



Schroebrug geopend (Henzel J. , Eigen foto gemaakt bij visuele inspectie opening Schroebrug, 2022)

Constructieve Toetsing & Versterkingsonderzoek van de Schroebrug

VIERDEJAARS AFSTUDEERSTAGE - HZ CIVIELE TECHNIEK – PROVINCIE ZEELAND

Auteur: J.J, Henzel
Opleiding: Civiele Techniek (Nederlands)
Instelling: HZ University of Applied Sciences
Stagegever: Provincie Zeeland
Stagebegeleiding: M. Kwasny
Examinator 1: A. Repko
Examinator 2: P.J.M Hopmans
Plaats van uitgave: Middelburg
Versie: 1.4 Definitief
Datum: 5-8-2022

Constructieve Toetsing & Versterkingsonderzoek Schroebrug

*Een afstudeeronderzoek naar de instandhouding van het brugdek van de Schroebrug te Middelburg
gehouden voor de komende 25 jaar.*

Afstudeerverslag Civiele Techniek (Nederlands)

Auteur: J.J. Henzel (00078139)

Studiejaar: 4

Semester 4

Stagebegeleiding: M. Kwasny

Examinator 1: A. Repko

Examinator 2: P.J.M. Hopmans

Versienummer: 1.4

Status: Definitief

Pagina's: 49

HZ University of Applied Sciences, Middelburg

Provincie Zeeland, Middelburg

5-8-2022



Voorwoord

Voor u ligt de afstudeerscriptie: “Constructieve toetsing & versterkingsonderzoek van de Schroefbrug”. Het onderzoek dient als mijn laatste opdracht voor de opleiding Civiele Techniek aan de Hogeschool Zeeland (HZ) University of Applied Sciences te Middelburg en is geschreven in opdracht van de Provincie Zeeland. De totstandkoming van dit onderzoek heeft plaatsgevonden van februari 2022 tot augustus 2022.

De stageopdrachtgever, waarvoor dit rapport geschreven is, betreft de Provincie Zeeland. Provincie Zeeland is namelijk verantwoordelijk voor de instandhouding van de Schroefbrug. Samen met mijn stagebegeleider vanuit de Provincie, Michael Kwasny, en mijn begeleiders vanuit de HZ, Albert Repko en Joachim de Keijzer, is dit onderzoek tot stand gekomen.

Tijdens mijn stageperiode stonden Michael Kwasny en Albert Repko altijd voor mij klaar, waardoor zij mij regelmatig hebben geassisteerd met het onderzoek. Bij dezen wil ik hen erg graag bedanken voor hun begeleiding en ondersteuning tijdens dit onderzoekstraject.

Tevens wil ik mijn collega's van de Provincie, mijn klasgenoten en mijn vrienden en familie bedanken voor hun raad en bemoediging. Tot slot hebben mijn ouders mij in het bijzonder met hun wijsheid, hulp en motiverende woorden voortgebracht.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Jesse Henzel

Middelburg, 5 augustus 2022

Samenvatting

Dit afstudeeronderzoek heeft als doel inzicht te krijgen in de constructieve veiligheid van het brugdek/val van de Schrobrug om deze voor de komende 25 jaar in stand te houden. Het brugdek is voor het laatst getoetst in 2007, met de oude normering, daarom is de theoretische restlevensduur volgens de nieuwe normering onbekend.

De hoofdvraag is als volgt:

Voldoet het val van de Schrobrug in Middelburg aan de huidige norm/wetgeving betreft de constructieve veiligheid en wat is de beste oplossing om deze veiligheid te waarborgen voor de komende 25 jaar?

Kwalitatief onderzoek is gedaan voor het opstellen van het theoretisch kader. Daarnaast heeft er een visuele inspectie plaatsgevonden om de huidige staat van het brugdek te bevestigen. Daarna is een gemixte methode gebruikt voor de constructieve toetsing en de variantenstudie, omdat de kennis van de literatuur is gebruikt voor de toetsingen en de cijferanalyse.

Met de volgende bevindingen heeft de toetsing kunnen plaatsvinden:

- Voor de toetsing is vermoeiing maatgevend door de vorm- en constructie eigenschappen van het brugdek van de Schrobrug.
- Het stalen val is in goede staat, bevestigd volgens eigen visuele inspectie.
- De werkelijke verkeersgroei is veel minder dan is aangenomen in de toetsing van 2007.
- De rekenkeuzes voor vermoeiing zijn uitgebreider en ingewikkelder dan gebruikt in eerdere toetsingen.

Het val voldoet niet aan de huidige norm, volgens de vermoeiingstoetsing van de dekplaat in dwarsrichting. Uit de varianten die zijn opgesteld op basis van de toetsingsmodellen is het aanpassen van het huidige brugdek de beste oplossing om de constructieve veiligheid van het brugdek te waarborgen. Het aanpassen van het brugdek betekent dat de hoeklas naar een stompe las wordt vervangen en de huidige dekplaat met een extra plaat van 8 tot 15 mm wordt verdikt.

Tabel 1: Samenvattende resultaten van de variantenstudie

Criteria	Weging	Variant 1: nieuw brugdek	Variant 2: aangepast brugdek	Variant 3: gedeeltelijk nieuw
Levensduurverlenging	10%	3	1	1
Kosten	70 %	2	4	1
Hinder	30 %	3	2	3
Duurzaamheid	10 %	1	5	3
Totale score:		2,7 / 5	4,0 / 5	2,0 / 5

Het is aanbevolen zo snel mogelijk in te grijpen op het val, samen met het vernieuwen van de slijtlaag dat gepland staat voor eind 2022. Wanneer het brugdek wordt aangepast, is aangeraden het huidige brugdek grondig te inspecteren en repareren. Daarnaast is aanbevolen de toetsingen uit te voeren met een 3D model, inclusief een toetsing van de dwars- en hoofdliggers.

Summary

This graduation research aims to gain insight into the structural safety of the bridge deck of the Schrobrug in order to maintain it for the next 25 years. The bridge deck was last tested in 2007 with the old norm calculation rules. That is why the remaining lifespan of the bridge deck is now unknown. The following main question applies:

Does the bridge deck of the Schrobrug in Middelburg meet the current norm rules regarding its structural safety and what is the best solution to guarantee this safety for the next 25 years?

Qualitative research has been done to create the theoretical framework. In addition, a visual inspection has taken place to confirm the current condition of the bridge deck. After that, a mixed method was used for the constructive calculations and the variant study. Here the knowledge of the literature was used for the calculations and the numerical variant analysis.

The constructive calculations could take place because of the following findings.

- Fatigue is decisive due to the shape and construction properties of the bridge deck.
- The bridge deck is in good condition, confirmed by my own visual inspection.
- The current traffic growth is much less than assumed in the 2007 calculation.
- The fatigue calculation norm is more extensive and complex than used in previous calculations.

The bridge deck does not meet the current standard, according to the fatigue calculation of the cover plate in a transverse direction. From the variants that have been drawn up from the calculation models, adjusting the current bridge deck is the best solution to ensure the structural safety of the bridge deck, see table below. Adjusting the bridge deck means replacing the corner weld to a blunt weld and thickening the current deck plate with an additional 8 to 15 mm steel plate.

Table 2: Summary results of the variant study

Criteria	Weight	Variant 1: new bridge deck	Variant 2: Changing of current bridge deck	Variant 3: Partially new bridge deck
Extending lifespan	10%	3	1	1
Costs	70 %	2	4	1
Hindrance	30 %	3	2	3
Sustainability	10 %	1	5	3
Total score:		2,7 / 5	4,0 / 5	2,0 / 5

It is recommended to strengthen the bridge deck as soon as possible, together with the renewal of the wear layer in the end of 2022. When the bridge deck is strengthened, it is recommended to inspect and repair the current bridge deck. In addition, it is recommended to make use of a 3D model instead of 2D for further calculations, including calculations of the transverse and main beams.

Inhoudsopgave

Voorwoord	ii
Samenvatting	iii
Summary	iv
Inhoudsopgave.....	v
Verklarende woordenlijst	viii
1. Inleiding.....	1
1.1 Achtergrond	1
1.2 Provincie Zeeland.....	2
1.3 Aanleiding	3
1.4 Probleemstelling	3
1.5 Doelstelling	3
1.6 Hoofd- en deelvragen	3
1.7 Leeswijzer.....	4
2. Theoretisch kader	5
2.1 Constructieomschrijving	5
2.2 Algemeen probleem.....	8
2.3 Mogelijke problemen, oorzaken & oplossingen bij orthotrope brugdekken	10
2.3.1 Vermoeiing.....	10
2.3.2 Corrosie	13
2.3.3 Slijtlaagslijtage	14
2.4 Inspectierapporten	14
2.4.1 Inspectie fotorapportage 2004	14
2.4.2 Restlevensduurbeschouwing 2007	14
2.4.3 Slijtlaag 2014	15
2.4.4 Chroom-6 2019	15
2.4.5 Slijtlaag fietspaden 2020	15
2.4.6 Hoofdinspectie 2020	16
2.4.7 Nader onderzoek slijtlaag 2020	16
2.4.8 Eigen visuele inspectie 2022	16
2.4.9 Conclusie inspectieresultaten	17
2.5 Overzicht normen & richtlijnen ontwerp 1970, toetsing 2007 en huidige toetsing.....	18
2.6 Uitgangspunten ontwerp 1970.....	19
2.7 Uitgangspunten en resultaten toetsing 2007	19
2.7.1 Uitgangspunten.....	19

2.7.2 Resultaten	20
2.8 Uitgangspunten en aannames huidige toetsing 2022	21
2.8.1 Afbakening	21
2.8.2 Uitgangspunten.....	21
2.8.3 Aannames	22
2.9 Prognose verkeersintensiteit	24
2.9.1 Gegeven	24
2.9.2 Prognose	26
2.9.3 Toetsingsinput.....	26
2.10 Eisen en randvoorwaarden variantenstudie.....	27
3. Methodologie.....	28
3.1 Onderzoeksmethode	28
3.2 Toetsingen.....	28
3.3 Variantenstudie.....	29
3.4 Beantwoording deelvragen.....	33
3.5 Gebruikte technieken	34
3.6 Toetsingsmodellen	34
4. Resultaten	36
4.1 Resultaten huidige toetsing	36
4.2 Resultaten variant 1: nieuw brugdek.....	36
4.3 Resultaten variant 2: aangepast brugdek	37
4.4 Resultaten kostenraming en LCC	37
4.5 Resultaten variantenstudie.....	38
5. Discussie	39
5.1 Gevoeligheidsanalyse : toetsing model 1	39
5.2 Gevoeligheidsanalyse : toetsingen model 2	39
5.3 Interpretaties van gevoeligheidsanalyses van de toetsingen	40
5.4 Discussie over de toetsingen	41
5.5 Interpretaties van toetsingsresultaten	43
5.6 Gevoeligheidsanalyse : LCC.....	45
5.7 Interpretatie van de gevoeligheidsanalyse van de LCC	46
5.8 Discussie over de variantenstudie	46
5.9 Interpretatie van de variantresultaten	47
6. Conclusie & aanbevelingen	48
6.1 Conclusie	48
6.2 Verdere aanbeveling en vervolgonderzoek	49

7. Bronnen & referenties	50
Bijlage I : Bruggen	- 1 -
Bijlage II : Brugonderdelen.....	- 2 -
Bijlage III : Geschiedenis.....	- 5 -
Bijlage IV : Normenontwikkeling.....	- 7 -
Bijlage V : Inspectie fotorapportage 2004	- 10 -
Bijlage VI : Inspectie restlevensduurbeschouwing 2007.....	- 11 -
Bijlage VII : Slijtlaag 2014	- 16 -
Bijlage VIII : Chroom-6 2019	- 22 -
Bijlage IX : Slijtlaag fietspaden 2020	- 23 -
Bijlage X : Hoofdinspectie 2020	- 28 -
Bijlage XI : Nader Onderzoek Slijtlaag 2020	- 29 -
Bijlage XII : Inspectievergelijking 2007 met 2014	- 33 -
Bijlage XIII : Restlevensduurberekening 2007.....	- 34 -
Bijlage XIV : Eigen Visuele Inspectie.....	- 35 -
Bijlage XV : Theorie Verkeersintensiteit.....	- 38 -
Bijlage XVI : Prognose Verkeersintensiteit.....	- 43 -
Bijlage XVII : Flowcharts	- 57 -
Bijlage XVIII : Berekeningsfactoren tabellen & grafieken	- 59 -
Bijlage XIX : Toetsing model 1 - trog vermoeiingsterkte op dwarsdragers in langsrichting	- 67 -
Bijlage XX : Toetsing model 2 – dekplaat & hoeklas vermoeiingsterkte van dekplaat- en trogprofiel in langsrichting	- 88 -
Bijlage XXI : Variant 1 - nieuw brugdek trog dikker	- 107 -
Bijlage XXII : Variant 1 - nieuw brugdek h.o.h. afstand kleiner.....	- 114 -
Bijlage XXIII : Variant 1 - nieuw brugdek trog hoger	- 117 -
Bijlage XXIV : Variant 1 - nieuw brugdek trog smaller	- 120 -
Bijlage XXV : Variant 1 - nieuw brugdek trog hoger & smaller met dikkere dekplaat	- 124 -
Bijlage XXVI : Variant 2 - aangepast brugdek stompe las 2022	- 134 -
Bijlage XXVII : Variant 2 - aangepast brugdek stompe las 2047	- 138 -
Bijlage XXVIII : Variant 2 - aangepast brugdek stompe las 2047 & dikkere dekplaat	- 139 -
Bijlage XXIX : Variant 2 - evenwichtsvergelijking	- 150 -
Bijlage XXX : Gevoeligheidsanalyse model 1 – meewerkende breedte.....	- 159 -
Bijlage XXXI : Gevoeligheidsanalyse model 2 – meewerkende breedte	- 162 -
Bijlage XXXII : Kostenraming, LCC en gevoeligheidsanalyse	- 174 -
Bijlage XXXIII : Variantenstudie	- 194 -

Verklarende woordenlijst

Het val = het bewegende deel van het brugdek van een aantal typen beweegbare bruggen (Bruggen Lexicon, sd).

Decentrale overheidsinstelling = Het totaal van provincies, gemeenten, waterschappen en de gemeenschappelijke regelingen. De decentrale overheid omvat publiekrechtelijke overheidslichamen met een zelfstandige boekhouding (CBS, 2022).

Constructieve toetsing = een berekening betrekking hebbend op een constructie (Encyclo, sd).

Orthotrope brugdek = het dek van een (ophaal)brug dat bestaat uit een structurele stalen dekplaat die ofwel in de lengterichting met ribben of in de dwarsrichting of in beide richtingen is verstijfd (Stringfixer, 2020).

Kunststof composieten = vezels gecombineerd met (kunststof)-hars. De vezels en harsen komen in veel soorten voor, waardoor met composieten (materiaal dat bestaat uit verschillende componenten) een tal van combinaties mogelijk is. De meest bekende en gebruikte combinaties zijn carbonvezels en glasvezels, in combinatie met epoxy en polyester (Refitech, 2017) .

Vezel versterkte kunststof = vorm van een kunststof composiet wat sterker is dan normale kunststof door het kunststof hars te vermengen met vezels (Refitech, 2017).

LCC = in een Life Cycle Costs- analyse worden niet alleen de kosten van de investering meegenomen, maar tevens de kosten van instandhouding en soms ook voor onderhoud, vervanging en sloop (Ensie, 2016).

Eindige elementen methode = berekeningsmethode waarbij een gecompliceerd domein kan worden onderverdeeld in een eindig aantal kleine (en eenvoudige) gebieden waarvan de geldende differentiaalvergelijkingen kunnen worden opgelost. Door deze differentiaalvergelijkingen samen te voegen kan het gedrag over het gehele domein worden bepaald (Femto, sd).

Overspanning = de afstand tussen twee steunpunten.

Spanningswisseling = verloop van spanningen binnen een periode (NEN, 2001).

Spanningsinterval = het verschil tussen de maximale en de minimale spanning (NEN, 2001).

Afkeurniveau = Wettelijk minimumniveau van constructieve veiligheid, hierbij is handhaving nodig (NEN, 2020).

Verbouwniveau = Het betrouwbaarheidsniveau dat van toepassing is indien een bestaande constructie gedeeltelijk wordt vernieuwd, versterkt, veranderd of vergroot (NEN, 2020).

Veerconstante = waarde dat uitdrukt hoe stijf of stug een veer is. Het geeft aan hoe groot een kracht is bij een bepaalde uitrekking.

Hoeklas = een las die twee metalen vlakken loodrecht op elkaar verbindt.

Stompe las = een lasnaad waarbij na het lassen geen spleet in de lasverbinding achterblijft. Ook wel homogene las genoemd.

Excentriciteit = als het zwaartepunt niet in het middelpunt van het profiel valt.

CAPEX = Kapitaaluitgaven, oftewel de aanschafkosten.

OPEX = Operationele kosten, oftewel de kosten voor onderhoud en gebruik.

Discontovoet = een percentage waarmee verwachte kosten en baten in de toekomst worden teruggerekend naar het basisjaar van het project.

Life Cycle Costs = een kostenanalyse waarbij niet alleen de kosten van de investering (CAPEX) zijn meegenomen, maar tevens de kosten van instandhouding en onderhoud en vervanging (OPEX).

NPV (Netto Present Value) = de totale levenscyclus prijs voor het aanschaffen en onderhouden van de variant, inclusief discontovoet. Zie voor formule Figuur 1.

EAC (Equivalent Annual Cost) = de jaarlijks gemiddelde kosten voor het bezitten van de variant. Zie voor formule Figuur 2.

$$NPV = \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

t = time of the cash flow
 i = discount rate
 R_t = net cash flow

Figuur 1: Formule voor NPV

$$EAC = (AP * DR) / (1 - (1 + DR)^{-n})$$

- Where EAC is the equivalent annual cost
- AP is the asset price
- DR is the discount rate
- n is the number of periods

Figuur 2: Formule voor EAC

1. Inleiding

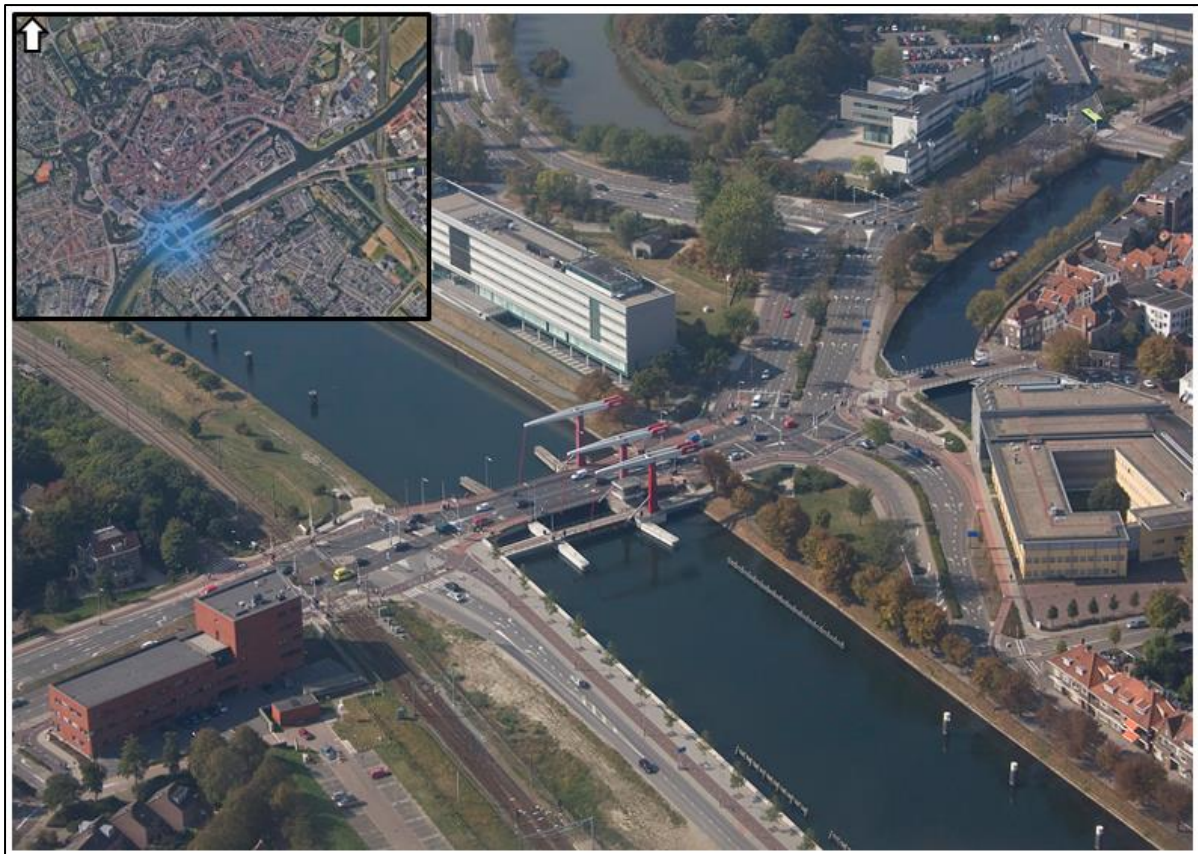
1.1 Achtergrond

Direct na de tweede wereldoorlog heeft Nederland zijn economie samen met de vernielde infrastructuur hersteld. Dit houdt in dat er veel bruggen zijn gebouwd in de jaren 60 en 70. In deze tijd was er schaarste in materiaal, waardoor constructeurs werden gedwongen zo efficiënt mogelijk materiaal te gebruiken. Mede door het ontstaan van de computer werd de materiaalefficiëntie gerealiseerd bij het ontwerp van vele bruggen in de jaren 60 en 70 (Nederlandse Bruggenstichting (NBS), 2006).

Ook ontstond er een enorme groei van verkeer, transport en mobiliteit door de herstellende infrastructuur (Varenn, 2013). Dit resulteerde in een toenemende verkeersintensiteit die destijds niet was voorspeld voor het ontwerp van de bruggen (Schot, 2002).

Voor ontwerp en instandhouding van de bruggen in Nederland bestaan verschillende normen. In de normen staan regels om de constructieve veiligheid te waarborgen. Daarom is het belangrijk dat deze normen bij worden gewerkt met de actuele kennis. De normen zijn door de jaren heen aangepast door bijvoorbeeld de toename van vrachtwagens (Besten, 2019).

Dit onderzoek focust zich op de Schroevenbrug in Middelburg met als beheerder Provincie Zeeland. De brug was op moment van bouw, in 1970, de grootste ophaalbrug van Nederland. Op de volgende pagina ziet u in Figuur 3 de Schroevenbrug en zijn omgeving. De Schroevenbrug is een rood-witte ophaalbrug en dient als een belangrijk verbindingspunt tussen het centrum van Middelburg en de snelweg (A58). In 2011 werd ten oosten van de stad een aquaduct geopend, waardoor de Schroevenbrug vermoedelijk werd ontlast. De Schroevenbrug bestaat uit 2 x 2 rijstroken voor motorvoertuigen. Daarnaast beschikt de brug over twee tweerichtingenfietspaden met aan elke zijde één. Voetgangers mogen niet over de Schroevenbrug, maar wel over de parallel gelegen voetgangersbrug De Loper. Ook zijn er aan beide kanten van de brug door middel van verkeerslichtinstallaties geregelde kruispunten (Henzel J. , Eigen observatie, 2022).



Figuur 3: Locatie van de Schroebrug en voetgangersbrug De loper in Middelburg over Kanaal door Walcheren (Luiten, 2009). Linksboven is de plattegrond van Middelburg, met de Schroebrug aangegeven met een blauwe cirkel (Google, 2022).

De Schroebrug is nu meer dan 50 jaar oud, daardoor gaat de staat van de stalen brug achteruit. De brug wordt wel onderhouden, maar de huidige staat van het stalen brugdek is onduidelijk. De laatste constructieve toetsing is van 2007 op basis van de oude norm. Daarnaast, heeft de Provincie Zeeland aanwezige onderhoudsstrategieën, maar geen onderhoudsplan voor specifiek de Schroebrug (Blommaert, 2009).

Voor dit afstudeeronderzoek wordt het val getoetst, omdat de laatste berekeningen zijn uitgevoerd in 2007. Dit is relevant om te onderzoeken, omdat het brugdek op de oude normering voldeed, maar de restlevensduur met de huidige norm onbekend is. Provincie Zeeland wilt daarnaast weten wat de beste versterkingsmaatregel is voor de komende 25 jaar, zodat de levensduur van de brug optimaal wordt verlengd.

1.2 Provincie Zeeland

Provincie Zeeland is een decentrale overheidsinstelling die zich inzet op economische ontwikkeling, groei en vernieuwing van Zeeland. Zij focust zich op onderwerpen als: de havens en logistiek, recreatie en toerisme, energie, landbouw en agro food, visserij en aquacultuur, plattelandsontwikkeling en natuurherstel (Provincie Zeeland, 2022).

Provincie Zeeland is verantwoordelijk voor het aanleggen en onderhouden van droge en natte infrastructuur. Hieronder vallen alle provinciale wegen, naastgelegen parallelwegen, en fietspaden in Zeeland. Daarbij is Provincie Zeeland beheerder van de bijhorende tunnels, viaducten, sluizen, keerwanden en bruggen. De Zeelandbrug en het Kanaal door Walcheren zijn ook onder hun beheer. Hiermee ook de Schroebrug (Provincie Zeeland, 2022).

De Provincie heeft een visie voor beheer en onderhoud van infrastructuur genaamd Kwaliteitsbeleid Beheer en Onderhoud, om de staat van de infrastructuur in kaart te brengen. Daarnaast is de Provincie Zeeland bezig om de huidige staat en de toekomstbestendigheid van haar kunstwerken beter in beeld te krijgen. Het Beheerplan Vaarwegen beschrijft de onderhoudsstrategie van het kanaal, de bruggen en de sluizen. Dit houdt in dat er geen specifieke toekomstgerichte modellen of beoordelingssystemen zijn voor deze kunstwerken, zoals voor de Schroefbrug. (Blommaert, 2009).

1.3 Aanleiding

Sinds de bouw van vele bruggen in de jaren 60 en 70 is de instandhouding van deze civiele objecten een uitdaging voor beheerders. De stalen ophaalbrug in Middelburg: de Schroefbrug, is hier een voorbeeld van. De brug is van grote waarde voor de verkeersdoorstroming van Middelburg. Momenteel is er weinig inzicht in de huidige staat van het val, tevens zijn de constructieve toetsen verouderd. Naar aanleiding hiervan is dit onderzoek tot stand gekomen.

1.4 Probleemstelling

Momenteel heeft de Provincie Zeeland weinig zicht op de huidige staat van het stalen brugdek van de Schroefbrug in Middelburg. Daarnaast is het dek voor het laatst getoetst in 2007 met de oude normering en is de restlevensduur met de nieuwe normering onbekend. Ook zijn de belastingen door de jaren heen vergroot door meer frequentere en plaatselijke verkeerslasten, en is er onzekerheid over de instandhouding van het brugdek voor de komende 25 jaar.

1.5 Doelstelling

Het onderzoek heeft tot doel inzicht te verkrijgen in de restlevensduur van het val van de Schroefbrug in Middelburg, door een constructieve toetsing met de huidige norm. Vervolgens wordt bepaald wat de meest geschikte manier is om de brug de komende 25 jaar in stand te houden met een constructieve oplossing. De toetsingen hebben als doel de constructieve oplossing te onderbouwen.

1.6 Hoofd- en deelvragen

Als afstudeeropdracht voor de Provincie Zeeland is het stalen brugdek van de Schroefbrug in Middelburg getoetst. Eerst is gekeken of het brugdek voldoet aan de huidige wetgeving. Daarna zijn de beste versterkingsmaatregelen voor het in stand houden van de brug voor de komende 25 jaar bepaald.

De hoofdvraag is als volgt:

Voldoet het val van de Schroefbrug in Middelburg aan de huidige norm/wetgeving betreft de constructieve veiligheid en wat is de beste oplossing om deze veiligheid te waarborgen voor de komende 25 jaar?

De deelvragen zijn opgedeeld in twee onderdelen. De eerstvolgende deelvragen zijn samengesteld voor de toetsingen met de huidige norm. Daarna komen de deelvragen aan bod voor het verkrijgen van de beste oplossing.

Deelvragen die betrekking hebben tot de toetsingen zijn:

1. Hoe ziet het val van de Schroefbrug er uit?
2. Wat voor reparaties en aanpassingen zijn er gepleegd aan de Schroefbrug en heeft dit impact op de toetsing?
3. Welke inspecties zijn er gedaan en kunnen deze als input dienen tot de huidige toetsing?
4. Welke toetsingsberekeningen zijn er in het verleden uitgevoerd voor het bepalen van de conditie van de brug en is hieruit nuttige informatie te verkrijgen?
5. Wat zijn de gebruikte normen en richtlijnen voor het ontwerp, de bestaande toetsingen en de huidige toetsing?
6. Wat zijn de eisen, randvoorwaarden en beperkingen waaraan het brugdek nu en in de toekomst moet voldoen?
7. Wat zijn de maatgevende factoren voor de toetsingen van het stalen brugdek?
8. Voldoet het brugdek nu en over 25 jaar?

Met deze deelvragen zal het eerste deel van de hoofdvraag beantwoord worden.

Deelvragen die betrekking hebben tot het verkrijgen van de beste oplossing:

9. Welke faalvormen treden op, op het brugdek en in hoeverre hebben deze zich in het verleden voorgedaan? Wat zijn de oorzaken hiervan en hoe kunnen deze worden opgelost?
10. Wat zijn mogelijke effectieve oplossingen om de faalvormen te voorkomen en/of te corrigeren voor de instandhouding de komende 25 jaar?
11. Hoe worden deze varianten afgewogen met elkaar?
12. Wat is de beste variant voor het waarborgen van de constructieve veiligheid voor de komende 25 jaar, gebaseerd op de conclusies en uitkomsten vanuit de toetsingen?

Met deze deelvragen zal het tweede deel van de hoofdvraag beantwoord worden.

1.7 Leeswijzer

Dit onderzoek is verdeeld in de volgende onderdelen:

In het theoretisch kader worden problemen, oorzaken en oplossingen van het val, zoals slijtage, corrosie en vermoeiing met een literatuurstudie onderzocht. Tevens is uitgelegd met welke input (inspectierapporten, prognoses, norm, etc.) de toetsingen gedaan worden.

In de methode wordt uitgelegd hoe de toetsingen worden uitgevoerd. Ook is aangegeven hoe de variantenstudie wordt voltooid.

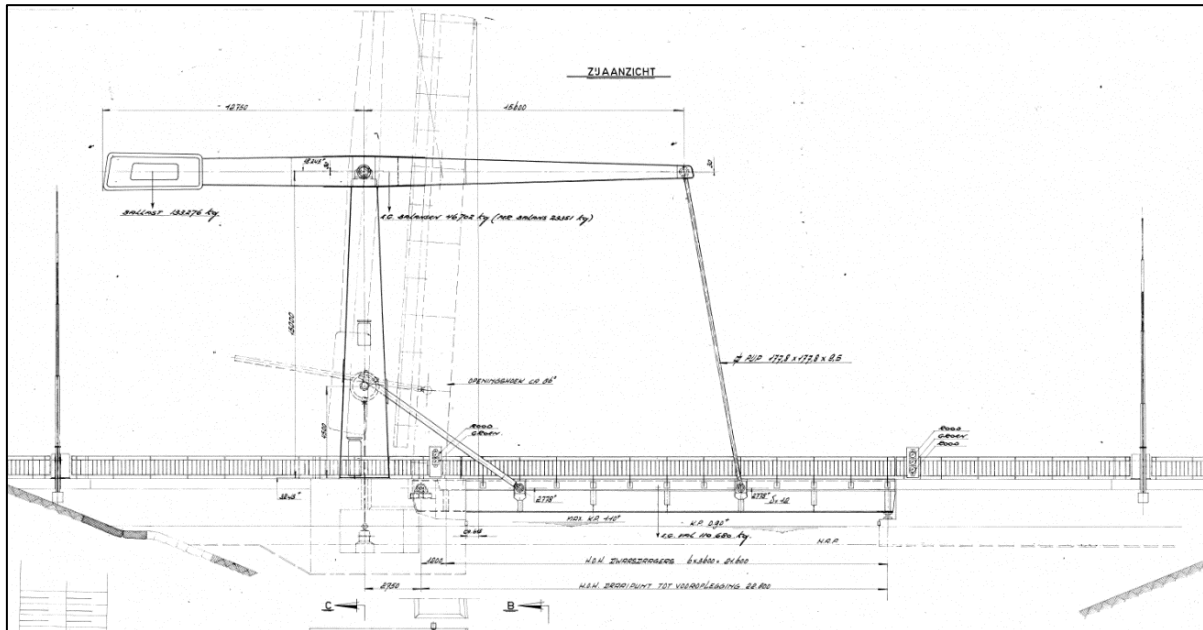
In het hoofdstuk resultaten zijn de uitkomsten van de toetsingen beschreven. Op basis van de toetsingsresultaten heeft een variantenstudie plaatsgevonden. Dit resulteert in een winnende oplossing voor het brugdek.

Daarna is gediscussieerd over het onderzoek en de uitkomsten daarnaast zijn verschillende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om het onderzoek te valideren. In de conclusie en aanbevelingen is de beste oplossing voor de waarborging van de constructieve veiligheid voor de komende 25 jaar gepresenteerd.

2. Theoretisch kader

2.1 Constructieomschrijving

Een brug is een vaste of beweegbare verbinding voor het verkeer, tussen twee punten die gescheiden zijn door een rivier, kanaal, kloof, dal, weg, spoorweg of een ander obstakel, zie Bijlage I (Bruggenstichting, 2022). De Schroebrug is een beweegbare ophaalbrug waarvan het val aan één zijde scharnierend kan draaien en verder vast zit met een pijp aan de balans en een tandheugel aan de hameistijl, om het dek omhoog te tillen, zie Bijlage II (Nederlandse Bruggenstichting, 2021).

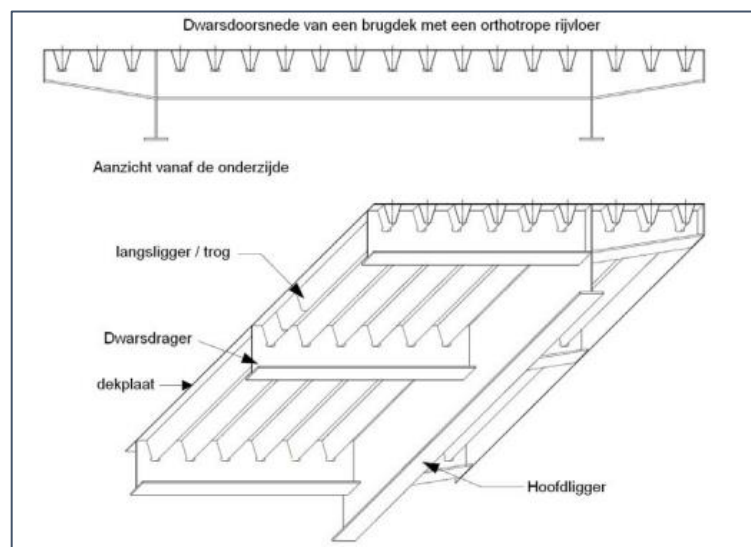


Figuur 4: Overzichtstekening A52357 ophaalbrug over Kanaal door Walcheren (Verbaan, A 52357 - Overzicht ophaalbrug).

Dit onderzoek verdiept zich in het toetsen van het brugdek. Daarom is dit onderdeel hieronder verder in detail beschreven.

Voor orthotrope stalen bruggen wordt relatief weinig staal gebruikt, maar door de constructie met dwarsliggers en troggen is de val toch stevig. De constructie bestaat uit de volgende aan elkaar gelaste onderdelen, zie ook Figuur 5 (D.A. Hordijk, 2009):

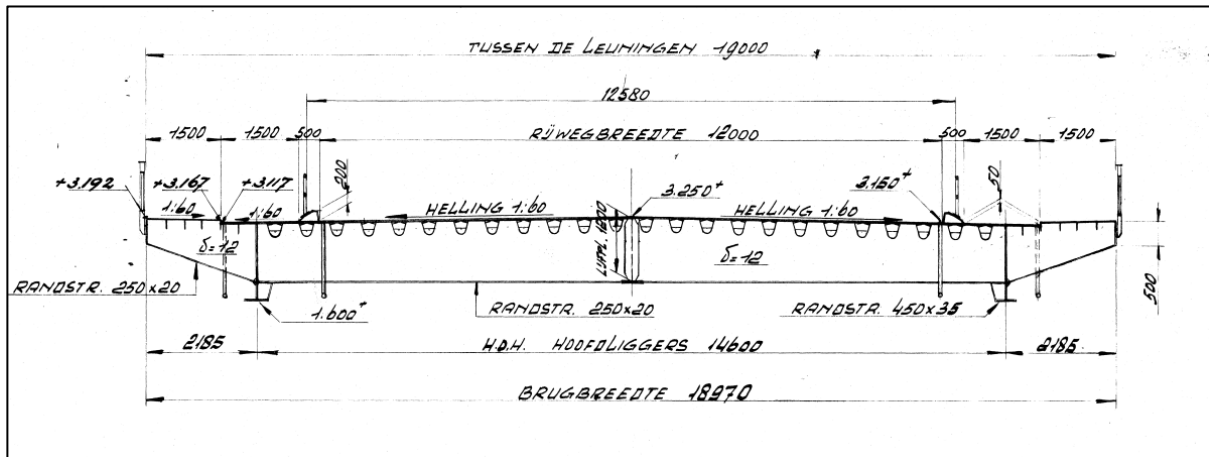
- Hoofdliggers,
- Dwarsdragers,
- Rijdek:
 - Slijtlaag,
 - Dekplaat,
 - Gelaste troggen.



Figuur 5: Orthotroop stalen brugdek (D.A. Hordijk, 2009)

De Schrobrug is gebouwd in 1970, waarbij Witteveen+Bos de brug voor het grootste deel heeft ontworpen. In 2008 zijn de fietsrijstroken van de Schrobrug verbreed en geëgaliseerd, omdat er een voetgangersbrug was bijgekomen genaamd: De Loper, zie Bijlage III (Stoorvogel, 2020).

Het brugdek van de Schrobrug ziet er als volgt uit, zie onderstaande Figuur 6.



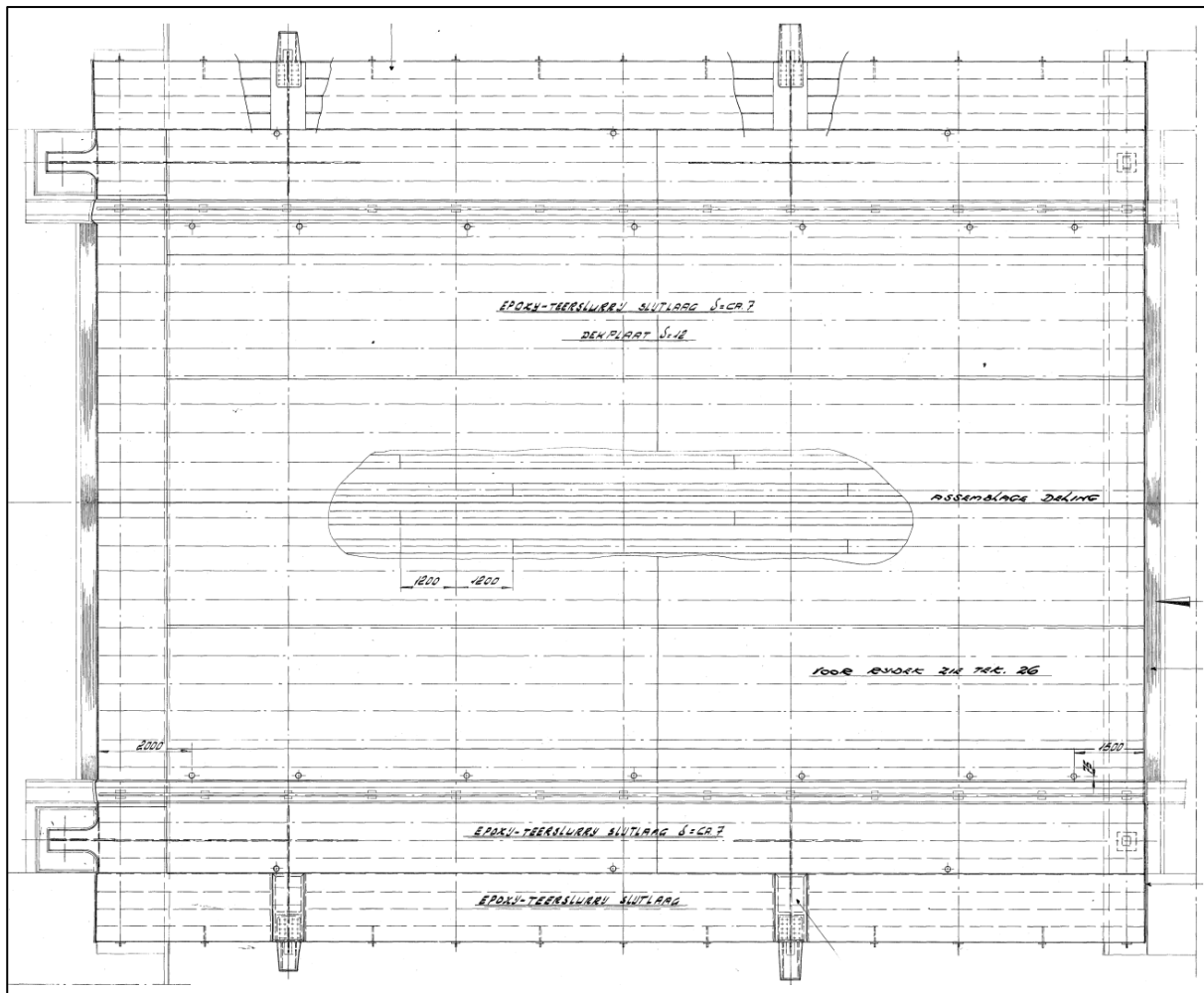
Figuur 6: Doorsnede van het brugdek van de Schrobrug uit overzichtstekening A52357. LET OP: in huidige situatie zijn de fietsstroken geëgaliseerd en is de Schrobrug verbreed met 30 cm aan beide zijden door middel van een rooster met aan de buitenzijde een leuning, zie Figuur 7 (Verbaan, A 52357 - Overzicht ophaalbrug).

De fietspaden van de Schrobrug zijn tussentijds aan beide kanten 30 cm verbreed met een rooster en nieuwe leuningen, zie Figuur 7.

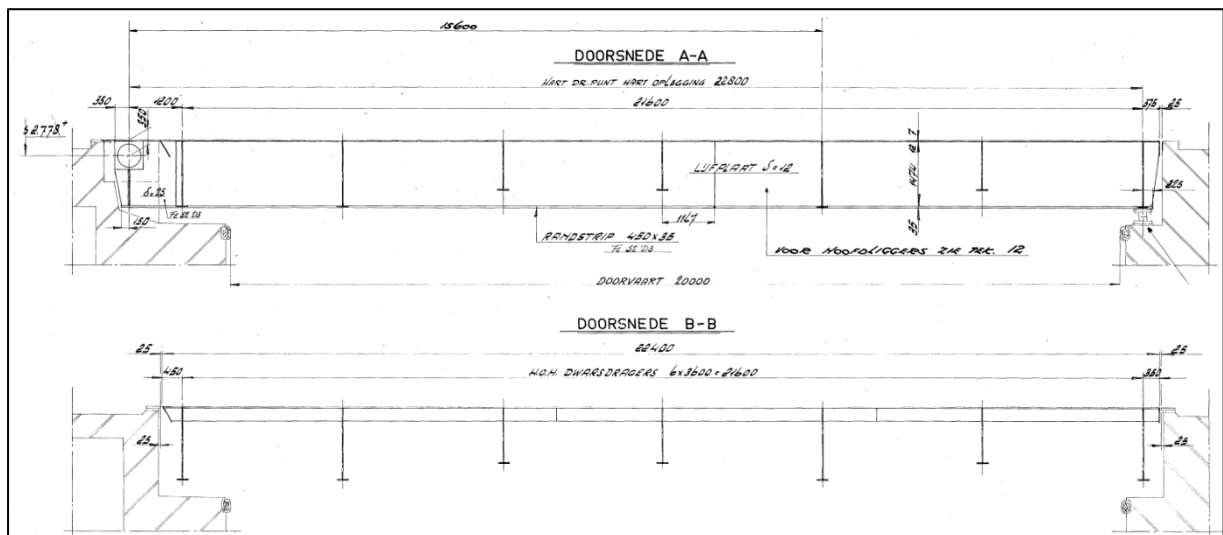
De maatvoering van het val vindt u op de volgende pagina boven- en zijaanzicht van de Schrobrug.



Figuur 7: Verbreding van 30 cm voor de leuning. Figuur links ziet u de aansluiting van de leuning. Op de figuur rechts ziet u het rooster. (Henzel J., Leuning Schrobrug, 2022).

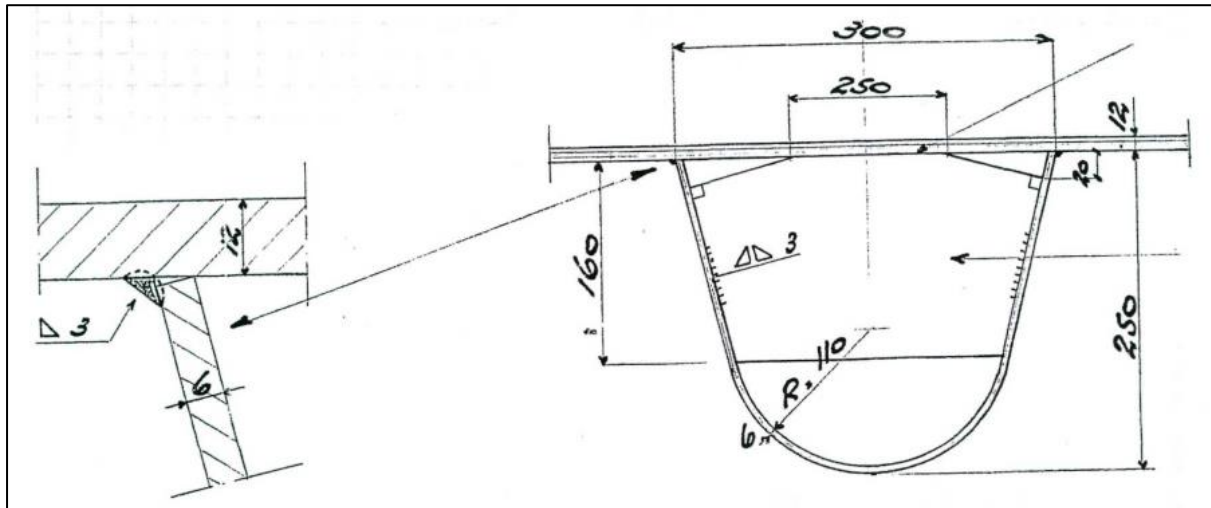


Figuur 9: Bovenaanzicht van het brugdek van de Schroevenbrug (Verbaan, A52366 - Val).



Figuur 8: Doorsnede van het brugdek met hoofdligger en dwarsdragers. Materiaal S355 (Verbaan, A52366 - Val).

Kortom, de Schroevenbrug bestaat uit twee hoofdliggers, zeven dwarsliggers, met daarop 24 gelaste troggen, met een stalen plaat met daarop een slijtlaag. De benodigde maatvoering is te vinden in bovenstaande figuren. Op de volgende pagina vindt u de beschikbare gegevens van de troggen.



Figuur 10: Maatvoering van de troggen en de lassen van de Schroefbrug. De troggen hebben een h.o.h van 600 mm en zijn van materiaal FE52/S355. Schotten aanliggend tegen onderkant vloerplaat (Verbaan, A52381 - Rijdek val).

In de trog zijn ook een schotten aanwezig. Een schot bestaat uit zes hoeken, waardoor dit voor een verbinding zorgt tussen de twee lijven van de trog en de dekplaat, zie Figuur 10. Hierdoor zorgt dit voor versterking in dwarsrichting. Hieruit is geconcludeerd dat de hoeklas niet alle spanningen hoeft op te nemen, maar dat de schotten dit ook deels doen.

2.2 Algemeen probleem

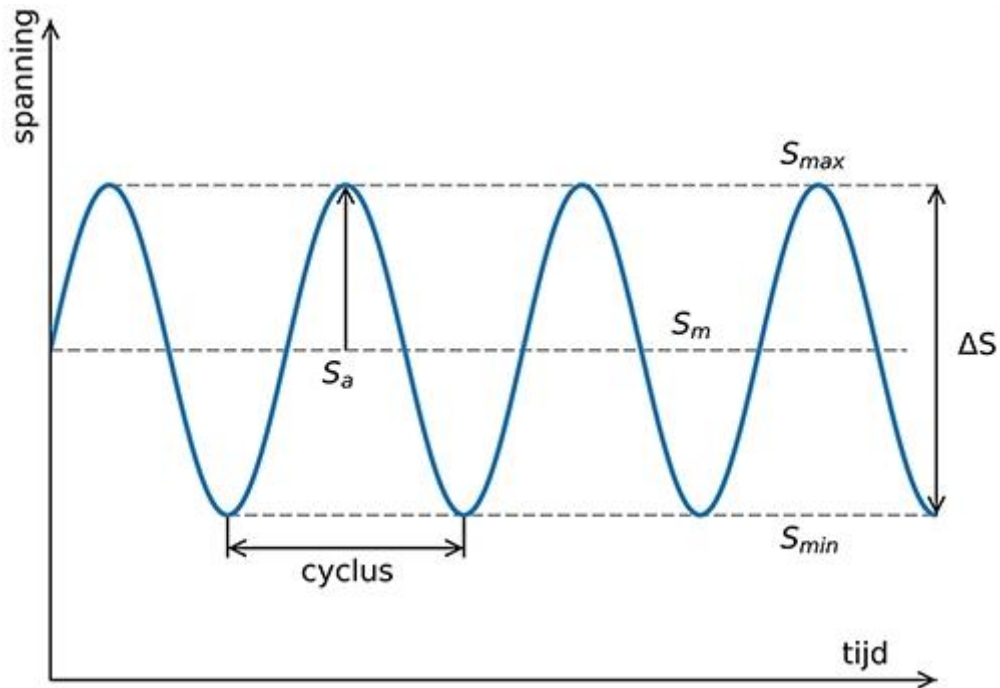
Orthotrope stalen brugdekken ondervinden een aantal algemene nadelen:

- Het brugdek is zeer slap,
- Het brugdek is zeer complex, dit resulteert erin dat de meeste simpele ontwerpmodellen niet overeen komen met de werkelijke constructiegeometrie,
- Het gedrag van de orthotrope brugdekken wijkt erg af van het gedrag van andere brugdekken, daardoor zijn ondervindingen op andere brugdekken niet bruikbaar voor het ontwerp van orthotrope brugdekken (M. Huurman, 2006).

