88	9.08	9.08	6.37
	RS2	10.38	11.88	11.88	13.08	13.08	14.28	14.28	11.56
Gescheurd/ongescheurd		Ongescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Gescheurd		#N/A
ATB/ABB		ATB	ABB	ABB	ABB	ABB	ABB		#N/A
UC		1.47	1.26	0.85	0.79	0.44	0.58	0.25	#N/A
MOV		0.60	1.15	0.59	0.77	0.57	0.69	0.59	
%		245%	109%	144%	102%	77%	84%	43%	

gescheurd -> ongescheurd 4.59 m

Ligger 3 UC dwarskracht

Driehoekje is ATB
Vierkantje is ABB



Ligger 3		A	B1 links	B1 rechts	B2 links	B2 rechts	B3	C
Snede								
Positie snede[m]		2.45	3.85	4.05	5.05	5.25	6.35	3.63
Belastingspositie	RS1	5.19 m	6.68 m	6.68 m	7.88 m	7.88 m	9.08 m	6.37 m
	RS2	10.38 m	11.88 m	11.88 m	13.08 m	13.08 m	14.28 m	11.56 m
Gescheurd/ongescheurd		Ongescheurd	Ongescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Gescheurd	Gescheurd	#N/A
ATB/ABB		ATB	ATB	ABB	ABB	ABB	ABB	#N/A
UC		1.38	1.19	0.79	0.74	0.39	0.54	#N/A
	Mov	1.08	1.01	0.42	0.71	0.68	0.55	0.89
	%	128%	118%	188%	104%	58%	98%	#N/A

gescheurd -> ongescheurd

3 m

Bijlage 6 Resultaten Dwarskracht en Moment verkeerslast Quickscan

De gevonden belasting posities van de Quickscan Boon zijn toegepast in het SCIA model om de resultaten te vergelijken. Tevens is dit vergeleken met de resultaten van Movares.

Opvallend is dat de resultaten betreffende dwarskracht, de quickscan Boon vaak dichterbij de resultaten van de SCIA berekening zit dan de Movares resultaten. Echter qua moment zijn de quickscan Boon resultaten veelal hoger dan de Movares resultaten.

LIGGER 1 OUDERIJN						
Kritische snede			0	A	B1	B2
Positie kritische snede			0.00 m	1.35 m	2.00 m	3.00 m
Belasting positie x-richting op		RS1	3.25 m	4.60 m	5.25 m	6.25 m
Belasting positie x-richting op		RS2	8.44 m	9.79 m	10.44 m	11.44 m
Quickscan	Dwarskracht	kN	260	233	220	200
SCIA	Dwarskracht	kN	314	266	283	251
	%	%	83%	88%	78%	80%
MOV	Dwars	kN	331	325	295	259
	%	%	79%	72%	75%	77%
Quickscan	Moment	kNm	0	310	430	578
SCIA	Moment	kNm	0	322	466	672
	%	%	-	96%	92%	86%
MOV	Moment	kNm	0	311	500	745
	%	%	-	100%	86%	78%

LIGGER 2 OUDERIJN						
Kritische snede			0	A	B1	B2
Positie kritische snede			0.00 m	1.35 m	2.00 m	3.00 m
Belasting positie x-richting op		RS1	0.34 m	1.69 m	2.34 m	3.34 m
Belasting positie x-richting op		RS2	5.53 m	6.88 m	7.53 m	8.53 m
Quickscan	Dwarskracht	kN	305	270	272	239
SCIA	Dwarskracht	kN	305	243	266	201
	%	%	100%	111%	102%	119%
MOV	Dwars	kN		309	259	223
	%	%		87%	105%	107%
Quickscan	Moment	kNm	0	403	625	895
SCIA	Moment	kNm	0	405	598	828
	%	%	-	100%	105%	108%
MOV	Moment	kNm	0	299	477	700
	%	%	-	134%	131%	128%

LIGGER 3 OUDERIJN						
Kritische snede			0	A	B1	B2
Positie kritische snede			0.00 m	1.35 m	2.00 m	3.00 m
Belasting positie x-richting op		RS1	2.57 m	3.92 m	4.57 m	5.57 m
Belasting positie x-richting op		RS2	2.62 m	3.97 m	4.62 m	5.62 m
Quickscan	Dwarskracht	kN	300	272	259	239
SCIA	Dwarskracht	kN	349	259	269	221
	%	%	86%	105%	96%	108%
MOV	Dwarskracht	kN	-	347	331	287
	%	%	-	79%	78%	83%
Quickscan	Moment	kNm	0	395	553	755
SCIA	Moment	kNm	0	344	486	657
	%	%	-	115%	114%	115%
MOV	Moment	kNm	0	333	498	707
	%	%	-	119%	111%	107%

Vergelijk resultaten Hamersbrug

De Hamersbrug is ook ter validatie in de quickscan Boon en Scia berekening geplaatst. Om te vergelijken wat de verschillen over het verloop van de ligger is zijn beide resultaten (Boon en Movares) vergeleken met die van de SCIA berekening.

Ligger 1		Dwarskracht					Moment				
Snede	SCIA	Boon	Movares			SCIA	Boon	Movares			
Hamersbrug											
0	552	460	83%	429	78%	0	0	0	0		
1.5	470	390	83%	411	87%	500	533	107%	480	96%	
1.675	464	384	83%	408	88%	550	592	108%	550	100%	
3.35	455	351	77%	370	81%	1100	1117	102%	1110	101%	
5.025	398	343	86%	332	83%	1545	1576	102%	1575	102%	

Ligger 2		Dwarskracht					Moment				
Snede	SCIA	Boon	Movares			SCIA	Boon	Movares			
Hamersbrug											
0	565	563	100%	498	88%	0	0	0	0		
1.5	428	435	102%	482	113%	521	661	127%	500	96%	
1.675	430	431	100%	476	111%	534	732	137%	558	104%	
3.35	418	396	95%	371	89%	1060	1348	127%	1107	104%	
5.025	331	360	109%	331	100%	1408	1848	131%	1552	110%	

Ligger 3		Dwarskracht					Moment				
Snede	SCIA	Boon	Movares			SCIA	Boon	Movares			
Hamersbrug											
0	426	343	81%	474	111%	0	0	0	0		
1.5	370	327	88%	421	114%	444	440	99%	501	113%	
1.675	343	325	95%	413	120%	475	487	103%	541	114%	
3.35	330	308	93%	349	106%	835	898	108%	1087	130%	
5.025	270	296	110%	287	106%	1096	1228	112%	1465	134%	

Vergelijk resultaten Rotte

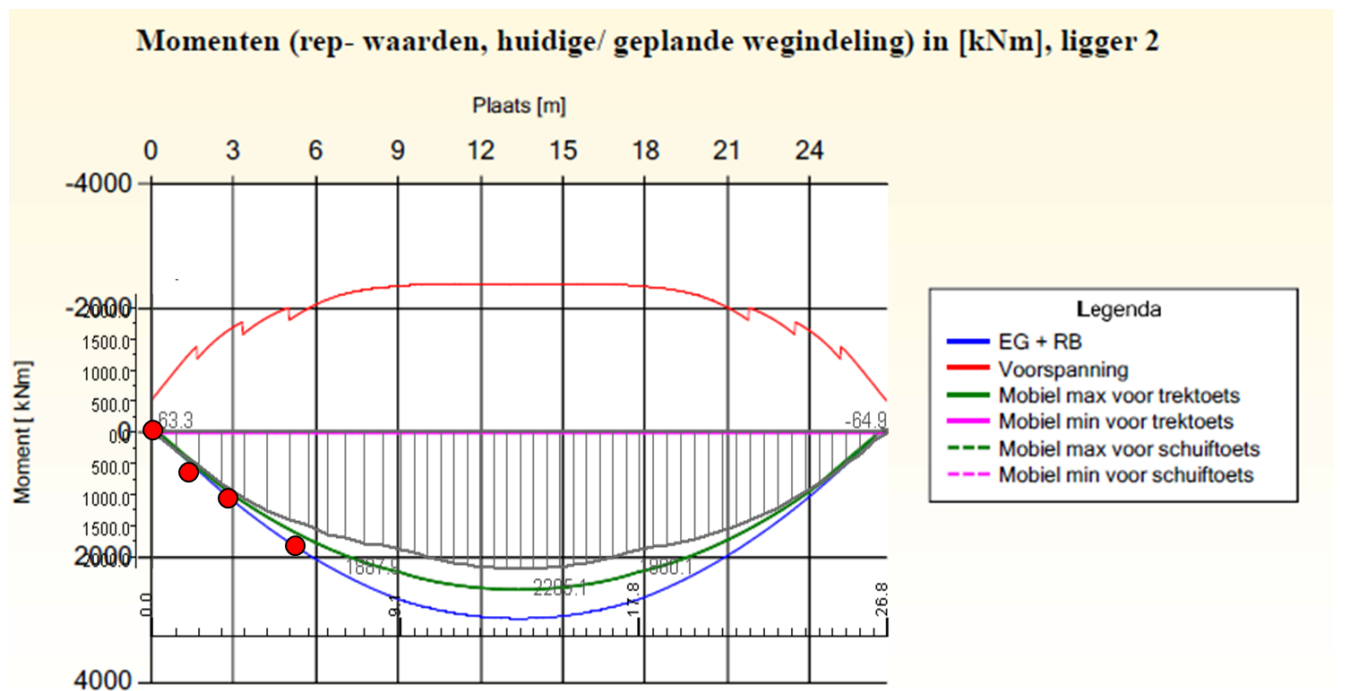
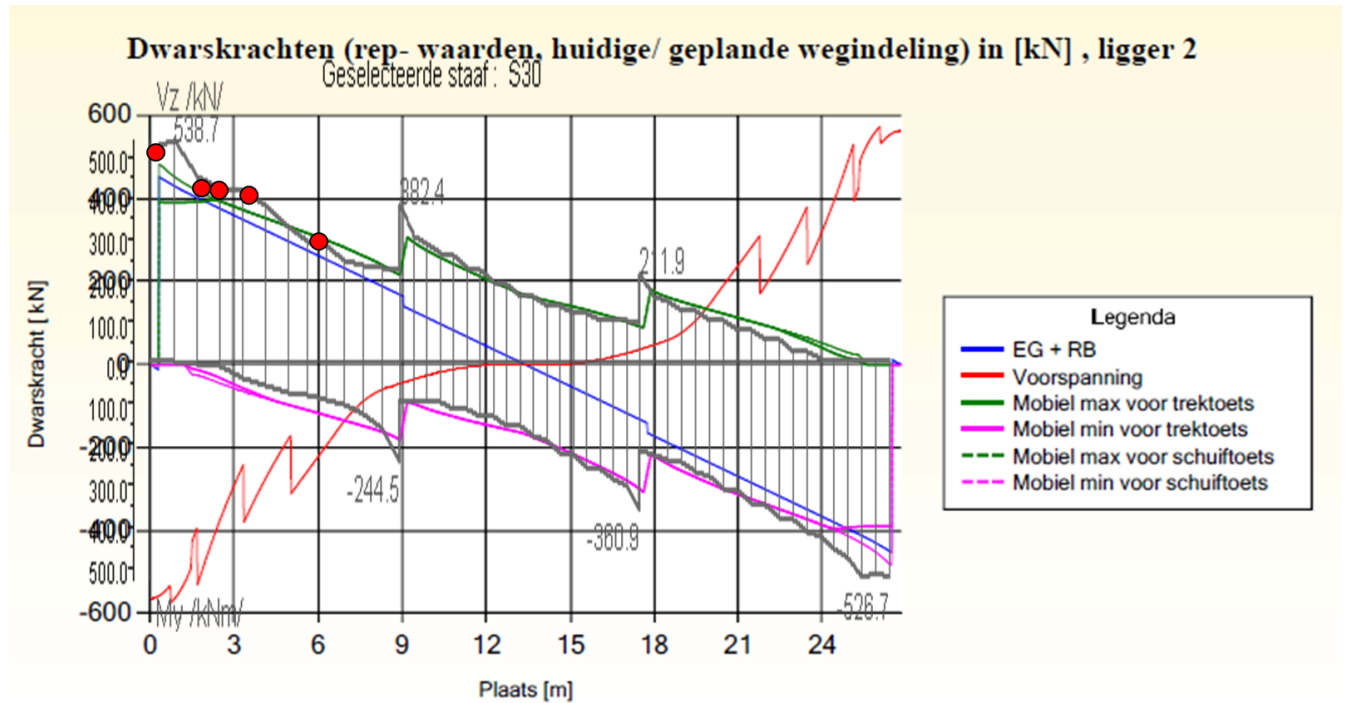
Ligger 1		Dwarskracht					Moment				
Snede	SCIA	Boon	Movares			SCIA	Boon	Movares			
Rotte											
0	356	319	90%	405	88%	0	0	0	0		
2.45	260	274	105%	357	73%	554	691	125%	659	119%	
3.95	245	247	101%	323	76%	851	1024	120%	1035	122%	
5.15	221	225	102%	295	75%	1061	1242	117%	1280	121%	
6.35	200	203	102%	269	74%	1236	1417	115%	1485	120%	

Ligger 2		Dwarskracht					Moment				
Snede	SCIA	Boon	Movares			SCIA	Boon	Movares			
Rotte											
0	362	371	102%	400	110%	0	0	0	0		
2.45	280	322	115%	322	115%	555	632	114%	608	110%	
3.95	252	290	115%	284	113%	831	978	118%	958	115%	
5.15	225	265	118%	259	115%	1054	1234	117%	1212	115%	
6.35	204	239	117%	238	117%	1220	1471	121%	1418	116%	