Deze nadelen hebben andere mogelijke problemen tot gevolg, waaronder het veelvoorkomende probleem vermoeiing.

Definitie vermoeiing = is een verschijnsel waarbij een materiaal onder een lang aanhoudende wisselende belasting bezwijkt (NEN-EN 1993-1-9, 2006).

Op het stalen brugdek ontstaan de wisselende belastingen door het verkeer dat over de brug rijdt. Op Figuur 11 op de volgende pagina zijn deze wisselingen te zien.



Figuur 11: Door wisselende belasting ontstaan spanningsintervallen (ΔS) (Quadco Engineering, 2022).

Door één wisselende belasting ontstaat er één spanningscyclus. Eén wisselende belasting wordt veroorzaakt door bijvoorbeeld één wiel van een auto. Des te meer cyclussen plaatsvinden in een tijdsperiode, des te sneller vermoeiingscheuren ontstaan.

Daarnaast is op Figuur 11 een spanningsinterval (ΔS) te zien. Dit is het verschil tussen de maximale en de minimale spanning die plaats vindt binnen 1 cyclus. Des te groter de spanningsinterval des te sneller vermoeiing plaatsvindt.

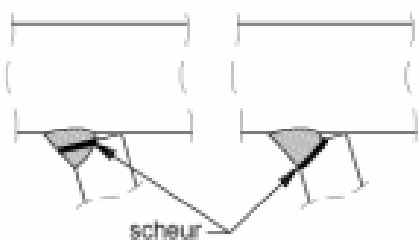
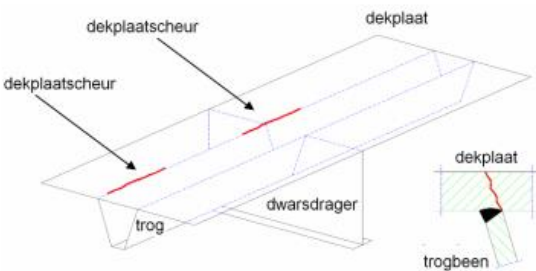
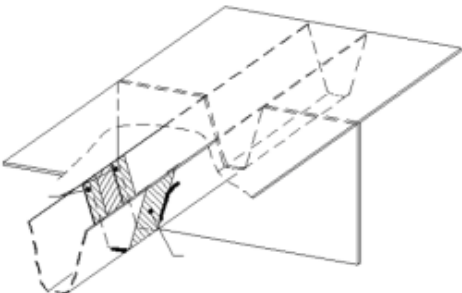
2.3 Mogelijke problemen, oorzaken & oplossingen bij orthotrope brugdekken

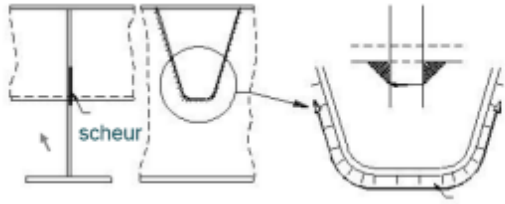
2.3.1 Vermoeiing

Probleem

Vermoeiingscheuren ontstaan door de veranderlijke belastingen van de toegenomen verkeersintensiteit. Hierdoor ontwikkelt zich onvoldoende draagvermogen en wordt de levensduur lager geschat (Dilisiz, 2013). Er kunnen verschillende vermoeiingscheuren ontstaan, zie onderstaande Tabel 3.

Tabel 3: Vier onderdelen van het orthotrope brugdek waar scheurvorming voorkomt (D.A. Hordijk, 2009) (Dilisiz, 2013).

Scheurtype	Figuur	Beschrijving
1. Trog-dekplaatlas	 <i>Figuur 12: Scheur in trog-dekplaatlas</i>	Dit type scheurvorming in de rijdekplaat is het meest kritisch samen met type 2.
2. Dekplaat	 <i>Figuur 13: Scheur in dekplaat</i>	Dit type scheurvorming in de rijdekplaat is het meest kritisch samen met type 1. Hier beweegt het brugdek zich het meest. Het dek is voorzien van een slijtlaag, dus is de scheur niet direct zichtbaar. Daarnaast zijn scheurtypes 1&2 minder snel zichtbaar dan type 3&4.
3. Passtuk in trog	 <i>Figuur 14: Scheur in passtuk in trog</i>	Scheur aan de onder- of zijkant van de trog is minder kritisch. Toch zorgt het voor een slechtere verbinding tot het passtuk. De scheur is direct zichtbaar.

4. Aansluiting trog aan dwarsdrager	 <i>Figuur 15: Scheur bij aansluiting trog aan dwarsdrager</i>	Scheur bij de aansluiting van de trog tot de dwarsdrager zorgt voor een slechtere verbinding en spanningsoverdracht.
-------------------------------------	--	--

Oorzaken:

Welke vermoeiingsscheuren ontstaan heeft te maken met twee factoren (D.A. Hordijk, 2009):

1. Plaats op de brug;
2. Onderdeel van het orthotroop brugdek.

1) De plaats waar de verkeersbelasting het grootst is ontstaan als eerst scheuren. Dit is op de rijstroken waar het meeste vrachtverkeer rijdt (D.A. Hordijk, 2009).

2) Het scheurtype hangt af van welke onderdelen van het brugdek worden beschouwd, zie Tabel 3.

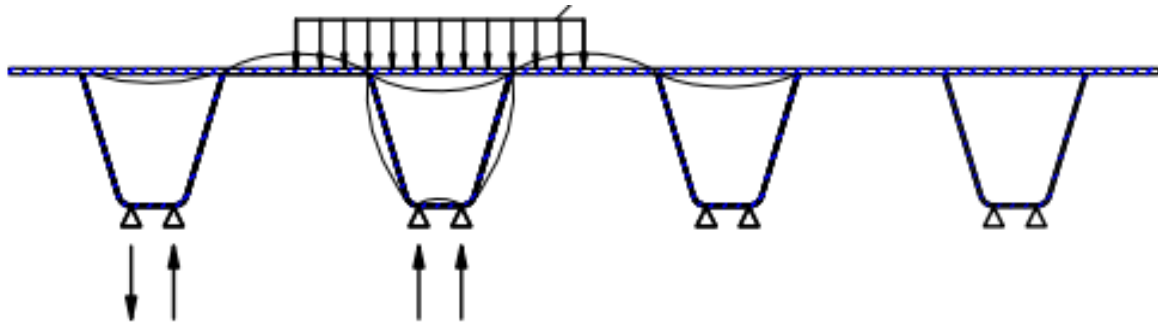
Oorzaken van de vermoeiingsproblematiek zijn (Dilisiz, 2013) (D.A. Hordijk, 2009):

- Onverwacht grotere toename van het wegverkeer geeft frequentere belastingen.
- Plaatselijk hogere belastingen door meer verschillende asconfiguraties.
- Plaatselijk hogere belastingen door de overgang van dubbellucht naar breedband.
- Onvoldoende rekenregels in de oude norm (VOSB 1963).
- Gewichtsoptimalisatie voor minder materiaalgebruik. Plaatdikte is gereduceerd, voor gewicht en kosten.
- Vorm- en uitvoeringseigenschappen van orthotroop brugdek zorgt voor gevoeligheid van spanning, zie onderstaande uitleg.

Een orthotroop brugdek is gevoelig omdat:

- Er een grote onzekerheid bestaat over de kwaliteit van de vele lasverbindingen (DeBacker);
- Troggen het brugdek verstijven in de langsrichting, en niet in de dwarsrichting. Daarom ondervindt de constructie dwarsspanningen. Dit heeft buigingen tot gevolg, zie Figuur 16 op de volgende pagina. De dwarsspanningen worden opgenomen door de dwarsliggers die gelast zijn aan het brugdek en de troggen. In het midden van het veld tussen twee dwarsliggers treden de meeste dwarsrekken en -spanningen plaats, omdat daar de minste stijfheid is van de dwarsliggers. Er vinden vooral langsscheuren plaats in het midden tussen twee dwarsdragers in (M. Huurman, 2006);
 - Om deze reden liggen de dwarsdragers dicht bij elkaar bij nieuwere brugdekken of is het profiel van de dwarsdragers groter. Ook kunnen de hoofdliggers en dwarsliggers als één geheel worden gemaakt om tot een stijver dek te komen.
- De belastingen op de verharding zich niet direct naar de ondergrond verspreiden, maar naar de onderliggende stalen constructie. Hierdoor zijn de spanningen en rekken op een orthotroop brugdek hoog (M. Huurman, 2006).

- De hechting tussen de slijtlaag en het stalen dek van groot belang is voor de krachtenverspreiding. Ook heeft slijtlaagslijtage grotere spanning in het brugdek tot gevolg (M. Huurman, 2006).



Figuur 16: Buiging door wielbelasting uit NEN-1993-2 Bijlage C (NEN, 2007).

Oplossingen:

De gegeven oplossingen tegen vermoeiing verlengen de vermoeiingslevensduur van orthotrope brugdekken, zie Tabel 4.

Tabel 4: Verschillende bekende oplossingen tegen vermoeiing (D.A. Hordijk, 2009) (R. Rook, 2017).

Oplossing	Werking/toelichting
Spanning verlagende laag op dekplaat	Laag van: staal, aluminium, hout glasvezelversterkende kunststof, koolstofvezelversterkte kunststof, of hoge sterkte beton om de spanning op de dekplaat beter te verspreiden zodat dit beter wordt opgenomen in de troggen. Het is effectief om een goede verbinding te realiseren tussen laag en dekplaat (D.A. Hordijk, 2009).
Vullen van troggen	Vulling van: kunststoffen/schuim of beton bij de zwaarst belaste troggen om de lokale spanningen te reduceren. Hiermee ontstaat geen verkeershinder en is geen dekophoging nodig (D.A. Hordijk, 2009).
Vervanging van dek secties	Het dek wordt minder gevoelig voor vermoeiing wanneer de geometrie van het dek wordt veranderd bij vervanging (D.A. Hordijk, 2009). Drie varianten van vervanging (D.A. Hordijk, 2009): 1. Vervangen dekplaat met grotere dikte; 2. Vervangen van dekplaat en troggen tussen twee of meerdere dwarsliggers; 3. Vervangen van sectie inclusief dwarsdrager.
Renovatietechniek met kunststof composieten onder dekplaat	De troggen worden in secties verwijderd, waardoor ruimte is om via verlijming een dikke laag kunststof aan te brengen aan de onderkant. Daaronder komt een laag vezel versterkte kunststof dat de functie van de troggen vervangt. Er is geen gewichtstoename door het lichte materiaal en geen dek ophoging (R. Rook, 2017).
Wijzigen van wegingdeling	Door het wijzigen van de wegingdeling rijden vrachtwagens niet altijd op hetzelfde spoor, waardoor de vermoeiingslevensduur wordt verlengd. Deze oplossing moet echter wel passen in de verkeerssituatie en is ruimte nodig (D.A. Hordijk, 2009).

Vervangen geheel brugdek/val	Door het vervangen van het val is het val in perfecte staat en kan het ontwerp verbeterd worden ten opzichte van het huidige ontwerp. Echter is dit een grote overweging.
Hoeklassen vervangen met doorlassing	In de uitvoering worden de lassen vervangen door een sterkere laswijze, namelijk een doorlassing. Dit voorkomt excentriciteit in de las (TNO, 2021).
Aslast limiet	Door een aslast limiet te zetten, worden de grote lasten op het brugdek gereduceerd en zal de brug langer meekunnen. Echter, zal zwaar verkeer dan om moeten rijden.

2.3.2 Corrosie

Probleem:

Corrosie is een natuurlijk chemische aantasting van materialen doordat hun omgeving op hen inwerkt: staal corrodeert door de reactie met zuurstof en water. Hierdoor ontstaat roest en materiaalafname. Als er geen bescherming is, blijft het materiaal afnemen en verminderd de sterkte van het staal (Infosteel, 2021).

Oorzaken:

Oorzaken van corrosie op het orthotrope brugdek zijn (Infosteel, 2021):

- Opstapelingen van vuil of water op de staalconstructie door slechte vormgeving;
- Slechte corrosiebescherming van de coating van de onderkant van de staalconstructie door veroudering;
- Slechte corrosiebescherming van de slijtlaag, door schade of slijtage.

Oplossingen:

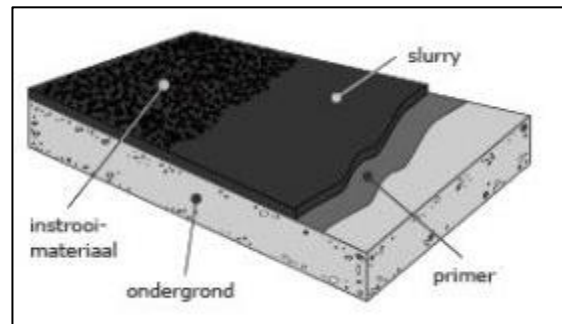
Oplossingen voor het voorkomen van corrosie voor het orthotrope brugdek zijn:

- Nieuwe vormgeving voor het voorkomen van vuil en waterophoging. Verbeteren van hemelwaterafvoer.
- Coaten van het stalen brugdek, aan de onderkant;
- Slijtlaag vervangen wanneer nodig;

2.3.3 Slijtlaagslijtage

Probleem:

Een epoxy slijtlaag bestaat uit: een primer, slurry en instrooi-materiaal, zie Figuur 17. Het heeft als functie om het stalen wegdek te beschermen tegen weersinvloeden, strooizout, chemische vloeistoffen en slijtage door het verkeer. Echter, als de slijtlaag meer slijtage ondervindt dan gepland kan dit negatieve gevolgen hebben voor het onderliggende brugdek, zoals corrosie en een lagere spanningsverspreiding (HIM, 2022).



Figuur 17: Epoxy slijtlaag, als wegdek op het stalen brugdek. Voor het brugdek geldt dat stalen dekplaat als ondergrond (HIM, 2022).

Oorzaak:

Oorzaken van het vroegtijdig falen van de slijtlaag zijn:

- Te dun aangebrachte slijtlaag;
- Meer verkeer dan voorspeld;
- Slechte verbinding tussen de verschillende lagen.

Oplossing:

Oplossing is het regelmatig inspecteren en vervangen van de slijtlaag. De slijtlaag dient dik genoeg en correct aangebracht te worden.

2.4 Inspectierapporten

Elke 5 jaar voert Provincie Zeeland een mechanische inspectie uit, waarbij de gehele constructie wordt bekeken. Daarnaast wordt de brug frequenter visueel bekeken door kantonnieers. Verdere inspecties worden alleen uitgevoerd als er aanleiding voor is (Kwasny, 2022). In deze paragraaf vindt u beknopt de resultaten van verschillende inspecties. Met aan het einde een conclusie.

2.4.1 Inspectie fotorapportage 2004

In 2004 is de gehele Schroefbrug geïnspecteerd in een fotorapportage. Roestvorming was visueel zichtbaar in de scheuren en naden van de slijtlaag van het voetpad, zie Bijlage V (Hofman Sliedrecht BV, 2004).

2.4.2 Restlevensduurbeschouwing 2007

Op 6 december 2006 heeft Quality Services BV te Bennekom een visuele inspectie uitgevoerd in opdracht van Witteveen + Bos. Het doel van de inspectie was het verkrijgen van informatie voor een levensduurberekening. De inspectie was niet uitgevoerd in optimale omstandigheden, omdat het in de nacht plaatsvond. De inspectie trof zowel de hoofdliggers als de orthotrope rijvloer inclusief epoxy-slijtlaag (Quality Services BV, 2007).

De inspectieresultaten waren als volgt (Quality Services BV, 2007):

1. Op de hoofdliggers was geen schade aangetroffen.
2. De orthotrope rijvloer had een zevental scheuren aan de onderkant van het val.
3. De epoxy-slijtlaag toonde scheuren ter plaatse van de rijsporen.

Zie Bijlage VI voor locatie en lengte van de scheuren. Hieruit kan de volgende conclusie worden getrokken:

Aan de onderkant van de rijvloer waren drie scheuren en vier lijnvormige indicaties in de las tussen trogbeen en dekplaat waargenomen. Aan de bovenkant van de rijvloer waren 10 scheuren over de gehele lengte van het brugdek te zien, ter plaatse van rijsporen. Wel toonde de slijtlaag geen roestsporen, dus ontstond er geen materiaalafname door corrosie. De scheurvorming toonde wel aan dat er sprake kon zijn van vermoeiing (Quality Services BV, 2007).

2.4.3 Slijtlaag 2014

Eind 2014 is door Quality Inspection Services een Time-of-flight Diffraction (TOFD) onderzoek uitgevoerd. Dit is een onderzoeksmethode om scheuren op gedetailleerde manier in kaart te brengen, zie bijlage. Het TOFD onderzoek kon plaatsvinden, omdat de slijtlaag van het gehele wegdek werd vervangen. Het doel van dit onderzoek was om alle scheuren in de stalen plaat in kaart te brengen en de scheuren met een hoogte ≥ 3 mm te repareren. Hiernaast zijn op verschillende posities scheuren te zien < 3 mm die kunnen leiden tot scheurgroei. De referentiepunten, lengtes, en posities die vastgelegd zijn door de TOFD scan ziet u in de bijlage. Destijds waren er 32 scheuren waargenomen aan de bovenkant van het brugdek, waarvan er 6 gerepareerd werden. De rest van de scheuren voldeed namelijk aan een hoogte < 3 mm. De slijtlaag is succesvol vervangen, zie Bijlage VII (Quality Inspection Services BV, 2014).

Tabel 5: Vergelijking van visuele inspectie uit 2007 met de TOFD inspectie uit 2014, zie Bijlage XIII.

Inspectie vergelijking	Relatie
TOFD vs. Bovenkant slijtscheuren	De visuele slijtlaagscheuren komen globaal overeen met de locatie van de scheuren uit de TOFD inspectie.
TOFD vs. Onderkant lasscheuren	Geen relatie in locatie van scheuren.
Onderkant lasscheuren vs. Bovenkant slijtscheuren	Geen relatie in locatie van scheuren.

De conclusie uit Tabel 5 is als volgt: Tussen de drie verschillende scheurinspecties uit 2007 en 2014 zijn bijna geen overeenkomsten te vinden door de verschillende manieren en plaatsen van het inspecteren van de scheuren, zie Bijlage XIII.

2.4.4 Chroom-6 2019

In februari 2019 is onderzoek uitgevoerd door SGS Nederland BV naar het metaal chroom-6. Chroom-6 is corrosiewerend, maar schadelijk als dit wordt ingeademd of opgenomen. Ook bij aanraking met de huid is het schadelijk voor de gezondheid (SGS Nederland BV, 2019).

Uit dit onderzoek is er géén chroom-6 in de verf aangetroffen, zie Bijlage VIII (SGS Nederland BV, 2019).

2.4.5 Slijtlaag fietspaden 2020

In juni 2020 is er een visuele inspectie uitgevoerd door Provincie Zeeland op aanleiding van het visueel aangetroffen schadebeelden, beperkt tot alleen de fietspaden. Voor de resultaten, zie Bijlage IX. De conclusie van deze inspectie was als volgt (Provincie Zeeland, 2020).

De slijtlaag is aan vervanging toe door slijtage, onvlakheden, en scheurvorming. Voor zowel de betonnen aanbrug als het stalen dek. De slijtlaag op het stalen dek ondervindt verschillende scheurtjes en onthechtingen door roestvorming. De slijtlagen stammen uit 2008 toen het voetpad werd veranderd in een geëgaliseerd tweerichtingsfietspad, zie Bijlage IX (Provincie Zeeland, 2020).

De slijtlaag vervangen is niet urgent, maar door langer te wachten kan er vocht doordringen tot het onderliggende stalen dek, wat roestvorming als gevolg heeft. Daarom staat het vervangen van de slijtlaag van het fietspad gepland voor eind 2022. (Provincie Zeeland, 2020).

2.4.6 Hoofdinspectie 2020

In november 2020 is de gehele Schroefbrug geïnspecteerd door Nebest BV. Naar aanleiding van de 5-jaarlijkse Mechanische hoofdinspectie die de Provincie Zeeland laat uitvoeren. De inspecties geven inzicht in het benodigde onderhoud voor de komende 10 jaar. De conclusie van deze inspectie was als volgt (Nebest B.V., 2020).

Er waren kale plekken in de slijtlaag op het fietspad en de hoofdrijbaan, zie Bijlage X. Hieruit was een naderonderzoek uitgevoerd, zie paragraaf 2.5.7 Nader onderzoek slijtlaag 2020 (Nebest B.V., 2020).

Het brugdek vertoonde lokale forse corrosie waar de hemelwaterafvoer (HWA) direct op de staalconstructie loost. Hieruit was geadviseerd de HWA-afvoer te verlengen en de brug te conserveren conform reguliere onderhoudsintervallen. Geadviseerd is uitvoeringsperiode van 3 tot 5 jaar (Nebest B.V., 2020), zie Bijlage X.

2.4.7 Nader onderzoek slijtlaag 2020

In september 2020 is de slijtlaag van de Schroefbrug geïnspecteerd door Solid Services Engineering om de oorzaak te vinden van het vroegtijdig falen van de slijtlaag die is aangebracht in 2014. Ook werd er gevraagd naar de restlevensduur (Solid Services Engineering, 2020).

Uit de visuele inspectie waren er roestplekken en doorbloeding van roest tot op het staal geconstateerd. Uit de microscopische opname was geconcludeerd dat de slijtlaag veel te dun is, omdat in 2014 de foute hoeveelheid epoxylagen was aangebracht. De gemiddelde laagdikte betrad 1,4 mm in plaats van de behorende 4,3 mm, zie Bijlage XI (Solid Services Engineering, 2020).

In plaats van een restlevensduur van 15 tot 20 jaar werd een restlevensduur van 2 tot 5 jaar verwacht (Solid Services Engineering, 2020).

2.4.8 Eigen visuele inspectie 2022

Het doel van een eigen visuele inspectie was het bevestigen van de huidige staat van het brugdek. De inspectie vond plaats op 18 maart 2022. De slijtlaag is zoals bovenstaand beschreven in slechte staat. Er is minimale roestvorming te zien in de scheuren van de slijtlaag, zie ook Bijlage XII (Henzel J. , Eigen observatie, 2022).

De coating aan de onderzijde van het brugdek is het laatst vervangen in 1995 (Kwasny, 2022). Het doel van de tweede inspectie op 29 maart 2022 samen met M. Kwasny was om de staat van deze coating laag waar te nemen. De inspectie vond plaats door vanaf de zuidzijde naar de onderkant van de geopende brug te kijken. De coating van het orthotrope brugdek is in goede staat en er zijn geen scheuren of roestvormen te zien. Alleen bij de aansluitingspunten en bij de hoofdliggers is minimale corrosie te zien, zie Bijlage XII (Henzel J. , Eigen observatie, 2022).

2.4.9 Conclusie inspectieresultaten

De volgende conclusies kunnen getrokken worden over de huidige staat, mede dankzij het bevestigen van de huidige staat door persoonlijk overleg met collega's van Provincie Zeeland (Kwasny, 2022) en een eigen persoonlijke inspectie, zie Bijlage XII.

- Het stalen brugdek ondervindt op diverse plekken roestvorming. Echter is materiaalafname minimaal. Er is in de toetsing daarom uitgegaan van de maatvoering van de tekeningen.
 - Coating aan de onderkant van orthotrope brugdek is in goede staat. Hierop is geen roestvorming te zien;
 - Stalen plaat, aansluitingspunten en hoofdliggers ondervinden minimale roestvorming. Hierbij ontstaat een nog mindere materiaalafname, omdat er altijd meer roest ontstaat dan dat het materiaal afneemt.
- Het orthotrope brugdek heeft geen wijzigingen ondervonden, sinds de reparaties van de scheuren > 3 mm uit het TOFD onderzoek in 2014.
 - Scheuren met destijds een hoogte < 3 mm zijn waarschijnlijk gegroeid. Echter wordt er verwacht dat dit minimaal is door de veranderde verkeersituatie door de opening van het Dampoort Aquaduct, zie 2.8 Prognose verkeersintensiteit. Voor vervolgonderzoek is een nieuw TOFD onderzoek aan te raden, om de scheurgroei te achterhalen.
- Gehele slijtlaag van het brugdek wordt eind 2022 vervangen. Aan te raden is om dit samen met de uitvoering van een TOFD onderzoek en reparatie.
 - De slijtlaag van het wegdek uit 2014 is aan vervanging toe;
 - De slijtlagen van de fietspaden uit 2008 zijn aan vervanging toe;
 - Bij vervanging van de slijtlaag wordt een nieuw TOFD onderzoek uitgevoerd. Hierdoor worden de (eventueel gegroeide) scheuren vastgesteld en indien nodig gerepareerd.

2.5 Overzicht normen & richtlijnen ontwerp 1970, toetsing 2007 en huidige toetsing

De volgende normen en richtlijnen komen aan bod bij het ontwerp, de toetsing uit 2007 en huidige onderzoek. Welke normen of richtlijnen van toepassing zijn in de variantenstudie hangt af van de toetsing van het huidige brugdek. Voor aanvullende informatie over de normen en richtlijnen, zie Bijlage IV.

Tabel 6: Alle normen/richtlijnen die aan bod komen in dit onderzoek

Berekening	Norm/richtlijn	Publicatiebron
Ontwerp 1970	VOSB 1963: Voorschriften voor het Ontwerpen van Stalen Bruggen	(NEN, 1963)
Toetsing 2007	NEN 6702: Technische grondslagen voor bouwconstructies – TGB 1990 – Belastingen en vervormingen.	(NEN, 2001)
	NEN 6770: Staalconstructies, basiseisen en basisrekenregels voor overwegend statisch belaste constructies (TGB 1990)	(NEN, 1997)
	NEN 6788: Voorschriften ontwerp stalen bruggen (VOSB 1995)	(NEN, 1995)
	NEN 6786: Voorschriften voor het ontwerp van beweegbare bruggen (VOBB)	(NEN, 2001)
	NEN 6787: Veiligheid beweegbare bruggen	(NEN, 2003)
	NEN 2063: Booglassen.	(NEN, 1988)
Huidige toetsing	NEN-EN 1990 Eurocode 0: Grondslagen voor het constructief ontwerp	(NEN, 2002)
	NEN-EN 1991-2 Eurocode 1: Verkeersbelasting op bruggen	(NEN, 2011)
	NEN-EN 1991-1-8 Eurocode 3: Verbindingen in staal	(NEN, 2011)
	NEN-EN 1993-1-9 Eurocode 3: Vermoeiing	(NEN, 2006)
	NEN-EN 1993-2 Eurocode 3: Stalen bruggen	(NEN, 2007)
	*NEN 8700: Grondslag voor bestaande bouw, verbouw en afkeur.	(NEN, 2020)
	NEN 8701: Beoordeling belastingen voor bestaande bouw, verbouw en afkeur.	(NEN, 2020)
	RBK 1.1: Beoordeling voor bestaande bouw, verbouw en afkeur	(Rijkswaterstaat, 2013)
	NEN 2767: Conditie meting	(NEN, 2022)
	CUR 117: Inspectie en advies civiele kunstwerken	(CROW, 2020)
	CUR 124: Constructieve veiligheid bestaande bruggen van decentrale overheden	(CROW, 2019)

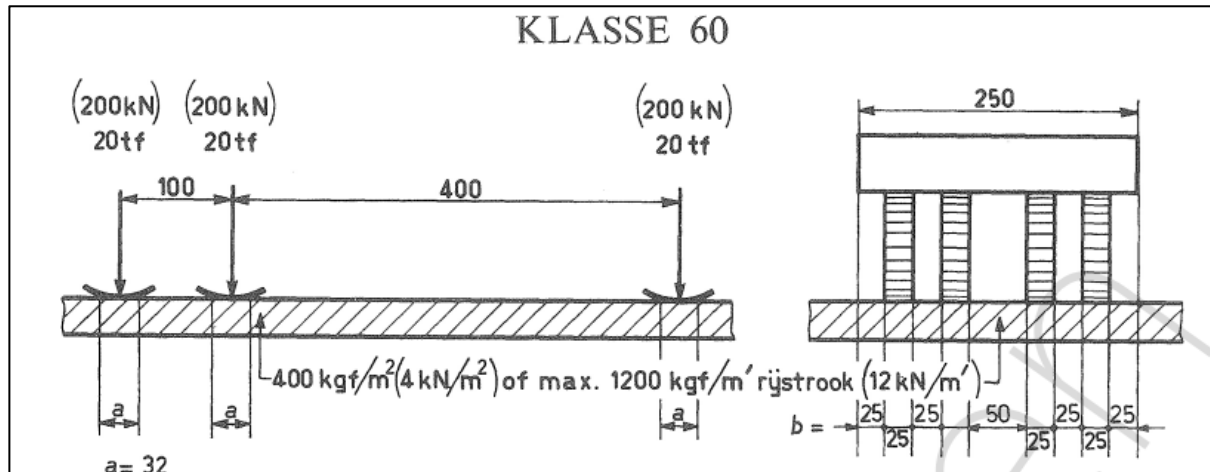
* = NEN 8703 is voor het beoordelen van constructieve veiligheid van bestaande stalen bouwconstructies. Ter verwachting komt deze norm in korte tijd uit, dan zal deze in aanmerking komen voor vervolgonderzoek.

Interpretatie normverandering:

Uit Tabel 6 is te begrijpen dat naar mate de tijd, er meer informatie beschikbaar komt om bruggen constructief veiliger te maken. Dit heeft aanscherping en verfijning van de norm tot gevolg. Aan de andere kant, moet de norm ook weer niet ingewikkelder zijn dan nodig. Meestal wordt een norm inhoudelijk pas veranderd als er is bewezen is dat de rekenregels te onveilig zijn. Bij vermoeiing was dit het geval, zeker bij orthotrope wegdekken. Het verschil tussen de toetsing uit 2007 en nu is dan ook dat de belastingen voor vermoeiing groter zijn geworden, en de rekenkeuzes uitgebreider.

2.6 Uitgangspunten ontwerp 1970

- **Doel:** Ontwerp voor extra verbinding voor motorvoertuigen, fietsers en voetgangers tussen Middelburg centrum en Middelburg-zuid (Stoorvogel, 2020).
- **Verkeersklasse:** Klasse 60: Bruggen in hoofdverkeerswegen, waarbij omleggen van verkeer is uitgesloten (NEN, 1963), zie Figuur 18 voor belastingcombinatie.



Figuur 18: Belastingcombinatie voor verkeersklasse 60 (NEN, 1963).

- **Ontwerplevensduur:** 50 jaar
- **Verkeersgroei:** Destijds onbekend

2.7 Uitgangspunten en resultaten toetsing 2007

In 2007 is de levensduur van het brugdek van de Schrobrug als laatst berekend met een oude normering door Witteveen + Bos. Deze berekening wordt als basis gebruikt voor de huidige toetsing van het brugdek van de Schrobrug.

2.7.1 Uitgangspunten

- **Doel:** Restlevensduur bepalen van Schrobrug, met het meenemen van de aanpassingen van het dek en de bijkomende voetgangersburg De Loper. De capaciteit van de brug voor motorvoertuigen en fietsers werd hierdoor vergroot.
- **Verkeersklasse:** Klasse 60: Bruggen in hoofdverkeerswegen, waarbij omleggen van verkeer is uitgesloten.
- **Gevolgklasse:** CC2
- **Veiligheidsklasse 3**
 - Sterktefactor = 1,5
 - Vermoeiingsfactor = 1,2
 - Sterkte stootfactor troggen = 1,35
 - Sterkte stootfactor hoofdliggers = 1,23
 - Vermoeiing stootfactor troggen = 1,19
 - Vermoeiing stootfactor hoofdliggers = 1,14

2.7.2 Resultaten

De volgende conclusies werden getrokken uit de toetsing uitgegeven door Witteveen + Bos uit 2007:

Hoofdligger:

- Op sterkte voldoet de hoofdligger;
- Op vermoeiing heeft de hoofdligger een restlevensduur van 4 jaar, tot 2011. Echter is er geen aantoonbare schade. Zonder de belastingfactor van 1,2 zou de restlevensduur nog 22 jaar zijn, tot 2029. Door jaarlijkse inspecties kan op tijd schade worden geconstateerd, en de levensduur worden gerekend.

Het rekken van de hoofdligger is een redelijke conclusie geweest, aangezien de hoofdligger momenteel nog steeds in goede staat is. Daarnaast is er gerekend met een erg grote verkeersgroei, waarbij juist voor vermoeiing deze input erg belangrijk is. Er hebben veel minder variabele belastingen plaatsgevonden dan in 2007 is gerekend. De focus in dit onderzoek wordt daarom gelegd op vermoeiingsgevoeligere plekken. Vervolgonderzoek naar de hoofdligger is zeker aanbevolen.

Troggen:

- Op sterkte voldoen de troggen;
- Op de vermoeiingsberekening zijn de troggen niet gevoelig, echter is er aan de bovenkant van het brugdek wel schade aangetoond. Dit kan zijn ontstaan door vermoeiing van de dekplaat. Dit schadebeeld zal zich herhalen door de vermoeiingsgevoeligheid van het orthotrope brugdek.

Volgens deze conclusie is er wel schade, maar voldoen de troggen wel. Dit kan een goede conclusie zijn aangezien de norm destijds minder verfijnd was. Na verdere studie lijkt het erop dat de vermoeiingsberekening inderdaad simpeler is dan de normen nu vereisen. Er zijn minder zware lasten en minder verschillende typen vrachtwagens. Daarnaast is alleen de trog in langsricting getoetst, met een meewerkende breedte van 1 trog. Terwijl de troggen in dwarsrichting vermoeiingsgevoeliger zijn. Daarom is er vraag naar de berekeningen van dit onderzoek.

Hangstang:

- Niet vermoeiingsgevoelig.

Balansarm:

- Op basis van vermoeiing zijn de balansarmen verstreken, echter is er geen vermoeiingschade te zien.
- Door ieder jaar inspecties uit te voeren kan de levensduur worden gerekend.
- In 2007 is aanbevolen de brug of balansarmen binnen 5 a 10 jaar te vervangen. Vervolgonderzoek is dus nodig om de huidige staat van de balansarmen te constateren.

2.8 Uitgangspunten en aannames huidige toetsing 2022

De volgende factoren, belastingcombinaties en uitgangspunten zijn vastgesteld om te achterhalen of het huidige brugdek voldoet. Voor betreffende tabellen en grafieken zie: Bijlage XVIII.

2.8.1 Afbakening

- Volgens elk onderdeel van het val is nagedacht welke berekeningen maatgevend zullen zijn voor dit onderzoek.
 - De hoofdliggers worden verwacht niet meer te voldoen, op basis van de toetsing uit 2007, echter wordt door de beperkte tijd de afbakening gemaakt deze niet te toetsen mede met de volgende redenen:
 - De hoofdliggers zijn vele malen stijver dan andere delen van het brugdek en zijn daarom minder vermoeiingsgevoeliger, dan de slappere onderdelen zoals de troggen.
 - De input van de toetsing uit 2007 van 3% verkeersgroei is aanzienlijk groot, ten opzichte van de daadwerkelijke groei.
 - De hoofdliggers zijn ter inzien van visuele inspecties in goede staat. Op enkele plaatsen is minimale corrosie te zien.
 - Dwarsdragers zijn niet getoetst in berekening van 2007. Echter is geen schade te zien aan de dwarsdragers bij visuele inspectie. Daarnaast zijn de troggen en de dekplaat in theorie veel vermoeiingsgevoeliger. De dwarsdragers zullen niet maatgevend zijn, echter in vervolgonderzoek wellicht interessant.
 - De troggen dienen in langsrichting getoetst te worden. De troggen voldeden in langsrichting wel, maar de vermoeiingseisen zijn erg aangescherpt door de nieuwere normering. Daarnaast worden de troggen zoals eerder uitgelegd vermoeiingsgevoelig geacht, zie Hoofdstuk 2.2.1
 - De dekplaat met trogprofiel in dwarsrichting is niet getoetst bij de toetsing uit 2007, echter is dit profiel erg vermoeiingsgevoelig. Daarom is de dekplaat wel getoetst in dit onderzoek. Ter plaatse van de hoeklas kunnen vaak scheuren ontstaan, Hoofdstuk 2.2.1.
 - Stabiliteit en sterkte zijn niet getoetst, aangezien dit niet als maatgevend wordt verwacht. Vermoeiing is zoals eerder uitgelegd waarschijnlijk wel maatgevend voor dit type wegdek. Dit komt overeen met de uitkomsten uit 2007.

2.8.2 Uitgangspunten

- **Doel:** Toetsen van de huidige staat van het brugdek van de Schroefbrug.
- **Verkeersklasse:** VK A met $A_1 = 1$ (VK 60 met scheuren zonder constructieve gevolgen) (CROW, 2019). *Niet nodig voor deze toetsing door afbakening. VK is nodig voor sterktoetsing. Wellicht is nieuwe sterkte toetsing interessant voor vervolgonderzoek, omdat de norm destijds ook hier is aangescherpt.*
- **Gevolgklasse:** CC2.
- **Betrouwbaarheidsklasse:** RC2.
- **Belastingsmodel:** BM4 voor vermoeiing gebaseerd op standaard vrachtwagens, volgens NEN-EN 1993-2+C1:2011+NB art 9.4 (6), zie Bijlage XVIII. Zie ook in dezelfde Bijlage "Uitleg over de vijf belastingcombinaties voor vermoeiing uit NEN-1991-2+C1".
 - BM3, BM4 en BM5 zijn belastingsmodellen voor het berekenen van de vermoeiingslevensduur. Hierbij is BM4 accurator dan BM3, omdat gebruik wordt gemaakt van verschillende typen vrachtwagens. Daarnaast maakt BM5 gebruik van werkelijke verkeersgegevens die niet beschikbaar zijn over de gehele leeftijd de

Schroebrug. Voor BM4 zijn alleen aanvullende gegevens nodig, waarover de Provincie wel beschikt.

- **Verkeerscategorie 4:** Lokale wegen met weinig vrachtverkeer
- **Huidige toetsing:** Toetsing met vrachtwagenintensiteit tot 2022.
- **Varianten:** Toetsing met vrachtwagenintensiteit tot 2047, dus een vereiste ontwerplevensduur van 25 jaar. In geval van Nieuw brugdek een ontwerplevensduur van 50 jaar tot 2072.
- Voor de theoretische rijstroken geldt voor een rijwegbreedte > 6m de volgende formule:

$$n1 = \text{Int}\left(\frac{W}{3}\right) \rightarrow \text{Int}\left(\frac{12}{3}\right) = 4 \text{ rijstroken}$$

- **Vermoeiingsbelastingsfactor:** $1,3 \cdot 0,9 \cdot 1,1 = 1,287$.
 - a. *De stootfactor is hoger dan in 2007. Dit komt mede door de verandering in norm.*
- **Dynamische vergrotingsfactor voor vermoeiing:** $\varphi_{\text{fat}} = 1,3$
 - a. Aangezien de slijtlaag momenteel in slechtere staat is (gemiddelde vlakheid = 1,4), maar hij in korte tijd wordt vervangen (goede vlakheid 1,2) wordt er uitgegaan van het gemiddelde.
 - b. *Wanneer de slijtlaag in slechtere staat is, is er minder spreiding en zijn de lokale spanningen groter. Daarom is deze factor groter als de slijtlaag in slechtere staat is.*
- **Reductiefactor voor aslasten belastingsmodel 4:** 0,9
- **Vermoeiingsaslastenfactor belastingsmodel 4:** $\varphi_{s1} = 1,1$

2.8.3 Aannames

De eerste drie aannames hebben betrekking op de vrachtwagensamenstellingen uit belastingsmodel 4 voor vermoeiing.

- **Tabel 2 Tijdvak 1991-2010 uit NEN 8701 wordt gebruikt voor alle vrachtwagens over berekeningsduur.**

Volgens de NEN 8701 zijn er drie tabellen (zie onderstaand) om verschillende vrachtwagensamenstellingen te simuleren, die invloed hebben op de vermoeiingslevensduur.

- A1: Vrachtwagensamenstelling tijdvak opening-1990
- A2: Vrachtwagensamenstelling tijdvak 1991-2010
- A3: Vrachtwagensamenstelling tijdvak 2011-einde referentieperiode

Voor de huidige toetsing wordt de aanname gemaakt dat als alle drie tabellen worden gebruikt de uitkomst ongeveer op hetzelfde neerkomt als het gebruik van één tabel: A2 voor de bepaling van de spanningshistorie over gehele tijdsperiode van 1970-2022. Bovendien wordt maar één tabel gebruikt om de tijdsdruk van het afstuderen te verminderen en de berekeningen educatief interessant te houden.

- **Uit Tabel 2 is de volgende groep vrachtwagentypen aangenomen voor de bepaling van het % van het totaal aantal vrachtwagens: Middellange afstand.**

Verkeerstype: Middellange afstand is aangenomen. Dit zijn vrachtwagens die afstanden van 50 tot 100 km afleggen. De meeste vrachtwagens over de Schroebrug maken naar verwachting korte afstanden, omdat het merendeel van de vrachtwagens van bezorgbussen zijn. De grotere vrachtwagens met een lange afstand van 100 km of langer kiezen logischerwijs vaker voor het aquaduct, dus minder voor de Schroebrug. Toch is er gekozen voor middellange vrachtwagens, omdat de vrachtwagens die van verder komen en in het winkelcentrum moeten lossen waarschijnlijk over de Schroebrug gaan. Deze aanname kan conservatiever uitvallen dan in werkelijkheid afspeelt.

- **Uit Tabel 2 wordt Asbelasting: Middel aangenomen.**

Voor de huidige toetsing is de aanname gemaakt dat asbelasting Middel overeen komt met de totale lasten op de Schroefbrug.

- **Van de vier theoretische rijstroken, worden er drie rijstroken het meest gebruikt door vrachtwagens.**

In het geval van de Schroefbrug worden vooral drie rijstroken het meest gebruikt, dit komt door de verkeerssituatie met twee kruispunten en elke kant van de brug. Van zuid naar noord worden twee rijstroken gebruikt om voor te sorteren op het kruispunt. Van noord naar zuid één, namelijk de meest rechter rijstrook. Zie Figuur 19



Figuur 19: Drie meest gebruikte rijstroken aangegeven met blauwe pijl.

- **Per vrachtwagen is alleen de grootste spanningwisseling die ontstaat maatgevend.**

Per wiel ontstaan er een bepaalde momenten, waardoor een bepaalde spanningwisseling ontstaat. Als er dus meerdere wielen worden gemodelleerd ontstaan er meerdere spanningenwisselingen. Per vrachtwagen is alleen de grootste spanningswisseling als maatgevend beschouwd, en is alleen met deze spanning verder gerekend. Deze spanningswisseling is op de maatgevendste locaties beschouwd.

- **De vermoeiingsbelastingsfactor is voor elke berekening hetzelfde.**

Voor verschillende varianten zou er eventueel verschillen kunnen zitten in de dynamische vergrotingsfactor aangezien deze afhangt van de staat van de slijtlaag. De aanname wordt gemaakt dat de staat van de slijtlaag veranderd gedurende de levensduur van het brugdek en er dus altijd discussie zal zijn over de keuze van deze vergrotingsfactor. Om verwarring te voorkomen is uitgegaan van dezelfde vermoeiingsbelastingsfactor voor alle berekeningen.

- **Meewerkende breedtes**

Voor de toetsing van de troggen in langsrichting is uitgegaan van een meewerkende breedte van 1 trog, omdat de meeste spanning op de maatgevende locatie door deze trog wordt opgenomen. Er is uitgegaan van een minimale spreiding. Voor de toetsing van de dekplaat in dwarsrichting is uitgegaan van een meewerkende breedte van 0,5 meter. In de gevoeligheidsanalyse is deze aanname getoetst.

De meewerkende breedte zal kleiner zijn, des te dichter bij de dwarsdragers en zal groter zijn in het midden tussen twee dwarsdragers. Dit komt door de stijfheid van de locaties. Op de dwarsdrager zal de meewerkende breedte de breedte van de trog (0,3 m) zijn, des te meer naar het midden tussen twee dwarsdragers wordt dit groter. Daarom lijkt 0,5 meter een goede gemiddelde aanname.

2.9 Prognose verkeersintensiteit

2.9.1 Gegeven

De prognose van de verkeersintensiteit is bepaald met behulp van twee verschillende bronnen:

1. Jaarlijkse verkeerscijfers van 1989 tot 2005, zie Tabel 7.
2. Verkeersmodel Walcheren met de gemiddelde verkeersintensiteit van jaar 2019 en prognosejaren 2030/2040, zie Bijlage XVI.

Zie Bijlage XV voor aanvullende theorie voor het maken van de prognose.

Tabel 7: Gemeten verkeersintensiteit op de Schroevenbrug in aantal / jaar (Boer, 2007).

Jaar	a/jaar	a/dag gem
1989	4313205	11817
1990	4265755	11687
1991	4461760	12224
1992	4753395	13023
1993	4792085	13129
1994	4939910	13534
1995	4979695	13643
1996	4972030	13622
1997	5245050	14370
1998	5535225	15165
1999	5734515	15711
2000	5542160	15184
2001	5927965	16241
2002	6404290	17546
2003	7159475	19615
2004	6937555	19007
2005	6769655	18547

Het Verkeersmodel Walcheren is een verkeerstroombank dat tot stand is gekomen in samenwerking met wegbeheerders Rijkswaterstaat, Waterschap Scheldestromen en Provincie Zeeland. Uit dit verkeersmodel zijn de gemiddelde verkeersaantallen per etmaal gepresenteerd voor alle motorvoertuigen en het vrachtverkeer apart, zie Bijlage XVI.

De prognose intensiteiten uit het Verkeersmodel Walcheren komen tot stand door inzicht in de autonome ontwikkeling. Input daarvoor zijn sociaaleconomische factoren (o.a. de bevolkingssamenstelling en groei & ontwikkeling van de beroepsbevolking). Naast de autonome ontwikkeling zijn er ook specifieke ruimtelijke ontwikkelingen, zoals woningbouw, recreatie of bedrijvigheid. De groei tot prognosejaar 2040 is minder dan 1% per jaar, omdat er nog weinig ruimtelijke initiatieven bekend zijn en omdat de samenstelling van de bevolking redelijk stabiel is en weinig groeit.

In vorige berekeningen is alleen uitgegaan van de verkeerscijfers van 1989 tot 2005, waarbij daarna uitgegaan is van een 3% groei per jaar.

Uit het Verkeersmodel zijn de volgende verkeersintensiteiten te zien, zie Tabel 8 & 9.

Tabel 8: Afgelezen verkeersintensiteit van motorvoertuigen (MVT Etmaal) vanuit Verkeersmodel Walcheren. Aantal/dag is afgelezen, waarvan aantal/jaar is berekend (Provincie Zeeland, 2019).

Jaar	a/jaar	a/dag gem
2019	4234000	11600
2030	4416500	12100
2040	4416500	12100

Tabel 9: Afgelezen verkeersintensiteit van vrachtverkeer (Vracht Etmaal) vanuit Verkeersmodel Walcheren. Aantal/dag is afgelezen (Provincie Zeeland, 2019).

Jaar	a/dag gem	Verhouding Vracht/MVT
2019	770	6,6%
2030	880	7,3%
2040	880	7,3%

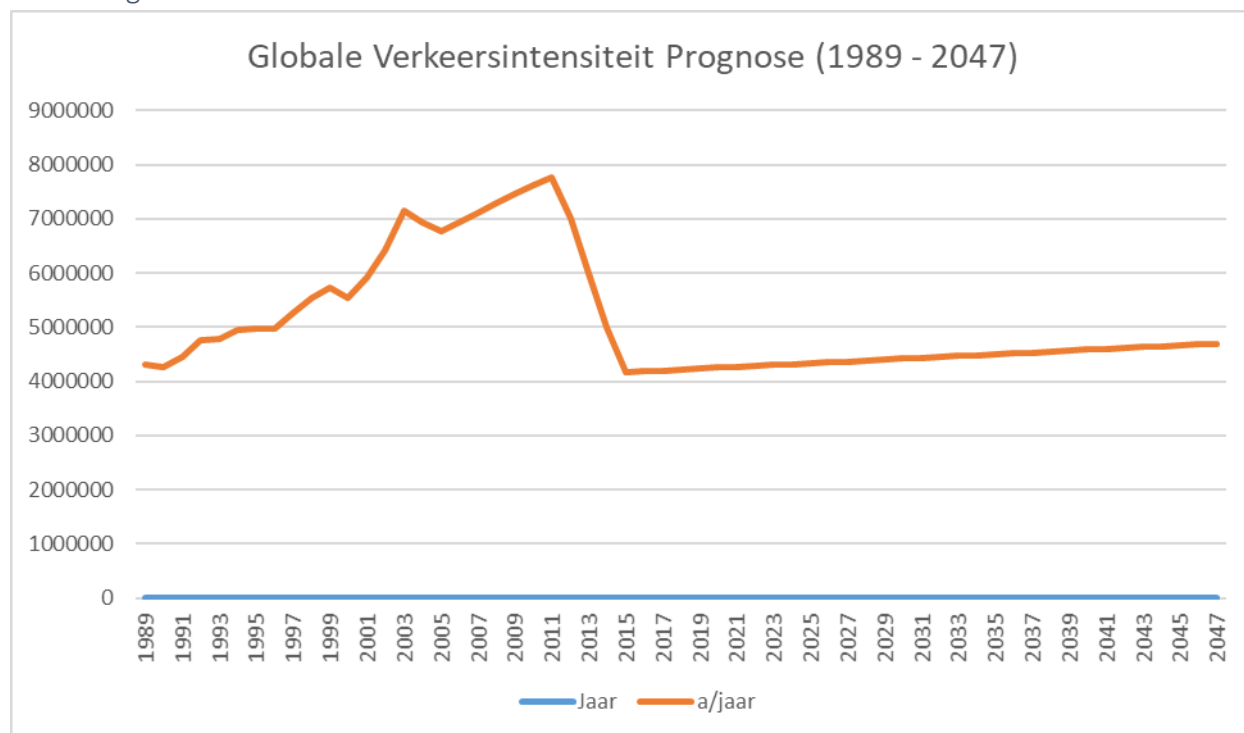
Rond de 7% van alle motorvoertuigen is vrachtverkeer, volgens het Verkeersmodel Walcheren. In de berekening van 2007 was dit 6%. Dit kan kloppen omdat in Tabel 9 ook een groei in vrachtverkeer is te zien, zie Bijlage XV voor aanvullende informatie.