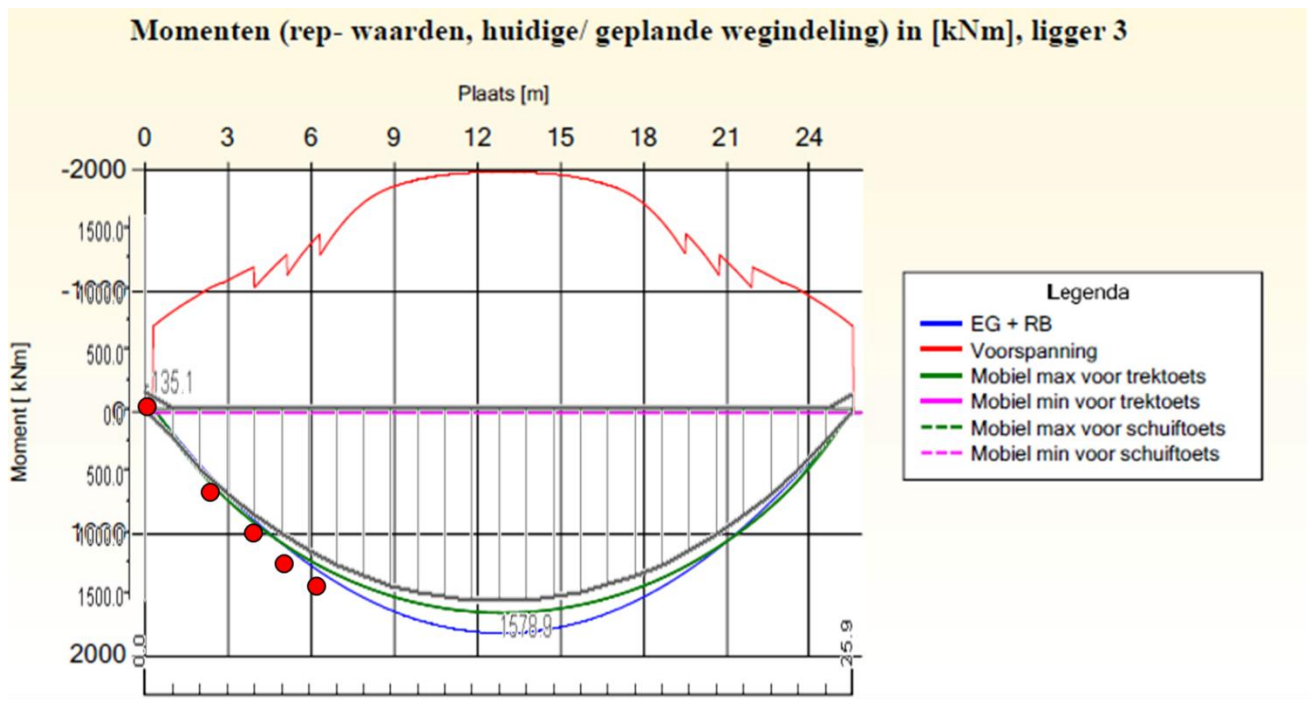
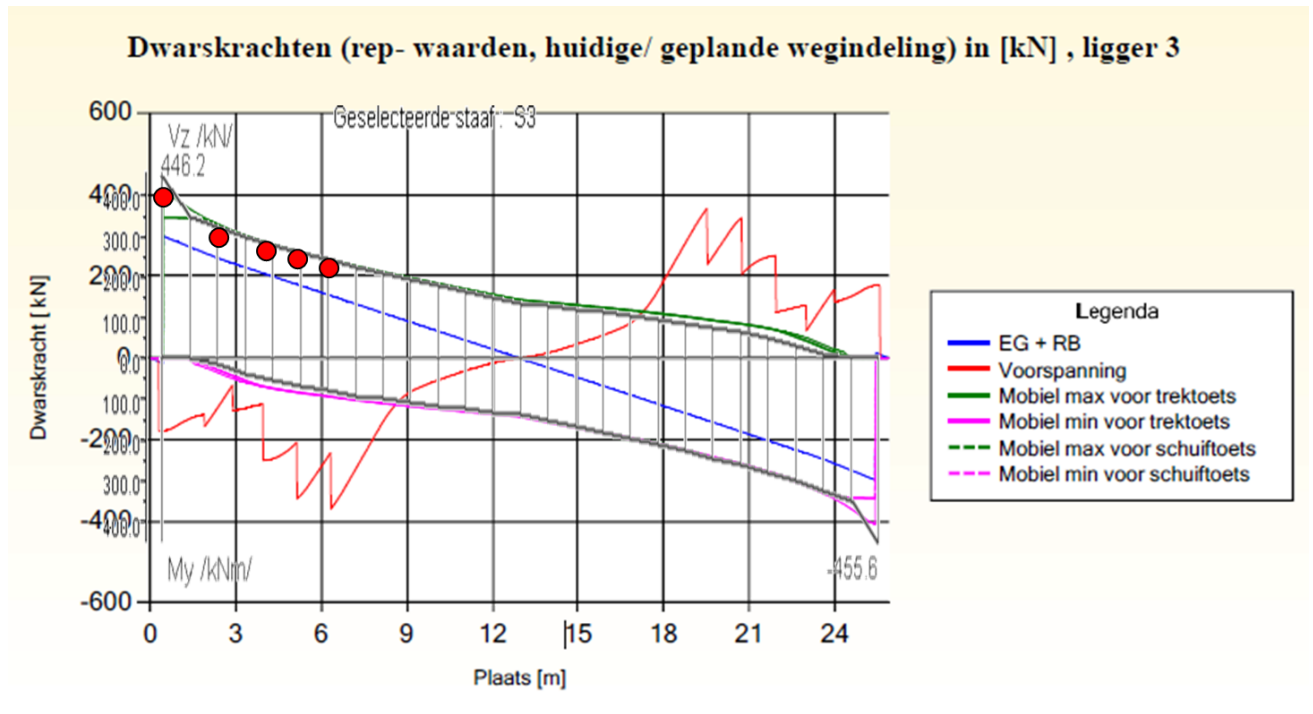
Ligger 3		Dwarskracht					Moment				
Snede	SCIA	Boon	Movares			SCIA	Boon	Movares			
Rotte											
0	446	397	89%	431	97%	0	0	0	0		
2.45	310	295	95%	343	111%	585	689	118%	640	109%	
3.95	279	268	96%	306	110%	860	1033	120%	974	113%	
5.15	250	247	99%	283	113%	1045	1267	121%	1189	114%	
6.35	233	225	97%	261	112%	1206	1463	121%	1372	114%	

In de onderstaande figuren zijn de resultaten voor de OudeRijn, Rotte en Hamersbrug weergegeven, waar de resultaten boven elkaar geplaatst zijn. In de figuren is de gekleurde lijn de Movares resultaten, de zwarte lijn de Scia resultaten en de rode stippen de resultaten uit de quickscan.