Uit de inhoud van de verkeersmodel zijn de volgende tussentijdse conclusies getrokken:

- De intensiteit van jaar 2019 komt zo goed als overeen met de intensiteit van jaar 1990.
 - Dit is zeer waarschijnlijk door ontlasting van de verkeersintensiteit van de Schroefbrug sinds de opening van het Dampoort Aquaduct in 2011.
- De intensiteit van 2019 tot de prognosejaren 2030 en 2040 groeit weinig door minimale groei in autonome en ruimtelijke ontwikkelingen van Zeeland.
- De prognosejaren 2030 en 2040 ondervinden dezelfde verkeersintensiteit. Dit komt omdat er zo goed als geen groei wordt verwacht rond de Schroefbrug. Het dampoort Aquaduct ondervindt in deze jaren wel groei, zie Bijlage XVI.
- Door de onzekerheid van de ontwikkelingen in de toekomst is de groei tussen 2019 en 2030 doorgetrokken. De cijfers van uit 2040 zijn weggelaten.
- De groei dat in vorige berekeningen is aangenomen, van 3% verkeersgroei per jaar sinds 2005, is erg onrealistisch. De groei tussen 2019 en prognosejaar 2030 is maar 4,3% in 11 jaar. Dit komt hoogstwaarschijnlijk door de opening in 2011 van het Dampoort Aquaduct, zie Bijlage XVI.

De volgende grafiek is gemaakt als prognose voor de verkeersintensiteit.

2.9.2 Prognose



Figuur 20: Globale prognose van de verkeersintensiteit van 1989 tot 2047, zie Bijlage XVI.

In bovenstaande grafiek is te concluderen dat er rond de opening van het Dampoort Aquaduct een grote afname is ontstaan in de verkeersintensiteit op de Schroebrug. Ook ziet men een stijgende lijn na 2015, dat met dezelfde intensiteit is doorgetrokken van 2015 tot 2030, zie Bijlage XVI voor gedetailleerdere grafiek. Deze groei is minder steil dan eerdere groei door de minimale autonome en ruimtelijke ontwikkelingen rond Middelburg. De intensiteit rond het Dampoort Aquaduct groeit wel degelijk, omdat het aquaduct een vlotte verbinding heeft tot de snelweg (A58). De verkeersintensiteit op (een andere rood-witte ophaalbrug genaamd) de Schloebrug groeit daarom veel, omdat hier de snelweg eindigt.

2.9.3 Toetsingsinput

Zie Bijlage XVI voor een gedetailleerdere versie van bovenstaande verkeersintensiteit grafiek. Hieruit zijn de volgende intensiteiten af te lezen.

Er wordt uitgegaan dat 7% van het totale aantal MVT, vrachtverkeer is.

Tabel 10: Intensiteit van motorvoertuigen per jaar over de Schroebrug, met een verhouding van 7% vrachtverkeer (Provincie Zeeland, 2019).

Jaar	MVT/jaar	Verhouding Vracht/MVT	Vrachtverkeer/jaar
2022	4.283.770	7%	299.864 ≈ 300.000
2037	4.532.620	7%	317.283 ≈ 317.000
2047	4.698.520	7%	328.896 ≈ 329.000

Tot 2022 is de som van alle vrachtwagens 13,21 miljoen. Tot 2047 zijn dit 21,1 miljoen vrachtwagens, als er wordt uitgegaan van een verkeersgroei. Uitgaande van dezelfde verkeersgroei van 4,3% per 11 jaar is de som van alle vrachtwagens van 2022 tot 2072 16,7 miljoen vrachtwagens.

Tabel 11: Input vrachtwagenintensiteit

	1970 tot 2022	1970 tot 2047	2022 tot 2072
Aantal jaren	52	77	50
Tot. MVT	188706172	301192172	239624520
Tot. Vrachtwagens	13,2 miljoen	21,1 miljoen	16,7 miljoen

2.10 Eisen en randvoorwaarden variantenstudie

De volgende eisen en randvoorwaarden zijn vastgesteld voor de varianten als oplossing op de constructieve veiligheid van het brugdek van de Schrobrug.

- Indien nodig, moet de duur van een volledige afsluiting van de Schrobrug kort zijn.
- Alle versterkingsmaatregelen in de variantenstudie dienen het brugdek te versterken met een levensduur van 25 jaar vanaf 2022, dus tot 2047.
- Bij de gekozen versterkingsmaatregel moet effectief worden omgegaan met de kosten.
- De versterkingsmaatregel moet haal- en toepasbaar zijn tot de Schrobrug op constructieve wijze, uitvoering en wetgeving.
- De oplossing hoeft alleen de constructieve veiligheid van het brugdek te waarborgen, zodat alleen het brugdek voldoet. Het mag invloed hebben op de rest van de brug. Hier dienen aanbevelingen over te worden gedaan.
- De veiligheid van de brug mag niet worden verslechterd.
- De varianten zijn gebaseerd op de uitkomst van de toetsingsmodellen en worden bewezen en onderzocht door toetsingen.
- Al het huidige verkeer moet over de Schrobrug kunnen, dus is een aslast limiet geen optie.

3. Methodologie

3.1 Onderzoeksmethode

In dit onderzoek is kwalitatief onderzoek gedaan bij het opstellen van het theoretisch kader. De definitie, mogelijke problemen, oorzaken en oplossingen van het val zijn achterhaald door literatuurstudie/deskresearch. Met betrekking tot het bepalen van de input voor de toetsing zoals de huidige staat van het val en de verkeersintensiteit is deskresearch voltooid.

Dit onderzoek bevat kwantitatief onderzoek bij de constructieve toetsing van het val, omdat de toetsing zich is uitgedrukt in getalen, tabellen, grafieken en diagrammen. Maar ook kwalitatief, door aannames en uitleg.

Een gemixte methode is gebruikt voor de variantenstudie voor het in stand houden van het val van de Schrobrug voor de komende 25 jaar. De varianten zijn opgesteld op basis van literatuurstudie, maar afgewogen door een cijferanalyse. Ook zijn de varianten gebaseerd op de conclusies uitkomst van de constructieve toetsingen.

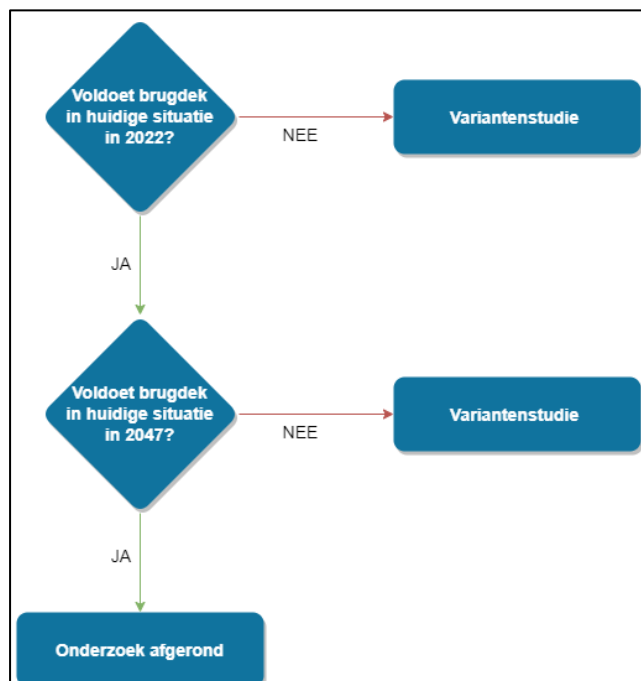
Aanvullend is een persoonlijke visuele inspectie plaatsgevonden om de gegevens uit fysieke staat van de Schrobrug te bevestigen.

De hoofdvraag van dit onderzoek bestaat uit twee onderdelen: de toetsingen & de variantenstudie voor de beste oplossing, zoals hierbeneden te zien is.

Voldoet het val van de Schrobrug in Middelburg aan de huidige norm/wetgeving betreft de constructieve veiligheid en met welke oplossing kan deze veiligheid gewaarborgd blijven voor de komende 25 jaar?

3.2 Toetsingen

In de Figuur 21 ziet u de methode voor de toetsing van het brugdek. Eerst is gekeken of de huidige situatie voldoet aan de huidige wetgeving. Dit werd gedaan door een toetsing op *afkeurniveau*, een toetsing met de verkeersintensiteit tot 2022. Als de brug voldoet werd een toetsing gedaan met een verkeersintensiteit tot 2047. Wanneer de brug niet voldoet, zijn er versterkingsmaatregelen nodig zodat de brug voldoet tot 2047. Als de brug wel voldoet is het onderzoek afgerond. Hierdoor is van te voren duidelijk waarom een variantenstudie naar versterkingsmaatregelen is uitgevoerd, zie volgende bladzijde.



Figuur 21: Flowchart als methodelayout voor de constructieve toetsing, zie Bijlage XVII voor vergroot figuur.

3.3 Variantenstudie

De variantenstudie van dit onderzoek werd uitgevoerd door drie varianten vast te stellen.

- Nieuw brugdek;
- Gedeeltelijk nieuw brugdek;
- Huidig brugdek versterken.

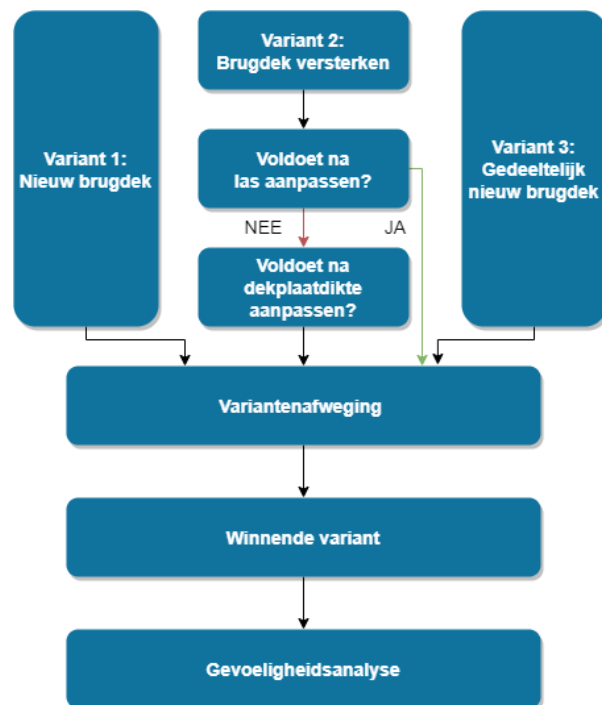
Deze drie varianten waren vastgesteld voor een aantal redenen:

1. De focus van dit onderzoek ligt op de constructieve berekeningen. De versterking kan door middel van een constructieve berekening bewezen worden.
2. Het onderzoek dient in een beperkte tijd uitgevoerd te worden.
3. Voor innovatieve nieuwe oplossingen is meer tijd nodig om deze door een berekening uit te werken.

Van tevoren is verwacht dat de hoeklas en de plaatdikte waarschijnlijk niet vermoeiingssterk genoeg zijn. Beide zijn namelijk vermoeiingsgevoelig.

Voor de variantenstudie is de volgende Flow Chart gemaakt, zie Figuur 22. Zoals benoemd zijn er drie varianten uitgewerkt. Variant 1: nieuw brugdek, variant 2: bestaand brugdek versterken en variant 3: gedeeltelijk nieuw brugdek.

Het ontwerpen van variant 1 is als volgt uitgevoerd. Bij variant 1 is het gehele brugdek vervangen. Het nieuwe brugdek bestaat uit een literatuur onderzoek naar de algemene maatvoering van het brugdek en een toetsingsonderzoek naar de troggen en dekplaat. Het onderzoek met toetsingen is uitgevoerd door verschillende waarden aan te passen en hiermee de maatvoering van de troggen en dekplaat te verbeteren. De algemene maatvoering van de dwars- en hoofdliggers blijven hierin hetzelfde. Echter is hier wel literatuuronderzoek naar gedaan, zodat dit is meegenomen voor aanbevelingen.



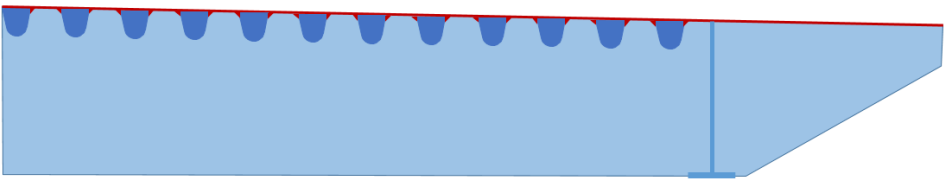
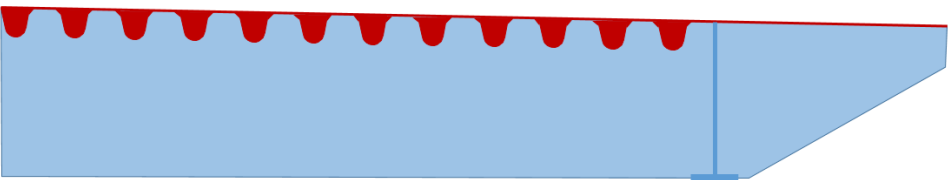
Figuur 22: Flow Chart variantenstudie, met variant: Nieuw brugdek & Aangepast brugdek/brugdek versterken.

Variant 2: het versterken/aanpassen van het huidige brugdek is volgens de komende twee stappen uitgevoerd. In stap 1 is de las aangepast, van een hoeklas naar een stompe las. Als het brugdek dan voldoet is de versterking afgerond. Als het brugdek niet voldoet wordt de las nog steeds aangepast, aangezien het veranderen van de las het brugdek hoe dan ook het brugdek versterkt. In stap 2 wordt het brugdek verstevigd met een extra plaat zodat de totale dekplaatdikte is aangepast, tot het brugdek voldoet.

Een derde variant is ook onderzocht in de variantenstudie, variant 3: Gedeeltelijk nieuw brugdek. Het bevat een vervanging van de troggen en dekplaat, waarin de rest van het dek hetzelfde blijft. Hiervoor wordt de onderzochte maatvoering van variant 1 gebruikt. Deze variant komt pas naar voren in de variantenafweging.

Hierbij een overzicht van de varianten, zie Tabel 12.

Tabel 12: Schematische tekeningen van de drie varianten. (Rood = dit onderdeel wordt vervagen in deze variant. Blauw = huidig onderdeel)

Variant 1: Nieuw brugdek	
Variant 2: Aangepast brugdek	
Variant 3: gedeeltelijk nieuw brugdek	

Op basis van de literatuurstudie uit Hoofdstuk 2.3 en de eerder beschreven uitgangspunten uit Hoofdstuk 2.8 zijn de drie varianten vastgesteld.

Vanuit de literatuurstudie is namelijk te verwachten dat het brugdek niet voldoet op vermoeiing, omdat het orthotrope brugdek waarschijnlijk te slap is om de spanningen in dwarsrichting op te nemen. Het brugdek versterken tegen vermoeiing kan op vele manieren, zoals beschreven in het eerder genoemde hoofdstuk. De drie varianten zijn gebaseerd op deze literatuurstudie.

In de uitgangspunten is besloten dat de varianten worden ontworpen door middel van de constructieve toetsingen. Door deze reden is besloten drie varianten op te stellen die het brugdek te versterken in dwarsrichting en constructief toetsbaar te zijn. De uitleg voor de gekozen varianten is als volgt:

1. Het vervangen van het gehele brugdek zorgt voor een sterk verbeterde huidige staat. Ook kan het ontwerp door middel van de veranderende maatvoering stijver worden ontworpen. Echter zal het aanschaffen kostbaar en niet-duurzaam zijn.
2. Het huidige brugdek aanpassen zal juist een duurzamere en goedkopere oplossing zijn. Door de las aan te passen naar een stompe las is deze verbinding vele malen sterker, en door de dekplaat te verdikken met een extra plaat wordt de spanning beter verspreid over de dekplaat. Echter zal er wel hinder plaatsvinden en moet er rekening worden gehouden met de levensduur van de rest van de brug.
3. Het gedeeltelijk vernieuwen van het brugdek is de tussenweg van de twee eerder genoemde varianten. Hierbij worden de dekplaat en de troggen vervangen en ter plaatse aan de huidige dwars- en hoofdliggers gelast. Dit zal in kosten en duurzaamheid gemiddeld scoren.

De variantenafweging is afgehandeld met de volgende criteria, zie Tabel 13.

Tabel 13: Criteria voor de variantenafweging.

Criteria Variantenafweging	Toelichting
Levensduurverlenging 10%	Des te langer de levensduurverlenging, des te effectiever de oplossing voor het brugdek. De meest effectiefste oplossing voor de Schroefbrug heeft een levensduurverlenging die de instandhouding tot 2047 precies haalt. Langer is mooi meegenomen, maar niet vereist. Elke variant heeft een verwachte levensduur. Een variant scoort als de eis wordt behaald, maar scoort hoger als de levensduur langer is dan is vereist. Echter zal een veel langere levensduurverlenging slechter scoren op andere criteria. <i>De te bepalen levensduur van de varianten hebben als eis 25 jaar te behalen. Een langere levensduur dan 25 jaar is mooi meegenomen maar niet vereist. Daarom is de weging 10%.</i>
Kosten 50%	Voor deze criteria wordt een LCC (Life Cycle Costs) gemaakt. Dit is een kostenanalyse waarbij niet alleen de kosten van de investering (CAPEX) zijn meegenomen, maar tevens de kosten van instandhouding en onderhoud en vervanging (OPEX). De goedkoopste variant is onder deze criteria het beste. <i>Kosten is de belangrijkste criteria. De versterking dient kostefficiënt te zijn voor uitvoering en onderhoud. Daarom is de weging 50%.</i>
Hinder 30%	Een versterkingsvariant in uitvoering en onderhoud kan verkeershinder veroorzaken voor boot, fiets en motorvoertuigen. Daarnaast kan er hinder zijn voor de omgeving van mens, natuur en milieu. Een variant met minder hinder voor zijn omgeving tijdens uitvoering en onderhoud scoort goed in deze criteria. Hinder is uitgelegd in samenhang met de uitvoering. Als de uitvoering langer duurt is deze ook duurder in de LCC. <i>Hinder voor de omgeving zal voor elke variant plaatsvinden, maar ook worden gereduceerd. Hinder is van belang, maar niet de belangrijkste criteria. Daarom is de weging 30%.</i>
Duurzaamheid 10%	De Provincie Zeeland dient duurzaam te beheren en onderhouden. De uitkomst van dit onderzoek zal een kleinere impact hebben op het milieu vergeleken met andere infrastructuur projecten, toch dient deze criteria altijd in het achterhoofd worden gehouden. De oplossing kan ter aanbeveling altijd duurzamer worden gemaakt, of uitgevoerd worden door de aannemer met de laagste MKI (milieukostenindicator). Ook is de duurzaamste oplossing de goedkoopste in een LCC. <i>Duurzaamheid staat niet centraal, maar is wel van belang voor Provincie Zeeland. De oplossing kan nader onderzoek duurzamer worden gemaakt. De omvang en impact van dit project is niet groot vergeleken met andere projecten, daarom is de weging 10%.</i>

Per criteria zijn er punten gegeven van 1 t/m 5, waarvan 1 het slechtste en 5 het beste. Des te meer punten de variant heeft des te beter de uitkomst. Uiteindelijk heeft de winnende variant de hoogste score. Hoe de punten zijn verdeeld over de eerder benoemde criteria is uitgelegd in onderstaande Tabel 14.

Tabel 14: Scoretoekenning per criteria

Criteria	Toelichting				
Levensduurverlenging	De puntenverdeling onder deze criteria hangt samen met de ontwerplevensduur. De aller slechtste score van 1 is gegeven wanneer de ontwerplevensduur het laagst is. De laagste ontwerplevensduur is 25 jaar, aangezien dit de vereiste ontwerplevensduur is.				
	1, = 25 jr.	2, > 25 jr.	3, ≥ 50 jr.	4, ≥ 75 jr	5, ≥ 100 jr.
Kosten	De scores uit deze criteria zijn gebaseerd op de LCC. Dit is een kostenplaatje waarbij niet alleen de kosten van de investering instandhouding en onderhoud en vervanging. Om de scoring van de kosten representatief te houden gaat de puntenverdeling per percentage van de grootste kosten. De hoogste prijs geldt de slechtste score van 1. De laagste score is 5, waarbij de kosten van die variant lager dan 25% van de grootste kosten bevat.				
	5, 1-25%	4, 26-50%	3, 51-75%	2, 76-99%	1, 100%
Hinder	Deze criteria is gebaseerd op hoeveel hinder er plaatsvindt tijdens de uitvoering van de variant. Als er minder dan een dag hinder is, en dit is geen volledige afsluiting geldt een score van 5. Als er voor meerdere weken een volledige langdurige afsluiting is geldt een score van 1. Manieren om de hinder te verminderen hebben invloed op de score.				
Duurzaamheid	Voor deze criteria is gekeken naar het hoeveelheid materiaal dat nodig is per variant. Dit hangt samen met hoeveel materiaal er wordt hergebruikt van het huidige brugdek. Als er minimaal onderhoud nodig is scoort de variant een 5. Als het gehele brugdek wordt vervangen krijgt deze variant een score van 1.				

De werking van een LCC gaat als volgt. De kosten van de investering (CAPEX) en de kosten van onderhoud (OPEX) zijn opgeteld in een periode van 100 jaar. Een variant met een ontwerplevensduur van 25 jaar komt dus vier keer voor in de LCC. Daarnaast is er gerekend met een discontovoet. Dit is een percentage waarmee verwachte kosten in de toekomst worden teruggerekend naar het basisjaar van het project. Dus stel dat de gehele levenscycluskosten op dit moment apart wordt gezet, wordt dit getal door bijvoorbeeld rente groter. Door middel van discontovoet is de rente in de loop van jaren teruggerekend. Uiteindelijk is de NPV (Netto Present Value) de totale levenscyclus prijs voor het aanschaffen en onderhouden van de variant, inclusief discontovoet. Daarvan zijn de EAC (Equivalent Annual Costs) de jaarlijks gemiddelde kosten voor het bezitten van de variant. Op basis van de NPV worden de scores onder criteria: “Kosten” verdeeld. Zie verklarende woordenlijst voor de gebruikte formule.

3.4 Beantwoording deelvragen

In Tabel 15 hieronder is weergegeven welke onderzoeksmethode er per deelvraag is gebruikt. Er is onderscheid gemaakt tussen kwalitatief (KWLF), kwantitatief (KWNF), deskresearch (DESK) en fieldresearch (FIELD).

- Kwalitatief is theoretisch onderzoek gebaseerd op woorden. Kwantitatief is statistiek onderzoek gebaseerd op cijfers.
- Deskresearch is een verzamelmethode waarbij bestaande informatie gebruikt wordt vanuit verschillende bronnen. Fieldresearch is een verzamelmethode waarbij de informatie wordt verkregen door zelf op onderzoek uit te gaan.

Tabel 15: Onderzoeksmethodes per deelvraag

Deelvragen voor toetsing	KWLF	KWNF	DESK	FIELD
1. Hoe ziet het val van de Schroefbrug er uit?	x		x	
2. Wat voor reparaties en aanpassingen zijn er gepleegd aan de Schroefbrug en heeft dit impact op de toetsing?	x		x	
3. Welke inspecties zijn er gedaan en kunnen deze als input dienen tot de huidige toetsing?	x		x	x
4. Welke toetsingsberekeningen zijn er in het verleden uitgevoerd voor het bepalen van de conditie van de brug. Wat kunnen we hiervan leren voor de huidige toetsing?	x		x	
5. Wat zijn de gebruikte normen en richtlijnen voor het ontwerp, de bestaande toetsingen en de huidige toetsing?	x		x	
6. Wat zijn de eisen, randvoorwaarden en beperkingen waaraan het brugdek nu en in de toekomst moet voldoen?	x		x	
7. Wat zijn de maatgevende factoren voor de toetsing van het stalen brugdek?		x	x	
8. Voldoet het brugdek nu en over 25 jaar?		x	x	
Deelvragen voor variantenstudie	KWLF	KWNF	DESK	FIELD
9. Welke faalvormen treden op, op het brugdek en in hoeverre hebben deze zich in het verleden voorgedaan? Wat zijn de oorzaken hiervan en hoe kunnen deze worden opgelost?	x		x	
10. Wat zijn mogelijke effectieve oplossingen om de faalvormen te voorkomen en/of te corrigeren voor de instandhouding de komende 25 jaar?	x		x	
11. Hoe worden deze varianten afgewogen met elkaar?	x	x	x	
12. Wat is de beste variant voor het waarborgen van de constructieve veiligheid voor de komende 25 jaar? Gebaseerd op de uitkomst van de toetsingen?	x	x	x	

3.5 Gebruikte technieken

Voor dit afstudeeronderzoek zijn meerdere programma's gebruikt, zie Tabel 16.

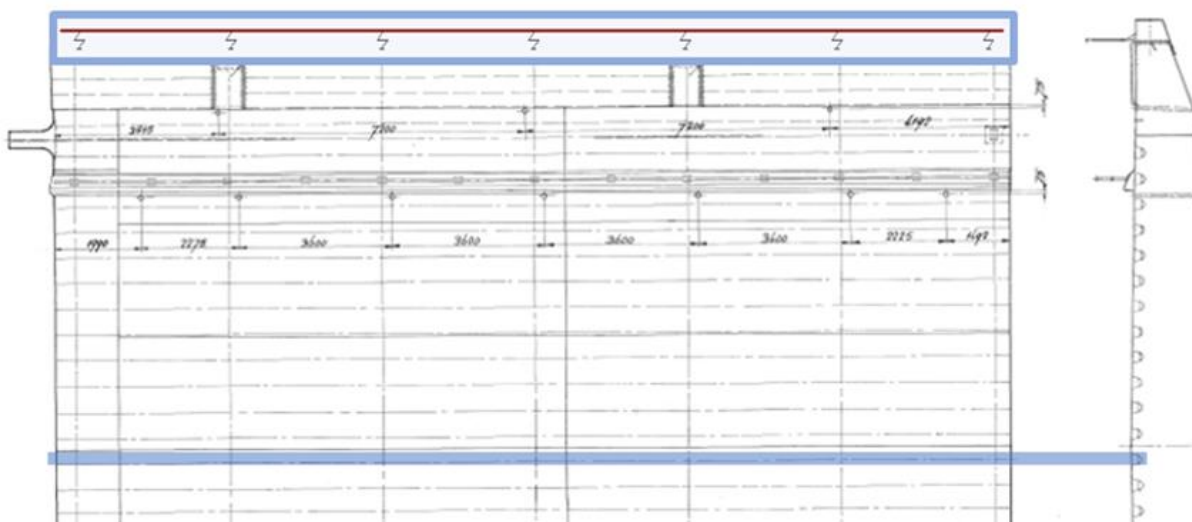
Tabel 16: Programma's die zijn gebruikt in het onderzoek

Programma	Functie	Gebruikt voor
1. Technosoft (Liggers)	Rekensoftware voor constructief toetsen	Toetsing Model 1 trog
2. Technosoft (Raamwerken)	Rekensoftware voor constructief toetsen	Toetsing Model 2 dekplaat
3. AutoCAD	Tekenwerk	Toetsing Model 2 dekplaat
4. Draw.io	Diagrammenproductie	Methode
5. Excel	Spreadsheetsoftware	Verkeersintensiteit prognose, toetsingen, LCC & gevoeligheidsanalyses

3.6 Toetsingsmodellen

Vermoeing is maatgevend voor de toetsing van het orthotrope wegdek, zoals eerder uitgelegd in dit verslag. Voor alle vermoeingstoetsingen worden twee verschillende modellen gebruikt. Op deze modellen zijn verschillende vrachtwagens gemodelleerd, om de maatgevende spanningen te berekenen. Uiteindelijk zullen de spanningen kleiner moeten zijn dan de spanning sterkte van het detail, zie Bijlagen XIX tot XXVII voor de berekeningen.

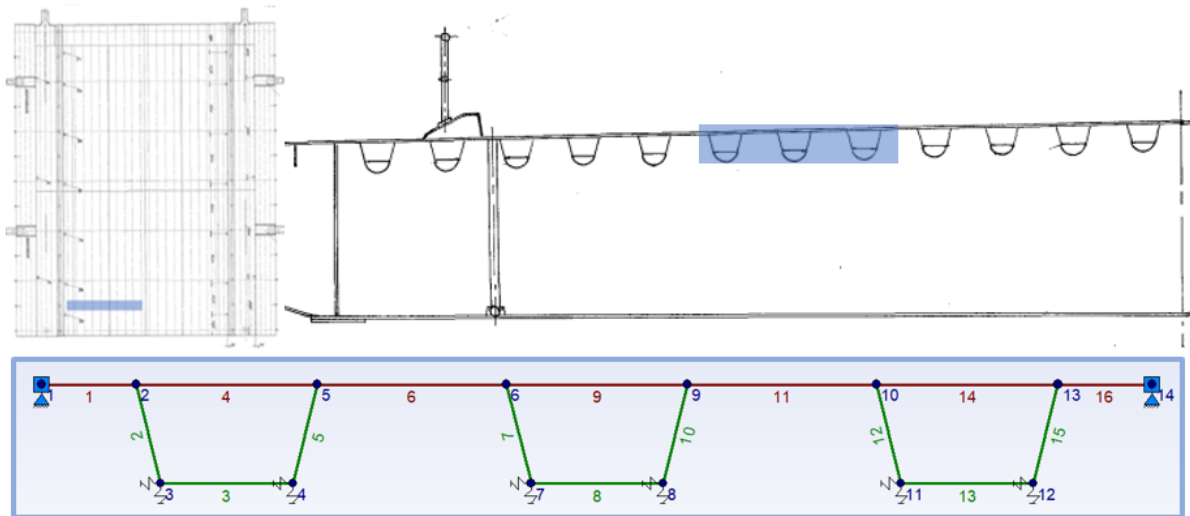
1. Model 1 : Trog liggend op dwarsdragers in langsrichting, voor de toetsing van vermoeingsterkte van de trog.



Figuur 23: Model 1, bestaande uit één trog liggend op zeven dwarsdragers in langsrichting. Aan de bovenkant van het figuur is in het blauwe rechthoek het Technosoft model getoond. Hieronder toont er een deel van het bovenaanzicht. Aan de rechterzijde is een deel van de dwarsdoorsnede te zien, waarbij één van de middelste troggen is gemodelleerd. De dwarsdragers hebben een h.o.h. afstand van 3,6 meter.

Zie Bijlage XIX voor de toetsing waarbij model 1 is gebruikt. Zie ook deze Bijlage voor de ingevulde maatvoering van het Technosoft model.

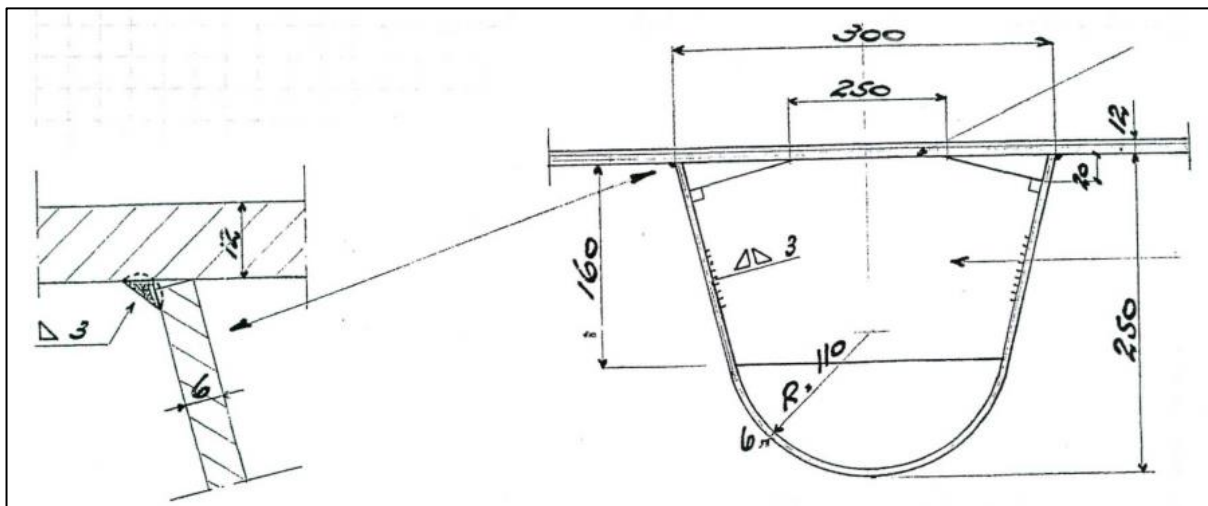
2. Model 2 : Dekplaat met drie troggen in dwarsrichting, voor de toetsing van de vermoeiingsterkte van de dekplaat.



Figuur 24: Model 2 toetsing voor de vermoeiingsterkte van de las tussen de trog en dekplaat. De las is te vinden in knoop (blauw rondje) 2, 5, 6, 8, 10 en 13. Bovenaan ziet u de helft van de dwarsdoorsnede van het brugdek met in het blauw drie troggen. Links ziet u waar de troggen zich bevinden. Aan de onderkant ziet u het Technosoft model.

Zie Bijlage XX tot XXVII voor de toetsingen waarbij dit model is gebruikt. Zie ook Bijlage XX tot XXVII voor de maatvoering van het Technosoft model. De maatvoering wordt in sommige toetsingen namelijk aangepast.

De troggen verstijven het brugdek in langsrichting, omdat het profiel in de lengte onder de dekplaat zit. De troggen zijn echter gevoelig voor dwarsspanningen volgens het theoretisch kader. Daarom is model 2 maatgevend voor het berekenen van de drie varianten. Zie hieronder ter herhaling de maatvoering.



Figuur 25: Maatvoering van de troggen en de lassen van de Schroefbrug. De troggen hebben een h.o.h van 600 mm en zijn van materiaal FE52/S355. Schotten aanliggend tegen onderkant vloerplaat (Verbaan, A52381 - Rijdek val).

4. Resultaten

4.1 Resultaten huidige toetsing

De huidige toetsing bestaat uit een vermoeiingstoetsing in langsrichting en dwarsrichting, waarbij is berekend hoeveel vrachtwagens het brugdek aankan voordat het materiaal bezwijkt. Uit het literatuuronderzoek in paragraaf 2.2.1 is te lezen dat de trog en de las gevoelig zijn voor vermoeiing in het orthotrope brugdek. Daarom is in langsrichting de vermoeiingsterkte van de trog beschouwd (zie Bijlage XIX) en in dwarsrichting de dekplaat en de hoeklas (zie Bijlage XX). De unity check van vermoeiingstoetsingen is de uitkomst van het aantal spanningswisselingen dat plaats vindt en plaats heeft gevonden, gedeeld door wat de constructie aankan. Uit deze indicatieve berekeningen ontstonden de volgende resultaten:

De trog en langsverstijver voldoet in 2022 met een unity check van 0,83. De trog voldoet niet tot 2047, omdat de unity check wordt overschreden in het jaar 2032 (Bijlage XIX).

De hoeklas voldoet niet, met een enorme unity check van 13,3 (Bijlage XX).

4.2 Resultaten variant 1: nieuw brugdek

Voor het nieuwe brugdek zijn verschillende waarden aangepast en doorgerekend om te achterhalen welke als maatgevende factoren dienen bij het ontwerpen van een nieuw brugdek. Hierbij is alleen gerekend met het model van de dekplaat en troggen in langsrichting, aangezien deze als maatgevend wordt beschouwd. Bij het veranderen van de volgende waarden, ontstonden de aankomende resultaten:

Het opschalen van de trogdikte van 6 mm naar 8 mm resulteerde in een stijvere trog, waardoor grotere spanningen in de las ontstonden. Volgens de norm mag de trogdikte niet kleiner dan 6 mm dus is dit als dikte beschouwd voor het nieuwe brugdek (Bijlage XXI).

Door de h.o.h. afstand te verkleinen van 600 mm naar 400 mm, reduceerden de spanningen minimaal, waardoor het niet wordt beschouwd voor het nieuwe brugdek (Bijlage XXII).

Het verhogen van de trog van 160 mm naar 200 mm, reduceerden de spanningen in de trog en dus ook in de las (Bijlage XXIII).

Ook het versmallen van de trog van 300 mm naar 200 mm, heeft invloed op de vermoeiingsterkte van de las, omdat er minder grote momenten ontstaan. Hierdoor veranderd de h.o.h echter wel naar 400 mm, hierdoor wordt lassen lastiger, maar in praktijk haalbaar (Bijlage XXIV).

Ten slotte voldoet de las wanneer de dekplaat wordt verdikt van 12 mm tot 20 mm (Bijlage XXV).

Door h.o.h. afstand van de dwarsdragers kleiner te maken, is het orthotrope dek stijver, en worden de dwarsspanningen en –rekken sneller opgenomen. Daarnaast kan het profiel van de dwarsdragers groter worden gemaakt voor verstijving (Hoofdstuk 2.2.1.).

Een nieuw brugdek vernieuwd ook de hoofdliggers, waarvan de vermoeiingslevensduur is verstreken volgens de toetsing uit 2007 (Hoofdstuk 2.7.2.).

4.3 Resultaten variant 2: aangepast brugdek

Voor het aanpassen van het brugdek wordt eerst de hoeklas vervangen door een stompe las. Daarnaast is berekend welke plaatdikte gerealiseerd moet worden, zodat de las voldoet. Dit resulteert in het volgende:

Stap 1 (het vervangen van de hoeklas naar een stompe las) geeft: een reductie van de unity check van 13,3 naar 10,5 > 1 dus verder met stap 2 (Bijlage XXVI).

Stap 2 (dekplaat verdikken tot de las voldoet) resulteert in een totale dekplaatdikte van 12 mm naar 23 mm. Dit wordt gedaan door een plaat van 11 mm dik op de bestaande plaat vast te zetten (Bijlage XXVII en Bijlage XXVIII).

4.4 Resultaten kostenraming en LCC

Voor alle drie de varianten is een globale kostenraming gemaakt. Dit is de CAPEX van de variant, ofwel de kosten voor materiaal en uitvoering. Samen met de kosten voor onderhoud en vervanging (OPEX) is dit de input van de LCC (Life Cycle Costs). In deze analyse zijn de kosten voor de instandhouding van het val van de Schroefbrug voor de komende 100 jaar berekend, zie Bijlage XXXII.

In Tabel 17 zet u de resultaten uit de LCC. NPV (Netto Present Value) is de totale levenscyclus prijs voor het aanschaffen en onderhouden van de variant, inclusief discontovoet. De EAC (Equivalent Annual Cost) zijn de jaarlijks gemiddelde kosten voor het bezitten van de variant.

Tabel 17: Resultaten van de LCC, zie Bijlage XXXII.

	Variant 1: Nieuw brugdek	Variant 2: Aangepast brugdek	Variant 3: Gedeeltelijk nieuw brugdek
Levensduur	50 jaar	25 jaar	25 jaar
CAPEX	3,2 miljoen	0,9 miljoen	2,0 miljoen
NPV (LCC)	3,9 miljoen	2,1 miljoen	4,2 miljoen
EAC (LCC)	90 duizend	50 duizend	100 duizend

4.5 Resultaten variantenstudie

Alle varianten zorgen ervoor dat het brugdek van de Schroefbrug voldoet aan de huidige norm/wetgeving, volgens de toetsingen uit dit onderzoek. In de variantenstudie zijn drie verschillende varianten met elkaar vergeleken, zie Tabel 12 voor de schematische weergaven van de varianten:

- Variant 1 : Nieuw brugdek. Hierbij wordt het gehele brugdek vervangen.
- Variant 2 : Aangepast brugdek. Hierbij wordt het huidige brugdek aangepast door de las te vervangen en de dekplaat te verdikken met een extra plaat.
- Variant 3 : Gedeeltelijk nieuw brugdek. Hierbij worden de troggen en de dekplaat vervangen.

De scores van de drie varianten zijn toegekend volgens de beschreven methodiek. Elke variant scoort van 1 tot 5, waarvan 1 het slechtste en 5 het beste. Zie Tabel 18 voor de resultaten.

Tabel 18: Resultaten variantenstudie

Criteria	Weging	Variant 1: nieuw brugdek	Variant 2: aangepast brugdek	Variant 3: gedeeltelijk nieuw
Levensduurverlenging	10%	3	1	1
Kosten	70 %	2	4	1
Hinder	30 %	3	2	3
Duurzaamheid	10 %	1	5	3
Totale score:		2,7 / 5	4,0 / 5	2,0 / 5

Uit Tabel 18 is te concluderen dat variant 2 de beste oplossing is.

Hieronder is beknopt uitgelegd met welke beredenering de scores zijn toegekend. Voor aanvullende informatie zie Bijlage XXXII.

1. Onder criteria "Levensduurverlenging" scoort variant 1 een drie met een ontwerp levensduur van 50 jaar, en variant 2 en 3 een één met de minimaal vereiste ontwerp levensduur van 25 jaar.
2. Onder criteria "Kosten" scoort variant 3 een één, omdat deze de hoogste NPV heeft volgens de LCC. Waarna variant 1 een twee scoort, om de reden dat de NPV iets goedkoper uitvalt in vergelijking met variant 3. Terwijl de aanschafkosten van variant 1 het duurst zijn, valt variant 3 in een termijn van 100 jaar duurder uit. Dit komt mede doordat variant 3 een twee keer zo kleine ontwerp levensduur heeft. Tevens is variant 2 het goedkoopst, namelijk meer dan twee keer zo goedkoop als variant 2. Dit komt omdat variant 2 de kleinste aanpassing is op het brugdek, waardoor de kosten laag zijn.
3. Onder criteria "Hinder" scoren variant 1 en 3 beide een drie. Dit komt omdat een volledige afsluiting nodig is voor het nieuwe brugdek evenals het gedeeltelijk nieuwe brugdek, dus is de hinder groot. Echter is de hinderduur sterk gereduceerd, aangezien beide varianten worden geprefabriceerd. Een afsluiting van 2 dagen is nodig om het huidige brugdek te ontkoppelen aan de draaipunten en het nieuwe brugdek aan te sluiten. Ook is 2 dagen nodig om de trog en dekplaat los te slijpen en het nieuwe gedeelte vast te lassen. Verder scoort variant 2 een twee. De uitvoering bestaat namelijk uit twee delen: de dekplaat en de lassen aanpassen. Het eerste deel bestaat uit: huidige slijtlaag verwijderen, huidige dekplaat (TOFD), repareren, nieuwe dekplaat verlijmen en een nieuwe slijtlaag aanbrengen. Dit wordt in drie fases over een tijdsperiode van zes weken uitgevoerd. Het tweede deel hierna bestaat uit: hoeklas verwijderen, staal bewerken en stompe las aanlassen. Hiervoor wordt de brug ongeveer tien nachten volledig afgesloten.
4. Onder criteria: "Duurzaamheid" is variant 2 het meest duurzaam, omdat het minste materiaal wordt gebruikt. Variant 1 is het minst duurzaam door gehele vervanging van het brugdek. Variant 3 scoort hier tussenin.

5. Discussie

Bij een gevoeligheidsanalyse wordt de betrouwbaarheid nagegaan van de toetsing of variantenstudie door middel van het veranderen van één variabele van de input. Na een gevoeligheidsanalyse wordt er teruggekoppeld naar de resultaten door middel van een interpretatie. Hierin worden de resultaten van het onderzoek en van de gevoeligheidsanalyse vergeleken en wordt de uiteindelijke conclusie getrokken van het onderzoek van de toetsing of variantenstudie. Daarnaast worden andere discussiepunten uit het onderzoek hierin meegenomen.

5.1 Gevoeligheidsanalyse : toetsing model 1

Voor model 1 is de meewerkende breedte aangepast op basis van de oplegreacties van de toetsing van model 2. De meewerkende breedte verandert van 1 trog naar ook een gedeeltelijke opname naar de twee naastliggende troggen. Hierdoor is de spanning verminderd.

De spanningsverkleining, ter oorzaak van het vergroten van de meewerkende breedte, resulteert in een vermindering van de unity check van 0,83 naar 0,25 tot 2022. Hierdoor voldoen de troggen tot 2047, met een unity check van 0,40 en tot 2072 met een unity check van 0,57 (Bijlage XXX).

De meewerkende breedte is een maatgevende factor in de toetsingen.

5.2 Gevoeligheidsanalyse : toetsingen model 2

In deze gevoeligheidsanalyse is onderzocht hoe gevoelig de meewerkende breedte is voor de toetsingen met gebruik van model 2. Eerder in Hoofdstuk 2.8 is uitgelegd dat de aangenomen waarde 0,5 meter is. In deze gevoeligheidsanalyse zijn de waarden gebruikt van variant 2: Aangepast brugdek. De verandering resulteerde in het volgende:

Het veranderen van de meewerkende breedte van 0,5 m naar 0,3 meter resulteerde in een unity check van 0,94 naar 4,37. Dit komt door het verkleinen van het weerstandsmoment (Bijlage XXXI).

De stompe las voldoet niet meer bij een totale dekplaatdikte van 23 mm, maar bij 28 mm. Een extra plaat van 16 mm is nodig in plaats van 11 mm. Dit is een groot verschil dus is de maatgevende breedte erg maatgevend voor de uitkomst van de berekening (Bijlage XXXI).

Door het verschil van 5 mm dikte, zal er nog 11.000 kg meer ballast nodig zijn om het evenwicht van de Schroefbrug te waarborgen, als wordt uitgegaan van een meewerkende breedte van 0,3 meter (Bijlage XXXI).

5.3 Interpretaties van gevoeligheidsanalyses van de toetsingen

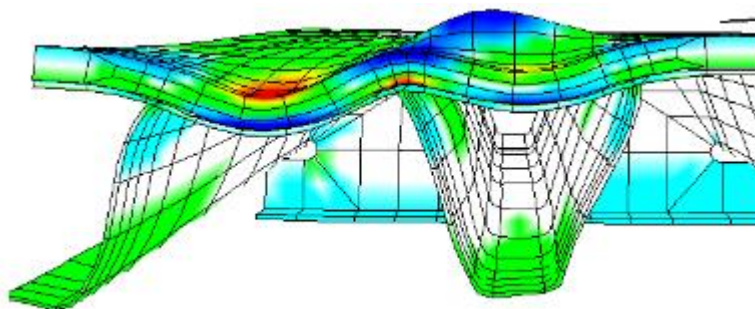
De gevoeligheidsanalyses bewijzen de onzekerheden van het rekenen in een 2D model. Vele aannames kunnen gemaakt worden, maar de meewerkende breedte is lastig aan te nemen. Mede doordat de meewerkende breedtes uit een 2D model niet overeen kunnen komen met de 3D werkelijkheid. Dit is te concluderen uit de twee gevoeligheidsanalyses, omdat de resultaten uit de analyses erg verschillen met de resultaten uit de toetsingen.

Gevoeligheidsanalyse 1 geeft bij het vergroten van de meewerkende breedte een groot verschil in de uitkomst met gebruik van model 1. Eerst was uitgegaan dat zowat alle spanningen werden opgenomen door 1 trog, maar na de toetsing van model 2 werd duidelijk dat zo'n $1/3^e$ ook werd opgenomen door de twee naastliggende troggen. Dit is dus een reductie van $2/3^e$ op de maatgevende spanningen, wat een groot verschil in de uitkomst geeft, waardoor de troggen voor de komende 50 jaar zeker voldoen in plaats van tot 2032.

Gevoeligheidsanalyse 2 geeft bij het reduceren van de meewerkende breedte een groot verschil in de uitkomst met gebruik van model 2. Bij het reduceren van de meewerkende breedte van 0,5 naar 0,3 meter is bij variant 2 een 5 mm dikkere plaat nodig. Dit is een groot verschil, wat ook andersom kan worden benaderd. Een grotere meewerkende breedte kan resulteren in een lagere plaatdikte. Dit heeft te maken met de stijfheid van de totale orthotrope plaat.

Toch lijkt een meewerkende breedte van 0,5 meter een realistischere aanname dan 0,3 meter op basis van de uitleg in de uitgangspunten en de theorie achter de samenwerking van de onderdelen van een orthotroop brugdek, beschreven in Hoofdstuk 2.3.

Kortom is de meewerkende breedte erg maatgevend voor de toetsingsuitkomst, terwijl dit in een 2D model lastig te bepalen is. Dit komt omdat de meewerkende breedte afhangt van de spanningsoverdracht van het gehele brugdek van dekplaat, naar troggen, naar dwarsdragers, naar ten slotte de hoofdliggers. De spreiding van de spanningen gelden in alle richtingen in 3D. Dit is dus niet 1 op 1 te modelleren in 2D modellen.



Figuur 26: Buigingsgedrag van een orthotrope plaat in een 3D model, waarbij de meewerkende breedte niet door een 2D model kan worden benaderd (M. Hurman, 2006).

In conclusie wordt er aanbevolen vervolgonderzoek te doen naar de meewerkende breedte door middel van een 3D model. Al zullen vele aannames in de voltooide berekeningen een goede indicatie zijn, de exacte meewerkende breedte is niet te bepalen door de 2D modellen gebruikt in dit onderzoek. Echter is er voor een 3D model door middel van de eindige elementen methode tijd en programmakennis nodig.

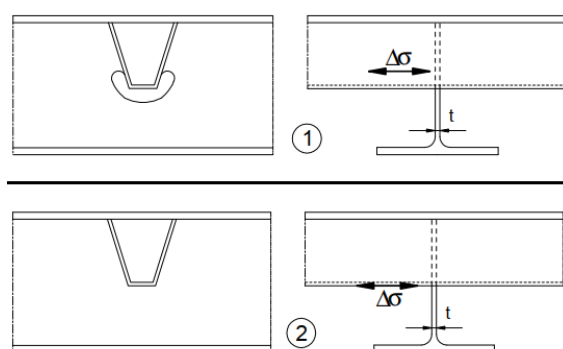
5.4 Discussie over de toetsingen

In de toetsingen zijn meerdere uitgangspunten, modelkeuzes en aannames gemaakt om tot een uitkomst te komen. Hieronder vindt u wat er kan worden verbeterd, veranderd of in vervolgonderzoek kan worden gedaan omtrent de toetsingen uit dit onderzoek.

1. Huidige staat

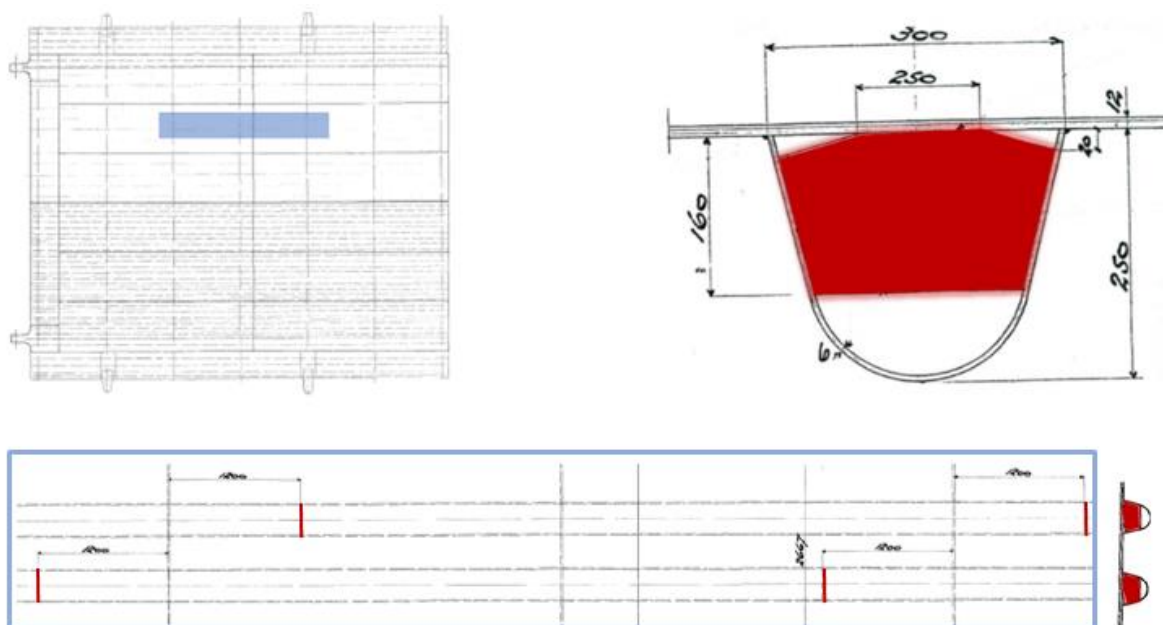
De huidige staat van de Schroefbrug is in grove maten bekend, echter is de staat van verschillende onderdelen onduidelijk. Dit komt mede door de leeftijd van de brug, omdat vroeger beperkter werd gedocumenteerd. Daarnaast bezit de Provincie Zeeland niet over specifieke toekomstgerichte modellen en beoordelingssystemen, waardoor beschikbare informatie over de staat van een soms beperkt is. Hieronder vindt u de onbekendheden over de huidige staat, die eventueel in vervolgonderzoek bruikbaar zijn.

- De toestand van het stalen brugdek is zo goed als onbekend, aangezien er met een visuele inspectie op afstand niet te zien is of er interne scheuren zijn of hoeveel erosie er heeft plaatsgevonden. De huidige staat is gebaseerd op basis van literatuurstudie uit eerdere inspectie rapporten die zijn bevestigd door een eigen visuele inspectie. Het is daarom aanbevolen vervolgonderzoek te doen naar de fysieke staat van het stalen brugdek van de Schroefbrug. Dit kan bijvoorbeeld door middel van een TOFD onderzoek waar de scheuren in de dekplaat worden opgemeten.
- De staat van de hoeklassen zijn onbekend. Een hoeklas met een lasdoorsnede van 3mm is erg klein, volgens een vuistregel en het toetsingsresultaat, zie Bijlage XIX. Nuttige informatie ontstaat als deze lassen op verschillende plekken worden opgemeten.
- Het is onbekend of er een uitsparing zit in de dwarsdrager bij de aansluiting op de trog. Dit heeft invloed op de locatie van de spanningsinterval, zie Figuur 27. Des te lager deze zit, des te hoger de spanning. Zonder uitsparing zijn de spanningen dus hoger, dan met uitsparing.



Figuur 27: Doorgaande langsverstijver met uitsparing (1) en zonder uitsparing (2) (NEN, 2006).

- Schotten zijn conservatief weggelaten in de toetsingen. Het is de vraag of dit een goede keuze is aangezien de schotten een functie hebben in het gedeeltelijk opnemen van de dwarsspanningen. De schotten vinden zich plaats op 1,2 meter van de hartlijn op de derde en vijfde dwarsdragers, zie Figuur 28. Ze zitten dus twee maal in alle troggen. Vervolgonderzoek kan worden uitgevoerd, naar de werking van de spanningsopname van de schotten.



Figuur 28: Locatie van de schotten (in rood). Per trog bevinden zich over de lengte twee schotten (zie dwarsdoorsnede en bovenaanzicht), met een h.o.h. afstand van 7,2 meter. Per trog wisselen de schotten zich af aan de linkerkant en aan de rechterkant op 1,2 meter vanaf de dwarsdrager. (Verbaan, A52381 - Rijdek val).

2. Afbakening

Over de afbakening die is gemaakt onder paragraaf 2.7 kan ook discussie over gevormd worden. De afbakening is gebaseerd op de toetsing uit 2007 samen met een onderbouwing. Ten eerste is er een kans dat er fouten in de berekening zitten, of dat de resultaten niet overeen komen met een huidige toetsing door normenveranderingen. Er is daarom een kans dat de hoofdliggers niet voldoen voor de komende 25 jaar, en alsnog getoetst moeten worden. Daarnaast zijn de dwarsdragers niet getoetst in de vorige berekening en wordt hier ook een kans voor geacht dat deze niet voldoen. In toekomstig onderzoek is het toetsen van de hoofdliggers en dwarsdragers aanbevolen. Ook zal in vervolgonderzoek de balansen getoetst moeten worden.

3. Vrachtwagenbelastingen aannames

In vervolgonderzoek kunnen de vrachtwagens aannames worden verbeterd. De aannames zijn wel te verklaren, maar niet gebaseerd op cijfers in tegenstelling tot de verkeersintensiteit prognose. Dit onderzoek kan worden verbeterd door de vrachtwagentypen, -samenstellingen en rijstrookverdeling te baseren op tellingen. Ook kunnen de vrachtwagensbelastingen worden gemeten door sensoren (net zoals bij de Zeelandbrug) als de vraag daarnaar groot genoeg is.

4. Spanning aanname

In de berekeningen is alleen gerekend met de grootste spanningsinterval per vrachtwagen. Kleinere spanningsintervallen die ontstaan door overige aslasten van de vrachtwagens zijn weggelaten. Dit is aangenomen voor het vereenvoudigen van de vermoeingsberekening. Echter beschikken alle vrachtwagens over meerdere aslasten die wellicht wel invloed hebben op de uitkomst van de toetsingen. Dit kan in vervolgonderzoek worden onderzocht.

5. Dynamische vergrotingsfactor

De dynamische vergrotingsfactor is gebaseerd op de vlakheid van de slijtlaag. Echter verandert de staat van de slijtlaag in de 25 jaar. Daarom kan deze factor in de loop van tijd veranderen. Er kan gediscussieerd worden wat een goede of gemiddelde vlakheid is en hoe deze benaming geïnterpreteerd wordt.

6. Verkeersintensiteit

De verkeersintensiteit is al vele malen betrouwbaarder dan de prognose uit 2007, omdat het gebaseerd is op cijfers uit het verkeersmodel Walcheren. Van 2030 en verder is echter uitgegaan van een verkeersgroei, alhoewel het model aangaf dat door de minimale ruimtelijke ontwikkelingen het kan zijn dat er geen groei plaatsvindt. Dit heeft directe invloed op de vermoeiingslevensduur. Verkeersmetingen zullen uitwijzen of de aanname correct is.

7. Modelkeuzes

In de twee modellen zijn verschillende modelkeuzes gemaakt om tot een model te komen. Dit is in detail uitgelegd, maar elke constructeur kan de keuzes anders interpreteren.

8. Technosoft

Technosoft is een erg makkelijk te gebruiken programma, maar daartegenover heeft het rekenprogramma wel zijn beperkingen. Meerdere onderdelen van dekplaat tot hoofdligger kunnen niet tegelijk worden gemodelleerd, daarvoor is een 3D programma nodig. Daarnaast is de werking van de troggen in dwarsrichting moeilijk te modelleren, omdat een trog door middel van staven gemodelleerd moet worden, waardoor geen ronding mogelijk is. Ook kan de werking van de schotten niet gemodelleerd worden. Daarnaast is het lastig de werking van de hoeklas te modelleren, omdat deze in werkelijkheid maar gedeeltelijk de spanningen opneemt.

5.5 Interpretaties van toetsingsresultaten

Op basis van de toetsingen en gevoeligheidsanalyses kunnen de volgende conclusies worden getrokken als antwoord op het eerste deel van de hoofdvraag:

Voldoet het val van de Schroefbrug in Middelburg aan de huidige norm/wetgeving betreft de constructieve veiligheid?

Het val voldoet niet aan de huidige norm/wetgeving betreft de vermoeiingslevensduur van de hoeklas. Hiervoor is een oplossing nodig om de constructieve veiligheid voor de komende 25 jaar te behouden.

In de Tabel 19 is een overzicht van alle resultaten te zien, van zowel de toetsingen als de gevoeligheidsanalyses. In de tabel is de gebruikte verkeersintensiteit te zien, met daarnaast de veranderde waarde. In elke berekening is altijd maar 1 waarde veranderd, losstaand van de verkeersintensiteit. Hierdoor kan de directe impact van de uitkomst met de veranderde waarde worden vergeleken. In de kolom: "Veranderd t.o.v." staat de berekening die is gebruikt, waarbij één waarde van is veranderd. Bijvoorbeeld in de berekening in rij 2.ii is de trogdikte van 6 naar 8 mm veranderd, waarbij de berekening in rij 1.iv de berekening is waar deze verandering is toegepast.

Ook ziet u een overzicht van de verschillende Bijlagen van elke berekening.

Tabel 19: Overzicht van de uitkomsten van de toetsingen en gevoeligheidsanalyses

Berekening		Verkeers- intensiteit	Nr.	Veranderde waarde	Veranderd t.o.v. *	Unity Check	Bijlage
1) Huidige toetsing	Model 1	1970-2022	1.I.	-	-	0,83	XIX
		1970-2032	1.II.	-	-	1,01	XIX
		1970-2047	1.III.	-	-	1,31	XIX
	Model 2	1970-2022	1.IV.	-	-	13,26	XX
2) Variant 1	Model 2	2022-2072	2.I.	Trogdikte 6 -> 8 mm	1.IV.	16,85	XXI
			2.II.	h.o.h. 600 -> 400 mm	1.IV.	12,61	XXII
			2.III.	Troghoogte 160 -> 200 mm	1.IV.	9,26	XXIII
			2.IV.	Trogbreedte 300 -> 200 mm	1.IV.	10,55	XXIV
			2.V.	Troghoogte 160 -> 200 mm	2.IV.	7,60	XXV
			2.VI.	Dekplaatdikte 12 -> 20 mm	2.V.	0,85	XXV
3) Variant 2	Model 2	1970-2022	3.I.	Hoeklas -> Stompe las	1.IV.	10,52	XXVI
		1970-2047	3.II.	Verkeersintensiteit	3.I.	16,85	XXVII
			3.III.	Dekplaatdikte 12 -> 23 mm	3.II.	0,94	XXVIII
4) Gevoelig- heidsanalyses	Model 1	1970-2022	4.I.	Meewerkende breedte groter	1.I.	0,25	XXX
		1970-2047	4.II.	Verkeersintensiteit	4.I.	0,40	XXX
		1970-2072	4.III.	Verkeersintensiteit	4.I.	0,57	XXX
	Model 2	1970-2047	4.IV.	Meewerkende breedte 0,5 -> 0,3 m	3.III.	4,37	XXXI
			4.V.	Dekplaatdikte 23 -> 32	4.IV.	0,83	XXXI

* = Voor elke stap is maar één waarde veranderd per berekening ten opzichte van een vorige berekening. Deze rij laat het berekeningsnummer zien van de berekening die is gebruikt, waarvan dus 1 waarde is veranderd. Dit is belangrijk om de voorgaande stappen te zien, samen met de impact van elke verandering.

De volgende conclusies worden getrokken uit de resultaten en discussie.

Model 1:

De troggen voldoen op moment van berekenen. Op basis van de gevoeligheidsanalyse voldoen de troggen voor de komende 50 jaar. De meewerkende breedte uit de gevoeligheidsanalyse is realistischer aangezien de spanningen zich spreiden onder de twee naastliggende troggen volgens model 2 in dwarsrichting.

Het resultaat dat de troggen in langsrichting voldoen, komt overeen met de berekening uit 2007. De berekening uit 2007 beschouwt een meewerkende breedte van 1 trog en is berekend met de oude normering. Daarnaast is gerekend met een erg hoge verkeersintensiteit rekende waardoor het resultaat zich wellicht uitbalanceerde.

Model 2:

De hoeklas in de huidige staat van de Schroefbrug voldoet niet. Op basis van de gevoeligheidsanalyse geeft het veranderen van de meewerkende breedte en groot verschil in het toetsingsresultaat. Desalniettemin is te concluderen dat de las niet voldoet, voor nu en de komende 25 jaar.

Voor de toetsing van varianten is voor de meewerkende breedte vervolgonderzoek nodig, naar mate deze input correct is kan door middel van de berekening de juiste dikte worden berekend. Dit onderzoek geeft daarvoor een goede indicatie. Ondanks de gevoeligheid is te concluderen dat een versterkende stalen plaat rond de 8 tot 15 mm de constructie zodanig verstijft dat er meer spanning wordt opgenomen door de dekplaat, waardoor de las voldoet. Des te meer verstijving van de dekplaat, des te meer spanning wordt verspreid, des te groter de meewerkende breedte.

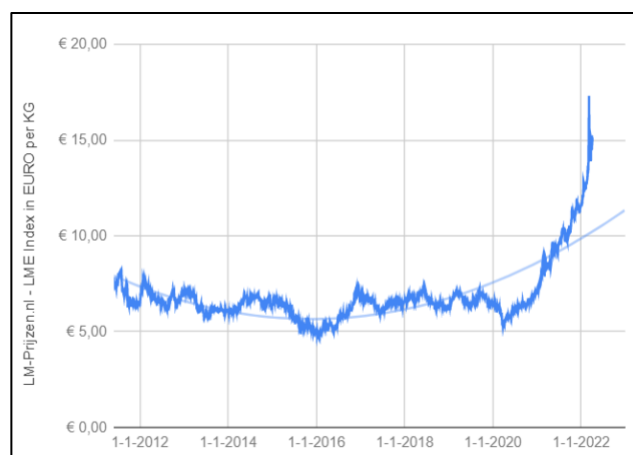
Dat toetsing 2 maatgevend is komt overeen met het feit dat het orthotrope wegdek gevoelig is voor dwarsspanningen.

5.6 Gevoeligheidsanalyse : LCC

In deze gevoeligheidsanalyse is de gevoeligheid van de LCC onderzocht door twee keer één inputswaarde aan te passen. Eerst is het veranderen van de staalprijs onderzocht (1) , daarna het veranderen van de discontovoet (2).

1) De staalprijs in 2022 is gestegen vergeleken met vorige jaren. Dit komt mede door de gevolgen van de Covid-19 pandemie. De economie lag namelijk stil, maar na de pandemie is er een grote vraag ontstaan naar staal over heel de wereld. Zie Figuur 29 voor deze staalprijsstijging.

Zoals te zien is in Figuur 29 ligt de staalprijs in 2022 rond 15 euro per kilo. Stel dat de staalprijsen terugvallen, wat voor invloed heeft dit op de levenscyclus kosten? Daarom is de staalprijs veranderd naar 10 euro per kilo. Dit resulteert in de volgende prijzen.



Figuur 29: Historie van de staalprijs vanaf 2011 tot heden (LME-prijzen, 2022).

Tabel 20: Resultaten van de LCC met veranderde staalprijs, zie Bijlage XXXII.

	Variant 1: Nieuw brugdek	Variant 2: Aangepast brugdek	Variant 3: Gedeeltelijk nieuw brugdek
CAPEX	2,3 miljoen	0,7 miljoen	1,4 miljoen
NPV (LCC)	2,8 miljoen	1,6 miljoen	-3,0 miljoen
EAC (LCC)	65 duizend	-35 duizend	-70 duizend

2) De tweede gevoeligheidsanalyse is het percentage aan discontovoet. Stel dat het percentage, waarmee verwachte kosten en baten in de toekomst worden teruggerekend naar het basisjaar van het project, 5 procent bevat in plaats van 2%. Wat voor invloed heeft dit op de levenscyclus kosten? Zie Tabel 21 voor de resultaten.

Tabel 21: Resultaten van de LCC met veranderde discontovoet, zie Bijlage XXXII.

	Variant 1: Nieuw brugdek	Variant 2: Aangepast brugdek	Variant 3: Gedeeltelijk nieuw brugdek
CAPEX	2,3 miljoen	0,7 miljoen	1,4 miljoen
NPV (LCC)	1,9 miljoen	1,0 miljoen	1,8 miljoen
EAC (LCC)	94 duizend	50 duizend	90 duizend

5.7 Interpretatie van de gevoeligheidsanalyse van de LCC

De uitkomst van de LCC en de gevoeligheidsanalyse bewijzen dat de ranking van de drie varianten hetzelfde blijft bij het veranderen van de staalprijs. Bij variant 1 en 3 wordt erg veel staal gebruikt, omdat een volledig en gedeeltelijk nieuw brugdek gemaakt wordt. Het veranderen van de staalprijs geeft daarom het grootste verschil in prijs bij deze twee varianten. Het veranderen van de staalprijs geeft het kleinste verschil bij het aangepaste brugdek, omdat hier alleen een extra dekplaat wordt toegevoegd.

Het verhogen van de discontovoet geeft een kleinere NPV. Dit is logisch aangezien een hoger discontovoet zorgt voor een groter kortingspercentage. Het veranderen van de discontovoet zorgt voor geen verschil in de ranking, omdat de discontovoet voor alle varianten hetzelfde is.

5.8 Discussie over de variantenstudie

In het kwantitatieve en kwalitatieve deel van de variantenstudie zijn meerdere onzekerheden. De scores zijn namelijk toegekend op basis globale redeneringen. Over de volgende punten kan worden gediscussieerd:

- De varianten zijn gebaseerd uitkomst van de toetsingen, daarom gelden alle eerdergenoemde toetsingsonzekerheden. Ook kunnen er in vervolgonderzoek andere varianten worden meegenomen, die niet zijn bedacht onder de berekeningsmodellen uit dit onderzoek.
- De LCC is globaal opgesteld, dus kan de reële prijs van de varianten afwijken. De staalprijs kan in de toekomst erg veranderen, ook is de discontovoet een aanname.
- De scoretoekenning onder criteria "Hinder" kan anders worden geïnterpreteerd.
- Vervolgonderzoek is nodig naar het aanpassen van de ballasten in verband met ruimtegebrek. De ballast moet aangepast worden voor evenwicht, in verband met de gewichtstoename van het brugdek bij alle drie de varianten.

5.9 Interpretatie van de variantresultaten

Op basis van de opgestelde varianten die door middel van de LCC, gevoeligheidsanalyses en de variantenstudie zijn vergeleken, worden de volgende conclusies getrokken waardoor antwoord is gegeven op het tweede deel van de hoofdvraag (in Hoofdstuk 5.5 is het eerste deel beantwoord):

Wat is de beste oplossing om de constructieve veiligheid van het val te waarborgen voor de komende 25 jaar?

De beste oplossing om de constructieve veiligheid te waarborgen is het aanpassen van het huidige brugdek. Dit komt omdat er duurzaam en kosteffectief gebruik wordt gemaakt van de huidige staat van het brugdek. Het huidige brugdek ondervindt namelijk minimale roestvorming, waardoor kan worden uitgegaan dat het huidige staal nog in goede staat is.

Het brugdek is vermoeiingsgevoelig voor spanningen in dwarsrichting. De indicatieve toetsingen in dwarsrichting bewijzen dat de hoeklas maatgevend is. Daarom is het veranderen van de hoeklas naar een stompe las en het verdikken van de dekplaat genoeg om het brugdek te laten voldoen.

Om deze verandering uit te voeren wordt eerst de dekplaat aangepast, daarna de lassen. Het verstevigen van de dekplaat heeft namelijk een grotere impact op de constructieve veiligheid. Daarnaast is er geen volledige afsluiting nodig. Het brugdek wordt namelijk in drie fases van twee weken aangepast, waardoor er minimaal 1 rijstrook voor beide richtingen vrij is voor verkeer. Eén uitvoeringsfase gaat als volgt: huidige slijtlaag verwijderen, huidige dekplaat repareren met TOFD, nieuwe dekplaat verlijmen en een nieuwe slijtlaag aanbrengen. Het is aanbevolen de TOFD inspectie uit te voeren, aangezien reparaties in de huidige dekplaat na aanpassing niet meer mogelijk zijn. Ook krijgt Provincie Zeeland dan meer informatie over de staat van het huidige brugdek. Ten slotte is de uitvoering van de lijmverbinding erg belangrijk voor de spanningsoverdracht.

Het grootste nadeel van de winnende variant is de hinder die ontstaat bij het aanpassen van de las. Hiervoor dient de brug afgesloten te zijn, omdat het brugdek omhoog moet staan om in praktijk te kunnen lassen. Globaal berekend kan de brug worden aangepast door vijf lassers in een tijdsbestek van ongeveer 50 uur. Dit kan in bijvoorbeeld tien nachten van 5 uur worden uitgevoerd. Vervolgonderzoek is nodig om de hinder te verminderen.

De andere twee varianten: Het geheel vernieuwen van het brugdek en het gedeeltelijk vernieuwen van de troggen en de dekplaat, vallen veel duurder uit dan het aanpassen van het huidige brugdek. Dit komt omdat de aanschafkosten voor het nieuwe materiaal hoog zijn en minder materiaalefficiënt wordt omgaan met het huidige brugdek. Echter scoren de twee varianten beter onder criteria hinder. Door prefabricatie is de hinder ter plekke namelijk gereduceerd, waardoor een volledige afsluiting van twee dagen reëel is. Hierdoor is de totale hinderduur korter dan de winnende variant.

Een knelpunt van de variantenstudie is dat de varianten alleen zijn gebaseerd op de toetsingsmodellen uit dit onderzoek. Daarnaast zijn de dwars- en hoofdliggers niet berekend in dit onderzoek door afbakening. Het is te verwachten dat deze in theorie niet voldoen volgens de toetsing uit 2007, terwijl de huidige staat wellicht nog goed is. Vervolgonderzoek is hiervoor nodig. Ook de balansen zullen om dezelfde reden ter verwachting niet voldoen. De ballasten moeten sowieso worden aangepast ter gevolge van de gewichtstoename van het brugdek. Dus bij vervanging van de balansen is hier ook vervolgonderzoek voor nodig.

6. Conclusie & aanbevelingen

6.1 Conclusie

Dit onderzoek is uitgevoerd om antwoord te krijgen op de volgende hoofdvraag:

Voldoet het val van de Schrobrug in Middelburg aan de huidige norm/wetgeving betreft de constructieve veiligheid en wat is de beste oplossing om deze veiligheid te waarborgen voor de komende 25 jaar?

Uit de resultaten blijkt dat het val in zijn huidige staat niet voldoet aan de huidige norm, op basis van de maatgevende vermoeiingstoetsingen.

Uit het onderzoek is bewezen dat het stalen val in goede staat is, bevestigd volgens de visuele inspecties. Ook zijn andere onderdelen van de Schrobrug fysiek in goede staat. De slijtlaag wordt eind 2022 vervangen.

De huidige toetsing rekent met een realistischere verkeersintensiteit dan is aangenomen in de laatste toetsing uit 2007. Uit de huidige verkeerscijfers blijkt namelijk dat de verkeersgroei sinds de opening van het Dampoort aquaduct erg is verminderd. Sinds toen ondervindt er in vooruitzicht zowat geen verkeersgroei.

In dit onderzoek is gekeken naar de normenveranderingen tussen ontwerp (1970), laatste toetsing (2007) en nu (2022). Hieruit is gebleken dat de normen voor vermoeiing zijn verscherpt. Zo zijn de belastingen groter en de rekenkeuzes uitgebreider.

Een belangrijke bevinding uit de toetsingen is de maatgevende vermoeiingsgevoeligheid van het brugdek in dwarsrichting. De troggen in langsrichting voldoen, anders dan de dekplaat in dwarsrichting. Een verklaring hiervoor is dat de troggen het brugdek verstijven in langsrichting, maar niet in dwarsrichting.

In de gevoeligheidsanalyse van de toetsingen is duidelijk geworden dat de 2D modellen niet overeen komen met de 3D werkelijkheid. Dit komt door de complexiteit in de samenhang van onderdelen in het brugdek. De meewerkende breedte in een 2D model is daarom de lastigste aanname om te definiëren.

De huidige hoeklas is niet vermoeiingssterk genoeg met een unity check van 13, volgens de toetsing van de dekplaat in dwarsrichting. Dit betekent dat de dekplaat te slap is, waardoor de las te veel spanning opneemt of de las zelf te zwak is.

De oplossing hierop is verkregen door drie varianten op te stellen die op basis van de constructieve toetsingen de las laten voldoen. De varianten: nieuw brugdek, aangepast brugdek of gedeeltelijk nieuw brugdijk zijn met de criteria: levensduurverlenging, kosten, hinder en duurzaamheid afgewogen. In bijzonder scoort het aangepaste brugdek de hoogste score onder criteria kosten, maar lager onder criteria hinder. De beste oplossing om de constructieve veiligheid van het brugdek te waarborgen is door de hoeklas naar een stompe las te vervangen en de huidige dekplaat met een extra plaat van 8 tot 15 mm te verdikken.

Vervolgonderzoek is nodig om tot een specifieke oplossing te komen, zie volgende paragraaf.

6.2 Verdere aanbeveling en vervolgonderzoek

Hierbij wordt geadviseerd in te grijpen op het val, gelijktijdig met het vernieuwen van de slijtlaag, zodat het aanpassen van het brugdek gezamenlijk kan worden uitgevoerd. Ook wordt er aanbevolen een TOFD reparatie plaats te laten vinden om de scheuren in de huidige dekplaat te repareren. De slijtlaagvervanging staat gepland voor eind 2022. Aanbevolen is om in korte termijn tot oplossing te komen voordat de slijtlaag wordt vervangen. Mede nu bekend is dat de dekplaat niet voldoet in zijn huidige staat.

Op de vorige pagina is de directe conclusie getrokken uit dit onderzoek om het brugdek aan te passen. Het is aangeraden de volgende vervolgonderzoeken te doen om tot een specifiek ontwerp te komen.

Om de huidige staat te bevestigen wordt voorgedragen de aansluiting tussen trog en dwarsdragers te onderzoeken samen met de maatvoering van de hoeklas. Ook zijn gedetailleerdere verkeersmetingen aan te raden om de vrachtwagentypen, vrachtwagensamenstellingen en de rijstrookverdeling te bepalen. Met deze gegevens kan de huidige toetsing worden verbeterd.

Zoals is beschreven in de conclusie komen de toetsingsmodellen niet overeen met de werkelijkheid. Daarom is geadviseerd een 3D model te maken volgens de eindige elementen methode om het gedrag en de spanningsspreiding van het brugdek te begrijpen.

Ook een toetsing van de balansen en de dwars- en hoofdliggers is aanbevolen, aangezien die toetsingen zijn afgebakend voor dit onderzoek en de huidige theoretische levensduur onbekend is. Bij een negatief resultaat kan het nieuwe brugdek wellicht worden overwogen. Daarnaast zorgt de winnende variant uit dit onderzoek voor een zodanige gewichtstoename dat de balansen moeten worden aangepast, als de balansen niet voldoen is wellicht een vervanging nodig.

In dit onderzoek zijn de varianten opgesteld op basis van de modellen gebruikt voor de toetsingen. Andere mogelijke innovatievere oplossingen (Hoofdstuk 2.3) zijn aanbevolen te overwegen, zoals verschillende vezelversterkende kunststoflagen om de spanningen te verspreiden over de dekplaat. Hierdoor kan worden onderzocht of het aanpassen van de balansen wel nodig is volgens de evenwichtsvergelijking, aangezien deze oplossing dan minder gewicht inneemt van het brugdek.

Aanbevolen is om bovenstaande vervolgonderzoeken eerst te doen om te concluderen of de winnende variant wordt uitgevoerd. Bij uitvoering is aanbevolen te overleggen met aannemers hoe zij van plan zijn de hinder bij het vervangen van de lassen te verminderen.

Met de genoemde aanbevelingen wordt de beste oplossing voor de constructieve veiligheid van het val van de Schroefbrug verkregen.

7. Bronnen & referenties

- Besten, C. d. (2019, juni 27). *Rijkswaterstaat*. Opgehaald van Innorail.nl: <https://innorail.nl/files/RWS%20Innorail%2027%20juni%202019.pdf>
- Blommaert, L. L. (2009). *Beheer en onderhoud van infrasturele werken (kunstwerken en verhardingen) in de provincie Zeeland*. Middelburg: Rekenkamer Zeeland.
- Boer, B. W. (2007). *Schroebrug te Middelburg Restlevensduur beschouwing*. Deventer: Witteveen+Bos.
- Bruggen Lexicon. (sd). *Val*. Opgehaald van Bruggenlexicon.nl: <http://bruggenlexicon.nl/29-v/61-val>
- Bruggenstichting. (2022). *Wat is een brug?* Opgehaald van Bruggenstichting.nl: <https://bruggenstichting.nl/informatief/wat-is-een-brug>
- BSB. (2008). *Aanpassen Ballast Schroefbrug*. Middelburg: Provincie Zeeland.
- CBS. (2022). *Decentrale overheid*. Opgehaald van cbs.nl: <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/begrippen/decentrale-overheid#:~:text=Het%20totaal%20van%20provincies%2C%20gemeenten,begrip%20Sector%20lokale%20overheid%20gehanteerd.>
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2021, Maart 11). *Sterkste omzetsdaling transportsector in 2020 sinds crisis 2009*. Opgehaald van cbs.nl: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/10/sterkste-omzetsdaling-transportsector-in-2020-sinds-crisis-2009>
- CROW. (2019). *CROW-CUR Aanbeveling 124:2019 Constructieve veiligheid bestaande bruggen en viaducten van decentrale overheden*. Opgehaald van crow.nl: <https://www.crow.nl/publicaties/constructieve-veiligheid-bestaande-bruggen-en-viad>
- CROW. (2020). *CROW-CUR Aanbeveling 117:2020 Inspectie en advies civiele kunstwerken*. Opgehaald van crow.nl: <https://www.crow.nl/publicaties/inspectie-en-advies-civiele-kunstwerken>
- D.A. Hordijk, N. S. (2009). *HSB-betonovrlagen op stalen bruggen*. Rijswijk: Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V.
- De Stem. (1970, december 31). Het jar van de fijne neuzen. *De Stem*, p. 3.
- DeBacker. (sd). *Samenvatting Gedetailleerde studie van vermoeiing mbv spreidingslagen*. DeBacker.
- Dieteren, G. (2020). *Bestaande bruggen en NEN 8700*. Centraal overleg bouwconstructies: TNO.
- Dijk, T. v. (2015, februari 9). *Barsten in de brug*. Opgehaald van Delta.tudelft.nl: <https://www.delta.tudelft.nl/article/barsten-de-brug>
- Dilisiz, G. (2013). *Levensduurverlenging van vermoeiingsgevoelige orthotrope stalen brugdekken met Engineered Cementitious Composite (ECC)*. Delft & Amsterdam: TU Delft & Arup bv.
- Encyclo. (sd). *Constructief definities*. Opgehaald van encyclo: <https://www.encyclo.nl/begrip/constructief>

- Ensie. (2016, December 21). *Life Cycle Costing*. Opgehaald van ensie.nl: <https://www.ensie.nl/duurzaam/life-cycle-costing-lcc#:~:text=In%20een%20Life%20Cycle%20Costing,dan%20van%20minder%20duurzame%20oplossingen>.
- Femto. (sd). *Sterkteberekeningen volgens de eindige elementen methode*. Opgehaald van femto.nl: <https://www.femto.nl/stories/sterkteberekeningen/#:~:text=Definitie,geldende%20differentiaalvergelijkingen%20kunnen%20worden%20opgelost>.
- Google. (2022, Februari 9). *Google Maps*. Opgehaald van Google.nl/maps: <https://www.google.nl/maps/place/Schroebrug/@51.4942142,3.6127841,174m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x47c4917a7ef1d93f:0x1632e35258151502!8m2!3d51.4942134!4d3.6133313>.
- H. Hlbers, J. M. (2020). *Ontwikkeling Mobiliteit*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) Centraal Planbureau (CPB).
- Henzel, J. (2022, Maart 29). Eigen foto gemaakt bij visuele inspectie opening Schroebbrug. *Schroebrug Geopend*. Middelburg, Zeeland, Nederland.
- Henzel, J. (2022, Februari). Eigen observatie. Middelburg, Zeeland, Nederland.
- Henzel, J. (Regisseur). (2022). *Leuning Schroebbrug* [Film].
- Henzel, J. (sd). Flowchart Methode. *Flowchart afstudeeronderzoekopzet*. Draw.io, Middelburg.
- Henzel, J. (sd). Scheurenvergelijking 2007 visueel met 2014 TOFD handgeschetst. *Scheurenvergelijking 2007 visueel met 2014 TOFD handgeschetst*. HZ University of Applied Sciences, Middelburg.
- HIM. (2022). *Wat is een slijtlaag?* Opgehaald van him.nl: <https://www.him.nl/vloeren/slijtlaag-weg-brug/>
- Hofman Sliedrecht BV. (2004). *Inspectierapport mechanisch Schroebbrug te Middelburg*. Sliedrecht: Hofman Sliedrecht BV, Hofman, J.
- Infosteel. (2021). *Corrosie van staal*. Opgehaald van infosteel.be: <https://www.infosteel.be/materiaal/techniek-normen/corrosiebescherming-van-staal.html>
- Kwasny, M. (2022). Fysiek overleg. Middelburg, Zeeland, Nederland: Provincie Zeeland.
- LME-prijzen. (2022, 7). *LME Index - Metaalprijsen per Kilo - Inclusief dagprijs, grafieken en historie*. Opgehaald van lme-prijzen.nl: <https://www.lme-prijzen.nl/lme-index/>
- Luiten, T. (2009, September 26). *Schroebrug over het Kanaal, Middelburg*. Opgehaald van PBase: <https://www.pbase.com/thomasluiten/image/148222219>
- M. Huurman, T. M. (2006). *De effecten van hechtlagen op het gedrag van tweelaags verhardingsconstructies op orthotrope stalen brugdekken*. Delft: TU Delft.
- Nebest B.V. (2020). *Mechanische Hoofdinspectie Schroebbrug*. Vianen: Nebest B.V. , Faes, R.F.
- Nederland-bruggenland. (2015, september). *Waarom Nedeland-bruggenland?* Opgehaald van Nederland-bruggenland: <https://www.nederland-bruggenland.nl/>

- Nederlandse Bruggenstichting (NBS). (2006). *Bruggen - Categorieaal onderzoek wederopbouw 1940-1965*. Zeist: Rijksdienst Monumentenzorg.
- Nederlandse Bruggenstichting. (2021). *Ophaalbrug*. Opgehaald van [bruggenstichting.nl](https://bruggenstichting.nl/ophaalbrug): <https://bruggenstichting.nl/ophaalbrug>
- NEN. (1963). *NEN 1008;1963 nl*. Opgehaald van NEN.nl: <https://www.nen.nl/nen-1008-1963-nl-10893>
- NEN. (1988, Maart 1). *NEN 2063:1988*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-2063-1988-nl-5794): <https://www.nen.nl/nen-2063-1988-nl-5794>
- NEN. (1995). *NEN 6788:1995 nl*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-6788-1995-nl-17014): <https://www.nen.nl/nen-6788-1995-nl-17014>
- NEN. (1997). *NEN 6770:1997 nl*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-6770-1997-nl-17237): <https://www.nen.nl/nen-6770-1997-nl-17237>
- NEN. (2001). *NEN 6702:2001 nl*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-6702-2001-nl-66730): <https://www.nen.nl/nen-6702-2001-nl-66730>
- NEN. (2001, oktober 1). *NEN 6786:2001*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-6786-2001-nl-62522): <https://www.nen.nl/nen-6786-2001-nl-62522>
- NEN. (2002, December 1). *NEN-EN 1990:2002 en*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-en-1990-2002-en-37350): <https://www.nen.nl/nen-en-1990-2002-en-37350>
- NEN. (2003). *NEN 6787:2003 nl*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-6787-2003-nl-88158): <https://www.nen.nl/nen-6787-2003-nl-88158>
- NEN. (2006, Januari 1). *NEN-EN 1993-1-9:2006 en*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-en-1993-1-9-2006-en-44905): <https://www.nen.nl/nen-en-1993-1-9-2006-en-44905>
- NEN. (2007, juli 1). *NEN-EN 1993-2:2007*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-en-1993-2-2007-en-46935): <https://www.nen.nl/nen-en-1993-2-2007-en-46935>
- NEN. (2011, December 1). *NEN-EN 1991-2+C1:2011 nl*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-en-1991-2-c1-2011-nl-126878): <https://www.nen.nl/nen-en-1991-2-c1-2011-nl-126878>
- NEN. (2011). *NEN-EN 1993-1-8+C2:2011/NB:2011 nl*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-en-1993-1-8-c2-2011-nb-2011-nl-161665): <https://www.nen.nl/nen-en-1993-1-8-c2-2011-nb-2011-nl-161665>
- NEN. (2020, Augustus 1). *NEN 8700:2011+A1:2020 nl*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-8700-2011-a1-2020-nl-258528): <https://www.nen.nl/nen-8700-2011-a1-2020-nl-258528>
- NEN. (2020, Augustus 1). *NEN 8701:2011+A1:2020 nl*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/nen-8701-2011-a1-2020-nl-258505): <https://www.nen.nl/nen-8701-2011-a1-2020-nl-258505>
- NEN. (2022). *Europese normen constructieve veiligheid*. Opgehaald van NEN.nl: <https://www.nen.nl/bouw/constructieve-veiligheid/eurocodes>
- NEN. (2022). *NEN 2767, dé norm voor conditiemeting*. Opgehaald van [nen.nl](https://www.nen.nl/bouw/beheer-en-onderhoud/conditiemeting): <https://www.nen.nl/bouw/beheer-en-onderhoud/conditiemeting>
- NEN. (2022). *NEN 6706:2007 nl*. Opgehaald van NEN.nl: <https://www.nen.nl/nen-6706-2007-nl-114877>
- NEN. (2022). *NEN 8700-serie: Toetsing van constructieve veiligheid bestaande bouw en verbouw*. Opgehaald van NEN.nl: <https://www.nen.nl/bouw/constructieve-veiligheid/constructieve-veiligheid-bestaande-bouw>

- NEN. (2022). *Overzicht Eurocodes*. Opgehaald van NEN.nl: <https://www.nen.nl/bouw/constructieve-veiligheid/eurocodes/overzicht-eurocodes>
- NIWO. (2020, December 8). *CBS cijfers beroepsgoederenvervoer over de weg*. Opgehaald van niwo.nl: <https://www.niwo.nl/pagina/168/onderwerpen/cijfers-en-grafieken/vervoercijfers.html>
- PBL. (2019). *Klimaat- en Energieverkenning (KEV)*. Opgehaald van pbl.nl: <https://www.pbl.nl/kev>
- Provincie Zeeland. (2019). *Verkeersmodel Walcheren, alleen toegankelijk voor wegbeheerders*. Opgehaald van Analytics.
- Provincie Zeeland. (2020). *Verslag inspectie slijttag fietspaden Schroevenbrug Middelburg*. Middelburg: Provincie Zeeland, Flipse, I.
- Provincie Zeeland. (2022). *Bedieningstijden sluizen en bruggen*. Opgehaald van Zeeland.nl: <https://www.zeeland.nl/actueel/bedieningstijden-sluizen-en-bruggen>
- Provincie Zeeland. (2022). *Over ons*. Opgehaald van Zeeland.nl: <https://www.zeeland.nl/over-ons>
- Provincie Zeeland. (2022). *Wegebeheer*. Opgehaald van Zeeland.nl: <https://www.zeeland.nl/verkeer-en-openbaar-vervoer/wegbeheer>
- PZC. (2008, September 24). Hameistijl staat overeind. *PZC*, p. 23.
- Quadco Engineering. (2022). *Vermoeiing verklarende woordenlijst*. Opgehaald van [quadco.engineering.htm](https://www.quadco.engineering/nl/knowhow/vermoeiing-verklarende-woordenlijst.htm): <https://www.quadco.engineering/nl/knowhow/vermoeiing-verklarende-woordenlijst.htm>
- Quality Inspection Services BV. (2014). *TOFD Onderzoek, rijweg constructie stalen kunstwerken. Inspectie op de geselecteerde trogbeentassen vanaf de bovenzijde van de rijdekplaat aan constructie stalen kunstwerken*. Roosendaal: Quality Inspection Services BV, Bree, D. de.
- Quality Services BV. (2007). *Visuele inspectie van een ophaalbrug te Middelburg*. Bennekom: Quality Services BV, Jonge, F. de.
- R. Rook, R. L. (2017). *Kunststof composiet helpt bij vermoeiing stalen bruggen*. Zwolle: Windesheim Hogeschool.
- Refitech. (2017). *Kunststof composieten*. Opgehaald van [refitech.nl](https://www.refitech.nl/over-refitech/composiet-materiaal): <https://www.refitech.nl/over-refitech/composiet-materiaal>
- Rijkswaterstaat. (2013). *Richtlijnen Beoordeling Kunstwerking*. Versie 1.1: Rijkswaterstaat, TU Delft en TNO.
- Rijkswaterstaat. (2015, 6 15). *Bruggen*. Opgehaald van [Rijkswaterstaat.nl](https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/bruggen): <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/bruggen>
- Schipper, K. M. (2021). *Schroevenbrug Middelburg - Draaipunten Val*. Rotterdam: Royal HaskoningDHV.
- Schot, J. (2002). *Techniek in Nederland in de twintigste eeuw. Deel 5. Transport, communicatie*. Eindhoven: Stichting Historie der Techniek.
- SGS Nederland BV. (2019). *Onderzoek chroom-6 en/of andere zware metalen in verf*. Heeswijk: SGS Nederland BV, Janssen, K.

- Solid Services Engineering. (2020). *Slijtlaag Schroefbrug & Keersluisbrug Provincie Zeeland - Inspectie, onderzoek en macro opname*. Udenhout: Solid Services Engineering, Dekker, J.A.
- Stoorvogel, R. (2020, augustus 16). *De terugkoms van de ophaalbrug*. Opgehaald van Middelburgbandenspoor.nl: <http://middelburgsbandenspoor.nl/de-bouw-van-de-schroefbrug-1969-1970/>
- Stringfixer. (2020, augustus). *Orthotroop dek*. Opgehaald van stringfixer.nl: https://stringfixer.com/nl/Orthotropic_deck
- TNO, B. m. (Regisseur). (2021). *Themasessie Platform Stalen Bruggen nr. 3: Uitwisseling bruggen en ontwerp* [Film].
- TU/e. (2020). *Evaluation of traffic load models for fatigue verification of*. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
- Varenna. (2013, augustus 19). *De transportevolutie in Europa (1790-1920)*. Opgehaald van Kunst-en-cultuur.infonu.nl: <https://kunst-en-cultuur.infonu.nl/geschiedenis/103910-de-transportrevolutie-in-europa-1790-1920.html>
- Verbaan, A. (sd). A 52357 - Overzicht ophaalbrug. *Ophaalbrug over het Kanaal door Wacherten te Middelburg*. Rijkswaterstaat directie bruggen, Middelburg.
- Verbaan, A. (sd). A52366 - Val. *Ophaalbrug over Kanaal door Walcheren te Middelburg*. Rijkswaterstaat directie bruggen, Middelburg.
- Verbaan, A. (sd). A52368 - Val hoofdliggers en dwarsdragers. *Ophaalbrug over Kanaal door Walcheren te Middelburg*. Rijkswatertaat directie bruggen, Middelburg.
- Verbaan, A. (sd). A52381 - Rijdek val. *Ophaalbrug over Kanaal door Walcheren te Middelburg*. Rijkswaterstaat directie bruggen, Middelburg.
- Vries, N. S. (2016). *NEN 8700 nader belicht: Toelichting op norm voor constructieve veiligheid bestaande bouwconstructies*. Delft: NEN.
- Waterkaart Live. (2021). *De bruggen & Sluizen van Nederland*. Opgehaald van Waterkaart.net: <https://waterkaart.net/gids/brug-en-sluistijden.php>
- Zeeland, O. (Regisseur). (2022). *Trugkieke - Middelburg 1970* [Film].

Bijlage I : Bruggen

Een brug is een vaste of beweegbare verbinding voor het verkeer, tussen twee punten die gescheiden zijn door een rivier, kanaal, kloof, dal, weg, spoorweg of een ander obstakel. (Bruggenstichting, 2022) Nederland is het land met de meeste bruggen per vierkante kilometer. Er zijn bruggen in allerlei soorten en maten. Ophaalbruggen, draaibruggen, spoorbruggen, hefbruggen, sluisbruggen, vaste bruggen en viaducten. Bruggen spelen verschillende grote rollen in onze samenleving zoals: transport, economie, geschiedenis, cultuur, recreatie en toerisme, literatuur, techniek en innovatie (Nederland-bruggenland, 2015).

Op de waterkaart zijn alle vaste en beweegbare bruggen te zien. Op het kaartje rechts kunt u meer dan 1500 beweegbare bruggen tellen, met daarnaast 2000 sluizen. Op hun website is er nog meer data beschikbaar over alle bruggen in Nederland (Waterkaart Live, 2021).

De meeste bruggen in Nederland zijn gebouwd in de jaren 60 en 70 en worden ontworpen met een lange levensduur van ongeveer 50 tot 100 jaar, zodat over een lange periode zo min mogelijk onderhoud nodig is (Rijkswaterstaat, 2015).

Bruggen na de oorlog

Direct na de tweede wereldoorlog wilde Nederland zijn economie samen met de vernielde infrastructuur herstellen. Vóór de oorlog was het materiaal goedkoop en makkelijk te verkrijgen. Na de oorlog was er een schaarste in materiaal, waardoor de constructeurs werden gedwongen zo efficiënt mogelijk materiaal te gebruiken. Daarbovenop, stegen de arbeidskosten harder dan de materiaalprijzen. Daardoor verhoogde de druk op fabricatie, montage en installatie (Nederlandse Bruggenstichting (NBS), 2006).

Tot 1965 werden berekeningen handmatig uitgevoerd, waardoor elk onderdeel op slechts één functie werd berekend. Na 1965 gaf de computer de mogelijkheid om meerdere onderdelen op meerdere functies te berekenen. Hierdoor kon materiaalefficiëntie gerealiseerd worden (Nederlandse Bruggenstichting (NBS), 2006).

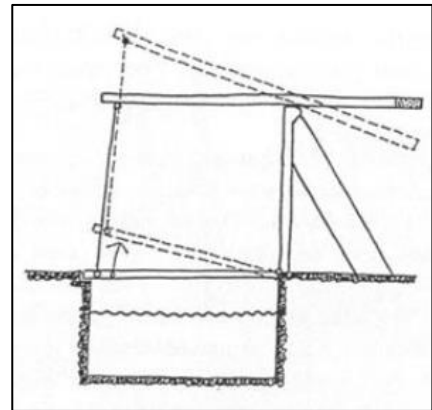
Door bovenstaande ontwikkelingen werd er in de jaren 60 en 70 dus minder materiaal gebruikt als ooit tevoren. Nu wetende dat dit vaak meer onderhoud en een kortere levensduur inhoudt. Mede ook door de groeiende verkeersintensiteit (Nederlandse Bruggenstichting (NBS), 2006).



Figuur 30: Alle beweegbare bruggen en sluizen in Nederland. Vaste bruggen kunnen ook gevonden worden op de site van Waterkaart (Waterkaart

Bijlage II : Brugonderdelen

Een ophaalbrug is een beweegbare brug waarvan het rijdek aan één zijde scharnierend kan draaien en aan de andere zijde vast zit met een ketting aan de balans, om het dek omhoog te tillen. Aan de achterzijde van het balans zit een ballast, waardoor er evenwicht wordt gerealiseerd in elke houding van de brug. In rust doet de ballast weinig, maar bij opening zorgt het evenwicht ervoor dat de brug met een relatief kleine kracht kan worden geopend en gesloten. Bij kleinere bruggen ligt de ballastkist aan de achterkant tussen de twee balansen. Bij grote bruggen zit de twee ballasten aan de achterkant van elke balans (Nederlandse Bruggenstichting, 2021).



Figuur 31: Schematische weergave van ophaalbrug (Nederlandse Bruggenstichting 2021)

Ophaalbruggen zijn het meest gebruikt in Nederland, vergeleken met andere typen. Ze zijn het meest geschikt voor kleinere overspanningen. De bruggen rusten door hun eigen gewicht en kunnen door de stabiliteit van de ballast gemakkelijk omhoog. De grootste belasting tijdens het bewegen wordt veroorzaakt door de wind. Ook zijn er verschillende belastingen tijdens het vertragen en versnellen van de brugbewegingen (Nederlandse Bruggenstichting, 2021).

Een ophaalbrug bestaat over het algemeen uit de volgende onderdelen, van boven naar onder (Nederlandse Bruggenstichting, 2021):

- Balans, met contragewicht/ballast.
- Hameipoort of twee lossen hameistijlen
- Trekkabel of tandheugel
- Hangstang/pijp
- Val: beweegbare weggedeelte
- Aandrijvingskelder

Nu de onderdelen over het algemeen zijn beschreven, wordt er nu verdiept in de onderdelen van de Schroefbrug. De Schroefbrug ziet er als volgt uit.