Hamersbrug ligger 2



Brug over de Rotte Ligger 3

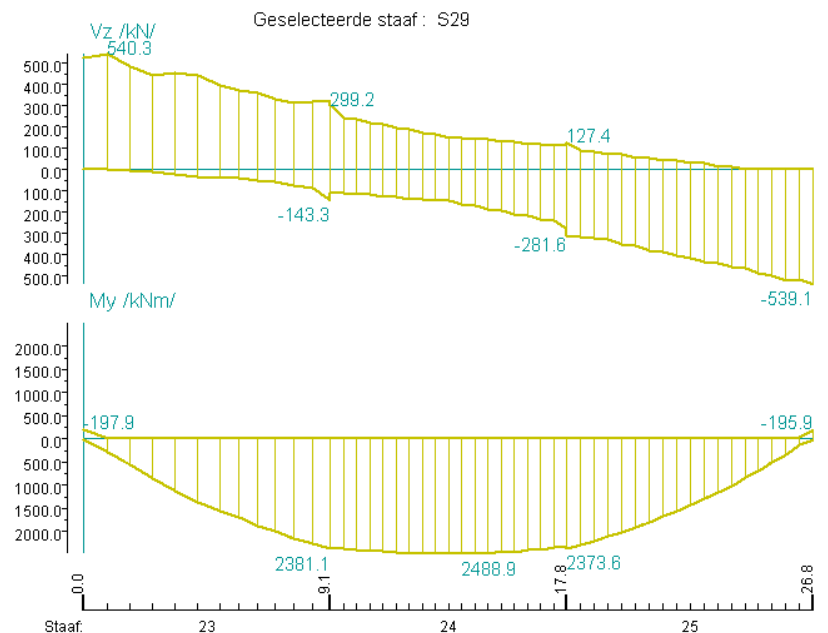


Resultaten Quickscan Boon – Ouderijn

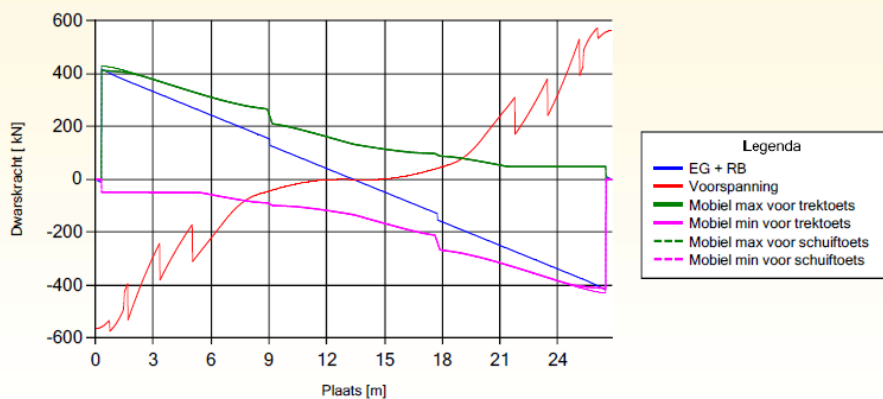
De berekeningresultaten van de quickscan Boon zijn in Bijlage 5 uitgebreid toegelicht

Hamersbrug resultaten SCIA berekening en Movares

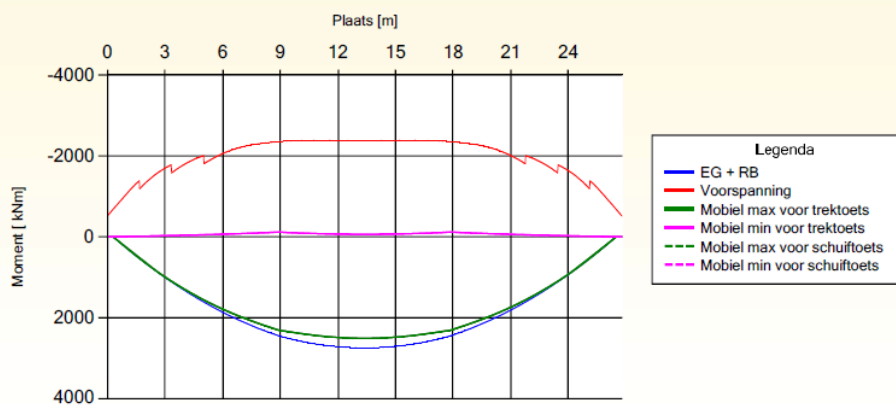
Ligger 1



Dwarskrachten (rep- waarden, huidige/ geplande wegingdeling) in [kN], ligger 1 (linker randligger)



Momenten (rep- waarden, huidige/ geplande wegingdeling) in [kNm], ligger 1 (linker randligger)

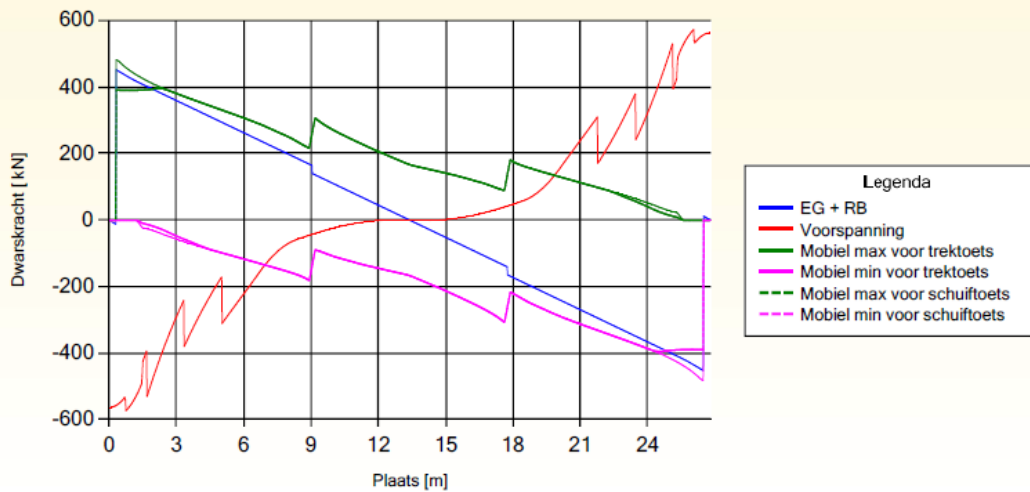


Ligger 2 resultaat SCIA



Resultaat Movares

Dwarskrachten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kN] , ligger 2



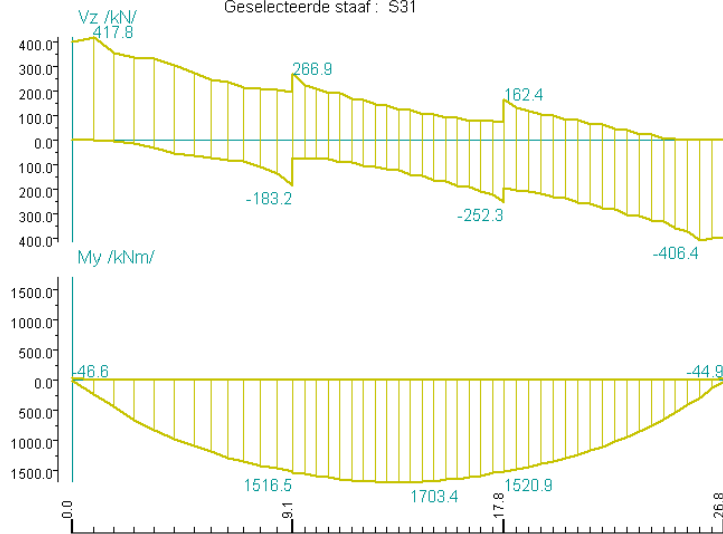
Momenten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kNm], ligger 2