Hier een algemene beschrijving van de werking van de Schroefbrug en zijn onderdelen. Bijkomende technische cijfers vindt u in het Programma van Eisen.

De Schroefbrug is een stalen ophaalbrug met twee hameistijlen en balanspriemen. Aan de achterkant van de balanspriemen zijn er twee ballastkisten per balans. De aandrijving is elektromechanisch via twee rechte heugeltrekstangen, die leiden naar de machinekelder. De fundering van de brug bestaat uit betonnen palen. De brug heeft een overspanning van 22,8 meter. Het wegdek bestaat uit 2 x 2 rijstroken voor gemotoriseerd verkeer met aan beide zijden een tweerichtingsfietspad. Tussen motor verkeer en fietsers zit een fysieke scheiding. De verlichting voor het verkeer bevindt zich aan de balanspriemen en er zijn twee lichtmasten. De doorvaartopening is 20 meter (Schipper, 2021).

Alle benamingen van de beschikbare tekeningen vindt u hier:

- A43598 – Belastingen op onderbouw
- A52357 – Overzicht ophaalbrug
- A52359 – Ankertekening
- A52366 – Val
- A52367 – Voetpaden en consoles
- A52368 – Val hoofdliggers en dwarsdragers
- A52379 – Evenwichtsvergelijking
- A52381 – Rijdek val
- A52382 – Afvoerpijpen en dichtingsluiken bij consoles
- A52397 – Draaipunt val
- A52398 – Draaipunt val. Gelaste stoelen

De tabel met alle onderdelen, materialen en functies is gebaseerd op alle beschikbare tekeningen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen hoofd- en subonderdelen.

Tabel 22: Onderdelen Schroefbrug. Uitgezocht uit welk materiaal het onderdeel bestaat. Wat zijn functie is. En overige maatvoering om de grootte van de brug te omschrijven (Verbaan, A 52357 - Overzicht ophaalbrug) (Schipper, 2021).

Hoofdonderdeel	Subonderdeel	Materiaal	Functie	Maatvoering
Balansen		Staal Fe52 – D3	Hefboom voor evenwicht tussen ballast en pijp.	Lengte = 28350 mm 23351 kg / arm
	Contragewicht / ballastblokken	Staal fe52 – D3 Gevuld met:	Stabiliseren van balans voor verminderen van benodigde kracht.	Tot 133276 kg 4 ballastblokken 2 per balans
	Brugverlichting	-	Zicht verbeteren door meer licht.	4 lampen / balans
Hameistijlen		Staal fe52 – D3	Basis voor alle onderdelen van de brug.	h.o.h = 20,8 m Hoogte = 15,0 m
Heugelstang			Omhoogtrekken en omlaag leggen van brugdek.	
Hangstang/pijp			Vasthouden brugdek met balans.	177,8 x 177,8 x 9,5 Koker
Brugdek/Val		Staal fe52 – D3	Verkeersdek voor fietsers en motor voertuigen	Tot 110680 kg 22,4 m x 19,0 m Dekhelling 1:60
	Slijtlaag		Bescherming dek en verspreiden van verkeerslasten.	Dikte = 18 mm
	Stalen orthotroop dek met troggen	Staal fe52 – D3	Opnemen van verkeerslasten om door te geven aan de dwarsliggers. Samen met de rest van het brugdek is het erg stabiel.	24 troggen h.o.h. = 600mm Rijwegplaatdikte = 12 mm Fietsplaatdikte = 8 mm

	Dwarsliggers	Staal fe52 – D3	Opnemen van krachten van het dek. Doorgeven aan hoofdliggers. Realiseren van stabiliteit van het brugdek.	7 stuks h.o.h = 3600 mm
	Hoofdliggers	Staal fe52 – D3		2 stuks Overspanning = 22,8 m
	Leuning			
Draaipunten			Zorgen dat brug kan bewegen waar nodig is bij ophalen en dichtvallen.	
	Hamei/balans	Staal fe52 – D3		
	Balans/hangstang	Staal fe52 – D3		
	Hangstang/val	Staal fe52 – D3		
	Hamei/heugelstang	Staal fe52 – D3		
	Heugelstang / val	Staal fe52 – D3		
	Fundering / val	Staal fe52 – D3		
Bedieningshuis (onbemand)			Optie om ooit nog te gebruiken, echter ouderwets en oud. Brug wordt bediend vanuit Nautische Centrale in Vlissingen.	Bedieningshuis is gelegen tussen Schroefbrug en De Loper.
Machinekelder			Plek voor de elektromechanische aandrijving van de brug. Makkelijk te inspecteren en onderhouden in de kelder.	Machine kelder zit gelegen beneden de weg en brug aan de zijde van de twee hameistijlen.

Bijlage III : Geschiedenis

De Schroefbrug is in 1970 gebouwd en in hetzelfde jaar op 19 december geopend. Het oorspronkelijke doel was om een extra verbinding te creëren tussen het centrum en Middelburg-Zuid. De brug ging zorgen voor een betere groei in Middelburg-Zuid en het einde aan de splitsing tussen de twee zijdes van het Kanaal door Walcheren. De Schroefbrug is in 1970 de grootste klapbrug die Rijkswaterstaat ooit in Nederland bouwde (Stoorvogel, 2020).



Figuur 32: Najaar 1970, onderdelen werden ter schip aangevoerd en daarna geïnstalleerd (Zeeland, 2022).

De vorm van de Schroefbrug verwijst zich naar een oudere ophaalbrug, die functioneerde tot 1868. De brug werd alleen geopend om de stad vrij te houden van indringers. Aan het einde van de 19^e eeuw, bij de bouw van de spoorlijn en het Kanaal door Walcheren werd de brug afgebroken. De Schroefbrug is destijds ontworpen door ingenieursbureau Witteveen+Bos. De Sloebrug in Vlissingen is ook door hen ontworpen en lijkt daarom erg op de Schroefbrug (Stoorvogel, 2020).

Middelburg komt in het bezit van een tweede kanaalbrug: de grootste klapbrug welke de Rijkswaterstaat ooit in Nederland bouwde. Op dezelfde dag dat minister Bakker de brug opende, gaf hij vele kilometers autosnelweg (van de Sloedam tot aan Kapelle-Biezelinge) voor het verkeer vrij.

Figuur 33: De openstelling van de Schroefbrug viel samen met het openen van de tweede rijstrook van de A58.

Bij de opening van de Schroefbrug stonden veel mensen aandachtig te kijken. De eerste 3.000 Middelburgers die over de brug gingen kregen een herinneringssticker. Daarnaast viel de opening van de Schroefbrug samen met die van het overdekt zwembad Poelendaele en de opening van de tweede rijbaan van de A58, zie figuur links (De Stem, 1970).

Na de aanleg van de Schroefbrug waren er plannen over de aanleg van nog een brug over Kanaal door Walcheren ter hoogte van Havendijk. Deze brug zou aangelegd worden, omdat er destijds rekening werd gehouden met het toenemende verkeer. Zestig jaar na deze plannen, is het Dampoort-aquaduct geopend op deze locatie. Een brug zou namelijk te veel (Stoorvogel, 2020).

In 2008 zijn de fietsrijstroken van de Schroefbrug verbreed en is er een voetgangersbrug bijgekomen genaamd: De Loper. Hierdoor kan het verkeer vlotter over de brug, omdat de voetgangers niet meer over de Schroefbrug lopen en er meer ruimte beschikbaar werd gemaakt voor het overige verkeer. Het uiterlijk van de voetgangersbrug is identiek aan die van de Schroefbrug (Stoorvogel, 2020).

Nu worden alle bruggen en sluizen bij de Nautische Centrale in Vlissingen bediend. All bruggen van noord naar zuid heten de bruggen:

Arnebrug, Stationsbrug, Schroefbrug, Draaibrugpad, Sloebrug, Keersluisbrug, en de (nieuwe) Dokbrug. De Schroefbrug gaat dagelijks open op elk uur vanaf: - .17 en - .47. Tijdens werkdagen is er geen opening van 06.57 tot 08.47, waardoor het motorrijtuigverkeer zich in de spits vlot over de brug kan verplaatsen. Daarnaast is de brug ongeveer 5 tot 8 minuten open per keer (Provincie Zeeland, 2022).

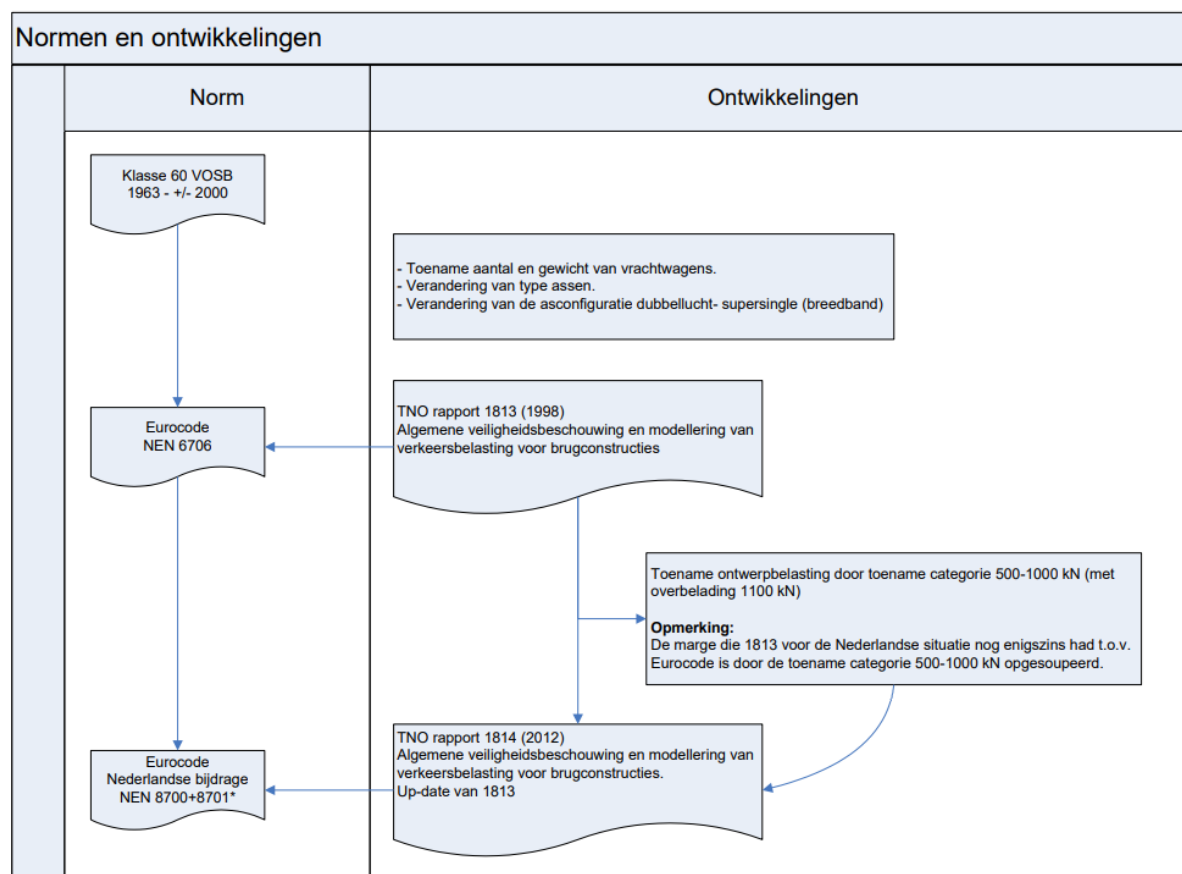


Figuur 34: Identieke hameistijl van voetgangersbrug wordt geplaatst (PZC, 2008).

Bijlage IV : Normenontwikkeling

Ontwikkelingen

De normen die in Nederland bestaan worden actief bijgewerkt op de laatste ontwikkelingen, zie figuur hieronder, met daaronder omtrent de uitleg.



* Voor bestaande constructies zijn met de belastingen van de Eurocode maar met verlaging van het veiligheidsniveau en reductie op werkelijk gebruik de volgende normen ontwikkeld:

NEN 8700: Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouwen en afkeuren- Grondslagen

NEN 8701: Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouwen en afkeuren- Belastingen

Figuur 35: De veranderde norm van 1963 tot nu, met zijn ontwikkelingen voor stalen bruggen (Besten, 2019).

De eerste norm begon met Voorschriften voor het Ontwerpen van Stalen Bruggen, VOSB 1938. Toen waren de klassen anders ingedeeld dan in de norm daarna: VOSB 1963 (Dieteren, 2020). VOSB 1963 norm is na verschillende ontwikkelingen aangepast (NEN, 1963). Niet alleen door: toename vrachtwagens, verandering type assen, verandering van de banden, maar ook door de verfijning van modellen en berekeningen door het uitvinden van de computer. Toen is NEN 6706 uitgekomen, voor Technische Grondslagen voor Bouwconstructies (TGB) verkeersbelastingen op bruggen. Door de jaren heen met meerdere aanpassingen en verschillende publicaties (NEN, 2022). Sinds de ingang van Bouwbesluit 2012 zijn alle TGB-normen vervangen door de Eurocodes (NEN, 2022).

Eurocodes

Alle lidstaten van Europa toetsen en ontwerpen constructies op constructieve veiligheid met de Eurocodes. De Europese lidstaten hebben hiervoor hun nationale normen ingetrokken. In Nederland waren dit de TGB-normen. Deze zijn vervangen door de Eurocodes sinds de ingang van Bouwbesluit

2012. Wel zijn nationale normen, zoals de TGB, opgenomen in de Nationale Bijlage, waardoor ieder land zijn eigen veiligheidsniveau kan regelen. In Nederland is dit veiligheidsniveau zowat ongewijzigd door de Nationale Bijlage (NEN, 2022).

De Eurocodes bestaan uit 10 onderdelen, waarvan twee basis en acht materiaal gebonden, zoals te zien is in onderstaand figuur.

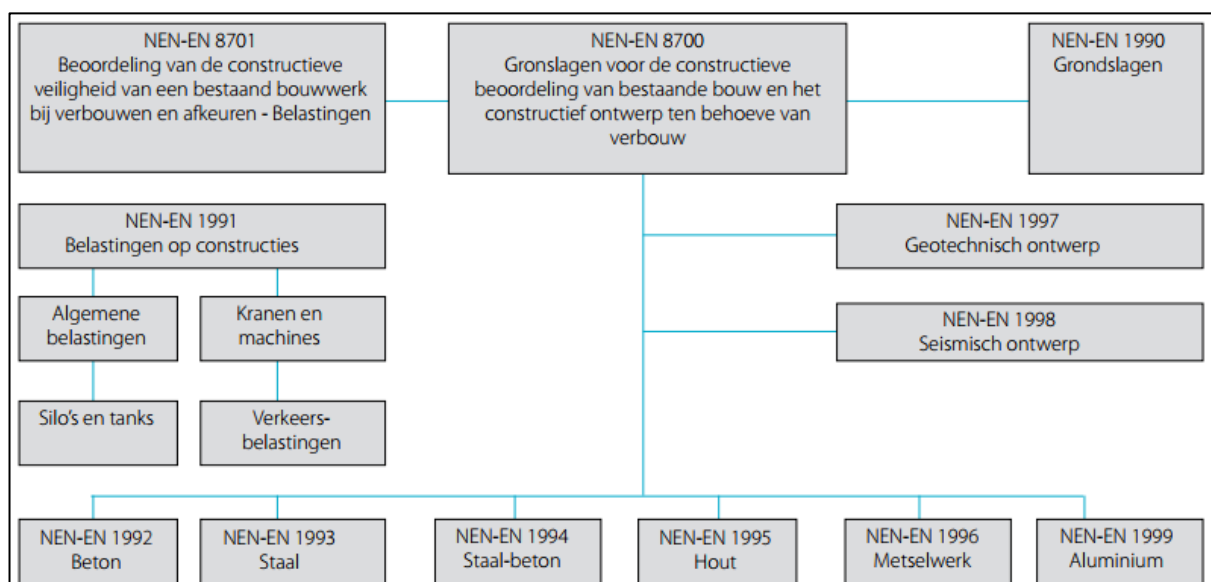
Basis	Materiaalgebonden
- NEN-EN 1990: Eurocode 0, Grondslag van het constructief ontwerp - NEN-EN 1991: Eurocode 1, Belastingen op constructies	- NEN-EN 1992: Eurocode 2, Ontwerp en berekening van betonconstructies - NEN-EN 1993: Eurocode 3, Ontwerp en berekening van staalconstructies - NEN-EN 1994: Eurocode 4, Ontwerp en berekening van staal- betonconstructies - NEN-EN 1995: Eurocode 5, Ontwerp en berekening van houtconstructies - NEN-EN 1996: Eurocode 6, Ontwerp en berekening van steenconstructies - NEN-EN 1997: Eurocode 7, Geotechnisch ontwerp - NEN-EN 1998: Eurocode 8, Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - NEN-EN 1999: Eurocode 9, Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies

Figuur 36: Overzicht Eurocodes, onderverdeeld in twee sectoren (NEN, 2022).

Daarnaast zijn de Eurocodes verdeeld tussen ‘Eurocodes voor gebouwen’ en ‘Eurocodes voor bruggen’. Elk van deze series bestaan uit meerdere onderdelen en Nationale Bijlagen (NEN, 2022).

NEN 8700

De NEN8700-serie bestaat voor het toetsen van de constructieve veiligheid van bestaande gebouwen, terwijl de Eurocodes bestaan voor het ontwerp en toetsen van de nieuwbouw. De NEN-serie nummers komen overeen met de Eurocode. Zo is de NEN-8700 in samenhang met Eurocode 0, en de NEN 8701 in samenhang met Eurocode 1. Daarnaast komt het cijfer ook overeen met het onderwerp, zoals te zien in bovenstaand figuur. NEN 8700 betreft de grondslag, NEN 8701 betreft de belastingen, en NEN 8702 betreft betonconstructies. Daarnaast wordt de Eurocode als basis gebruikt voor alle NEN normen, zoals te zien is in onderstaand figuur. Ten slotte is NEN 8702 de laatste norm dat van deze serie is uitgebracht. Dus NEN 8703 betreft staalconstructies is nog niet openbaar (NEN, 2022).



Figuur 37: Samengang NEN 8700, NEN 8701 en de Eurocode (Vries, 2016)

ROK & RBK

In 2004 is de eerste aanzet voor het toetsen van bestaande constructies uitgebracht door Rijkswaterstaat in samenwerking met TNO en TU Delft, genaamd: Richtlijn Beoordelen Bestaande Kunstwerken (RBBK). Na Bouwbesluit 2012 is de regelgeving echter aangepast. Toen zijn Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken (ROK) en Richtlijnen Beoordeling Kunstwerken (RBK) opgesteld. Deze

richtlijnen dienen met eerder benoemde normen te worden gebruikt. Net zoals de NEN-8700 serie zijn de RBK versies nog in ontwikkeling. Versie RBK 1.1 is de laatst beschikbare versie (Rijkswaterstaat, 2013).

NEN 2767

De NEN 2767-serie is voor het meten van de fysieke kwaliteit van bouw- en installatiedelen van gebouwen en/of infrastructuur. Met deze norm kan de huidige staat in kaart worden gebracht, waardoor inzicht wordt verkregen in de risico's en kosten op korte en lange termijn. Het vormt de basis van onderhoudsplannen. De norm bestaat uit vier onderdelen: NEN 2767-1 Conditiemeting gebouwde omgeving, NEN 2767-2 Conditiemeting van bouw- en installatiedelen – Gebrekenlijsten (gebouwen), NEN 2767-4 webapplicatie Conditiemeting van bouw- en installatiedelen – Gebrekenlijsten (infra), en tot slot NPR 4768 Conditiemeting – Definities en foto's van decompositie en gebreken infra (NEN, 2022).

CUR 117

CROW-CUR Aanbeveling 117:2020 is geen norm, maar wordt als voorschrift of als eis in contracten tussen opdrachtgever en opdrachtnemer gebruikt. De aanbeveling bevat een overzichtelijk handboek voor inspectie en advies voor civiele kunstwerken. Het zorgt voor: bewustwording van noodzakelijk beheer en onderhoud, houvast tussen opdrachtgever en opdrachtnemer, efficiënt omgaan van materieel, waarborgen van de kwaliteit en veiligheid, definiëren van onderzoek categorieën voor nader onderzoek, en zorg dragen aan veiligheid voor inspecties en adviezen (CROW, 2020).

CUR 124

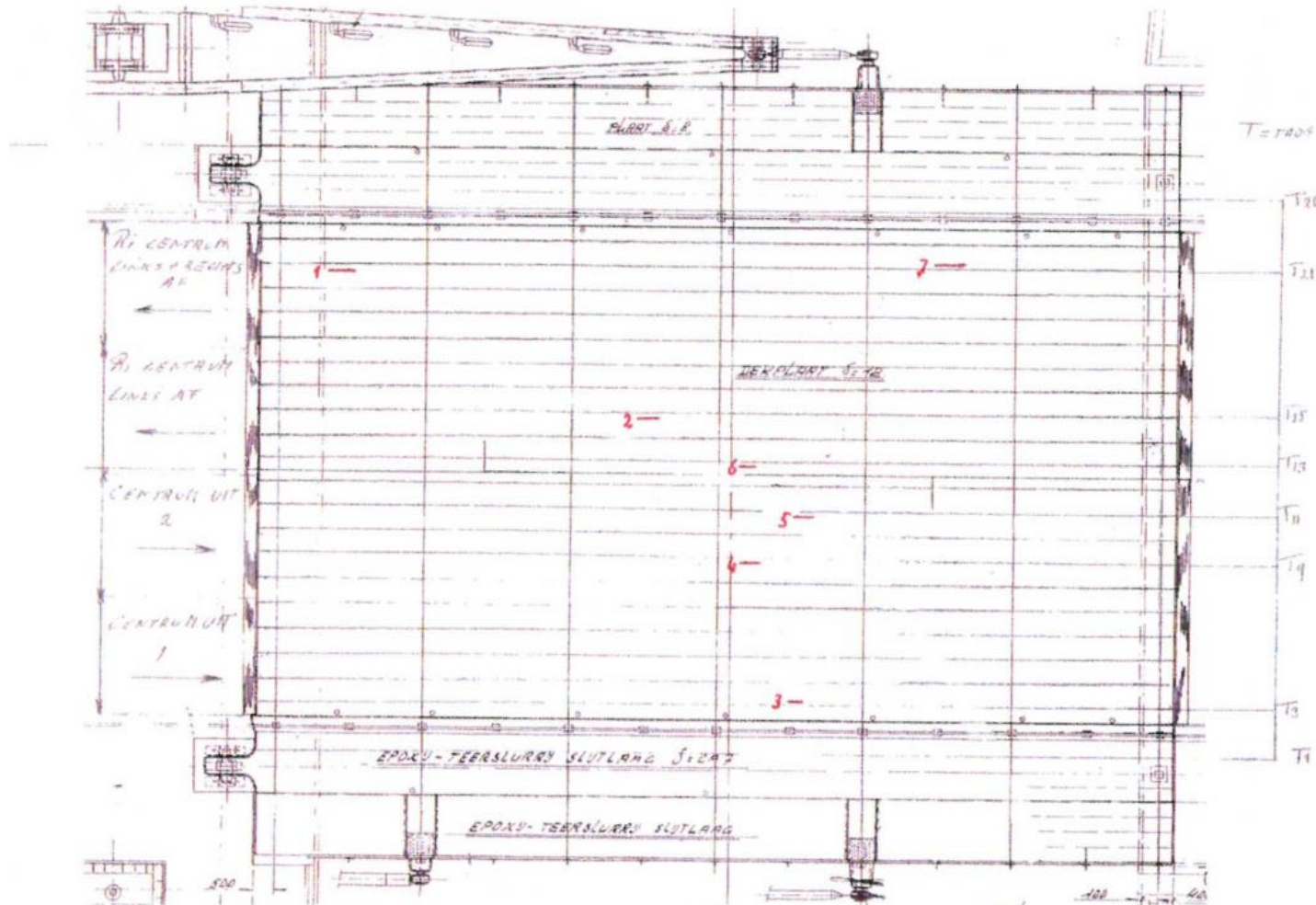
CROW-CUR Aanbeveling 124:2019 biedt richtlijnen en procedures die helpen bij het beoordelen van de constructieve veiligheid van bestaande bruggen en viaducten van decentrale overheden. De aanbeveling richt zich op de veiligheidsfilosofie, het beoordelingsproces, verkeersbelastingen, materiaaleigenschappen, en het constructief gedrag (CROW, 2019).

Bijlage V : Inspectie fotorapportage 2004



Figuur 38: Roestvorming in de slijtlaag van het voetpad (Hofman Sliedrecht BV, 2004)

Bijlage VI : Inspectie restlevensduurbeschuwing 2007



Figuur 39: Scheurvorming onderkant van het val bij troggen. Visuele inspectie 2006 door Quality Service BV. Zie Tabel volgende bladzijde (Quality Services BV, 2007).

Tussen dwarsdrager	Schade nr.	Scheur / Indicatie	Lengte in mm.	Trog nr. - Oost West	Afstand dwarsdrager tot begin (scheur)indicatie in mm
1-2	1	Scheur	210	T 21 - West	Dw.dr. 1 - 1700
2-3	Geen schades waargenomen				
3-4	2	Indicatie	150	T15 - West	Dw.dr. 3 - 1800
4-5	3	Scheur	50	T3 - Oost	Dw.dr. 4 - 1800
	4	Indicatie	50	T9 - West	Dw.dr. 4 - 700
	5	Indicatie	50	T11 - West	Dw.dr. 4 - 1800
	6	Indicatie	50	T13 - West	Dw.dr. 4 - 600
5-6	7	Scheur	400	T21 - Oost	Dw.dr. 5 - 1800
6-7	Geen schades waargenomen				
Zij bijlage 1 foto 1 en 2 voor resp. schade 1 en 2					
Dwarsdrager 1= eindhar (draaipuntskant)					
Dwarsdrager 7 = voorhar					
Afstand dwarsdragers onderling 3600 mm					

Figuur 40: Gevonden scheuren aan de onderkant van de rijvloer. Scheur = waargenomen scheur tussen trogbeen en dekplaat. Indicatie = waargenomen lijnvormige aantekening in de las tussen trogbeen en dekplaat (Quality Services BV, 2007).

Trog nr.	Trog been		Rijstrook	Lengte
	Oost	West		
1-3	Geen scheurvorming		-	-
4	Ja	Ja	Centrum uit 1	Gehele overspanning
5-8	Geen scheurvorming		-	-
9	Ja	Ja	Centrum uit 2	Gehele overspanning
10-11	Geen scheurvorming		-	-
12	Ja	Nee	Centrum uit 2	Gehele overspanning
13-17	Geen scheurvorming		-	-
18	Ja	Ja	Richting centrum links + rechtsaf	Gehele overspanning
19	Geen scheurvorming		-	-
20	Ja	Nee	Richting centrum links + rechtsaf	Gehele overspanning
21	Ja	Ja	Richting centrum links + rechtsaf	Gehele overspanning
22-24	Geen scheurvorming		-	-
Algemene opmerking: De epoxy-slijtlaag vertoont op de plaatsen waar scheurvorming is waargenomen geen roestsporen.				
Overspanningslengte = 22,80 m				

Figuur 42: Gevonden scheuren aan de bovenkant van de rijvloer (Quality Services BV, 2007).

- Onderkant rijvloer visueel inspecteren in december 2007, indien scheurvorming toeneemt deze repareren.
- Slijtlaag t.p.v. rijsporen vernieuwen en vóóordat de slijtlaag wordt vervangen een TOFD-onderzoek (Time of Flight Diffraction) uitvoeren om het (aanstaande) vermoeiingsprobleem in kaart te brengen.
- Elke drie maanden vanaf nu de slijtlaag inspecteren en in geval van visueel zichtbare scheurvorming repareren.

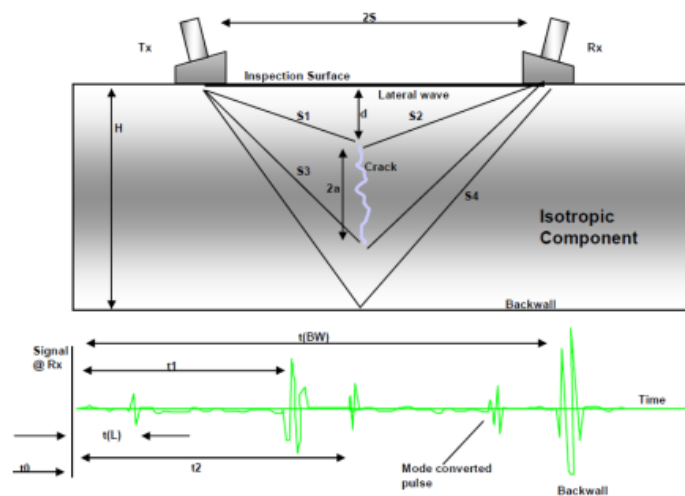
Figuur 43: Advies voor de scheurvorming op de orthotrope rijvloer incl. epoxy-slijtlaag van QSBV (Quality Services BV, 2007).

Bijlage VII : Slijtlaag 2014

Bijlage Time-of-Flight Diffraction werking

Bij TOFD wordt gebruikt gemaakt van verschillende ultrasoon tasters die het geluid van elkaar detecteren. Door gebruik te maken van een driehoek berekening wordt vervolgens de scheurdiepte bepaald. De gevoeligheid van de TOFD- techniek is zo groot dat hiermee scheuren vanaf enkele millimeters diepte gedetecteerd kunnen worden.

Quality Inspection Services maakt gebruik van ISONIC TOFD apparatuur en TOFD scanners waarin de ultrasone tasters gemonteerd zijn. Hiermee kunnen de tasters over het te inspecteren oppervlak worden bewogen. De longitudinale geluidgolf wordt uitgezonden door transducer Tx indien deze onvolkomenheden raakt, dan wordt de geluidgolf gereflecteerd op het scheuroppervlak en gedefractieerd aan de scheuruiteinden. (detail in Figuur 3)



Figuur 3: A-scan, ToFD

Door de tasters gelijktijdig aan beide zijde van de las in de lengte richting van de las te bewegen kan de lengte van de scheur worden bepaald. De signalen die gegenereerd worden door en met de TOFD apparatuur, worden live weergegeven op het beeldscherm.

De signalen worden geanalyseerd en opgeslagen door de software voor eventuele latere analyse of her-evaluatie.

Figuur 44: TOFD Beschrijving van Quality Inspection Services (Quality Inspection Services BV, 2014).

Bijlage Resultaten TOFD

SCHROEBRUG te Middelburg								
Trog Been nr.	Area size [mm]	File naam [*.Scn]	Schade nummer	Start Indicatie [mm]	Lengte Indicatie [mm]	Diepte Indicatie [mm]	Hoogte Indicatie [mm]	Resultaat
3 Noord	0-10400	Trog3NA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog3NB	---	---	---	---	---	---
3 Zuid	0-10400	Trog3SA	TO-001	14837	20	9,8	2,2	---
	10400-22400	Trog3SB	---	---	---	---	---	---
4 Noord	0-10400	Trog4NA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog4NB	---	---	---	---	---	---
4 Zuid	0-10400	Trog4SA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog4SB	---	---	---	---	---	---
5 Noord	0-10400	Trog5NA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog5NB	---	---	---	---	---	---
5 Zuid	0-10400	Trog5SA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog5SB	---	---	---	---	---	---
6 Noord	0-10400	Trog6NA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog6NB	---	---	---	---	---	---
6 Zuid	0-10400	Trog6SA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog6SB	---	---	---	---	---	---
7Noord	0-10400	Trog7NA	TO-002	6894	65	5,9	5,6	Reparatie
	10400-22400	Trog7NB	TO-003	14412	97	5,5	6,3	Reparatie
7 Zuid	0-10400	Trog7SA	TO-004	14824	49	9	2,5	---
	10400-22400	Trog7SB	---	---	---	---	---	---
8 Noord	0-10400	Trog8NA	TO-005	342	55	9,3	2,5	---
			TO-006	8857	29	9,7	2,4	---
	10400-22400	Trog8NB	TO-007	10860	15	9,3	2,1	---
8 Zuid	0-10400	Trog8SA	TO-008	2781	17	7,8	4	Reparatie
	10400-22400	Trog8SB	---	---	---	---	---	---
9 Noord	0-10400	Trog9NA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog9NB	---	---	---	---	---	---
9 Zuid	0-10400	Trog9SA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog9SB	---	---	---	---	---	---
10 Noord	0-10400	Trog10NA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog10NB	---	---	---	---	---	---
10 Zuid	0-10400	Trog10SA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog10SB	---	---	---	---	---	---
11 Noord	0-10400	Trog11NA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog11NB	---	---	---	---	---	---
11 Zuid	0-10400	Trog11SA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog11SB	---	---	---	---	---	---
12 Noord	0-10400	Trog12NA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog12NB	---	---	---	---	---	---
12 Zuid	0-10400	Trog12SA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog12SB	---	---	---	---	---	---
13 Noord	0-10400	Trog13NA	TO-009	10077	27	9,4	2,6	---
	10400-22400	Trog13NB	---	---	---	---	---	---
13 Zuid	0-10400	Trog13SA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog13SB	---	---	---	---	---	---

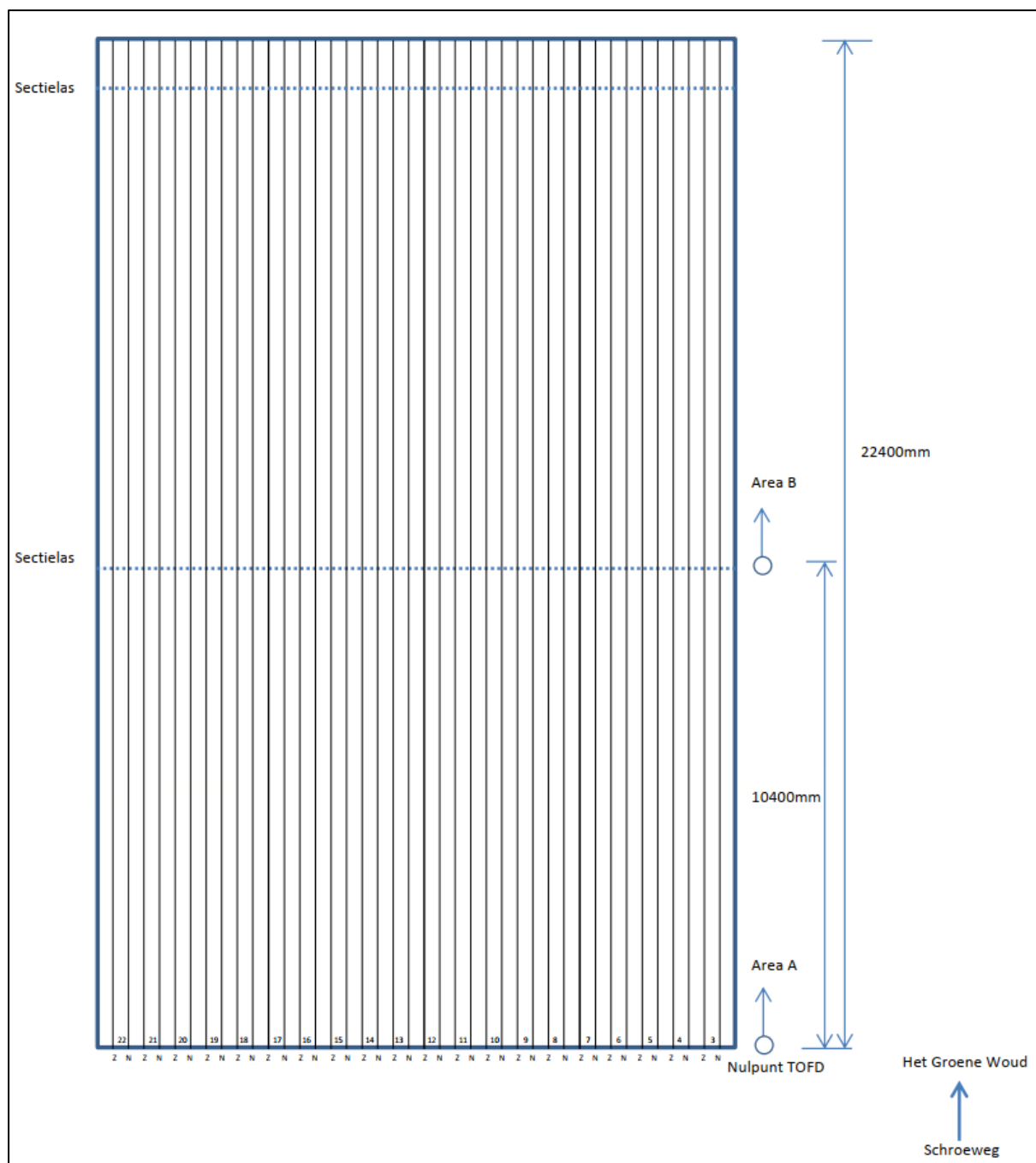
Figuur 45: Resultaten TOFD onderzoek (Quality Inspection Services BV, 2014).

14 Noord	0-10400	Trog14NA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog14NB	---	---	---	---	---	---
14 Zuid	0-10400	Trog14SA	TO-010	5777	27	9,4	2,5	---
	10400-22400	Trog14SB	TO-011	12679	26	9,4	2,5	---
15 Noord	0-10400	Trog15NA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog15NB	TO-012	10720	34	8,8	3,2	Reparatie
			TO-013	20159	23	9,2	2,7	---
15 Zuid	0-10400	Trog15SA						
	10400-22400	Trog15SB	TO-014	11080	30	9,3	2,5	---
16 Noord	0-10400	Trog16NA	---	---	---	---	---	---
	10400-22400	Trog16NB	---	---	---	---	---	---
16 Zuid	0-22400	Trog16S	TO-015	20222	62	8,9	2,9	---
17 Noord	0-22400	Trog17N	TO-016	17888	32	9,4	2,6	---
17 Zuid	0-22400	Trog17S	---	---	---	---	---	---
18 Noord	0-22400	Trog18N	TO-017	982	23	9,4	2,2	---
			TO-018	7422	40	9,6	2,2	---
			TO-019	7515	16	9,4	2,4	---
			TO-020	21855	36	9,7	2,4	---
18 Zuid	0-22400	Trog18S	TO-021	8375	41	9	3,2	Reparatie
19 Noord	0-22400	Trog19N	TO-022	287	30	9,6	2,2	---
			TO-023	14605	34	9,9	2,2	---
19 Zuid	0-22400	Trog19S	---	---	---	---	---	---
20 Noord	0-22400	Trog20N	TO-024	10767	31	10	2,2	---
20 Zuid	0-22400	Trog20S	---	---	---	---	---	---
21 Noord	0-22400	Trog21N	TO-025	10212	14	9	2,9	---
			TO-026	16994	28	9,4	2,6	---
			TO-027	1572	34	9,6	2,3	---
21 Zuid	0-22400	Trog21S	---	---	---	---	---	---
22 Noord	0-22400	Trog22N	---	---	---	---	---	---
22 Zuid	0-22400	Trog22S	TO-028	1275	25	9,3	2,3	---
			TO-029	2652	20	9,3	2,1	---
			TO-030	2784	38	8,7	3,3	Reparatie
			TO-031	4377	26	11,6	2,4	---
			TO-032	4504	27	9,3	2,3	---

Tabel 5: Resultaten TOFD onderzoek Na reparatie

SCHROEBRUG te Middelburg								
Trog Been nr.	Area size [mm]	File naam [*.Scn]	Schade nummer	Start Indicatie [mm]	Lengte Indicatie [mm]	Diepte Indicatie [mm]	Hoogte Indicatie [mm]	Resultaat
7N	A	TO-002Rep	TO-002	0	0	0		Na reparatie Akkoord
7N	B	TO-003Rep	TO-003	0	0	0		Na reparatie Akkoord
8N	A	TO-008Rep	TO-008	0	0	0		Na reparatie Akkoord
15N	B	TO-12Rep	TO-012	34	8,9	3,1		Na rep. Niet akkoord
15N	B	TO-12Rep2	TO-012	0	0	0		Na 2de rep. Akkoord
18S	A	TO-021Rep	TO-021	50	10,1	1,9		Na reparatie Akkoord
22S	A	TO-030Rep	TO-030	0	0	0		Na reparatie Akkoord

Figuur 46: Resultaten TOFD onderzoek (Quality Inspection Services BV, 2014).



Figuur 47: Inspectie positie op brugdek (Quality Inspection Services BV, 2014).

ACTIVITEIT	DUUR	DAG	PERIODE	BRUGOPENINGEN	BRUGOPENINGEN VENSTER	BRUGOPENINGEN
FASE 1 MIDDEN WEEK 39			WEEK 1			
WEGVERSMALLING AANBRENGEN	1	MA	06.00 - 07.00	VOOR 08.00 uur		
WERKVAK AFSLUITEN	1	MA	07.00 - 08.00			
DEK STRALEN	16	MA	08.00 - 24.00		TUSSEN 12.00 UUR EN 14.00 UUR	NA 24.00 uur
DEK TOFD 6 TROGGEN	4	DI	08.00 - 12.00	VOOR 08.00 uur		
DEK REPAREREN	8	DI	12.00 - 22.00		TUSSEN 12.00 UUR EN 14.00 UUR	NA 22.00 uur
DEK REPAREREN	4	WOE	08.00 - 12.00	VOOR 08.00 uur		
DEK TOFD REPARATIE	2	WOE	12.00 - 14.00			
DEK NASTRALEN EN PRIMEREN	6	WOE	14.00 - 20.00		TUSSEN 12.00 UUR EN 14.00 UUR	NA 20.00 uur
SLIJTAAAG AANBRENGEN	8	DON	08.00 - 16.00		TUSSEN 6.00 UUR EN 8.00 UUR	
SLIJTLAAG AANBRENGEN EN INSTROOIEN	8	VR	08.00 - 16.00		TUSSEN 6.00 UUR EN 8.00 UUR	
DEK VEGEN	2	ZA	08.00 - 10.00			
BELIJNING AANBRENGEN	2	ZA	10.00 - 12.00			NA 12.00 uur
WERKVAK VRIJMAKEN	1	ZA	12.00 - 13.00			
WEGVERSMALLING VERWIJDEREN	1	ZA	13.00 - 14.00			
FASE 2 NOORD WEEK 40			WEEK 2			
WEGVERSMALLING AANBRENGEN	1	MA	06.00 - 07.00	VOOR 08.00 uur		
WERKVAK AFSLUITEN	1	MA	07.00 - 08.00			
DEK STRALEN	16	MA	08.00 - 24.00		TUSSEN 12.00 UUR EN 14.00 UUR	NA 24.00 uur
DEK TOFD 7 TROGGEN	5	DI	08.00 - 13.00	VOOR 08.00 uur		
DEK REPAREREN	8	DI	13.00 - 22.00		TUSSEN 12.00 UUR EN 14.00 UUR	NA 22.00 uur
DEK REPAREREN	4	WOE	08.00 - 12.00	VOOR 08.00 uur		
DEK TOFD REPARATIE	2	WOE	12.00 - 14.00			
DEK NASTRALEN EN PRIMEREN	6	WOE	14.00 - 20.00		TUSSEN 12.00 UUR EN 14.00 UUR	NA 20.00 uur
SLIJTAAAG AANBRENGEN	8	DON	08.00 - 16.00		TUSSEN 6.00 UUR EN 8.00 UUR	
SLIJTLAAG AANBRENGEN EN INSTROOIEN	8	VR	08.00 - 16.00		TUSSEN 6.00 UUR EN 8.00 UUR	
DEK VEGEN	2	ZA	08.00 - 10.00			
BELIJNING AANBRENGEN	2	ZA	10.00 - 12.00			NA 12.00 uur
WERKVAK VRIJMAKEN	1	ZA	12.00 - 13.00			
WEGVERSMALLING VERWIJDEREN	1	ZA	13.00 - 14.00			
FASE 3 ZUID WEEK 41			WEEK 3			
WEGVERSMALLING AANBRENGEN	1	MA	06.00 - 07.00	VOOR 08.00 uur		
WERKVAK AFSLUITEN	1	MA	07.00 - 08.00			
DEK STRALEN	16	MA	08.00 - 24.00		TUSSEN 12.00 UUR EN 14.00 UUR	NA 24.00 uur
DEK TOFD 7 TROGGEN	5	DI	08.00 - 13.00	VOOR 08.00 uur		
DEK REPAREREN	8	DI	13.00 - 22.00		TUSSEN 12.00 UUR EN 14.00 UUR	NA 22.00 uur
DEK REPAREREN	4	WOE	08.00 - 12.00	VOOR 08.00 uur		
DEK TOFD REPARATIE	2	WOE	12.00 - 14.00			
DEK NASTRALEN EN PRIMEREN	6	WOE	14.00 - 20.00		TUSSEN 12.00 UUR EN 14.00 UUR	NA 20.00 uur
SLIJTAAAG AANBRENGEN	8	DON	08.00 - 16.00		TUSSEN 6.00 UUR EN 8.00 UUR	
SLIJTLAAG AANBRENGEN EN INSTROOIEN	8	VR	08.00 - 16.00		TUSSEN 6.00 UUR EN 8.00 UUR	
DEK VEGEN	2	ZA	08.00 - 10.00			
BELIJNING AANBRENGEN	2	ZA	10.00 - 12.00			NA 12.00 uur
WERKVAK VRIJMAKEN	1	ZA	12.00 - 13.00			
WEGVERSMALLING VERWIJDEREN	1	ZA	13.00 - 14.00			
BRUG BALANCEREN TIJDELIJK	2		22.00 - 24.00 NACHTELIJKE AFSLUITING			
BRUG BALANCEREN DEFINITIEF	8		22.00 - 06.00 NACHTELIJKE AFSLUITING			

Figuur 48: Planning van vervangen slijtlaag wegdek Schroefbrug, inspecteren en repareren brugdek (Quality Inspection Services BV, 2014).



Figuur 49: Enkele foto's van de installatie van de nieuwe slijtlaag

Bijlage VIII : Chroom-6 2019

Onderdeel/ Locatie	Meting / monster nr.	Kleur toplaag	Primerlaag (kleur)	Te onderscheiden lagen ¹	Ondergrond/ substraat	Onderzoeksresultaat (kwalitatief)				
						HXRf				Chroom-6 aan- getroffen?
						Chroom (Cr)	Lood (Pb)	Zink (Zn)	Koper (Cu)	
Hameistijl	1	Rood	-	1	Metaal	++	++	+	-	Nee
Hameistijl midden	2	Rood	Geel	2	Metaal	+	++	++	-	Nee
Tandheugel midden	3	Grijs	Wit	2	Metaal	+	++	++	+	Nee
Leuning midden	4	Rood	Geel	2	Metaal	-	++	++	-	n.v.t
Hameistijl Zuidzijde	5	Rood	Geel	2	Metaal	-	+	++	-	n.v.t

Tabel 1 Samenvatting meetresultaten

Legenda: 1) : Deze waarneming is indicatief, bij de insnjding visueel beoordeeld met ongewapende oog.
 - : Concentratie < detectiegrens
 + : Lage concentratie aangetoond
 ++ : Matig hoge concentratie aangetoond
 +++ : Hoge concentratie aangetoond

Figuur 51: Resultaten Chroom-6 onderzoek. Géén chroom-6 aangetroffen (SGS Nederland BV, 2019).

Metingnummer:	1	
Object	Schroebrug Middelburg	
Onderdeel/ locatie	Hameistijl	
Chroom-6 aangetroffen?	Nee	

Metingnummer:	2	
Object	Schroebrug Middelburg	
Onderdeel/ locatie	Hameistijl midden	
Chroom-6 aangetroffen?	Nee	

Metingnummer:	3	
Object	Schroebrug Middelburg	
Onderdeel/ locatie	Tandheugel middel	
Chroom-6 aangetroffen?	Nee	

Metingnummer:	4	
Object	Schroebrug Middelburg	
Onderdeel/ locatie	Leuning midden	
Chroom-6 aangetroffen?	n.v.t	

Metingnummer:	5	
Object	Schroebrug Middelburg	
Onderdeel/ locatie	Hameistijl Zuidzijde	
Chroom-6 aangetroffen?	n.v.t	

Figuur 50: Foto's meetlocaties chroom-6 onderzoek (SGS Nederland BV, 2019).

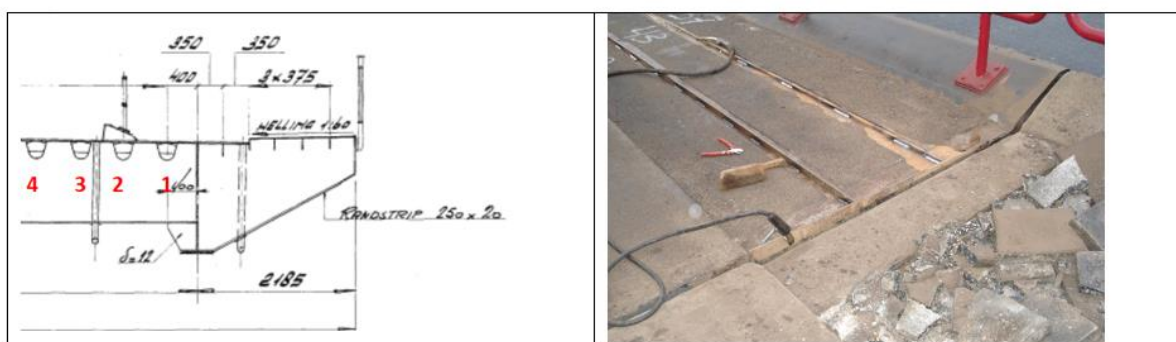
Bijlage IX : Slijtlaag fietspaden 2020

Onderstaande foto's geven het schadebeeld weer:



Figuur 53: Conclusie Schadebeeld voor betonnen aanbrug & Stalen brugdek (Provincie Zeeland, 2020).

De slijtlagen stammen uit 2008. In 2008 is naast de Schroefbrug een stalen voetgangersbrug 'De Loper' aangebracht. Daarmee kwam het oorspronkelijke voetpad op de Schroefbrug te vervallen. Op de onderstaande dwarsdoorsnede en foto is te zien dat het voetpad enkele centimeters hoger lag dan het fietspad, maar dat dit geëgaliseerd is t.b.v. een fietspad in twee richtingen. De lasnaden ter plaatse van de stalen verhogingsstrippen tekenen zich momenteel duidelijk af in de slijtlaag.