Ligger 3

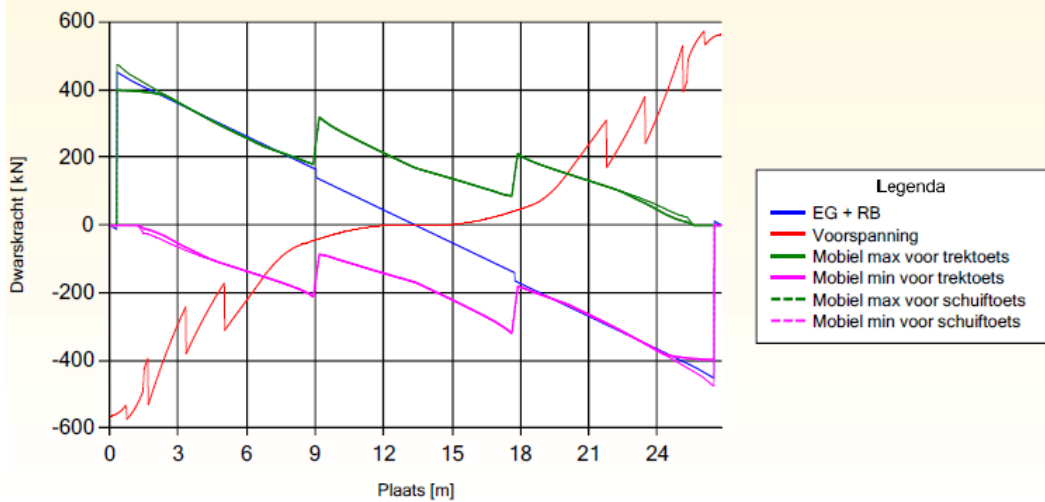
Resultaat SCIA

Geselecteerde staaf : S31



Resultaat Movares

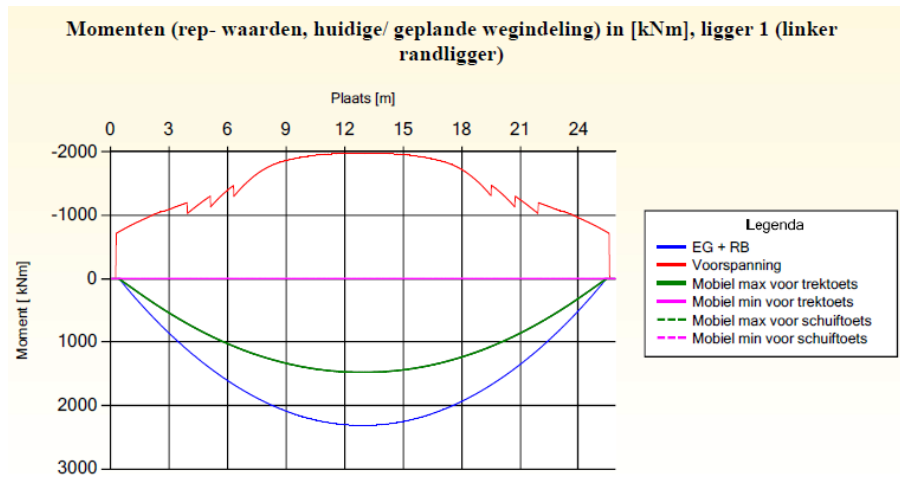
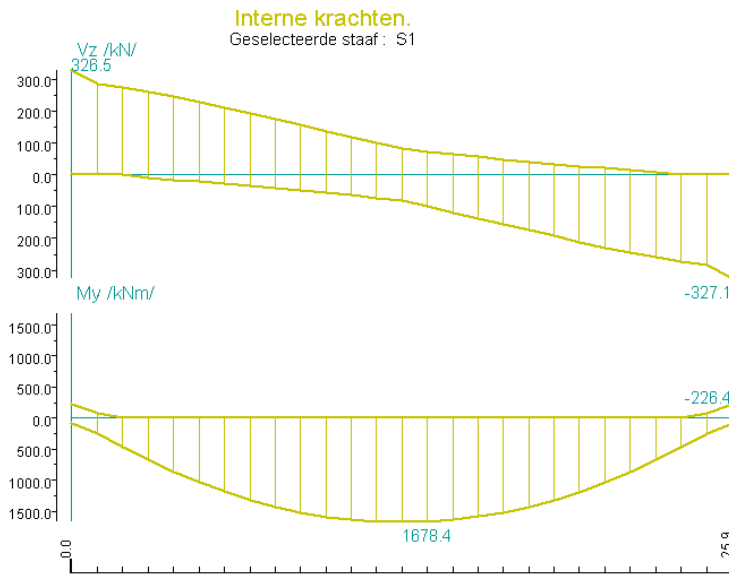
Dwarskrachten (rep- waarden, huidige/ geplande wegingdeling) in [kN] , ligger 3

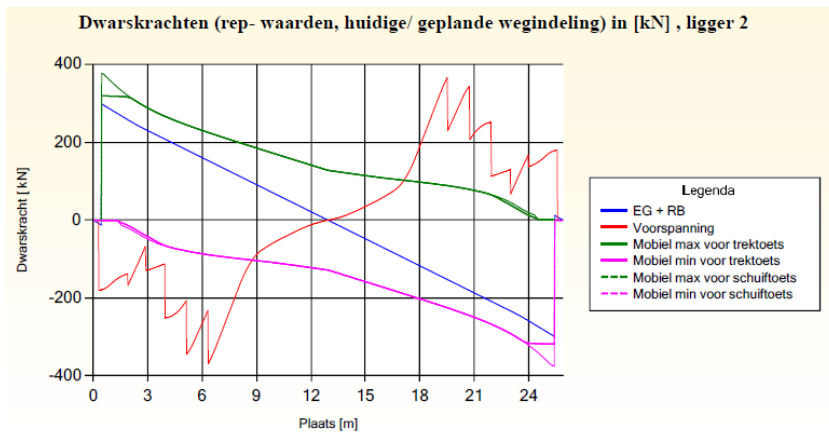
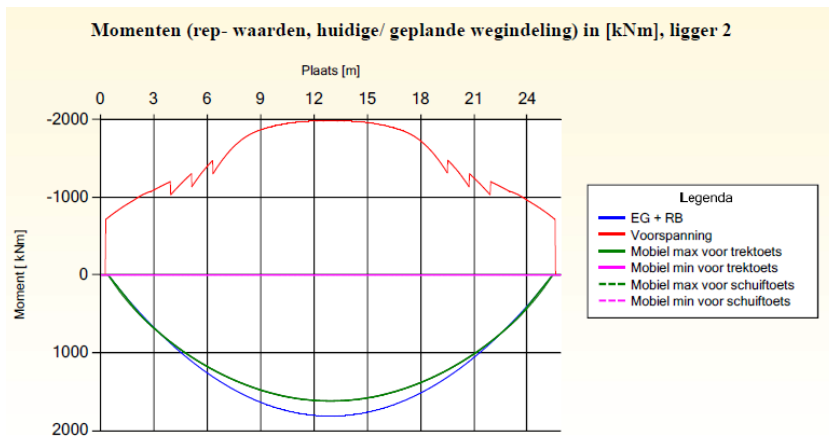
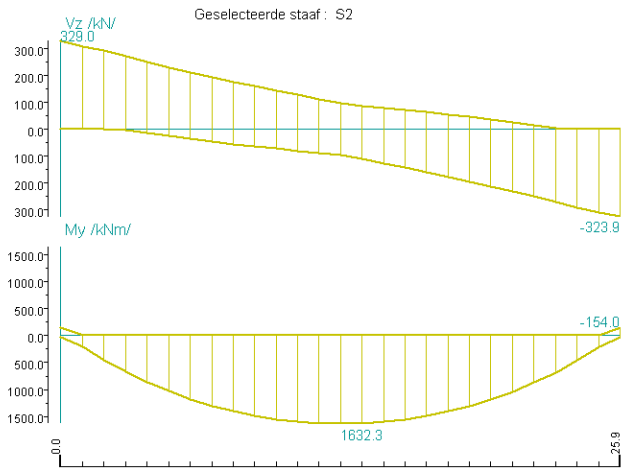


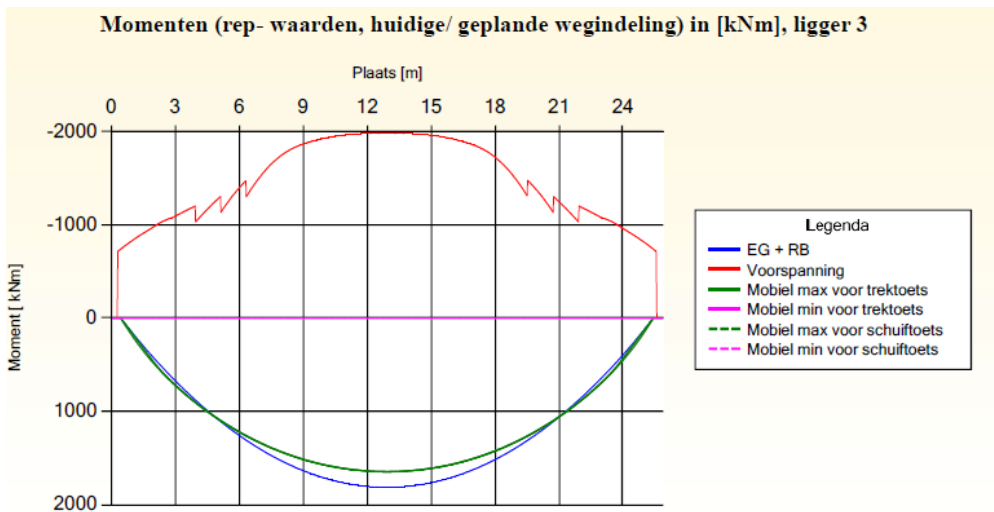
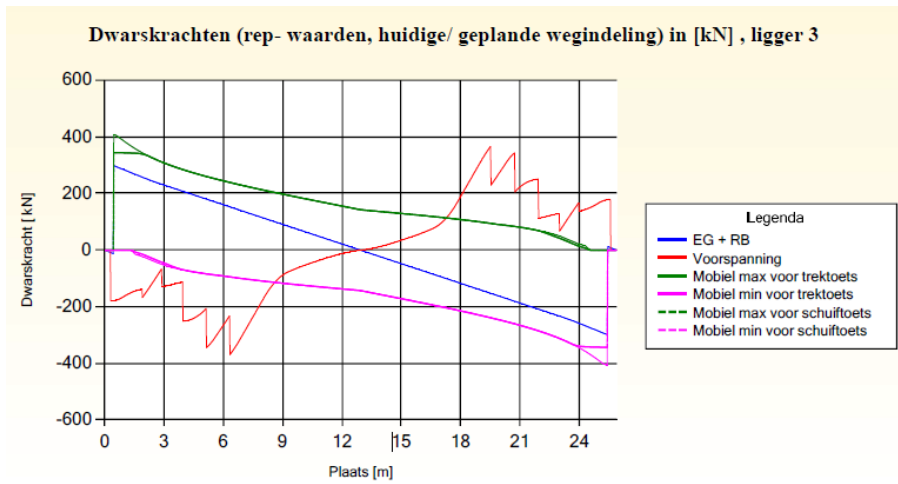
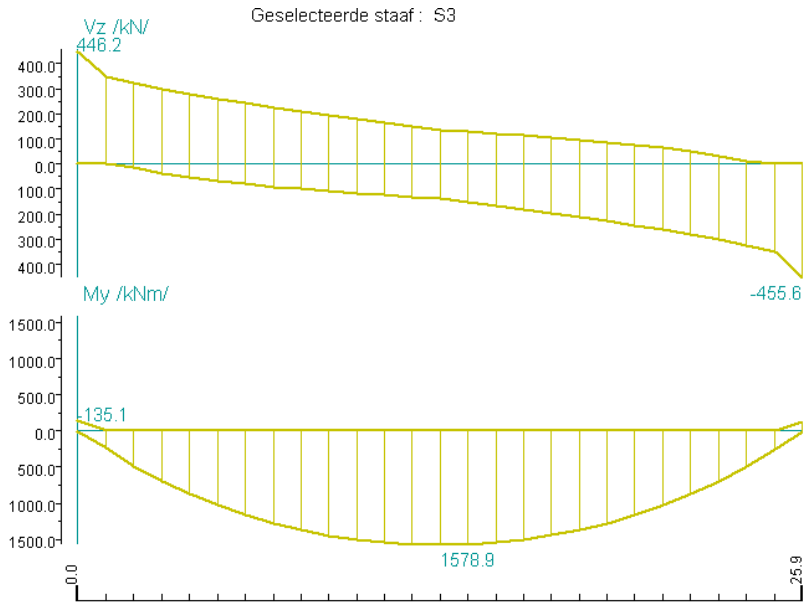
Momenten (rep- waarden, huidige/ geplande wegingdeling) in [kNm], ligger 3

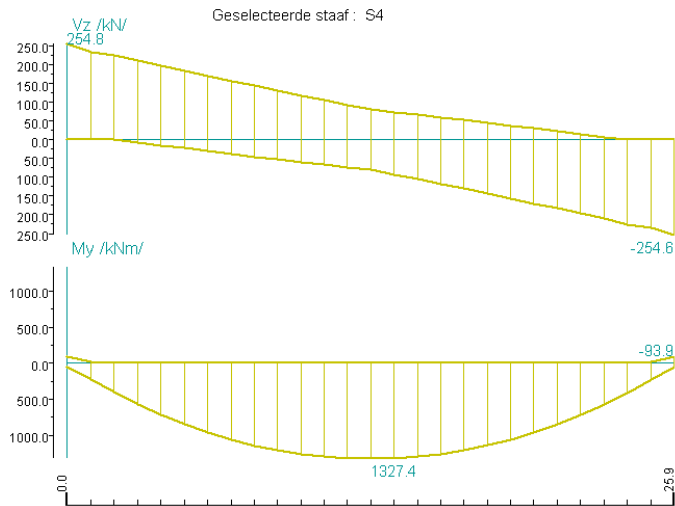


Brug over de rotte resultaten.