Figuur 52: Slijtlagen komen uit 2008, wanneer het voetpad is veranderd naar een geëgaliseerd fietspad in twee richtingen (Provincie Zeeland, 2020).

Rapportage schadebeeld (Provincie Zeeland, 2020)

Zuidelijke fietspad, betonnen aanbrug westzijde



Scheurvorming/naad met breedte van max 3 cm op de aansluiting van de slijtlaag op de betonnen delen en het asfalt.



Onvlakheid circa 2 cm.

Zuidelijke fietspad, stalen dek



Scheurvorming en roestuitbloei ter plaatse van de verbindingsbalk met de hang- en heugelstang.



Scheurbreedte is maximaal circa 0,8 mm. Via de scheuren kan vocht toetreden tot de onderliggende stalen dekplaat. Dat dit proces al wat langer aan de gang is, uit zich in de roestuitbloei en iets omhoog gedrukte, licht hol klinkende slijtlaagdelen.



Slijtlaag onthecht/afgedrukt van de stalen ondergrond door corrosie.



Slijtlaag onthecht/afgedrukt van de stalen ondergrond door corrosie.

Zuidelijke fietspad, betonnen aanbrug oostzijde



Aansluiting circa 2 cm verzakt.



Scheurvorming/naad met breedte van max 1 cm op de aansluiting van de slijtlaag op de betonnen delen en het asfalt.



Rafeling in de asfaltlaag t.o.v. de oversteekplaats.

Noordelijk fietspad, betonnen aanbrug westzijde



Aansluiting circa 1 cm verzakt. Ter plaatse van de rode pijl is een bult ontstaan in het asfalt, die hol klinkt. Ter plaatse van de zwarte pijl zit een naad/onvlakheid, zie in detail nevenstaande foto.



Onvlakheid circa 1 cm. Onthecht/afgesprongen deel van circa 15x5 cm op de aansluiting van de slijtlaag op de betonnen delen en het asfalt (rood omcirkeld).

Noordelijke fietspad, stalen dek



Scheurvorming en roestuitbloei ter plaatse van de verbindingbalk met de hang- en heugelstang. Het instrooigranulaat is grotendeels verdwenen en er zitten diverse scheurtjes in de slijtlaag.



Scheurbreedte is maximaal circa 0,5 mm. Via de scheuren kan vocht toetreden tot de onderliggende stalen dekplaat. Dat dit proces al wat langer aan de gang is, uit zich in de roestuitbloei en iets omhoog gedrukte, licht hol klinkende slijtlaagdelen.



Roestuitbloei ter plaatse van de stalen ondersteuningsbalkjes van het in 2008 verhoogde rijbaangedeelte. Op nevenstaande foto is duidelijk te zien dat er kleine scheurtjes aanwezig zijn in de slijtlaag.



Scheurtjes in de slijtlaag circa 0,2 mm breed.



Onthechting slijtlaag t.p.v. scheurtje in slijtlaag. Instrooigranulaat is grotendeels verdwenen.



Aansluiting op de betonnen aanbrug vertoont weinig schade.

Noordelijk fietspad, betonnen aanbrug oostzijde



Lichte onvlakheid op de aansluiting van de slijtlaag op de betonnen delen en het asfalt. Ter plaatse van de rode pijl is de breedte van de naad circa 5 cm, zie nevenstaande foto.



Breedte scheur/naad is circa 5 cm.



Lichte rafeling en scheurvorming in het asfalt van het aansluitende fietspad.

Conclusie en advies

De slijtlaag heeft zijn beste tijd gehad.

Op de betonnen aanbruggen is circa 30% van de slijtlaag verdwenen door slijtage en is het onderliggende beton zichtbaar. Op diverse aansluitingen met het asfalt is onvlakheid en scheurvorming/naden ontstaan. De onvlakheid is maximaal 3 cm en voldoet daarmee nog (net) aan de norm. De naden zijn maximaal 5 cm breed en vormen daarmee een gevaar voor m.n. fietsers met dunne fietsbanden. Het advies is deze op korte termijn te herstellen. Het vervangen van de slijtlaag zelf is niet urgent, maar het is wel aan te bevelen dit volgend jaar uit te laten voeren. Door langer te wachten, gaat het onderliggende beton eroderen en kunnen chlorides makkelijker het beton indringen. Ook laat het toonbeeld momenteel te wensen over.

De slijtlaag op het stalen dek vertoont diverse scheurtjes en plekken waar de slijtlaag onthecht door roestvorming. Plaatselijk en m.n. op het noordelijke fietspad, is het instrooigranulaat versleten. Omdat verdere roestvorming van de dekplaat ongewenst is, adviseren wij de slijtlaag volgend jaar te vervangen. De wegmarkering is op zowel het betonnen als het stalen dek deels verdwenen. Het vervangen ervan kan gelijktijdig plaatsvinden met het vervangen van de slijtlagen.

Het combineren van de werkzaamheden levert diverse voordelen op, o.a.:

- Eenmalige hinder voor de weggebruikers.
- Inkoopvoordeel bij de aanbesteding van het werk en inzet van verkeersmaatregelen.

Bijlage X : Hoofdinspectie 2020

Nr.		Constatering	Opmerking/Advies	Uitvoeringsperiode	Foto	Foto
1	STAAL CONSTRUCTIE					
1.1	Brugval	Het brugval vertoont lokaal forse corrosie. De HWA-afvoer loost direct op de staalconstructie, hetgeen een zeer onwenselijke situatie is.	HWA-afvoer verlengen. Brug conserveren conform regulier onderhoudsintervallen	3-5 jaar		
5.2	Slijtlaag	Kale plekken in de slijtlaag op het fietspad en de hoofdrijbaan.	Ten tijde van de inspectie werd een nader onderzoek naar de slijtlaag uitgevoerd. Geadviseerd wordt de uitkomsten van dit onderzoek te volgen.	0-2 jaar		

Figuur 54: Resultaten Mechanische Hoofdinspectie (Nebest B.V., 2020)

Bijlage XI : Nader Onderzoek Slijtlaag 2020

De algehele staat van de slijtlaag is door Solid Services globaal beoordeeld gezien de tijdsdruk en heropening van de bruggen de volgende ochtend. De focus ligt voornamelijk bij de aanwezige slechte plekken en zichtbare verminderde instrooimiddelen over het geheel.

De hechting van de, voor het oog, nog intacte slijtlaag met de ondergrond en de onderlinge lagen zijn ter plaatse getoetst conform ISO 4624. Hiertoe zijn op zeven locaties in boringen gemaakt in de vloer tot op het staal met een holle diamantboor Ø 50 mm, driemaal bij de Schroefbrug alleen op de rijweg en viermaal bij de Keersluisbrug waarvan twee op het fietspad zijn genomen. Op de afwerkvloer is een metalen trekplaat verlijmd waarna de hechtsterkte is bepaald door middel van een hechtsterkte meter. De hechtsterkte zal als indicatief worden beschouwd, indien men de hechtsterkte binnen 24 uur afneemt. De hechtsterkte zal lager uitvallen omdat de lijm nog niet volledig is uitgehard en kan een vertekend beeld geven.

Op willekeurige plekken, zijn drie monsters genomen ten behoeve van een microscopisch onderzoek, voor de bepaling van de opbouw van de lagen.

Verder is door middel van visueel onderzoek, gekeken naar eventuele verontreinigingen, zoals vocht, en/of andere zaken, die nadelig van invloed zouden kunnen zijn op de hechting van de slijtlaag.

Daarna is op basis van bevindingen gekeken of een logische verklaring kan worden gevonden voor de ontstane schade.

Figuur 55: Uitvoering slijtlaag Inspectie van Solid Services Engineering (Solid Services Engineering, 2020)



Afbeelding 4.1: Beschadiging ZW zijde



Afbeelding 4.2: Ruimte tussen instrooimiddel



Afbeelding 4.3: Ruimte tussen instrooimiddel



Afbeelding 4.4: Ruimte tussen instrooimiddel

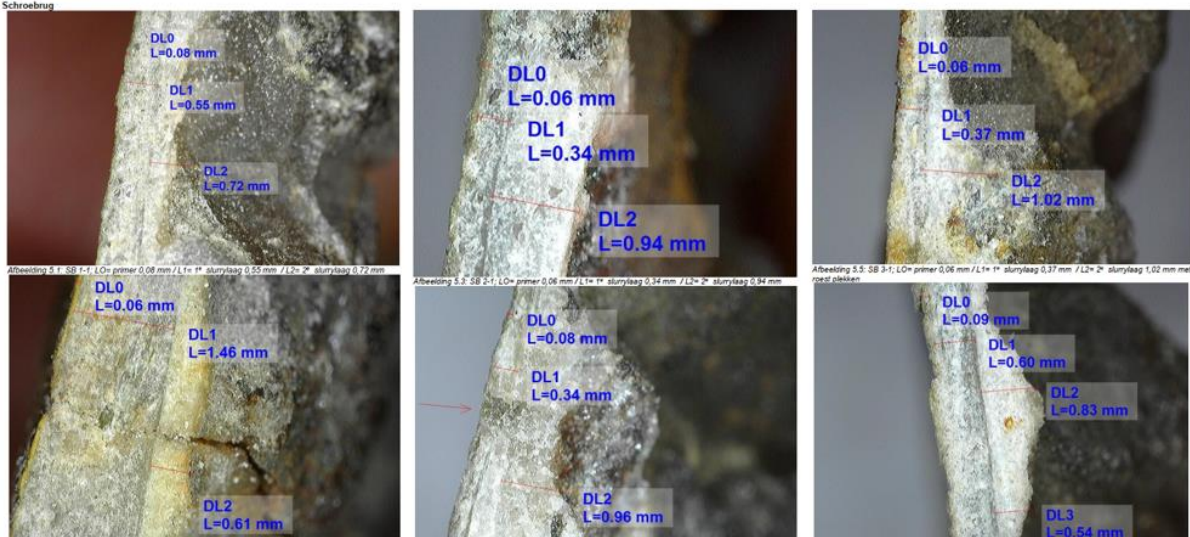


Afbeelding 4.5: Schade plek, ruimte tussen instrooimiddel te groot en roest vorming



Afbeelding 4.6: : Schade plek, ruimte tussen instrooimiddel te groot en roestvorming

Figuur 56: Visuele waarnemingen Schroebrug wegdek (Solid Services Engineering, 2020)



- Bij afbeelding 5.2 en 5.5 zijn roestplekken en doorbloeding zichtbaar. Dit zijn de geelbruine vlekken die zichtbaar zijn.
- Bij afbeelding 5.2 en 5.4 is een breuklijn te zien vanaf de toplaag tot op het staal oppervlak.
- Bij afbeelding 5.10 en 5.11 is een extra tussenlaag duidelijk zichtbaar. Dit wordt meestal gedaan als er een technisch fout is opgetreden en wordt hersteld. Helaas is niet te zien waarom een correctie is uitgevoerd.

Mogelijke oorzaken:

- Bij de 1^e slurry laag staat de structuur open en is poreus, niet voldoende afgedekt voordat de volgende laag wordt aangebracht om de hechting te bevorderen.
- Om zichtbare defecten te camoufleren zodat dit niet opvalt tijdens inspectie.
- Onvoldoende vulstof gebruikt tijdens mengen

Figuur 58: Micro-metingen op drie boorlocaties

Schroebrug

Monster	Primerlaag	1 ^e Slurry laag	2 ^e Slurry laag	Opbouw	Opmerking
1-1	0,08 mm	0,55 mm	0,72 mm	1,35 mm	Te dun
1-2	0,06 mm	0,48 mm	0,40 mm	0,94 mm	Te dun
1-3	0,06 mm	1,46 mm	0,61 mm	2,13 mm	Te dun
Gemiddeld	0,07 mm	0,83 mm	0,58 mm	1,47 mm	Zie 5.5

Monster	Primerlaag	1 ^e Slurry laag	2 ^e Slurry laag	Opbouw	Opmerking
2-1	0,06 mm	0,34 mm	0,94 mm	1,34 mm	Te dun
2-2	0,06 mm	0,54 mm	1,19 mm	1,79 mm	Te dun
2-3	0,08 mm	0,34 mm	0,96 mm	1,38 mm	Te dun
Gemiddeld	0,07 mm	0,41 mm	1,03 mm	1,50 mm	Zie 5.5

Monster	Primerlaag	1 ^e Slurry laag	2 ^e Slurry laag	Opbouw	Opmerking
3-1	0,06 mm	0,37 mm	1,02 mm	1,45 mm	Te dun
3-2	0,09 mm	0,60 mm	0,83 mm	1,52 mm	Te dun
3-3	0,09 mm	0,41 mm	0,62 mm	1,12 mm	Te dun
Gemiddeld	0,08 mm	0,46 mm	0,82 mm	1,36 mm	Zie 5.5

Figuur 57: Meetresultaten van de micro-metingen

Om te bepalen of de slijtlagen voldoen aan de gestelde eisen conform opgave wordt een Nulmeting gebruikt als referentie. De Nulmeting wordt verkregen door de hoeveelheid gebruikte materiaal in massa Kg/M2 per opgave te vertalen naar een gemiddelde laagdikte in mm, die overeenkomt met het soortelijke gewicht en massa van het materiaal samengesteld. Hieruit bepalen wij met hoeveel procent de slijtlagen in dikte afwijkt.

Volgens opgave van de fabrikant en opdrachtbevestiging zoals omschreven in verslag inspectie slijtlaag 4 basculebruggen KdW d.d. 07-08-2020 opgesteld door de heer Imco Flipse dient de opbouw van de slijtlaag als volgt te zijn:

Nulmeting			
	Massa kg/m ²	Laagdikte mm	Gemiddeld mm
1 ^e Laag	3	Ca 1,8 tot 2,1	1,95
2 ^e Laag	4	Ca 2,2 tot 2,5	2,35
Gem	7	Ca 4,0 tot 4,6	4,30

Tabel 5.5: Nulmeting

Indicatie totale laagdikte opbouw van het systeem indien correct aangebracht:

- Minimaal variërend van 4,0 mm tot 5,5 mm
- Maximaal ca 7,0 mm dik.

Schroebrug gemiddelde van 3 monsters 1 ^e en 2 ^e Laag			
Metingen	Massa kg/m ²	Gemiddelde laagdikte mm	Percentage afwijking %
Gem	2,23	1,37	68

Figuur 59: Toelichting meetresultaten slijtlaag

Uit het inspectieonderzoek, microscopisch opname en ervan uitgaan dat men hetzelfde slijtlaag systeem heeft toegepast als bij de Zeelandbrug zijn de volgende mogelijke oorzaken naar voren gekomen:

- Een incorrect systeem geselecteerd, die niet geschikt is voor zwaar verkeer (categorie C en IB). Het systeem wat geselecteerd is, is niet door KIWA gekeurd volgens BRL-K19143. Zie inspectierapport 20RA0267 van de Zeelandbrug.
- De totale laagdiktes die gemeten zijn, komt eerder overeen met een systeem die geschikt is voor langzaam verkeer.
- Doordat niet de juiste hoeveel is aangebracht volgens opgave zal de restlevensduur verkort worden door gebruik van zwaar verkeer volgens klasse C en IB.
- Doordat er veel plekken zijn waar het instrooimiddel is verwijderd, zal er door UV-degradatie sneller veroudering optreden in de epoxylagen en onthechting ontstaan die de restlevensduur beïnvloeden.

Schroebrug: Restlevensduur 2- 5 jaar:

Uit veiligheidsoverwegingen adviseren wij om elk halfjaar een visuele inspectie uit te voeren om te controleren of er geen afkomende en rondvliegende delen van de slijtlaag is toegenomen.

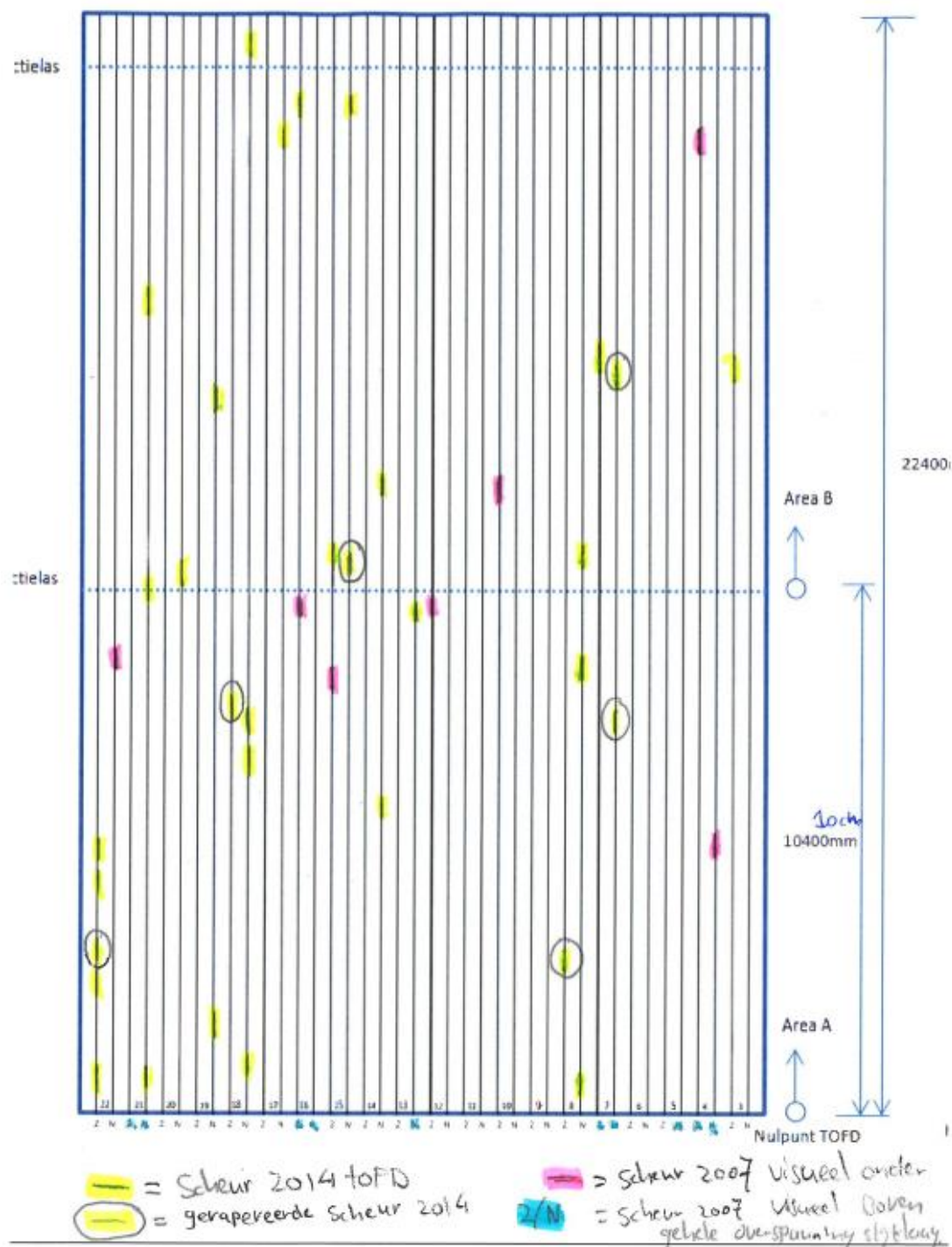
- Indien blijkt na inspectie dat er ernstige toename is geconstateerd van losse brokstukken adviseren wij om de slijtlagen in zijn geheel te verwijderen en deze opnieuw aan te brengen volgens RTD 1015, BRL-K 19143.
- Indien blijkt dat er een lichte toename is geconstateerd van de aantal schade plekken, kan de inspectie interval worden opgeschaald naar één keer in de drie maanden in plaats van elk half jaar. Indien de schade in "elk kwartaal" op rij steeds verder toeneemt zal men moeten overwegen om alsnog de slijtlaag in zijn geheel te verwijderen.

Aandachtspunten:

- Roestplekken en doorbloeding van roest tot op staal
- Losse delen
- Toename in diameter van schade plekken
- Onthechting door dunne plekken
- Onthechting door UV-degradatie
- Verkeersveiligheid

Figuur 60: Conclusie & aanbeveling van microscopische inspectie

Bijlage XII : Inspectievergelijking 2007 met 2014



Figuur 61: Scheurenvergelijking 2007 visueel met 2014 TOFD (Henzel J., Scheurenvergelijking 2007 visueel met 2014 TOFD handgeschetst).

Bijlage XIII : Conclusie

Restlevensduurberekening 2007

5. CONCLUSIE BEREKENINGSRESULTATEN

Hieronder volgt de conclusie van de uitgevoerde berekeningen:

- **balansarm:**

- rekentechnisch is de levensduur van de balansarm op basis van de vermoeilingsberekening verstreken. De levensduur is op de meest kritische doorsnede reeds 16 jaar verstreken. Uit de inspectie is gebleken dat visueel geen vermoeilingschade aan de balansarm te zien is. Het feit dat geen aantoonbare schade zichtbaar is kan meerdere oorzaken hebben. Ten eerste wordt door de norm een factor van 1,2 voor vermoeiing voorgeschreven. Zonder deze belastingsfactor zou de restlevensduur van de verbinding nog zo'n 6 jaar bedragen bij de K40 verbinding. Daarnaast speelt de regelmatigheid van de las een rol. Als een lasdetail in een hogere categorie terecht zou komen, scheelt dit ook aanzienlijk voor de vermoeiing;
- bijvoorbeeld voor een K45 las zonder belastingsfactor zou de balanspriem nog circa 27 jaar mee kunnen gaan;
- voor de K45 lassen, inclusief belastingsfactor, is de levensduur circa 3 jaar verstreken. Dus ook deze lassen bevinden zich in de 'blessuretijd' van de constructie;
- als ieder jaar inspecties worden uitgevoerd en scheurvorming daarmee op tijd wordt geconstateerd, kan de levensduur van de brug nog worden gerekt;
- aanbevolen wordt om binnen 5 a 10 jaar de brug of de balansarmen te vervangen;

- **hangstang:**

- de hangstangen zijn niet vermoeiingsgevoelig;

- **hoofdligger:**

- sterkte:
 - op basis van de nieuwe berekening met de gunstig werkende kracht uit de hangstang blijkt dat de overschrijding van de spanning in de hoofdligger slecht 2 % bedraagt. Dit wordt acceptabel geacht. Het oplassen van een verstijvingstrip is daardoor niet meer nodig. De eerdere hoeveelheid uitgerekende extra ballast kan daardoor worden gereduceerd tot 43,1 kN.
- LET OP: door de provincie Zeeland is verzocht de gunstig werkende kracht uit de hangstang mee te nemen voor de controle van het val. Dit betekent in de praktijk dan wel dat gemonitord moet worden of deze kracht ook altijd aanwezig is. Bijvoorbeeld bij werkzaamheden aan de balanspriem, waarbij deze wordt ontkoppeld van het dek is de kracht in de hangstang niet meer aanwezig. In dat geval moeten verkeersmaatregelen worden genomen;
- vermoeiing:
 - rekentechnisch heeft de hoofdligger nog een restlevensduur van circa 4 jaar. Uit de inspectie is gebleken dat visueel geen vermoeiingsschade van de hoofdligger te zien is. Het feit dat geen aantoonbare schade zichtbaar is, kan net als bij de balansarm meerdere oorzaken hebben. Zonder de belastingsfactor van 1,2 zou de restlevensduur van de constructie nog 22 jaar bedragen, uitgaande van een verkeersgroei van 3 %;
 - de hoofdligger zit qua vermoeiing iets ruimer dan de balansarm. Jaarlijkse Inspectie zal dit wel moeten aantonen. Het oplassen van strippen heeft voor de vermoeiing weinig zin aangezien de levensduur al bijna is verstreken en wordt daarom ook afgeraden;

- **troggen:**

- sterkte:
 - de sterkte van de troggen voldoet;
- vermoeiing:
 - volgens een indicatieve berekening blijkt dat de troggen rekentechnisch niet vermoeilingsgevoelig zijn. Inspectie heeft wel vermoeiingsschade aan de bovenzijde van de epoxyslijtlaag aangetoond. Deze vermoeiingsschade aan de epoxylaag kan zijn ontstaan door vermoeiing van de dekplaat van het val. Voor maatregelen, zie bijlage IX. Dit schadebeeld zal zich wel blijven herhalen.

Bijlage XIV : Eigen Visuele Inspectie

Persoonlijk heb ik op 18 maart 2022 een achttal video's gemaakt over de slijtlaag van de Schroefbrug. Uit deze video's is niks extra's te zien vergeleken met de eerdere inspecties. U vindt hier alleen foto's van de inspectie op 29 maart 2022 van de coating laag aan de onderzijde van het brugdek, aangezien dit nieuwe informatie bevat.



Figuur 62: Uitlopers van roest aan de aansluiting van het brugdek naar de onderbrug (Henzel J. , Eigen observatie, 2022).



Figuur 63: Geen roestvorming bij orthotrope plaat (Henzel J. , Eigen observatie, 2022).

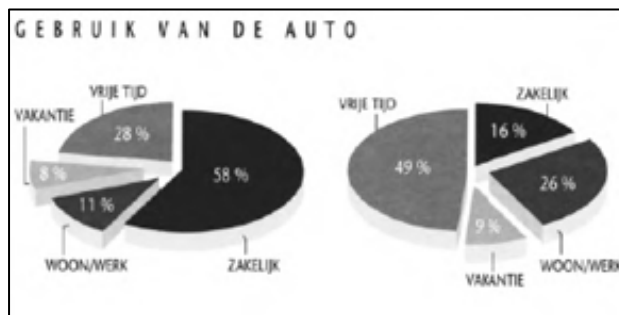


Figuur 64: Roestvorming op Hoofdligger (Henzel J. , Eigen observatie, 2022).

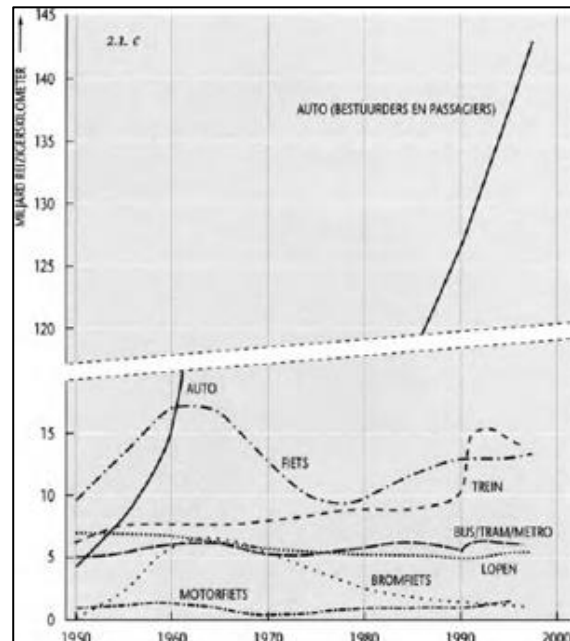
Bijlage XV : Theorie Verkeersintensiteit

Tussen 1950 en 1990 spreken we over de tweede transportrevolutie. Het verwijst naar de periode na de tweede wereldoorlog en hangt samen met de industriële evolutie. Er ontstond een enorme groei van verkeer, transport en mobiliteit. Voor vooral het wegverkeer (Varena, 2013).

De autogroei had met name te maken met het gebruik van de auto, zie onderstaand figuur. Niet alleen werd de auto gebruikt voor zakelijke handelingen, maar vooral tijdens het gebruik in vrije tijd (Schot, 2002).

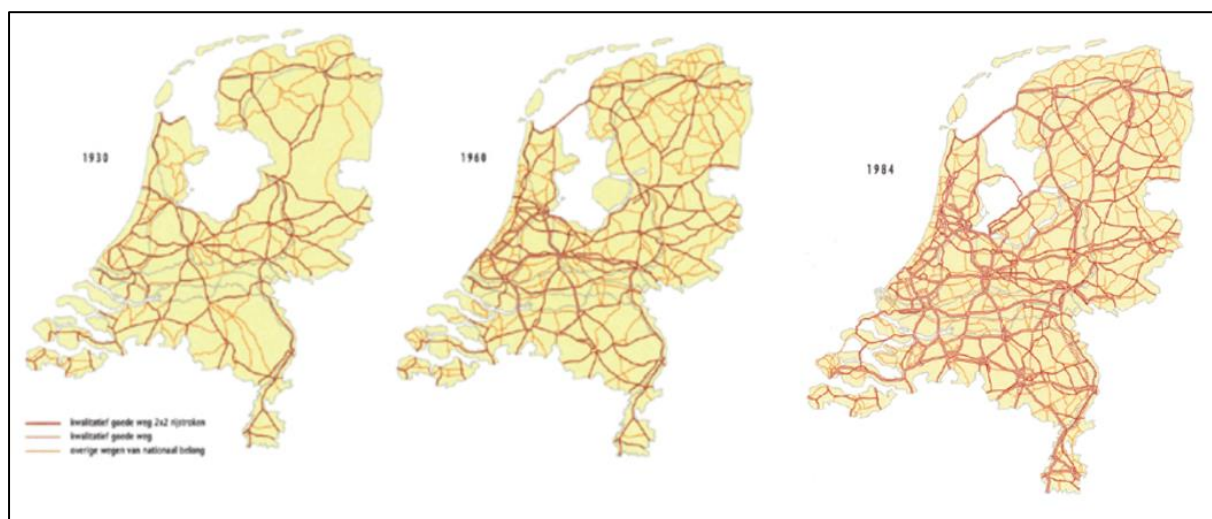


Figuur 66: Links het gebruik van de auto in 1963. Rechts in 1993. De auto wordt ter vergelijking vaker gebruikt voor vrije tijd (Schot, 2002).



Figuur 65: In de tweede transportrevolutie steeg het gebruik van de auto veel meer dan andere transportmiddelen (Schot, 2002)

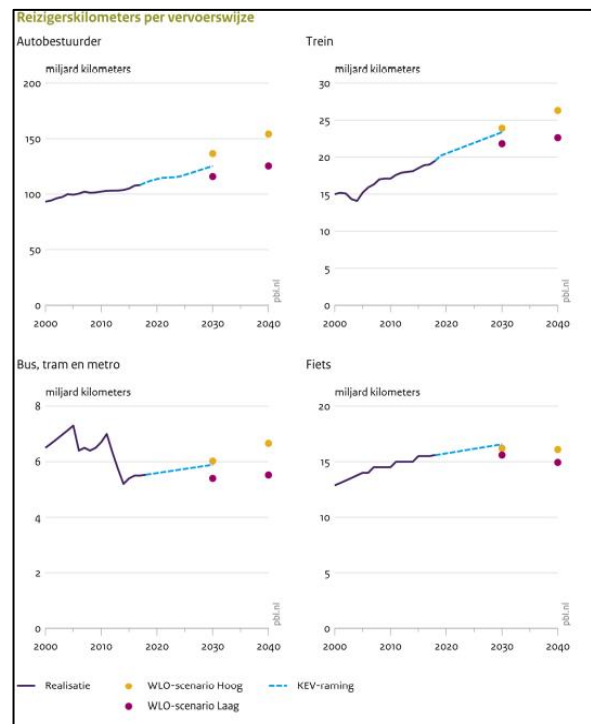
Het toenemende gebruik en het groeiende wegennetwerk hangen met elkaar samen. Zo werd er na de oorlog erg geïnvesteerd in het wegennetwerk, maar groeiden de aantallen weggebruikers sneller dan verwacht. Zo is er in onderstaand figuur de groei weergegeven van het wegennetwerk van 1930 tot 1984 (Schot, 2002).



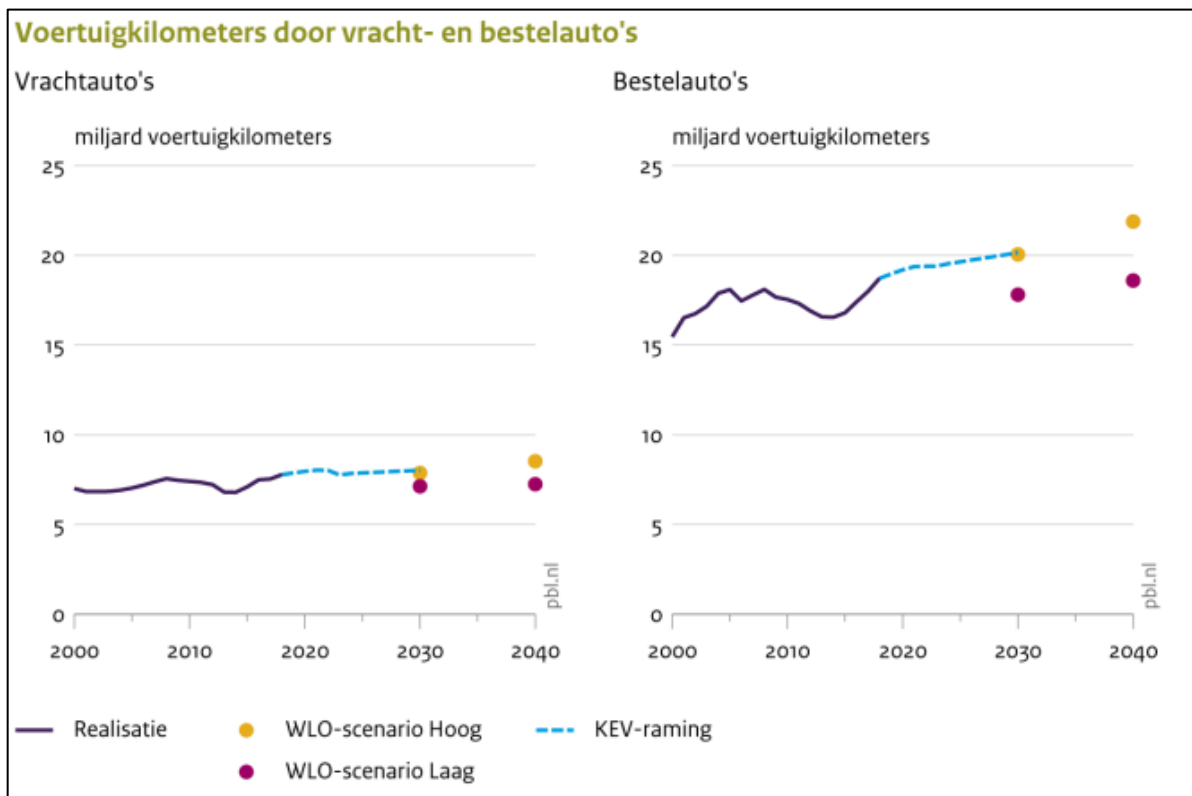
Figuur 67: Ontwikkeling wegennetwerk van 1930, 1968 en 1984. In het rood: twee rijstroken. In het oranje weaen van nationaal belang: één riistroom (Schot, 2002).

Na de tweede transportevolutie is het wegennetwerk en de verkeersintensiteit alsnog aan het groeien, echter is de groei beter te voorspellen, zie figuur rechts. Het voorspellen is gedaan met op basis van scenario's Hoog en Laag van de Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving (WLO). Scenario Hoog combineert een relatief hoge bevolkingsgroei met een hoge economische groei van ongeveer 2% per jaar. Scenario Laag is een combinatie van beperkte bevolkingsgroei met een gematigde economische groei van ongeveer 1% per jaar. Daarnaast is de Klimaat en Energieverkenning (KEV) meegenomen in het figuur. KEV heeft als rol de voortgang van het klimaatbeleid te monitoren (H. Hlbers, 2020) (PBL, 2019).

De groei van de miljarden kilometers van 2000 tot 2040 is lineair, in tegenstelling tot de bijna exponentiële groei van 1950 tot 1990. Daarnaast is in de figuur links te zien dat de groei van reizigerskilometers bij treinen groter is dan voor autobestuurders. Daarnaast zit de KEV-raming dichtbij WLO-scenario Hoog (H. Hlbers, 2020).



Figuur 68: Reizigerskilometers per vervoerswijze.
WLO = Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving KEV = Klimaat- en



Figuur 69: Voertuigkilometers door vracht- en bestelauto's (H. Hlbers, 2020)

In het figuur op de vorige pagina is de gematigde lineaire groei van voertuigkilometers door vracht en bestelauto's te zien. De KEV-raming is in lijn met WLO-scenario Hoog, voor beide grafieken. Dit houdt in dat het klimaatbeleid weinig negatieve invloed heeft op de groei van vrachtverkeer. Zo blijft de vrachtwagen nog steeds dezelfde maximum snelheid hebben, in tegenstelling tot de gereduceerde maximum snelheid van de auto (H. Hilbers, 2020).

In vorige twee figuren is de coronacrisis niet meegenomen in de groei. Daarom verdiept onderstaand figuur in de omzetontwikkeling van transport en goederenvervoer over de weg. In onderstaand tabel zijn enkele conclusies te trekken over de ontwikkelingsdaling van transport (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2021).

Tabel 23: Drie figuren over de omzetontwikkeling van goederenvervoer (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2021)

De omzet van de transportsector daalde met 11,6% door de coronacrisis in 2020. Dit komt door een grote afname van omzet voor bedrijven die afhankelijk zijn van personenvervoer. Het is de grootste omzetsdaling sinds 2009 (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2021).

Omzetontwikkeling transport

% verandering t.o.v. een jaar eerder

Jaar	% verandering t.o.v. een jaar eerder
2017	~4
2018	~5
2019	~2
2020 ^a	-11,6

^avoorlopige cijfers

De omzet van de post- en koeriersdiensten steeg met meer dan 10% en de omzet van internetverkoop steeg met 42%, mede door de coronamaatregelen. Vooral aan het einde van het jaar hebben de post- en koeriersbedrijven de meeste artikelen afgeleverd (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2021).

Omzetontwikkeling post- en koeriersbedrijven en internetverkoop

% verandering t.o.v. een jaar eerder

Jaar	Post- en koeriersbedrijven	Internetverkoop
2017	~5	~15
2018	~5	~18
2019	~5	~18
2020 ^a	~10	42

^avoorlopige cijfers

De omzet van goederenvervoer daalde eerst erg door de coronamaatregelen, maar aan het eind van het jaar steeg deze omzet doordat Brexit transportvertragingen veroorzaakte wat meer ritten verzorgde (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2021).

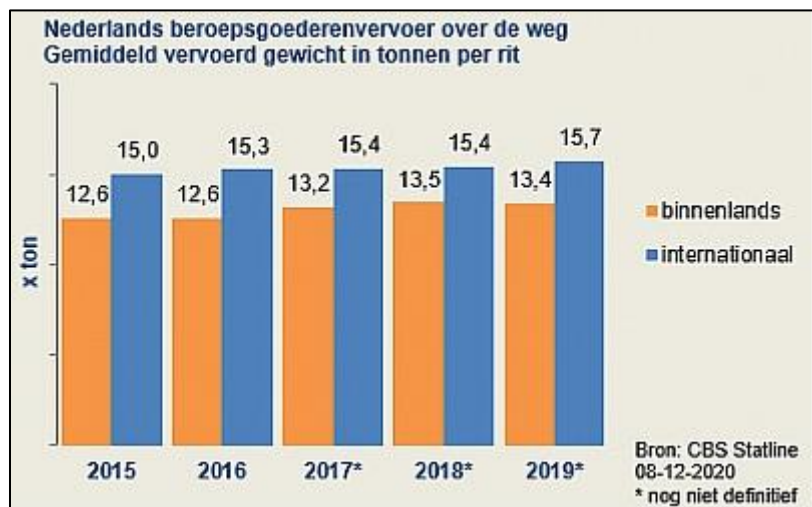
Omzetontwikkeling goederenvervoer over de weg

% verandering t.o.v. een jaar eerder

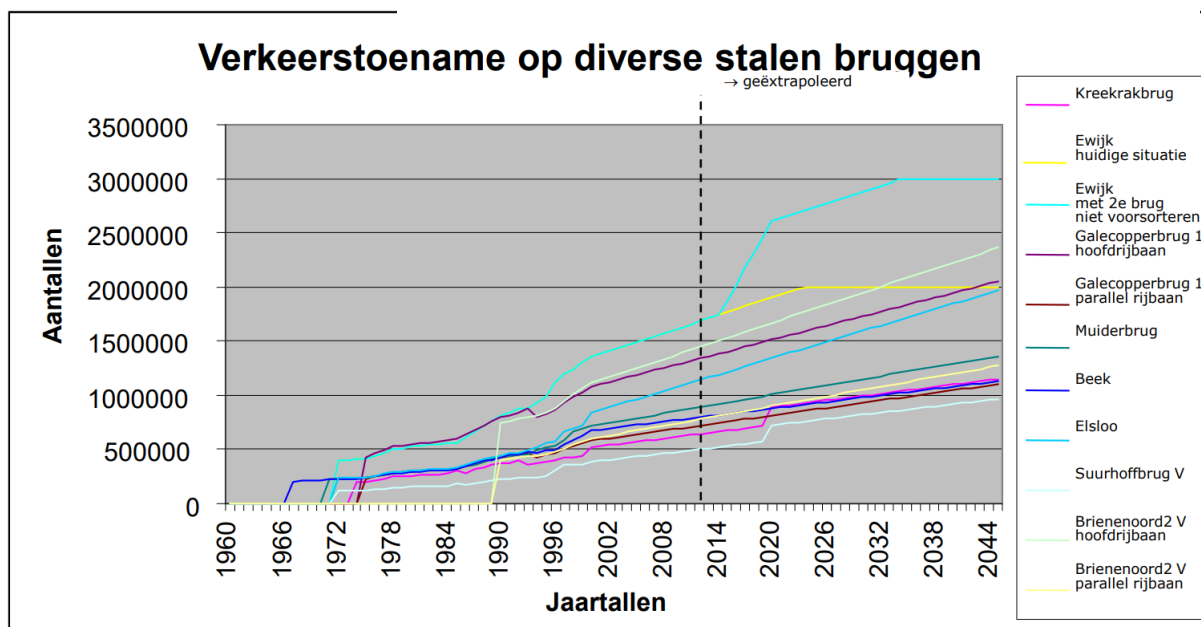
Jaar	% verandering t.o.v. een jaar eerder
2017	~7
2018	~6
2019	~5
2020 ^a	~-8

^avoorlopige cijfers

Niet alleen is er een groei in zwaar verkeer. Ook het gemiddeld vervoer gewicht in tonnen per rit groeit, zie figuur rechts (NIWO, 2020). Binnen Nederland wordt er 13,4 ton per rit vervoerd en internationaal 15,7 ton per rit, in 2019. Er is een langzame groei in tonnen per rit.



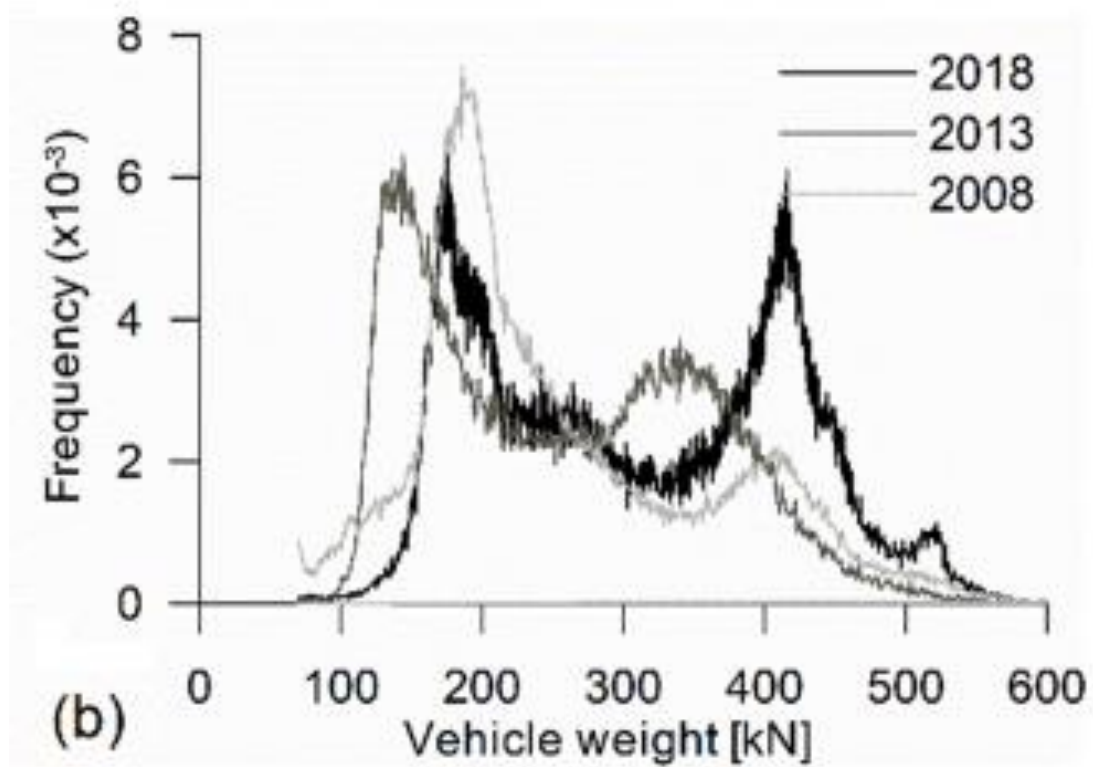
Figuur 70: Gemiddeld vervoerd van de beroepsgoederenvervoer, in tonnen per rit (NIWO, 2020).



Figuur 71: Groeiende verkeerstoename voor diverse bruggen in Nederland. Getallen zijn na jaar 2012 geëxtrapoleerd (Besten, 2019).

In het figuur hierboven zijn een aantal stalen bruggen weergegeven uit het hoofdwegennetwerk van Nederland die rond de jaren 70 zijn gebouwd. De bruggen zijn van groot belang voor het verkeersnetwerk van Nederland. Verschillende groottes zijn weergegeven. De kleinste stalen brug heeft een overspanning van circa 100 meter, terwijl de grootste een overspanning heeft van slechts 1300 meter. De groei van de bruggen uit bovenstaand figuur is lineair. Behalve de lichtblauwe lijn: Ewijk met 2^e brug. Dit is de Tacitusbrug die later bij locatie Ewijk is gekomen voor nog meer verkeer, omdat de Ewijk huidige situatie aan zijn maximale capaciteit zou komen in 2025 (Besten, 2019).

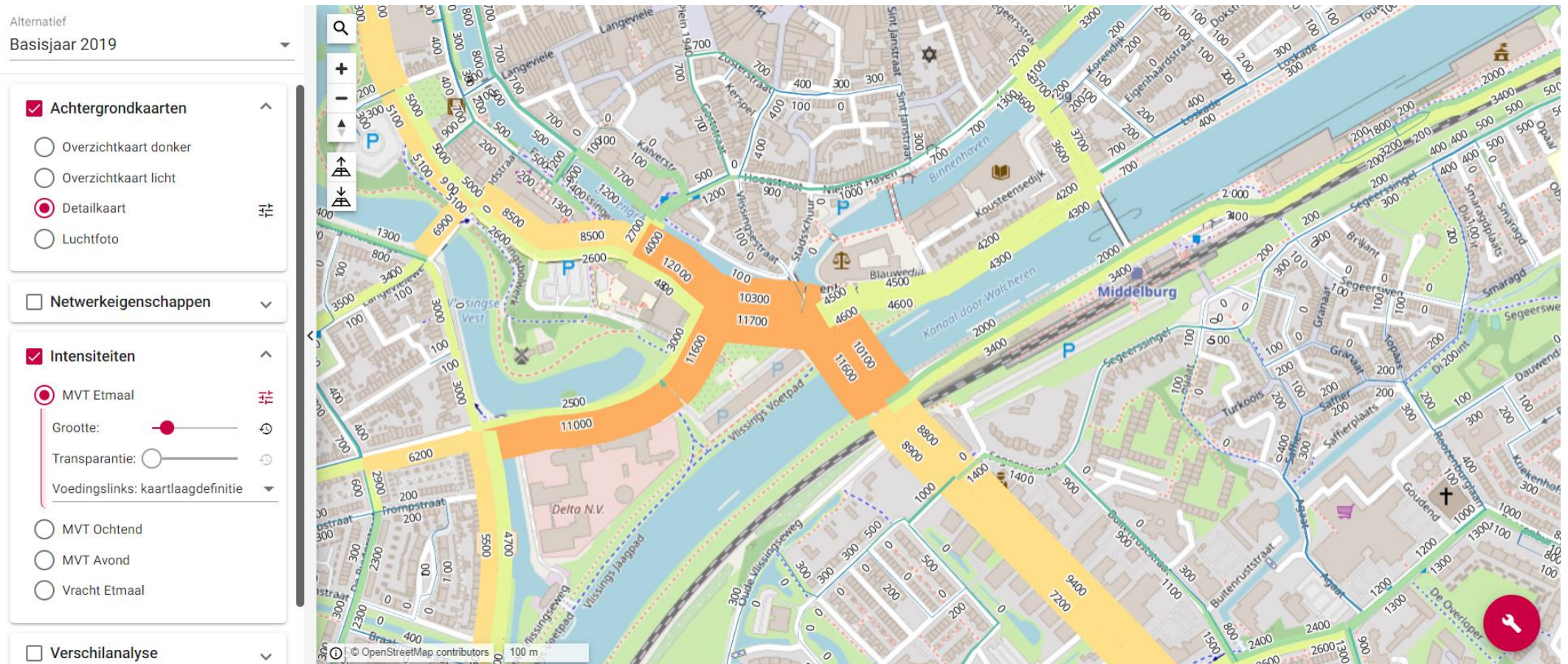
Ter conclusie van deze paragraaf heeft Nederland tijdens de tweede transportevolutie een onverwachte verkeersgroei doorgebracht. Momenteel groeit de verkeersintensiteit nog steeds, evenwel is deze beter voorspelbaar. Daarnaast groeit het zwaar verkeer het gewicht per vrachtwagen gematigd.



Figuur 72: De verandering van voertuiggewicht van de meest voorkomende Europese vrachtwagen (TU/e, 2020).

Bijlage XVI : Prognose Verkeersintensiteit

Deze bijlage bevat: de verkeersintensiteit uit het Verkeersmodel Walcheren bij Schroefbrug, daarna bij Dampoort Aquaduct en tot slot de eigen prognose.