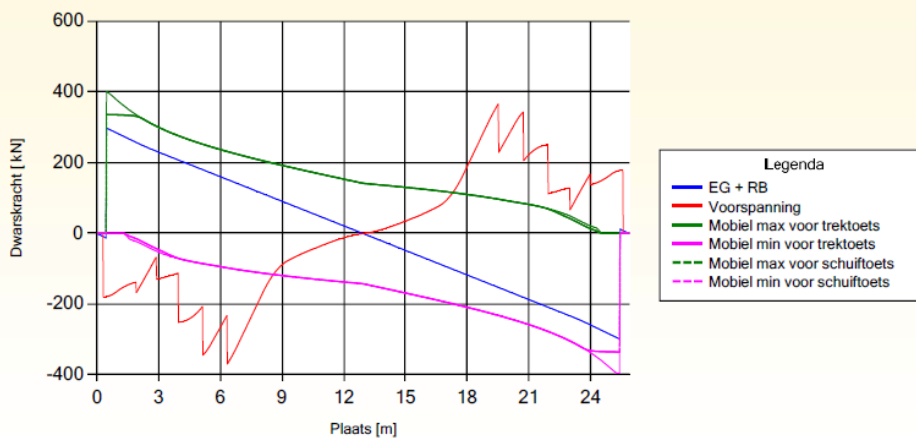




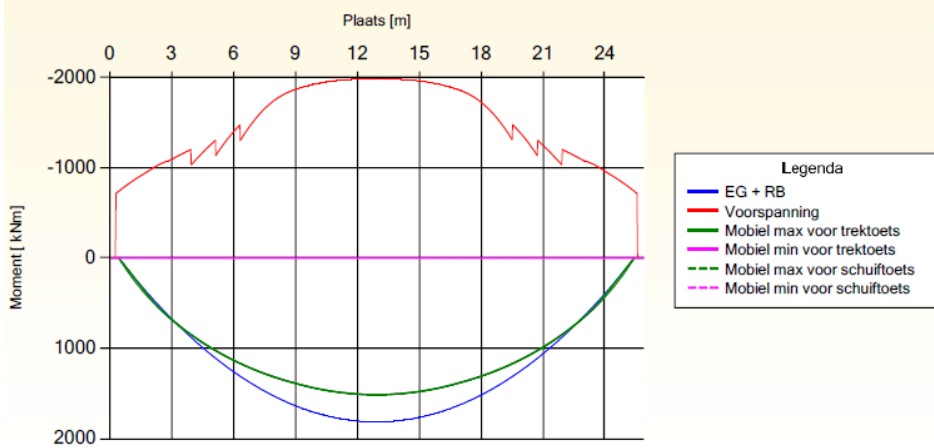


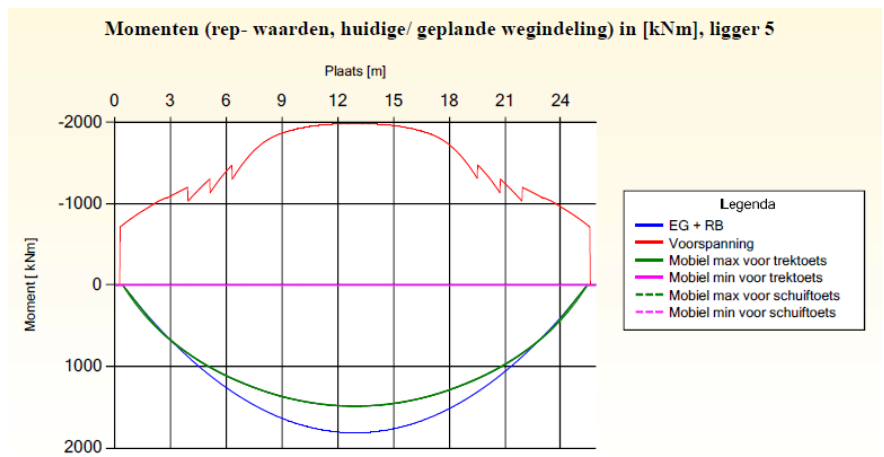
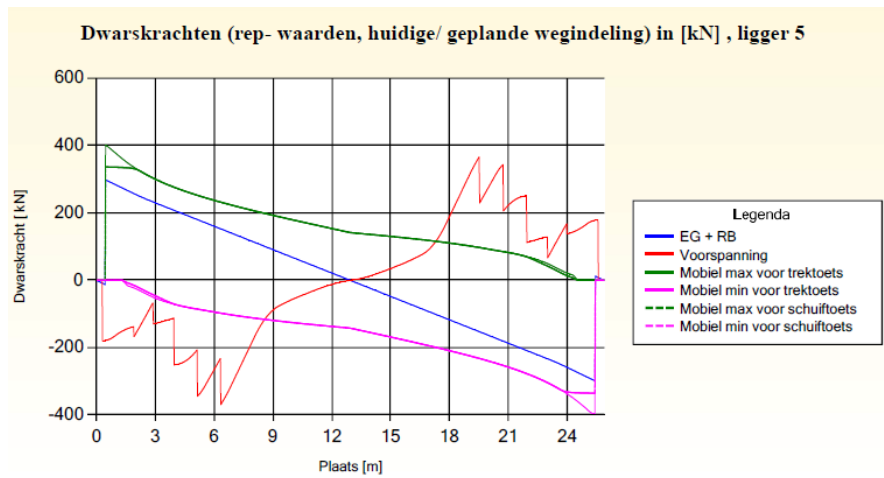
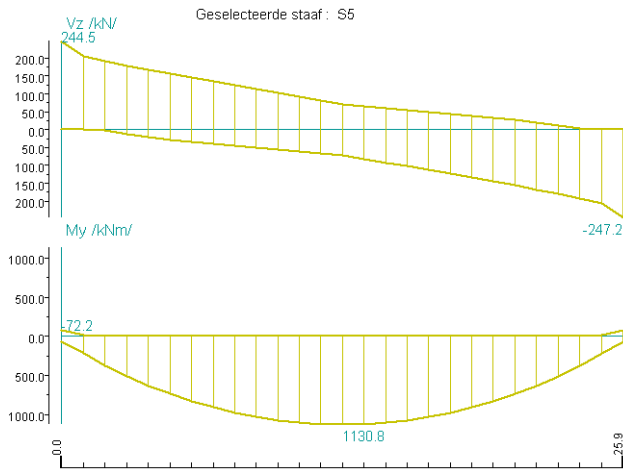


Dwarskrachten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kN] , ligger 4



Momenten (rep- waarden, huidige/ geplande wegindeling) in [kNm], ligger 4





Bijlage 7 Validatie gids

Om de resultaten van de Quickscan Boon goed op waarde in te kunnen schatten word deze nogmaals stap voor stap beoordeeld op "afstand" en vergeleken met de Quickscan Movares en de Scia resultaten. Hiervoor word gebruik gemaakt van de stappen welke toegepast zijn om de quickscan te ontwikkelen, zoals omschreven in hoofdstuk 6.2.1.

Wat	Quickscan Boon	Quickscan Movares
Te toetsen snede	Slim gekozen sneden	100 sneden over de lengte ligger
Belasting positie	Bekend, 30 graden vanaf snede naar hart rijstrook	Onbekend, alle posities geplaatst
Belastingeffect EG	Hamerstuk word niet meegenomen in EG	Volledige ligger meegenomen
Belastingeffect VRSP	Lineair benaderd	Reeks splines
Belastingeffect verkeer	Verspreide methode	Movares Methode
Belastingfactoren	Conform 8700/8701 en RBK1.1	Conform 8700/8701 en RBK1.1
Weerstand ATB	Zuivere benadering zwaartepunt ligger	Kleine afwijking door opbouw ligger,
Weerstand ABB	Afwijking met movares tot 15% in Ned	Ned, 1 kabel minder in rekening gebracht
UC	ABB overall 15% hoger dan Movares, door combinatie van bovenstaande factoren. ATB tot 10%	Door andere benaderen en uitwerking van alle factoren

Te toetsen sneden

De quickscan Boon toetst niet op alle sneden, echter wel op de meest belangrijke. Welke te allen tijde aan te passen zijn en dus door de constructeur beoordeeld moeten worden. Belangrijke punten hierin zijn de minimale lijfbreedte, locaties waar de verankering van de bovenkabels zich bevind en de overgang van ongescheurd naar gescheurd gebied.