Alternatief

Basisjaar 2019

☒ Achtergrondkaarten

- ☐ Overzichtkaart donker
- ☐ Overzichtkaart licht
- ☒ Detailkaart
- ☐ Luchtfoto

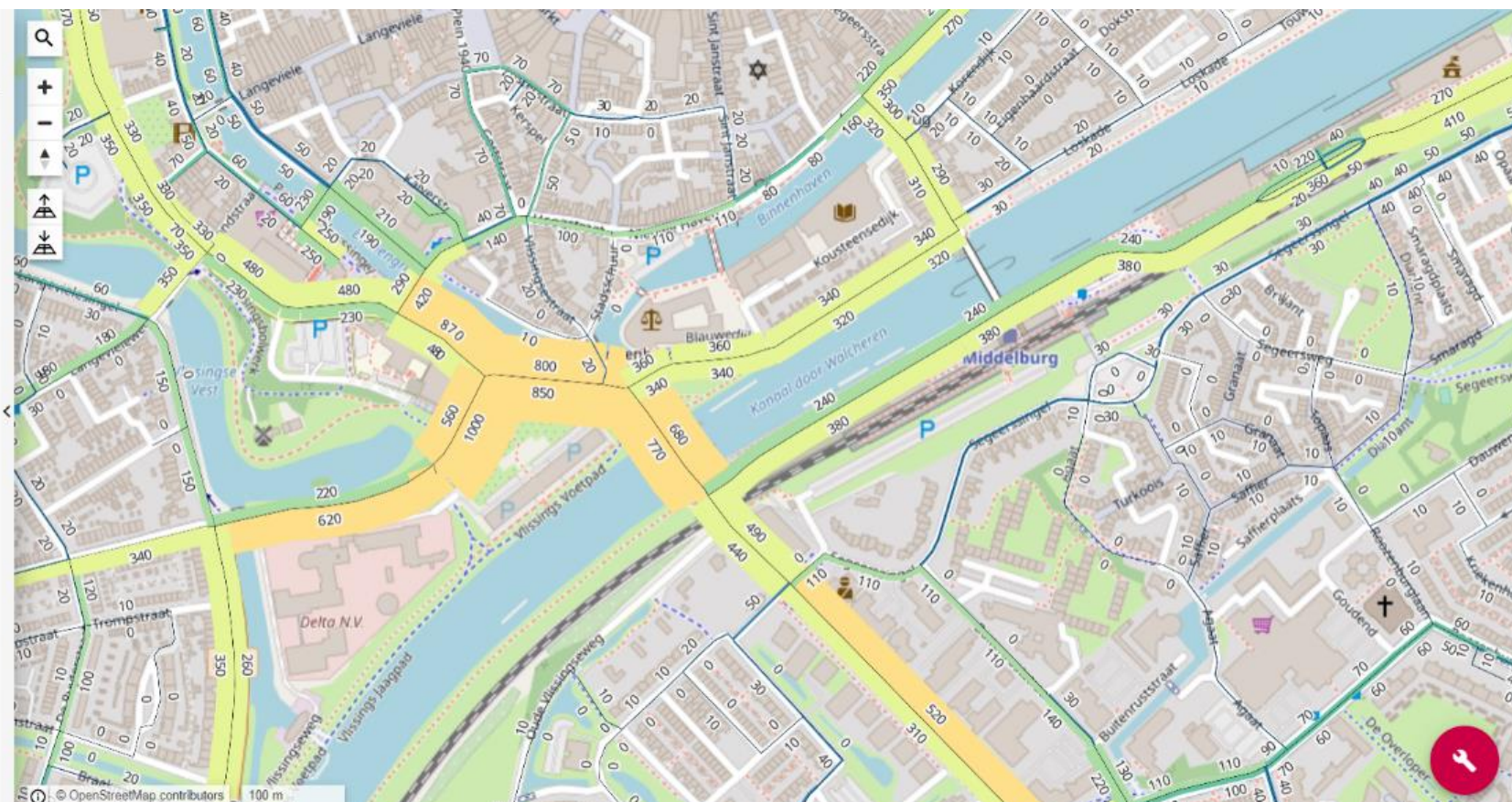
☐ Netwerkeigenschappen

☒ Intensiteiten

- ☐ MVT Etmaal
- ☐ MVT Ochtend
- ☐ MVT Avond
- ☒ Vracht Etmaal

☐ Verschilanalyse

☐ Opmerkingen



Alternatief

Prognosejaar 2030

☒ Achtergrondkaarten

- ☐ Overzichtkaart donker
- ☐ Overzichtkaart licht
- ☒ Detailkaart
- ☐ Luchtfoto

☐ Netwerkeigenschappen

☒ Intensiteiten

☒ MVT Etmaal

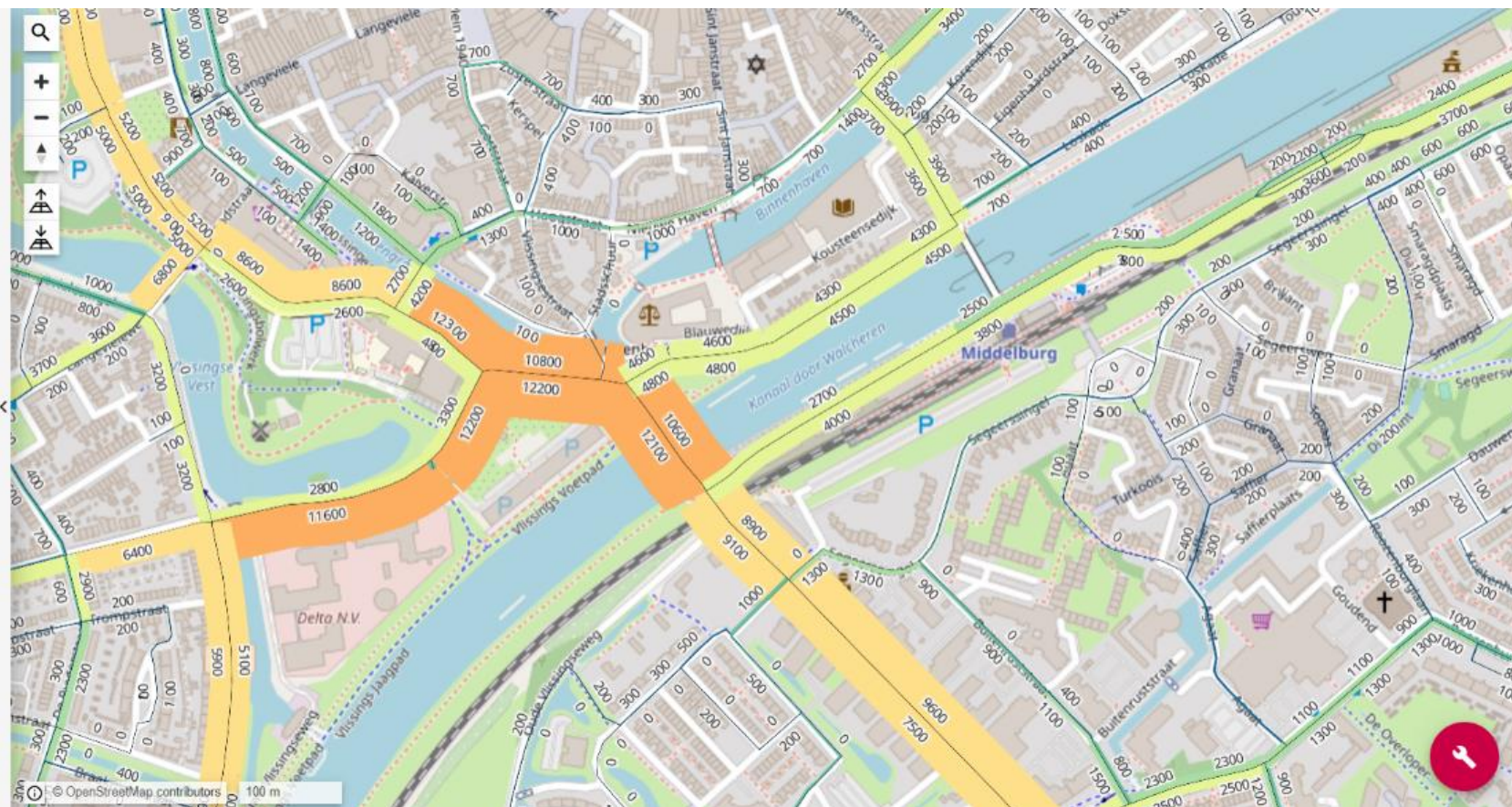
Grootte:

Transparantie:

Voedingslinks: kaartlaagdefinitie

- ☐ MVT Ochtend
- ☐ MVT Avond
- ☐ Vracht Etmaal

☐ Verschilanalyse



Alternatief

Prognosejaar 2030

☒ Achtergrondkaarten

- ☐ Overzichtkaart donker
- ☐ Overzichtkaart licht
- ☒ Detailkaart
- ☐ Luchtfoto

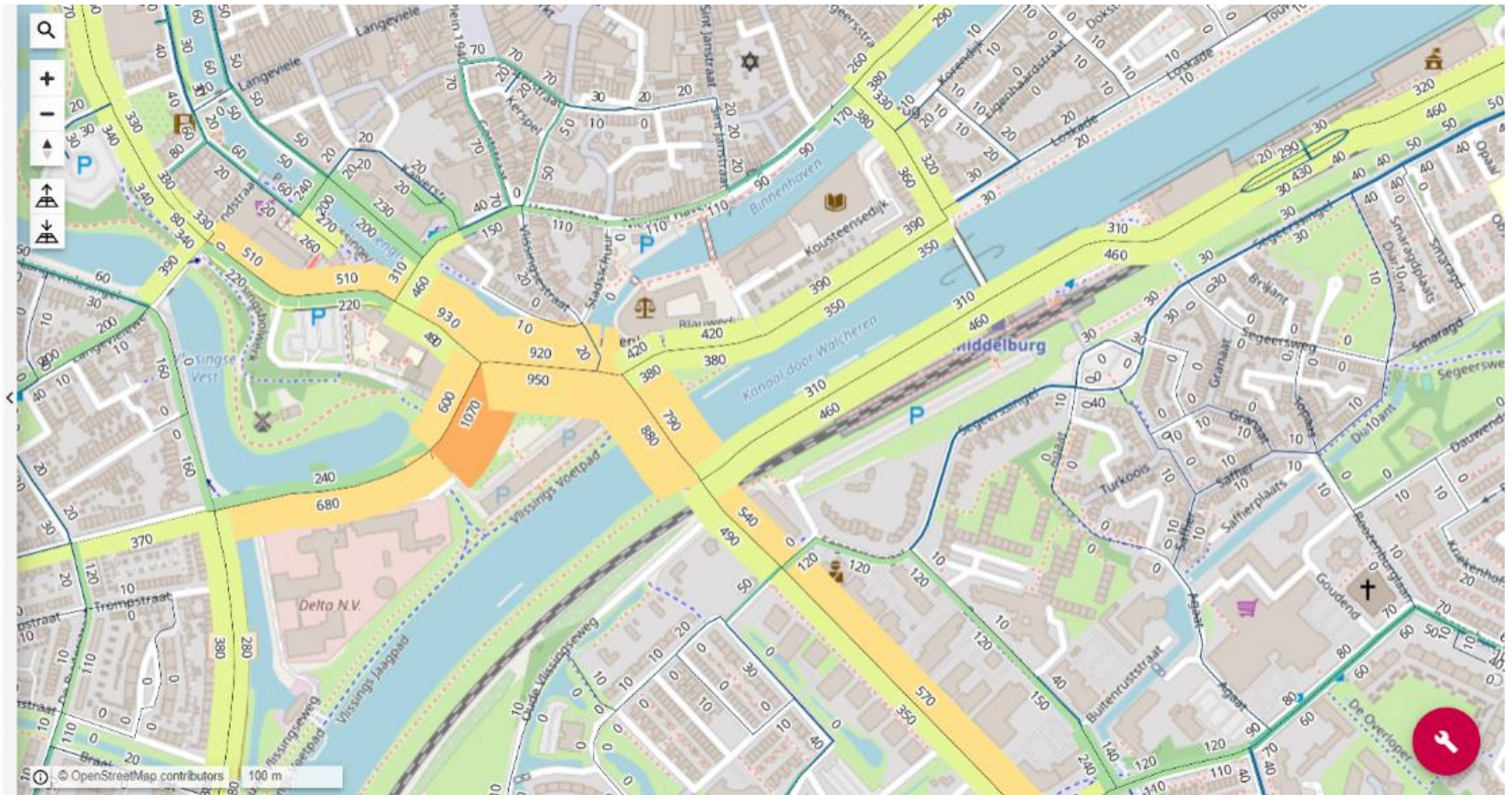
☐ Netwerkeigenschappen

☒ Intensiteiten

- ☐ MVT Etmaal
- ☐ MVT Ochtend
- ☐ MVT Avond
- ☒ Vracht Etmaal

☐ Verschilanalyse

☐ Opmerkingen



Alternatief

Prognosejaar 2040

☒ Achtergrondkaarten

- ☐ Overzichtkaart donker
- ☐ Overzichtkaart licht
- ☒ Detailkaart
- ☐ Luchtfoto

☐ Netwerkeigenschappen

☒ Intensiteiten

☒ MVT Etmaal

Grootte:



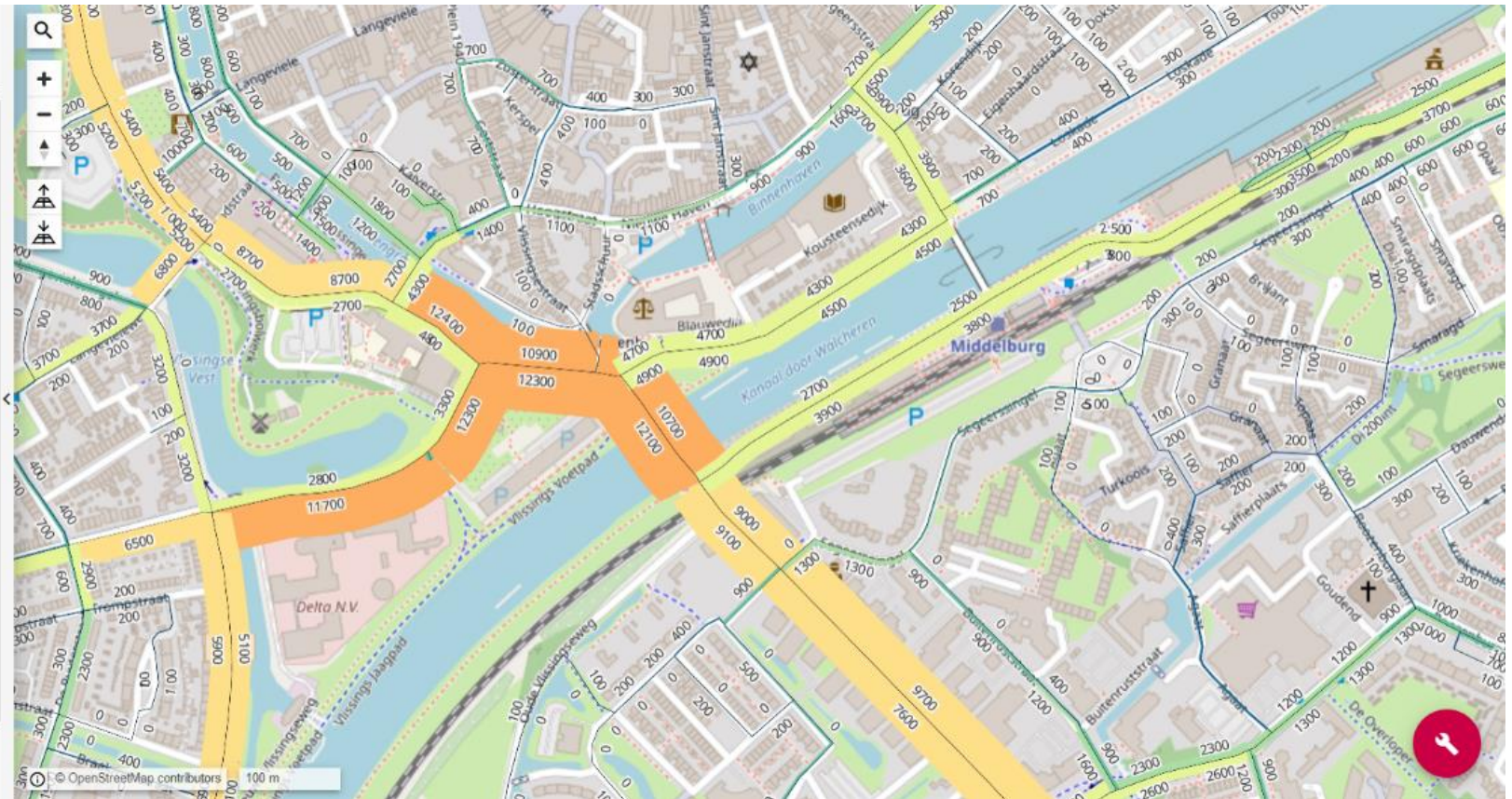
Transparantie:



Voedingslinks: kaartlaagdefinitie

- ☐ MVT Ochtend
- ☐ MVT Avond
- ☐ Vracht Etmaal

☐ Verschilanalyse



Alternatief

Prognosejaar 2040

☒ Achtergrondkaarten

- ☐ Overzichtkaart donker
- ☐ Overzichtkaart licht
- ☒ Detailkaart
- ☐ Luchtfoto

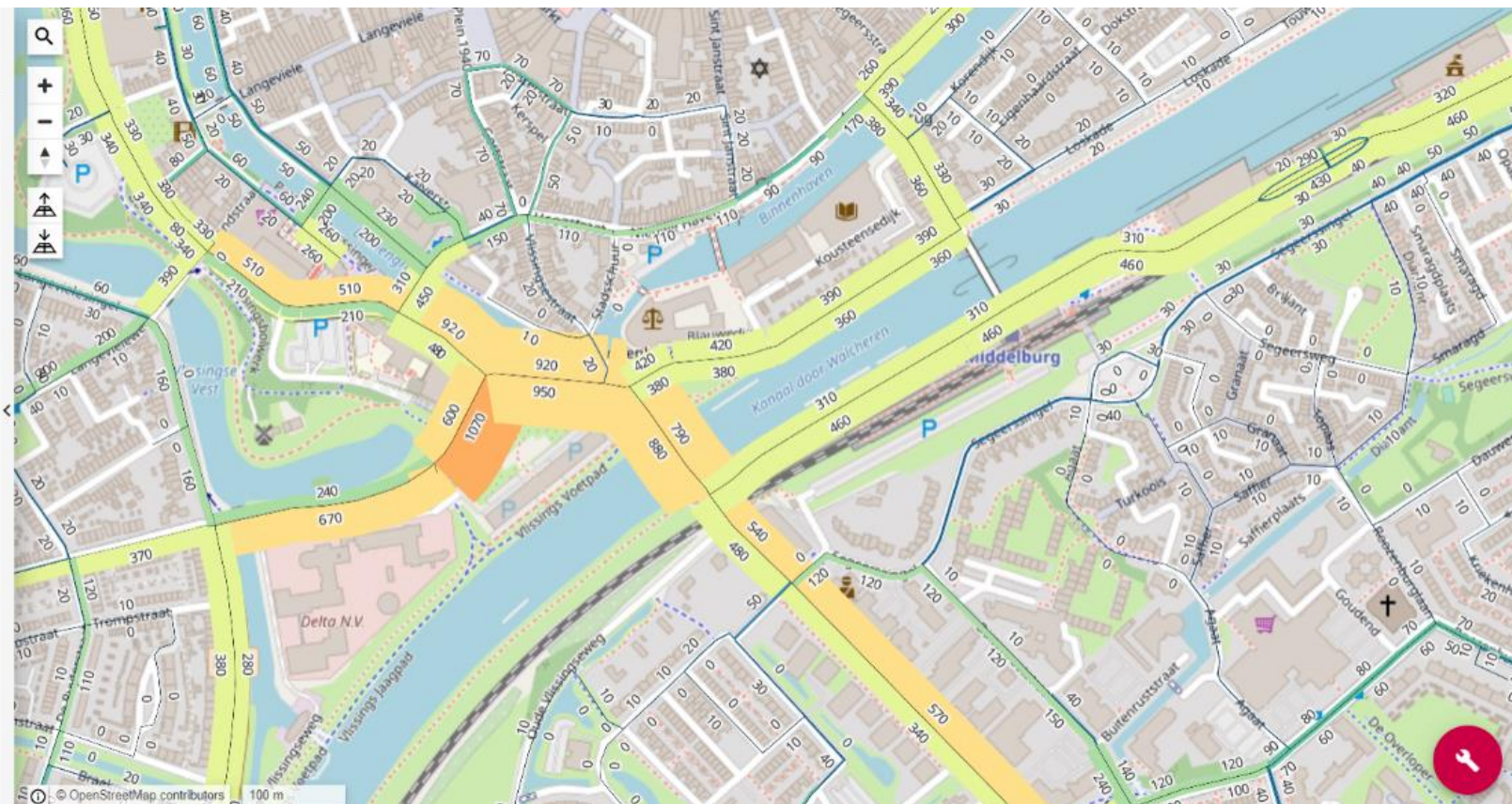
☐ Netwerkeigenschappen

☒ Intensiteiten

- ☐ MVT Etmaal
- ☐ MVT Ochtend
- ☐ MVT Avond
- ☒ Vracht Etmaal

☐ Verschilanalyse

☐ Opmerkingen



Alternatief

Basisjaar 2019

☒ **Achtergrondkaarten**

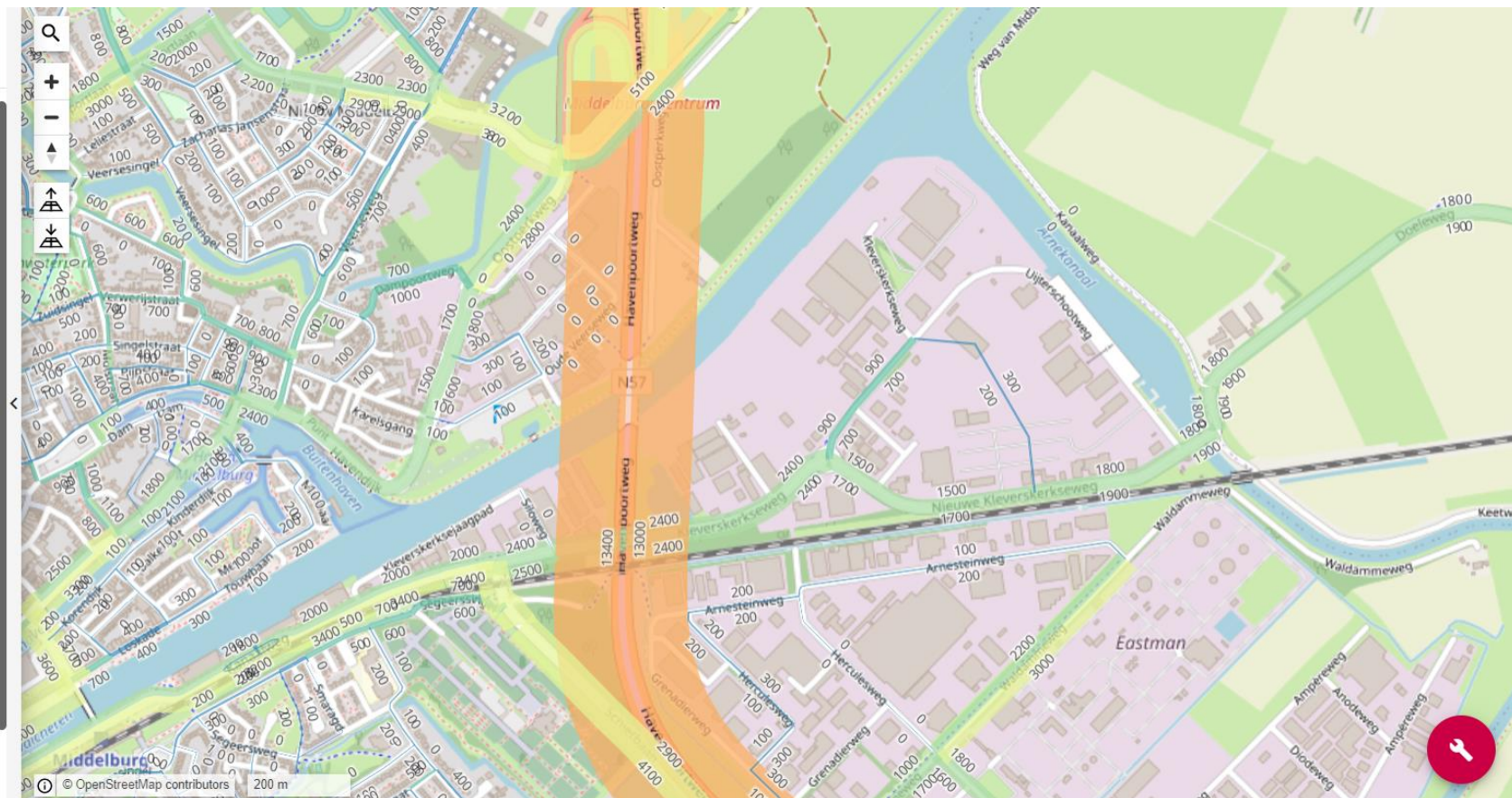
- ☐ Overzichtkaart donker
- ☐ Overzichtkaart licht
- ☒ Detailkaart
- ☐ Luchtfoto

☐ **Netwerkeigenschappen**

☒ **Intensiteiten**

- ☒ MVT Etmaal
- Grootte:
- Transparantie:
- Voedingslinks: kaartlaagdefinitie
- ☐ MVT Ochtend
- ☐ MVT Avond
- ☐ Vracht Etmaal

☐ **Verschilanalyse**



Alternatief

Basisjaar 2019

☒ **Achtergrondkaarten**

- ☐ Overzichtkaart donker
- ☐ Overzichtkaart licht
- ☒ Detailkaart
- ☐ Luchtfoto

☐ **Netwerkeigenschappen**

☒ **Intensiteiten**

- ☐ MVT Etmaal
- ☐ MVT Ochtend
- ☐ MVT Avond
- ☒ Vracht Etmaal

☐ **Verschilanalyse**

☐ **Opmerkingen**



Alternatief

Prognosejaar 2030

☒ Achtergrondkaarten

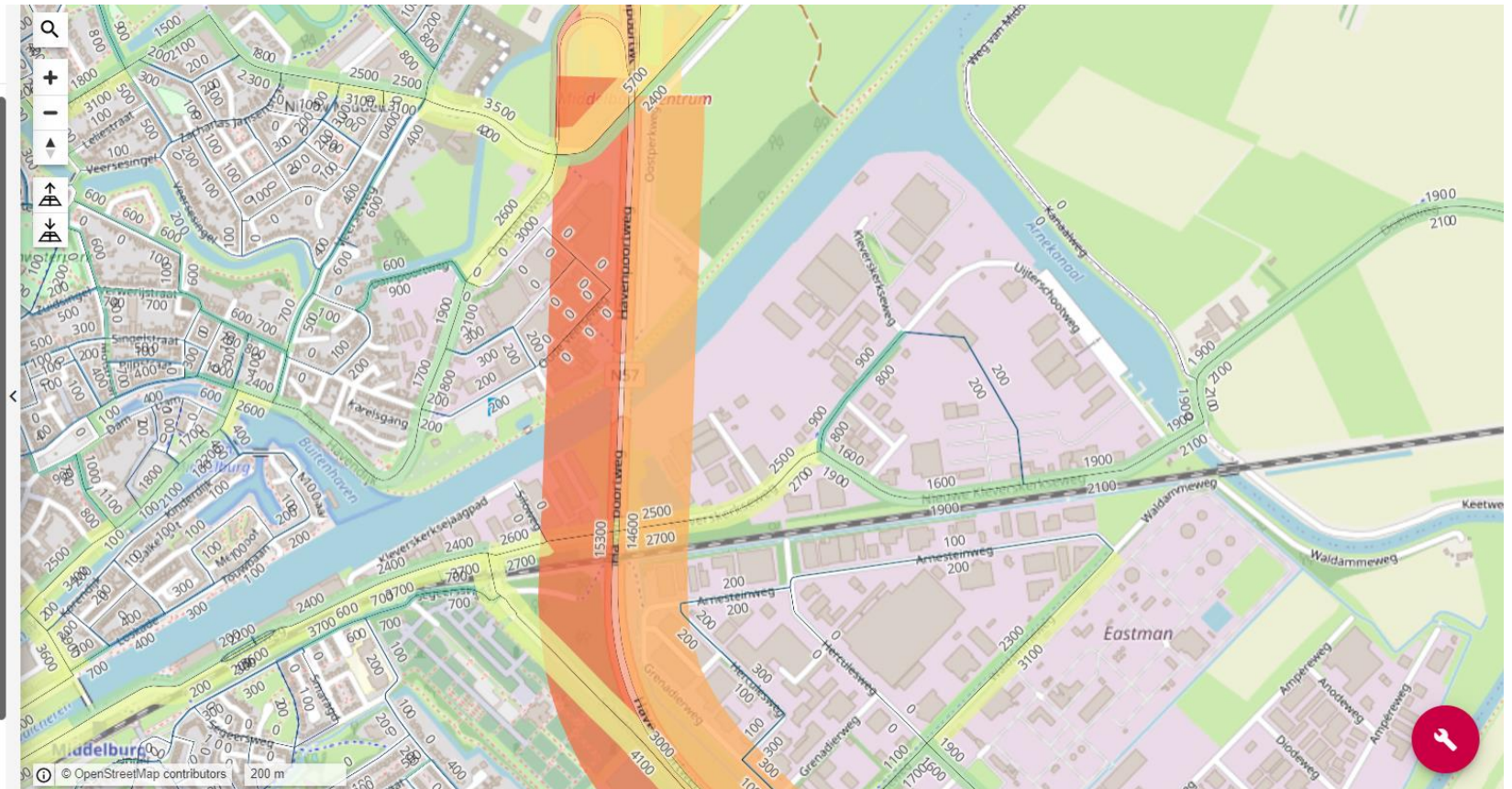
- ☐ Overzichtkaart donker
- ☐ Overzichtkaart licht
- ☒ Detailkaart
- ☐ Luchtfoto

☐ Netwerkeigenschappen

☒ Intensiteiten

- ☒ MVT Etmaal
 - Grootte:
 - Transparantie:
 - Voedingslinks: kaartlaagdefinitie
- ☐ MVT Ochtend
- ☐ MVT Avond
- ☐ Vracht Etmaal

☐ Verschilanalyse



Alternatief

Prognosejaar 2030

☒ **Achtergrondkaarten**

- ☐ Overzichtkaart donker
- ☐ Overzichtkaart licht
- ☒ Detailkaart
- ☐ Luchtfoto

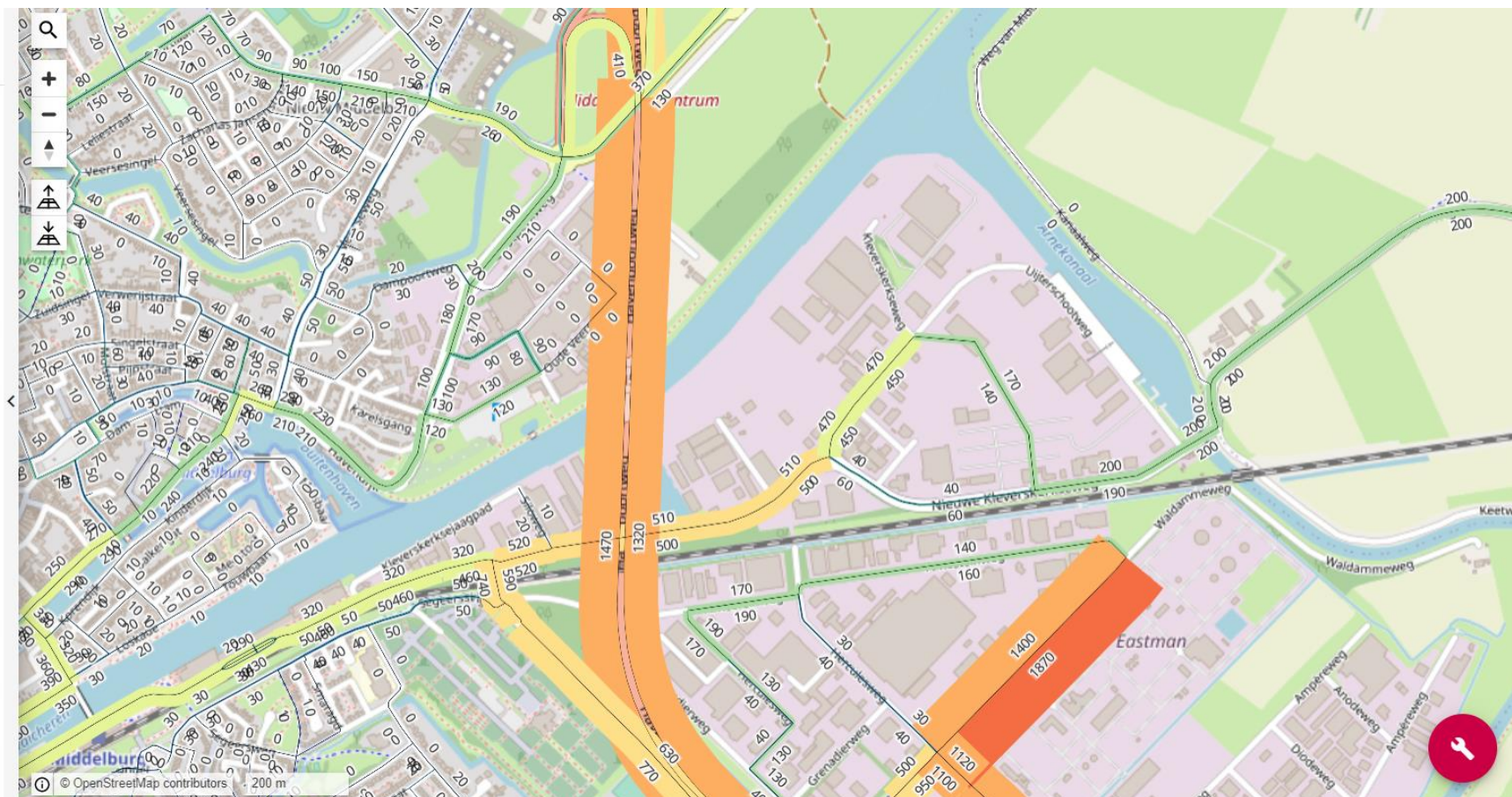
☐ **Netwerkeigenschappen**

☒ **Intensiteiten**

- ☐ MVT Etmaal
- ☐ MVT Ochtend
- ☐ MVT Avond
- ☒ Vracht Etmaal

☐ **Verschilanalyse**

☐ **Opmerkingen**



Alternatief

Prognosejaar 2040

☒ **Achtergrondkaarten**

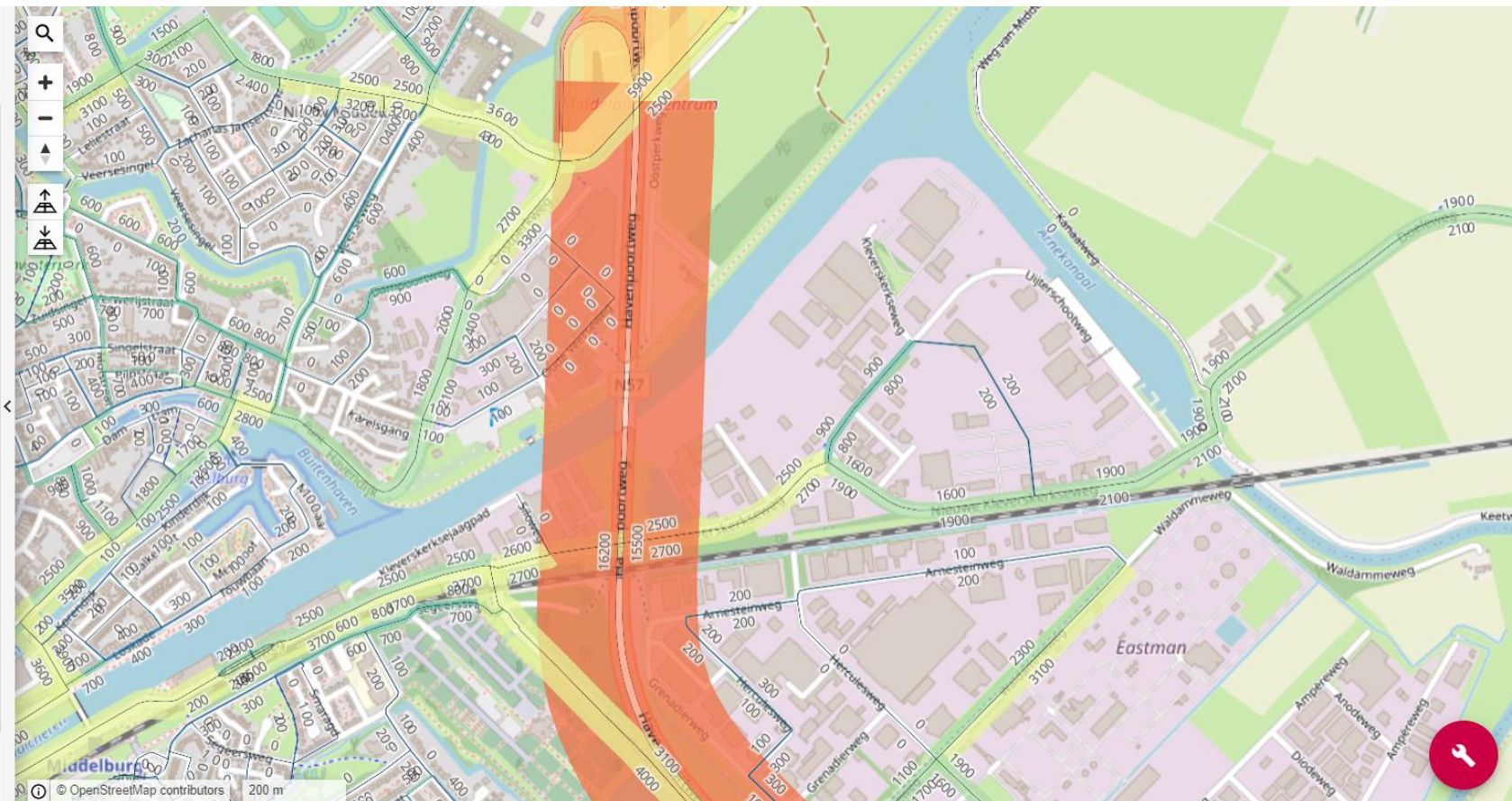
- ☐ Overzichtkaart donker
- ☐ Overzichtkaart licht
- ☒ Detailkaart
- ☐ Luchtfoto

☐ **Netwerkeigenschappen**

☒ **Intensiteiten**

- ☒ MVT Etmaal
- Grootte:
- Transparantie:
- Voedingslinks: kaartlaagdefinitie
- ☐ MVT Ochtend
- ☐ MVT Avond
- ☐ Vracht Etmaal

☐ **Verschilanalyse**



Alternatief

Prognosejaar 2040

☒ Achtergrondkaarten

- ☐ Overzichtkaart donker
- ☐ Overzichtkaart licht
- ☒ Detailkaart
- ☐ Luchtfoto

☐ Netwerkeigenschappen

☒ Intensiteiten

- ☐ MVT Etmaal
- ☐ MVT Ochtend
- ☐ MVT Avond
- ☒ Vracht Etmaal

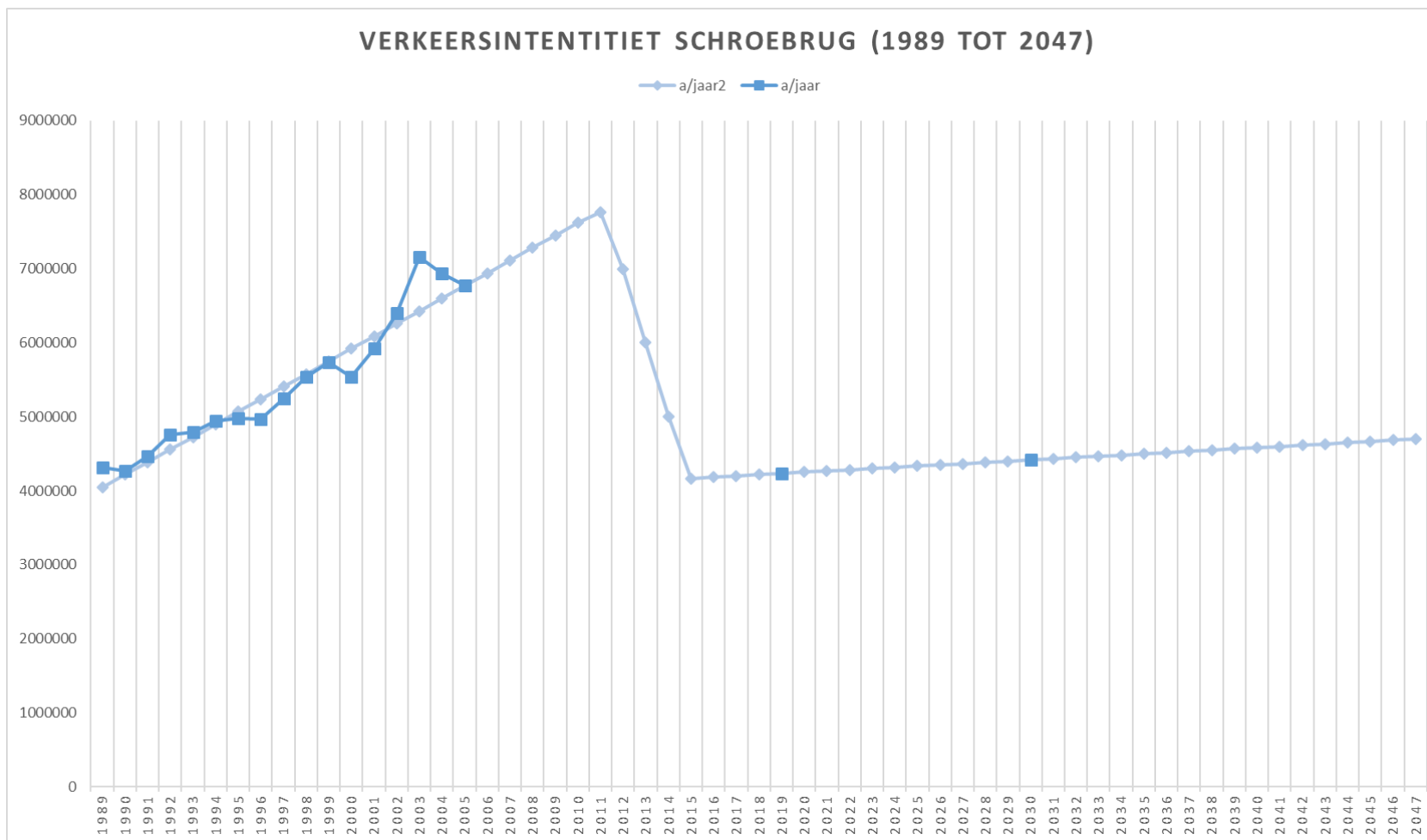
☐ Verschilanalyse

☐ Opmerkingen



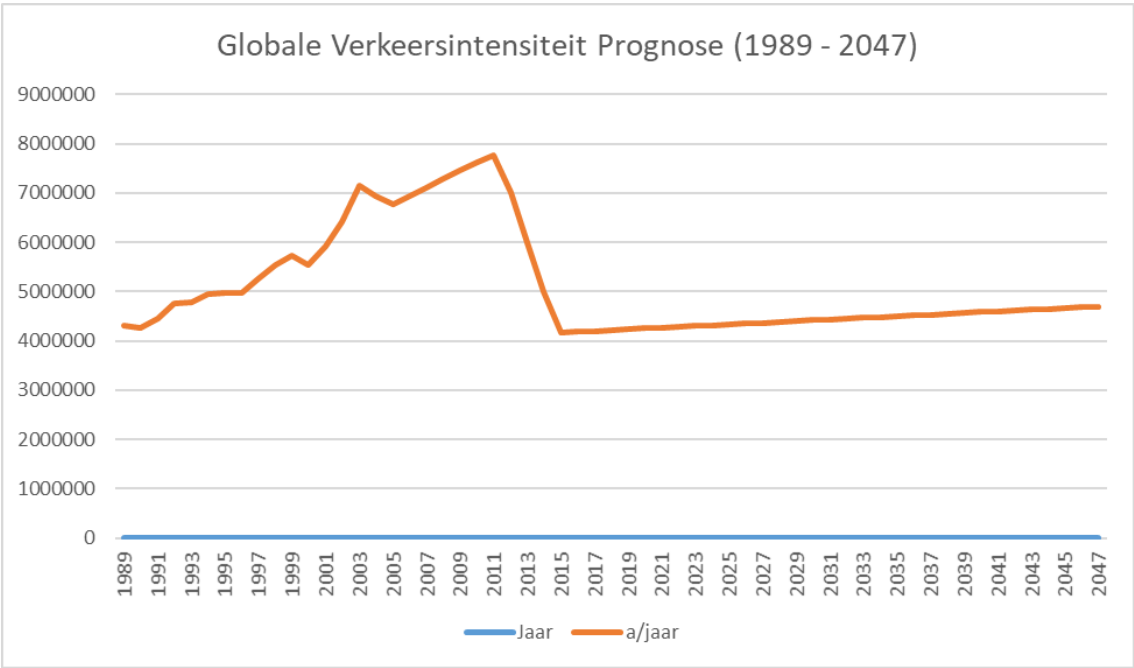
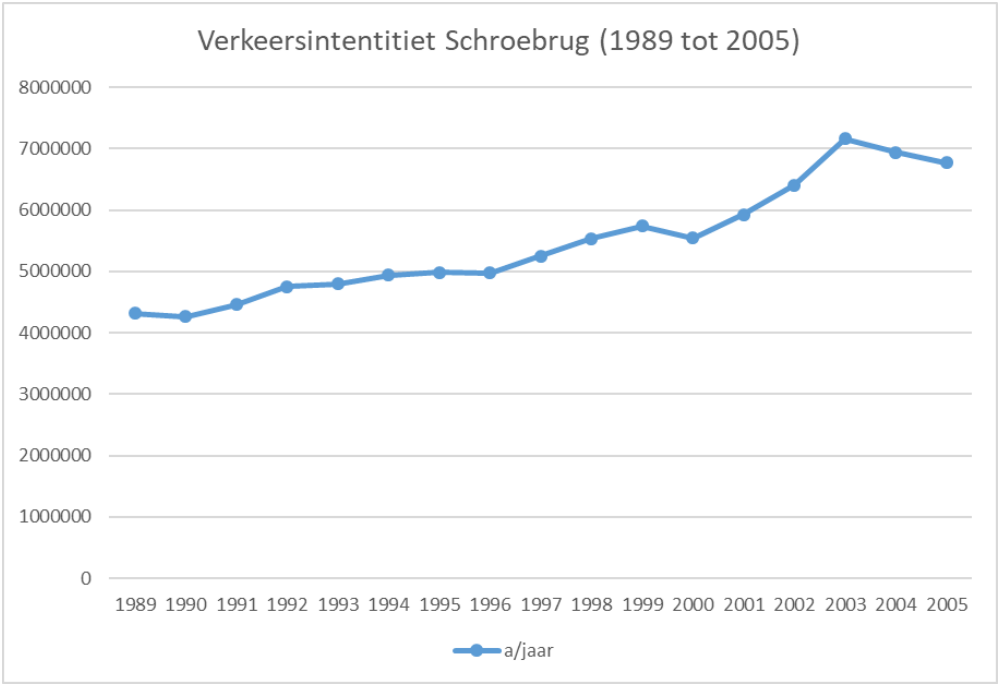
Hieronder ziet u de eigen prognose, gemaakt in Excel. In donkerblauw de gegeven cijfers. In lichtblauw een globale invulling van de intensiteit per jaar.

De grafiek is in Excel gemaakt met in donkerblauw de gegevens uit jaarlijkse verkeerscijfers van 1989 tot 2005 + de screenshots van het Verkeersmodel in aantal per jaar. In lichtblauw ziet u eerst de gemiddelde groei van 1989 tot 2005, tot 2011 doorgetrokken. Daarna gaat de lijn erg naar beneden door de opening van het Dampoort Aquaduct in 2011. Hier heb ik zelf de cijfers gespeculeerd van 2012 tot 2014. Tot slot ziet u de groei van 2019 tot prognosejaar 2030. Doorgetrokken van 2015 tot 2047, waardoor de intensiteit uit 2047 is bepaald.