Belastingspositie

De belastingspositie is te allen tijde bekend en een bevestiging van een in het verleden regelmatig toegepaste stelling. Namelijk, 30 graden vanaf te toetsen snede plaatsen naar het hart van de rijstrook. Dit bepaald de positie van het hart van de belasting.

Belasting effect Eigen Gewicht

Voor het eigengewicht van de ligger wordt het hamerstuk niet door de quickscan Boon meegenomen, daar dit wel bij de Movares berekening is meegenomen. Het verschil hierin is minimaal.

Belasting effect Voorspanning

De voorspankabels hebben een parabolisch verloop en zijn in de quickscan Boon benaderd met een reeks lineaire lijnen, waarbij meerdere "dwang" punten zijn aangegeven. De quickscan van Movares is benaderd met een reeks splines, wat in principe een meer zuivere benadering is. Echter ook programma technisch arbeidsintensiever. Omdat de resultaten van de lineaire benadering "goed genoeg" waren is deze behouden. Het verschil in dwarskracht en moment bij de introductie van de kabel is aanwezig. Hier heeft de quickscan Boon een afwijking tussen kabel links en rechts van + en - 5 a 10% van de kabel van de Movares quickscan.

De methode gaat ervan uit dat de spanning ten gevolge van de voorspanning meteen optreed. Terwijl er eerst centrische druk ontstaat met excentrische trek bij het intreden van de voorspankabel. Hierdoor is bij de toets op de verticale snede het moment boven = moment beneden, wat conservatievere resultaten geeft omdat er beneden druk is. Het is niet realistisch dat de voorspankracht direct volledige invloed op de krachtswerking heeft. Of Movares hier met zijn quickscan rekening heeft gehouden is onbekend.

Door het toepassen van het bijbehorend moment, wordt niet de maximale (omhullende) waarde van het moment gevonden. Dit heeft tot gevolg dat er een groter gebied ongescheurd is en daarmee het ATB gebied groter is. Dit is conservatiever dan het maximale moment met de daarbij behorende belastingpositie te vinden. Hoe de quickscan van Movares hiermee omgaat is onbekend.

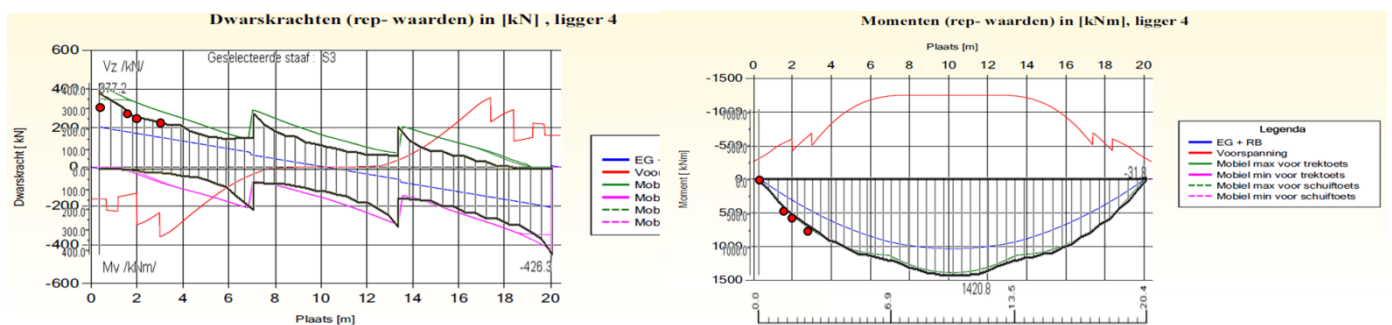
Het vermoeden is dat deze de maximale dwarskracht en moment vind voor elke snede, onafhankelijk van de belastingpositie.

De invloed van het moment tgv voorspanning is zeer groot voor de UC waarde van de quickscan, dit omdat het moment tgv voorspanning groot is ten op zichten van het totale moment.

Belastingeffect Verkeer

De optredende dwarskrachten en momenten in elke kritische snede ten gevolge van de belastingpositie zijn vergeleken in bijlage 5. Opvallend hierin is dat overall de afwijking echter blijft onzeker wat de maatgevende belastingpositie is voor de quickscan van Movares.

Overall zijn de resultaten rondom dwarskracht bij de quickscan Boon minder conservatief dan bij de Movares berekening echter rondom moment vaak wel conservatiever. Als weergegeven in onderstaand figuur.



Weerstand Afschuiftrekbreuk (ATB)

Het zwaartepunt ten opzichte van de bovenflens van de ligger is in de quickscan van Movares grover bepaald dan in de quickscan Boon, waar met laagjes de ligger word benaderd. (3 a 4% tot 10% verschil) Dit heeft verder invloed op het traagheidsmoment en statisch moment van de ligger. Worden de belastingen gelijk gesteld is het verschil tussen Boon en Movares (5%).

Tevens zit er een verschil tussen gescheurd of ongescheurd gebied. Dit komt doordat de quickscan Movares niet een k-factor 0.85 gebruikt in de bepaling van de fcd.

Het omslagpunt criterium tussen hoofdtrekspanning en schuifspanning is voor de quickscan Boon ongeveer 5% groter dan dat deze voor Movares is. Wat een doorwerking is van de eerdere afwijkingen.

Weerstand Afschuifbuigbreuk (ABB)

Het verschil van d door de afwijking in zwaartepunt en in oppervlakte werkt door in de ABB toets. Hierdoor geeft de quickscan Boon tot 1-3% lagere waarden dan dat de quickscan Movares doet. In Ned zit een verschil van 15 % tussen de resultaten van Movares en de quickscan Boon, dit komt doordat bij de bepaling van het oppervlak Movares een kabel minder in rekening brengt. Wordt dit ook toegepast komt wel dezelfde Ned.

Unity Check (UC)

De uiteindelijke unitycheck is uitgevoerd door de lasten gevonden in de Movares scan handmatig in de quickscan Boon in te voeren waardoor de verschillen minimaal zijn geworden. De verschillen zijn dan in een 5% range. Kijkend naar de totale verschillen is de afwijking per snede en situatie erg afhankelijk, maar wel te verklaren. Overall geeft de quickscan Boon conservatievere resultaten dan de quickscan Movares. Echter is dan wel bekend wat de belastingpositie is en zijn de invloeden van diverse aspecten snel inzichtelijk te krijgen.

Mochten er al dwarskracht en momentresultaten beschikbaar zijn (uit eerdere berekeningen) dan kan de quickscan Boon worden "overruled" om alleen de gekozen sneden te toetsen of deze sneden voldoen.