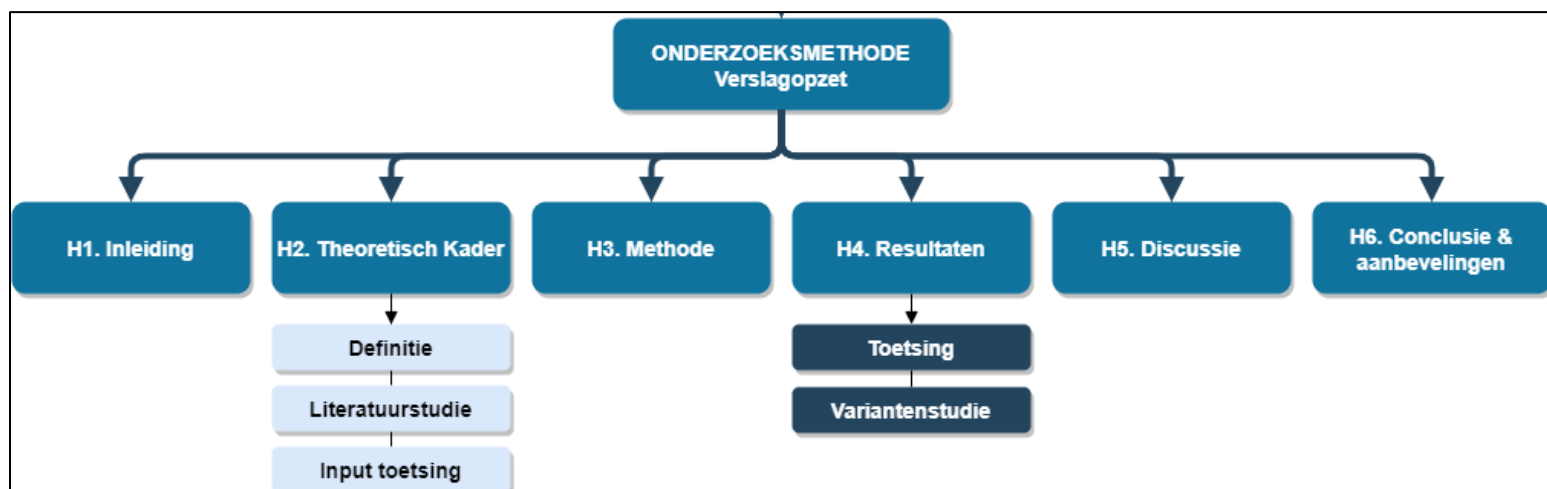


Ja	a/jaar	a/dag gem2
1989	4313205	11817
1990	4265755	11687
1991	4461760	12224
1992	4753395	13023
1993	4792085	13129
1994	4939910	13534
1995	4979695	13643
1996	4972030	13622
1997	5245050	14370
1998	5535225	15165
1999	5734515	15711
2000	5542160	15184
2001	5927965	16241
2002	6404290	17546
2003	7159475	19615
2004	6937555	19007
2005	6769655	18547

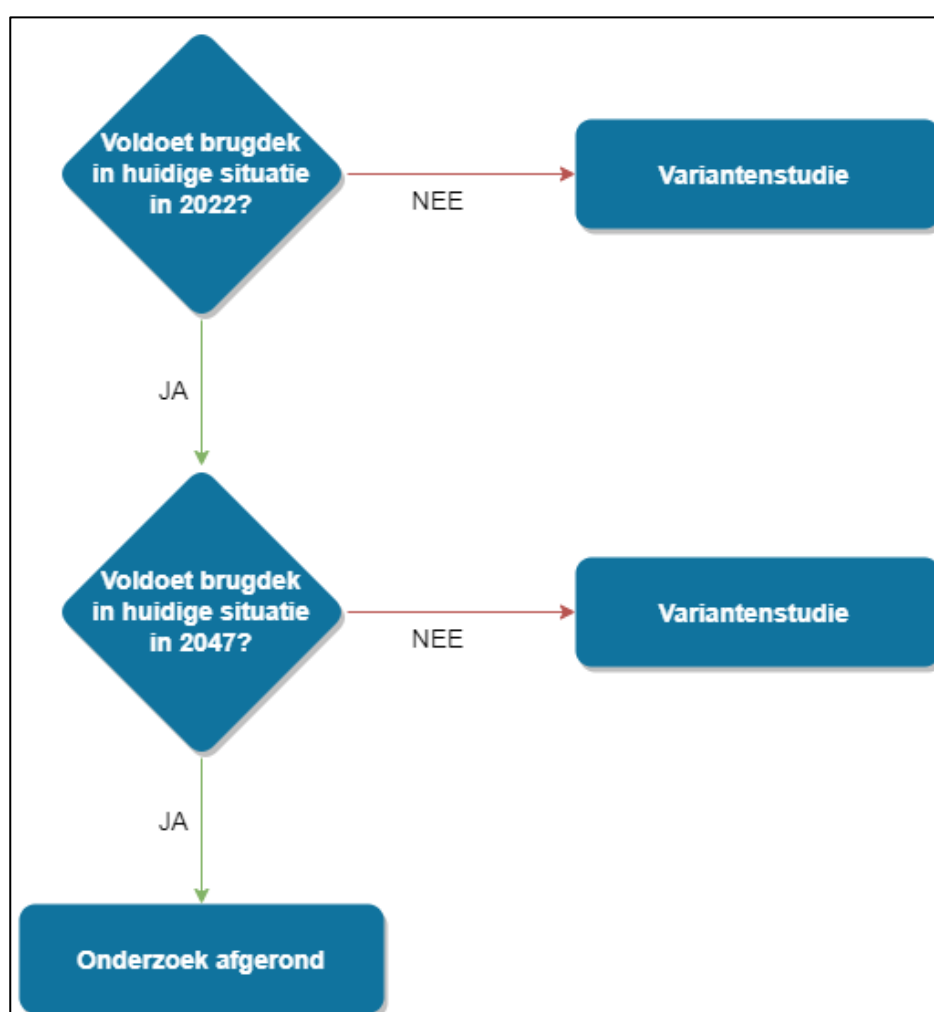
Ja	a/jaar
1989	4313205
1990	4265755
1991	4461760
1992	4753395
1993	4792085
1994	4939910
1995	4979695
1996	4972030
1997	5245050
1998	5535225
1999	5734515
2000	5542160
2001	5927965
2002	6404290
2003	7159475
2004	6937555
2005	6769655
2006	6939874
2007	7110093
2008	7280312
2009	7450531
2010	7620750
2011	7765247
2012	7000000
2013	6000000
2014	5000000
2015	4167640
2016	4184230
2017	4200820
2018	4217410
2019	4234000
2020	4250590
2021	4267180
2022	4283770
2023	4300360
2024	4316950
2025	4333540
2026	4350130
2027	4366720
2028	4383310
2029	4399900
2030	4416490
2031	4433080
2032	4449670
2033	4466260
2034	4482850
2035	4499440
2036	4516030
2037	4532620
2038	4549210
2039	4565800
2040	4582390
2041	4598980
2042	4615570
2043	4632160
2044	4648750
2045	4665340
2046	4681930
2047	4698520



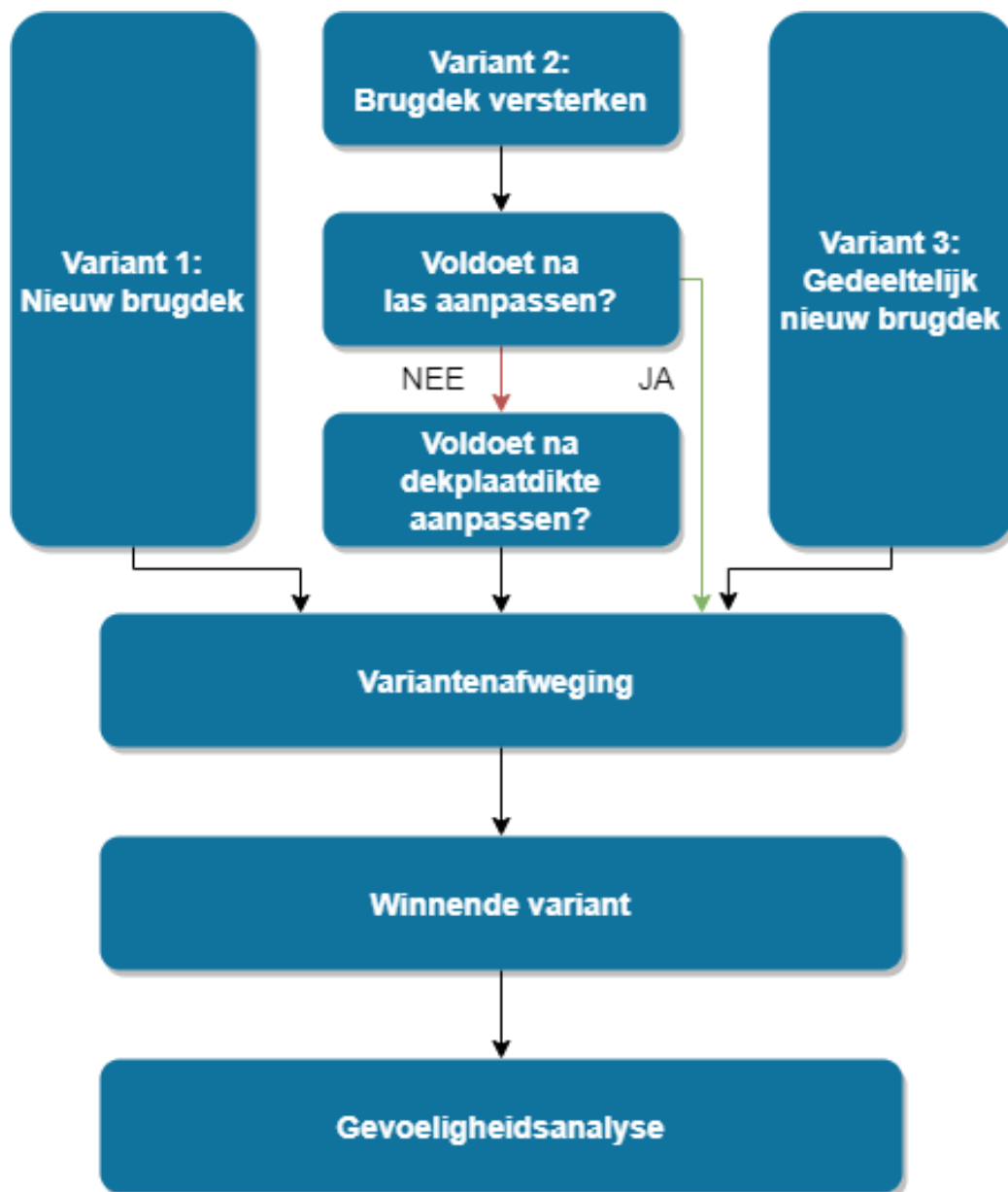
Bijlage XVII : Flowcharts



Figuur 73: Flowchart verslagopzet (Henzel J., Flowchart Methode)



Figuur 74: Flowchart toetsing (Henzel J., Flowchart Methode)



Figuur 75: Flowchart variantenstudie (Henzel J. , Flowchart Methode)

Bijlage XVIII : Berekeningsfactoren tabellen & grafieken

9.4.1 Algemeen

Vermoeiingsmodel 4 uit NEN-EN 1991-2+C1 moet zijn toegepast, tenzij anders is overeengekomen in de projectspecificatie.

Figuur 78: Belastingsmodel 4 moet zijn toegepast volgens NEN-EN 1993-2+C1:2011+NB art 9.4 (6) (NEN, 2007).

De historie van het spanningsverloop wordt verkregen door het analyseren van gegevens afkomstig van of goedgekeurd door de opdrachtgever. Deze gegevens zijn verkregen door het registreren van werkelijke resp. representatieve verkeerssituaties en zijn vermenigvuldigd met de dynamische vergrotingsfactor (ϕ_{fat}). Deze dynamische vergrotingsfactor moet het dynamisch gedrag van de brug in rekening brengen en is afhankelijk van de verwachte vlakheid van het wegdek en de reeds geregistreerde dynamische effecten. De geregistreerde aslasten moeten zijn vermenigvuldigd met

- $\phi_{fat} = 1,2$ voor een wegdek met een goede vlakheid;
- $\phi_{fat} = 1,4$ voor een wegdek met een gemiddelde vlakheid.

Figuur 77: Aangezien de slijtlaag momenteel is slechtere staat is (gemiddelde vlakheid = 1,4), maar hij in korte tijd wordt vervangen (goede vlakheid 1,2) wordt er uitgegaan van het gemiddelde. Volgens NEN-EN 1991-2+C1 NB (NEN, 2011).

Label NB.1 — Reductiefactor voor aslasten

Verkeerscategorie	Reductiefactor $\alpha_{fat} \times \Delta\phi_{fat}$
2	0,9
3	0,9
4	0,9

Figuur 76: Reductiefactor voor aslasten BM4 voor vermoeiing afgelezen uit NEN-EN 1991-2+C1 NB (NEN, 2011).

A.2 Belastingsmodel voor vermoeiing

(1) De te beschouwen wiel- en astypes zijn weergegeven in onderstaande figuur A.1

OPMERKING 1 De configuraties B en C hebben dezelfde uitwendige maat.

OPMERKING 2 De wielprinten komen overeen met die in NEN-EN 1991-2+C1.

(2) De te beschouwen samenstelling van het vrachtverkeer is onderverdeeld in drie tijdvakken, te weten het tijdvak van de opening van de brug t/m 1990 (zie tabel A.1), het tijdvak van 1991 t/m 2010 (zie tabel A.2) en het tijdvak van 2011 t/m het einde van de referentieperiode (zie tabel A.3).

In de tabellen zijn de as- en vrachtwagenbelastingen opgenomen voor de situatie, behorend bij het referentiejaar 2000, exclusief dynamische effecten en exclusief ontwikkeling in de tijd. Voor de benodigde correcties wordt verwezen naar de bepalingen (3) t/m (5).

In de tabellen is ten aanzien van de samenstelling van het vrachtverkeer onderscheid gemaakt tussen 'lange afstand', 'middellange afstand' en 'korte afstand'.

(3) De as- en vrachtwagenbelastingen die zijn vermeld in de tabellen in (2), moeten zijn gecorrigeerd voor dynamische invloeden voortkomend uit onvlakheden in de weg en dynamische effecten van constructieonderdelen door vermenigvuldiging met $\psi_{s1} = 1,1$.

De effecten van voegen of voegovergangen moeten aanvullend op bovenstaande in rekening te zijn gebracht in overeenstemming met NEN-EN 1991-2+C1 en NEN-EN 1993-2+C1.

Figuur 79: Volgens NEN 8701 Bijlage A wordt er een factor van 1,1 gebruikt voor de onvlakheden en dynamische effecten (NEN, 2020).

Vrachtwagens (vrw's)				Assen		Astype	Asbelasting ^a			Vrachtwagenbelasting ^a		
type	% van totaal aantal vrw's			nr.	afstand (m)	type A, B of C opening-1990	laag	middel	hoog	laag	middel	hoog
	vrw's lange	vrw's middellange	vrw's lokaal				(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
	afstand	afstand	verkeer				50 %	35 %	15 %	50 %	35 %	15 %
							aantal vrw's	aantal vrw's	aantal vrw's	aantal vrw's	aantal vrw's	aantal vrw's
1	10,0 %	50,0 %	75,0 %	2	5,20	A	35	55	70	75	125	170
V11						B	40	70	100			
2	10,0 %	10,0 %	10,0 %	3	3,80	A	55	75	90	145	215	315
V12					1,30	B	50	80	125			
						B	40	60	100			
3	25,0 %	15,0 %	5,0 %	4	3,80	A	55	60	70	180	245	350
T11O2					6,60	B	55	75	110			
					1,30	B	35	55	85			
						B	35	55	85			
4	50,0 %	20,0 %	5,0 %	5	3,80	A	60	70	80	185	345	475
T11O3					5,60	B	50	95	125			
					1,30	B	25	60	90			
					1,30	B	25	60	90			
						B	25	60	90			
5	5,0 %	5,0 %	5,0 %	6	2,80	A	60	70	80	295	460	600
T12O3					1,30	B	40	60	90			
					5,60	B	60	90	115			
					1,30	B	45	80	105			
					1,30	B	45	80	105			
						B	45	80	105			
Totaal	100,0 %	100,0 %	100,0 %									

^a Referentiewaarde geldend voor lange afstand in het jaar 2000, exclusief dynamische effecten en tijdmatige ontwikkeling belasting.

Figuur 81: Screenshot Tabel 1 - Vrachtwagensamenstelling, asbelasting en astypes voor tijdvak opening-1990 uit NEN 8701 (NEN, 2020).

Vrachtwagens (vrw's)				Assen		Astype	Asbelasting ^a			Vrachtwagenbelasting ^a		
type	% van totaal aantal vrw's			nr.	afstand (m)	type A, B of C 1991-2010	laag	middel	hoog	laag	middel	hoog
	vrw's lange	vrw's middellange	vrw's lokaal				(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
	afstand	afstand	verkeer				50 %	35 %	15 %	50 %	35 %	15 %
							aantal vrw's	aantal vrw's	aantal vrw's	aantal vrw's	aantal vrw's	aantal vrw's
1	10,0 %	50,0 %	75,0 %	2	5,20	A	35	55	70	75	125	170
V11						B	40	70	100			
2	10,0 %	10,0 %	10,0 %	3	3,80	A	55	75	90	145	215	315
V12					1,30	B	50	80	125			
						B	40	60	100			
3	25,0 %	15,0 %	5,0 %	4	3,80	A	55	60	70	180	245	350
T11O2					6,60	B	55	75	110			
					1,30	C	35	55	85			
						C	35	55	85			
4	50,0 %	20,0 %	5,0 %	5	3,80	A	60	70	80	185	345	475
T11O3					5,60	B	50	95	125			
					1,30	C	25	60	90			
					1,30	C	25	60	90			
						C	25	60	90			
5	5,0 %	5,0 %	5,0 %	6	2,80	A	60	70	80	295	460	600
T12O3					1,30	B	40	60	90			
					5,60	B	60	90	115			
					1,30	B	45	80	105			
					1,30	B	45	80	105			
						B	45	80	105			
Totaal	100,0 %	100,0 %	100,0 %									

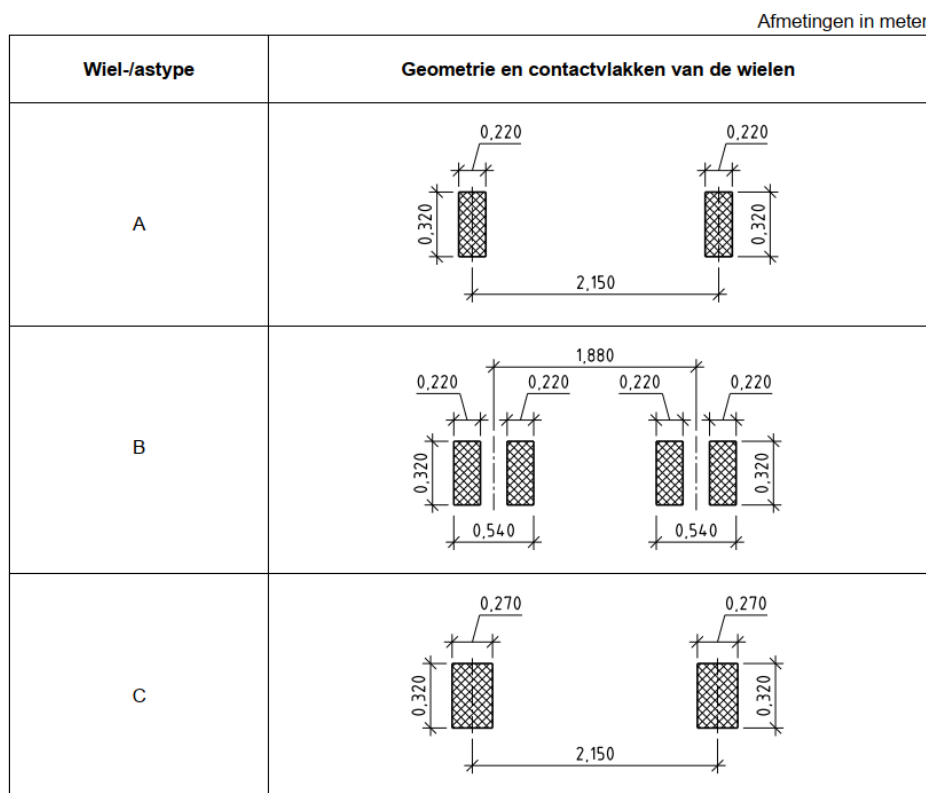
^a Referentiewaarde geldend voor lange afstand in het jaar 2000, exclusief dynamische effecten en tijdmatige ontwikkeling belasting.

Figuur 80: Screenshot Tabel 2 - Vrachtwagensamenstelling, asbelasting en astypes voor tijdvak 1991-2010 uit NEN 8701 (NEN, 2020).

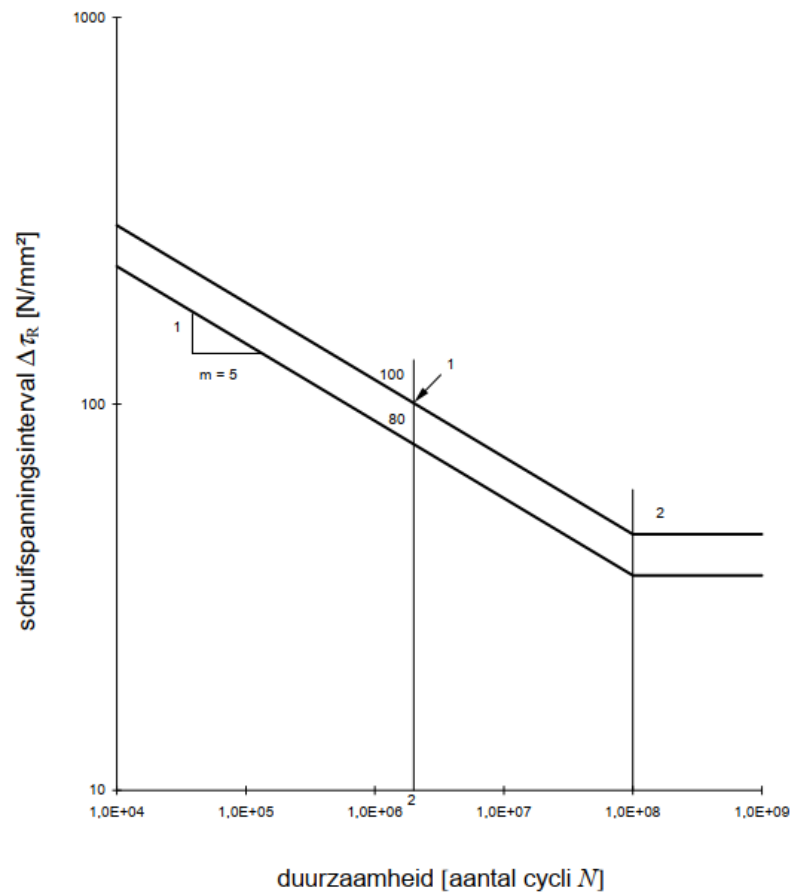
Vrachtwagens (vrw's)				Assen		Astype	Asbelasting ^a			Vrachtwagenbelasting ^a		
type	% van totaal aantal vrw's			nr.	afstand (m)	type A, B of C 2011 - einde ref.per.	laag	middel	hoog	laag	middel	hoog
	vrw's lange afstand	vrw's middellange afstand	vrw's lokaal verkeer				(kN) 50 % aantal	(kN) 35 % aantal	(kN) 15 % aantal	(kN) 50 % aantal	(kN) 35 % aantal	(kN) 15 % aantal
1	10,0 %	50,0 %	75,0 %	2	5,20	A	35	55	70	75	125	170
V11						B	40	70	100			
2	10,0 %	10,0 %	10,0 %	3	3,80	A	55	75	90	145	215	315
V12					1,30	B	50	80	125			
						C	40	60	100			
3	20,0 %	15,0 %	5,0 %	4	3,80	A	55	60	70	180	245	350
T11O2					6,60	B	55	75	110			
					1,30	C	35	55	85			
						C	35	55	85			
4	50,0 %	17,5 %	5,0 %	5	3,80	A	60	70	80	185	345	475
T11O3					5,60	B	50	95	125			
					1,30	C	25	60	90			
					1,30	C	25	60	90			
						C	25	60	90			
5	5,0 %	5,0 %	5,0 %	6	4,20	A	60	75	90	300	450	580
V12A12					1,30	B	70	95	125			
					4,20	C	45	70	95			
					3,80	C	45	80	100			
					1,30	C	40	65	85			
						C	40	65	85			
6	5,0 %	2,5 %	0,0 %	8	2,80	A	60	70	80	365	580	770
T12O3A2					1,30	B	40	60	90			
					5,60	B	60	90	115			
					1,30	C	45	80	105			
					1,30	C	45	80	105			
					4,20	C	45	80	105			
					1,30	C	35	60	85			
						C	35	60	85			
Totaal	100,0 %	100,0 %	100,0 %									

^a Referentiewaarde geldend voor lange afstand in het jaar 2000, exclusief dynamische effecten en tijdmatige ontwikkeling belasting.

Figuur 83: Screenshot Tabel 3 - Vrachtwagensamenstelling, asbelasting en astypes voor tijdvak 2011-einde referentieperiode uit NEN 8701 (NEN, 2020).



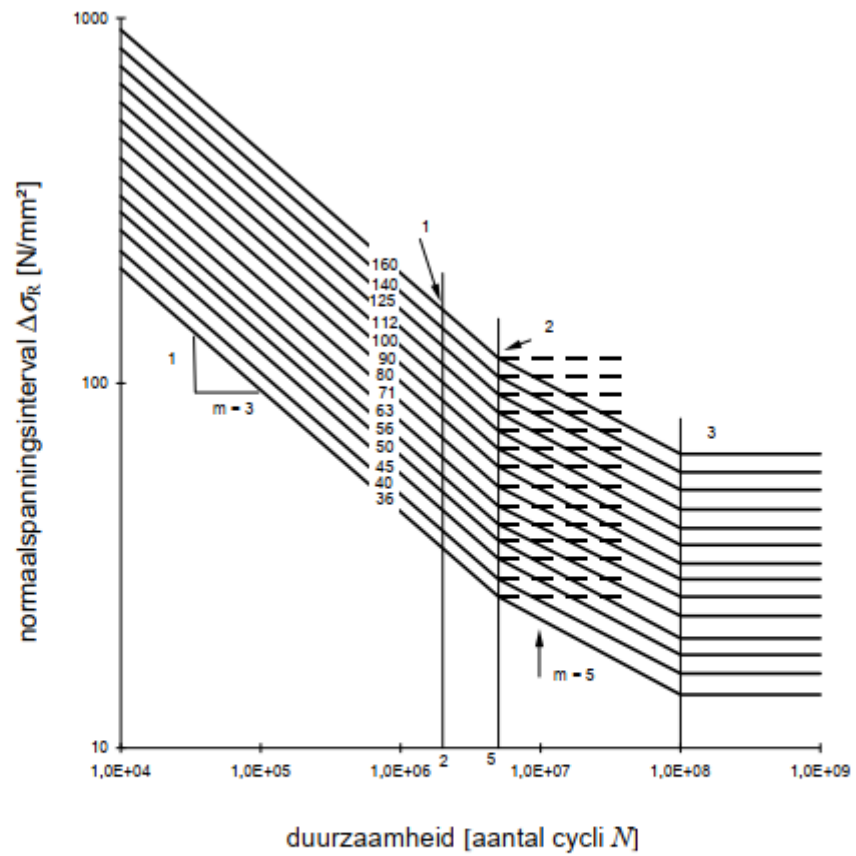
Figuur 82: Wieltypes bijbehorend bij de vorige drie tabellen uit de NEN 8701 (NEN, 2020).



Verklaring

- 1 detailcategorie $\Delta \tau_C$
- 2 afkaplimiet $\Delta \tau_L$

Figuur 84: Vermoeiingssterktekrommen voor schuifspanningen uit NEN 1993-1-9 (NEN, 2006).

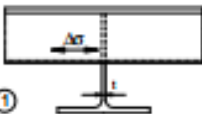
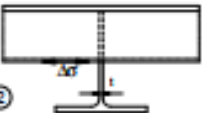
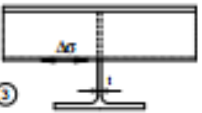
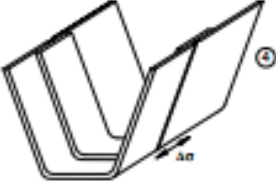
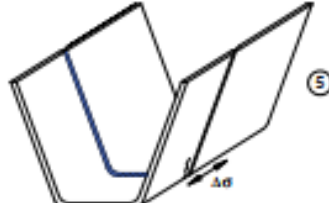
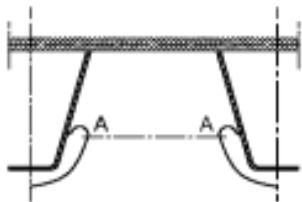
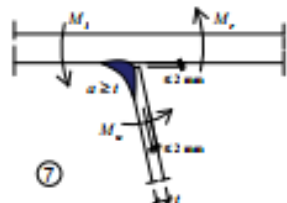
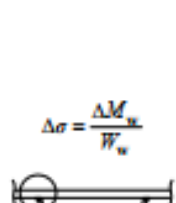
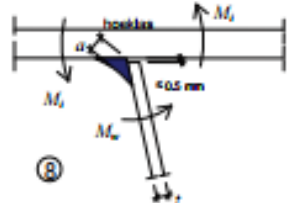


Verklaring

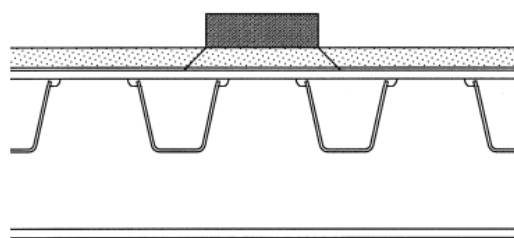
- 1 detailcategorie $\Delta\sigma_C$
- 2 vermoeiingsgrens bij constante amplitude $\Delta\sigma$
- 3 afkaplimiet $\Delta\sigma_L$

Figuur 85: Vermoeiingssterktekrommen voor normaalspanningsintervallen uit NEN 1993-1-9 (NEN, 2006).

Tabel 8.8 — Orthotrope dekken met gesloten langsverstijvers

Detail-categorie	Construotiedetail		Behoort(j)ing	Eisen
80	$t \leq 12\text{mm}$	 	1) Doorgaande langsverstijver, met uitsparingen in de dwarsdrager.	1) Toetsing gebaseerd op het normaalspanningsinterval $\Delta\sigma$ in de langsverstijver.
71	$t > 12\text{mm}$			
80	$t \leq 12\text{mm}$	 	2) Doorgaande langsverstijver, zonder uitsparingen in de dwarsdrager.	2) Toetsing gebaseerd op het normaalspanningsinterval $\Delta\sigma$ in de langsverstijver.
71	$t > 12\text{mm}$			
36		 	3) Aparte langsverstijvers aan weerszijden van de dwarsdrager.	3) Toetsing gebaseerd op het normaalspanningsinterval $\Delta\sigma$ in de langsverstijver.
71			4) Stuk in de verstijver, stompe las zonder spleet, op onderlegstrip.	4) Toetsing gebaseerd op het normaalspanningsinterval $\Delta\sigma$ in de langsverstijver.
112	Volgens detail 1, 2, 4 in tabel 8.3		5) Stuk in de verstijver, stompe las zonder spleet, aan weerszijden gelast, zonder onderlegstrip.	5) Toetsing gebaseerd op het normaalspanningsinterval $\Delta\sigma$ in de langsverstijver. De hechtlassen bevinden zich in de stompe las.
90	Volgens detail 5, 7 in tabel 8.3			
80	Volgens detail 5, 11 in tabel 8.3			
71			6) Kritieke doorsnede in het lijf van de dwarsdrager ten gevolge van de uitsparingen.	6) Toetsing gebaseerd op het spanningsinterval in de kritieke doorsnede, rekening houdende met Vlerendeffecten. OPMERKING In het geval dat het spanningsinterval is bepaald volgens EN 1993-2, 9.4.2.2(3), mag detailcategorie 112 zijn gebruikt.
71		 	Las die de dekplaat verbindt aan de trapeziumvormige of V-vormige langsverstijver. 7) Stompe las met spleet met $a \geq t$ $\Delta\sigma = \frac{\Delta M_w}{W_w}$	7) Toetsing gebaseerd op het normaalspanningsinterval door buiging in de plaat.
50		 	8) Hoeklas of stompe las met spleet buiten het geldigheidsgebied van detail 7)	8) Toetsing gebaseerd op het normaalspanningsinterval door buiging in de plaat.

Figuur 86: Bepaling van detailcategorie voor orthotrope dekken voor vermoeiing uit NEN 1993-1-9 (NEN, 2006).



Figuur 4.5 – Spreiding van geconcentreerde lasten door de slijtlaag en orthotrope brugdekken

Figuur 87: Spreiding van 1 op 1 voor orthotrope dekken

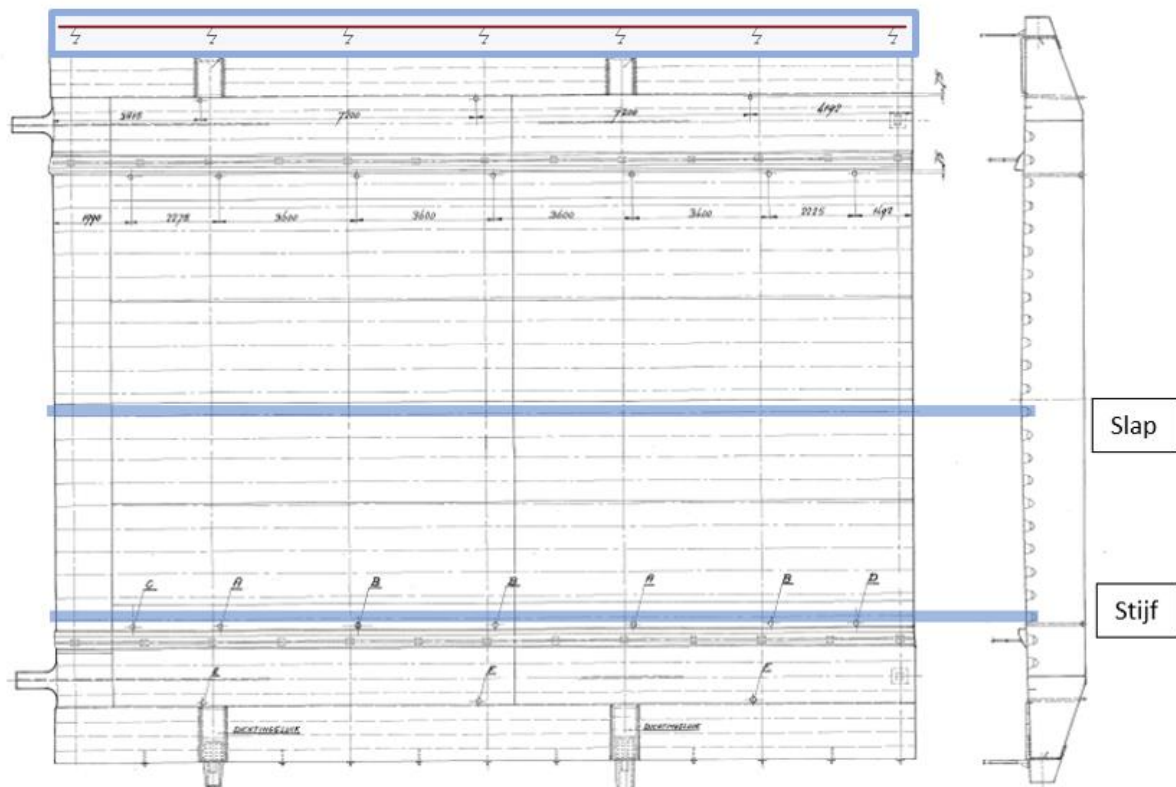
- a) De belastingsmodellen 1, 2 en 3 voor vermoeing zijn bedoeld om de maximale en minimale spanningen te bepalen die voortvloeien uit de verschillende mogelijke belastingsschikkingen van deze modellen op de brug. In veel gevallen wordt in EN1992 tot en met EN1999 alleen het algebraïsch verschil van deze spanningen gebruikt.
- b) De belastingsmodellen 4 en 5 voor vermoeing zijn bedoeld om de spectra van de spanningswisselingen die door vrachtverkeer op de brug worden veroorzaakt, te bepalen.
- c) De belastingsmodellen 1 en 2 voor vermoeing zijn bedoeld om te controleren of de vermoeingslevensduur als onbeperkt mag worden beschouwd voor een gegeven grenswaarde van de constante-amplitude-spanningswisseling. Daarom zijn deze modellen geschikt voor staalconstructies en kunnen zij ongeschikt zijn voor andere materialen. Belastingmodel 1 voor vermoeing is meestal conservatief en dekt automatisch de invloed van belasting op meer rijstroken af. Voor het geval de gelijktijdige aanwezigheid van meer vrachtwagens op de brug kan worden verwaarloosd voor toetsing van vermoeing, is belastingmodel 2 voor vermoeing accurater dan belastingmodel 1 voor vermoeing. Indien dit niet het geval is, dan behoort belastingmodel 2 voor vermoeing alleen te worden gebruikt als er aanvullende gegevens beschikbaar zijn. De nationale bijlage kan voorwaarden geven voor het gebruik van belastingmodel 1 en 2 voor vermoeing.
- d) De belastingsmodellen 3, 4 en 5 voor vermoeing zijn bedoeld voor het bepalen van de vermoeingslevensduur, onder verwijzing naar de vermoeingscurves, vastgesteld in EN 1992 tot en met EN1999. Deze modellen behoren niet te worden gebruikt om te controleren of de vermoeingslevensduur als onbegrensd mag worden beschouwd. Om die reden zijn deze modellen numeriek niet vergelijkbaar met de belastingsmodellen 1 en 2 voor vermoeing. Het belastingmodel 3 voor vermoeing mag ook worden gebruikt voor de directe toetsing van ontwerpen en berekeningen volgens vereenvoudigde methoden, waarbij de invloed van het jaarlijkse verkeersvolume en van bepaalde brugafmetingen door een materiaalafhankelijke correctiefactor λ_k in rekening wordt gebracht.
- e) Belastingmodel 4 voor vermoeing accurater dan belastingmodel 3 voor vermoeing, mits de gelijktijdige aanwezigheid van meer vrachtwagens op de brug mag worden verwaarloosd, voor verschillende bruggen en verkeerssituaties. Indien dit niet het geval is, dan behoort belastingmodel 4 voor vermoeing alleen te worden gebruikt als er aanvullende gegevens beschikbaar zijn, als het is voorgeschreven of als het is vastgesteld in de nationale bijlage.
- f) Belastingmodel 5 voor vermoeing is het meest algemene model en maakt gebruik van werkelijke verkeersgegevens.

Figuur 88: Uitleg over de vijf belastingcombinaties voor vermoeing uit NEN-1991-2+C1 Bijlage

Bijlage XIX : Toetsing model 1 - trog vermoeiingsterkte op dwarsdragers in langsrichting

Modelomschrijving

Dit model bestaat uit twee modellen: één trog wordt getoetst dichtbij een hoofdligger (Stijf) en één trog wordt getoetst ver weg van de hoofdligger (Slap), zie onderstaande figuur. Het is dus aangenomen dat de meewerkende breedte 1 trog bevat. De twee modellen verschillen zich in de doorbuiging, waarbij twee verschillende veerconstanten zijn berekend. Hiermee wordt onderzocht welk model de meeste spanningen veroorzaakt. Model 1 ziet er als volgt uit, zie onderstaande figuur. Waarbij de waarde van de veren per model Stijf of Slap verschillen.



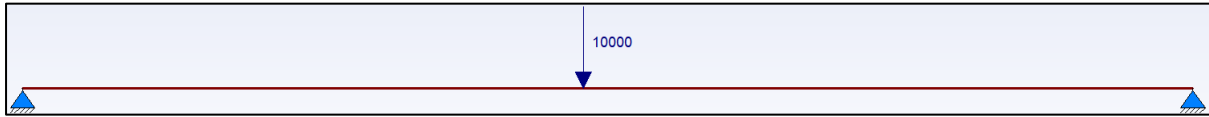
Figuur 89: Model 1 vermoeiing van troggen op dwarsdragers in langsrichting bestaat uit twee modellen: één trog wordt getoetst dichtbij een hoofdligger (Stijf) en één trog wordt getoetst ver weg van de hoofdligger (Slap).

Veerconstante

De twee veerconstanten zijn berekend door een middel van het bepalen van de uitrekking op de plaats van de trog, zie de volgende formules:

$$K_{slap} = \frac{F_{slap}}{U_{slap}}$$

$$K_{stijf} = \frac{F_{stijf}}{U_{stijf}}$$



Figuur 91: Dwarsligger op twee hoofdliggers met F_{slap} op locatie van de slappe trog ver van de hoofdligger



Figuur 90: Dwarsligger op twee hoofdliggers met F_{stijf} op locatie van de stijve trof dichtbij de hoofdligger

De uitrekking die plaats vindt is 282 mm, zie Bijlage XX.I.

De uitrekking die plaats vindt is 3,22 mm, zie Bijlage XX.I.

Formules invullen geeft:

$$K_{slap} = \frac{10000}{282 \times 10^{-3}} = 3,55 \times 10^4 \text{ kN/m}$$

$$K_{stijf} = \frac{10000}{3,22 \times 10^{-3}} = 3,11 \times 10^6 \text{ kN/m}$$

Deze veerconstanten zijn ingevuld in Technosoft, zie Bijlage XX.I.

Lijnbelasting

Belastingsmodel 4 voor vermoeiing is gebruikt voor het bepalen van de vermoeiingssterkte. Dit model bepaalt de spanningshistorie door middel van vijf standaard belastingsvoertuigen. De standaard belastingsvoertuigen verschillen over drie tijdsperiodes, omdat de vrachtwagens van vroeger minder belasten dan nu. De vrachtwagensamenstellingen zijn vastgesteld in NEN8701, zie de tabellen in Bijlage XVII.IV. De aslasten zijn vastgesteld in de uitgangspunten en aannames. Met de volgende formule zijn de lijnbelastingen berekend als input voor de Technosoft modellen.

$$\text{Lijnbelasting} = \frac{\frac{\text{asbelasting}}{2 (\text{aantal wielen})}}{\text{wiellengte}} \times \text{vermoeiingsbelastingfactor}$$

Zie onderstaande tabel voor de lijnbelasting berekeningen voor elk type vrachtwagen.

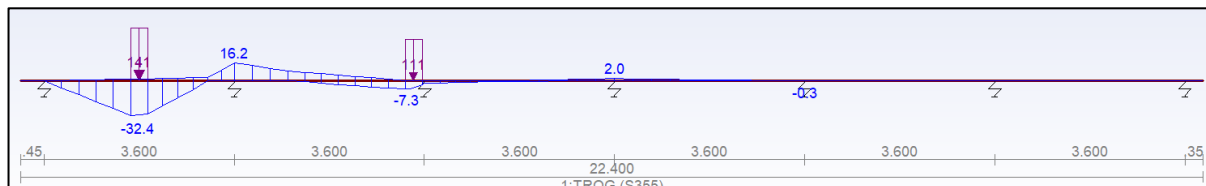
Tabel 24: Wiellastenberekening als input voor Technosoft: Trog in langsrichting (Model 1 Technosoft, zie Bijlage XX.I)

Benaming	Q	Berekening lijnbelasting	Wiel-lengte
----------	---	--------------------------	-------------

BM4 Type 1	1	$55 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 111 \text{ kN/m}$	0,32 m
	2	$70 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 141 \text{ kN/m}$	0,32 m
BM4 Type 2	1	$75 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 151 \text{ kN/m}$	0,32 m
	2	$80 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 161 \text{ kN/m}$	0,32 m
	3	$60 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 121 \text{ kN/m}$	0,32 m
BM4 Type 3	1	$60 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 121 \text{ kN/m}$	0,32 m
	2	$75 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 151 \text{ kN/m}$	0,32 m
	3	$55 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 111 \text{ kN/m}$	0,32 m
	4	$55 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 111 \text{ kN/m}$	0,32 m
BM4 Type 4	1	$70 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 141 \text{ kN/m}$	0,32 m
	2	$95 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 191 \text{ kN/m}$	0,32 m
	3	$60 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 121 \text{ kN/m}$	0,32 m
	4	$60 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 121 \text{ kN/m}$	0,32 m
	5	$60 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 121 \text{ kN/m}$	0,32 m
BM4.5 Type 5	1	$70 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 141 \text{ kN/m}$	0,32 m
	2	$60 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 121 \text{ kN/m}$	0,32 m
	3	$90 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 181 \text{ kN/m}$	0,32 m
	4	$80 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 161 \text{ kN/m}$	0,32 m
	5	$80 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 161 \text{ kN/m}$	0,32 m
	6	$80 \text{ kN} / 2 / 0,32 \text{ m} \times 1,287 = 161 \text{ kN/m}$	0,32 m

Momentbepaling

Elk type vrachtwagen is ingevuld in Technosoft voor het bepalen van de spanningsinterval, zie onderstaand model als voorbeeld. Vrachtwagentype 1 is als voorbeeld gebruikt op model SLAP. De lijnbelasting wordt op de plek gezet waar het grootste moment onder ontstaat. Het grootste moment is als maatgevend beschouwd voor de verdere berekening, waarbij de overige momenten worden weggelaten.

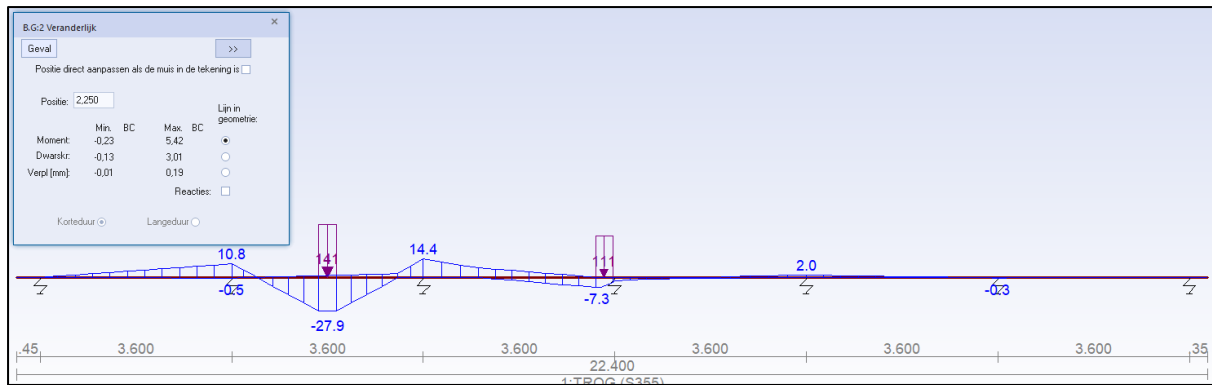


Figuur 92: : belastingsvrachtwagentype 1 op maatgevende locatie op trog op zeven dwarsdragers met grootste moment onder (Monder).

Het grootste moment dat ontstaat is 32,4 kN*m voor belastingsvrachtwagentype 1. Dit is in het midden van de eerste twee steunpunten.

Voor het bepalen van de spanningsinterval op de locatie tussen de eerste twee steunpunten zal ook het grootste positieve moment worden bepaalt. Dit moment ontstaat als de Q-last tussen steunpunt 2 en 3 zit.

Op deze werkwijze zijn de maatgevende momenten bepaalt voor het stijve en het slappe model, zie onderstaande Tabel. De waarden zijn afgelezen zonder overige belastingsfactoren, omdat alleen de vermoeiingsbelastingsfactor geldt.



Figuur 93: belastingsvrachtwagentype 1 op maatgevende locatie op trog op zeven dwarsdragers met grootste moment boven op positie 2,25 in het midden van de eerste twee steunpunten (Mboven).

Tabel 25: Maatgevende momenten voor alle typen vrachtwagens voor het stijve en slappe model, afgelezen uit modellen uit Bijlage XX.I.

Benaming	Stijf model $M_{\text{onder}} - M_{\text{boven}}$ (kN*m)	Slap model $M_{\text{onder}} - M_{\text{boven}}$ (kN*m)
BM4 Type 1	[-31, +6]	[-32, +5]
BM4 Type 2	[-44, +11]	[-45, +9]
BM4 Type 3	[-34, +7]	[-36, +6]
BM4 Type 4	[-42, +10]	[-43, +8]
BM4.5 Type 5	[-55, +14]	[-57, +11]

Er kan geconcludeerd worden dat er weinig verschil zit tussen de momentintervallen. Het slappe model geeft een grotere M_{onder} , terwijl het stijve model een grotere M_{boven} geeft. Dit komt omdat het moment doorzakt in de M lijn bij het slappere model, omdat de veren een kleinere waarde hebben. De verschillen in momentinterval zit in de afronding. In onderstaande kopje wordt verder gerekend met de grootste momentintervallen.

Spanningsintervallen

Met de onderste twee formules wordt de spanning berekend. Er is onderscheid tussen de spanning boven (σ_b) en onder (σ_o) het zwaartepunt van het trogprofiel. Maatgevend is de spanning onder (σ_o), omdat de afstand tot het zwaartepunt (e_o) het grootst is.

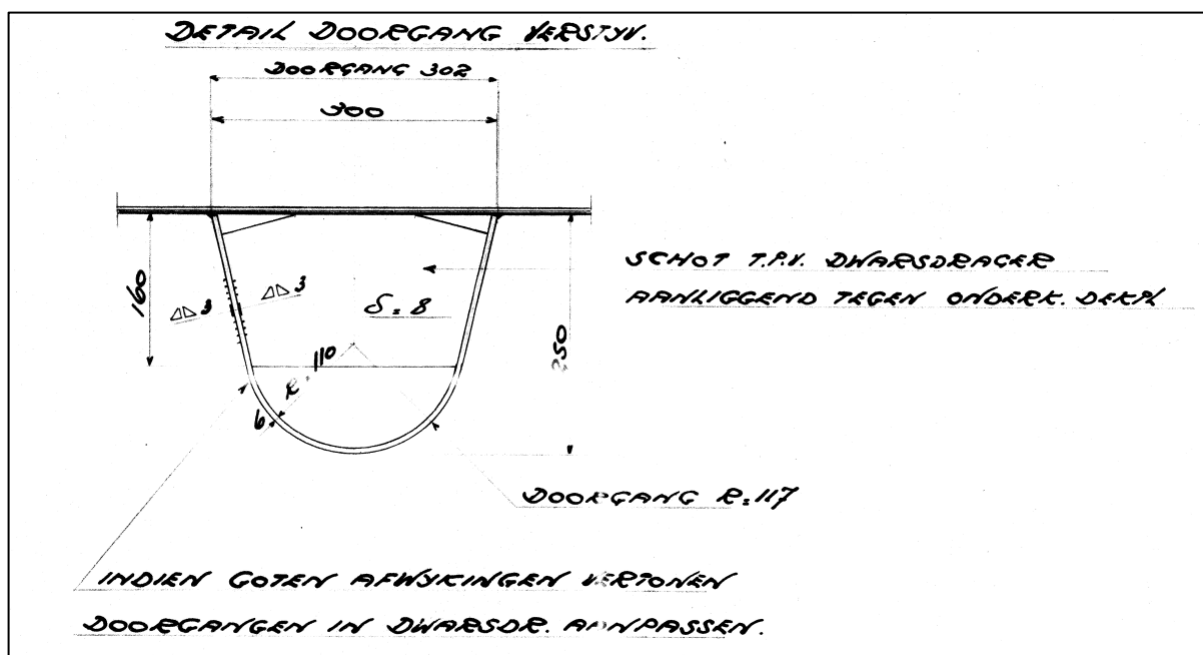
$$\sigma_b = \frac{M}{W_b} = \frac{M \times e_b}{I}$$

$$\sigma_o = \frac{M}{W_o} = \frac{M \times e_o}{I} = \Delta\sigma$$

I is bepaald in de berekening uit 2007, zie Bijlage XX.I.

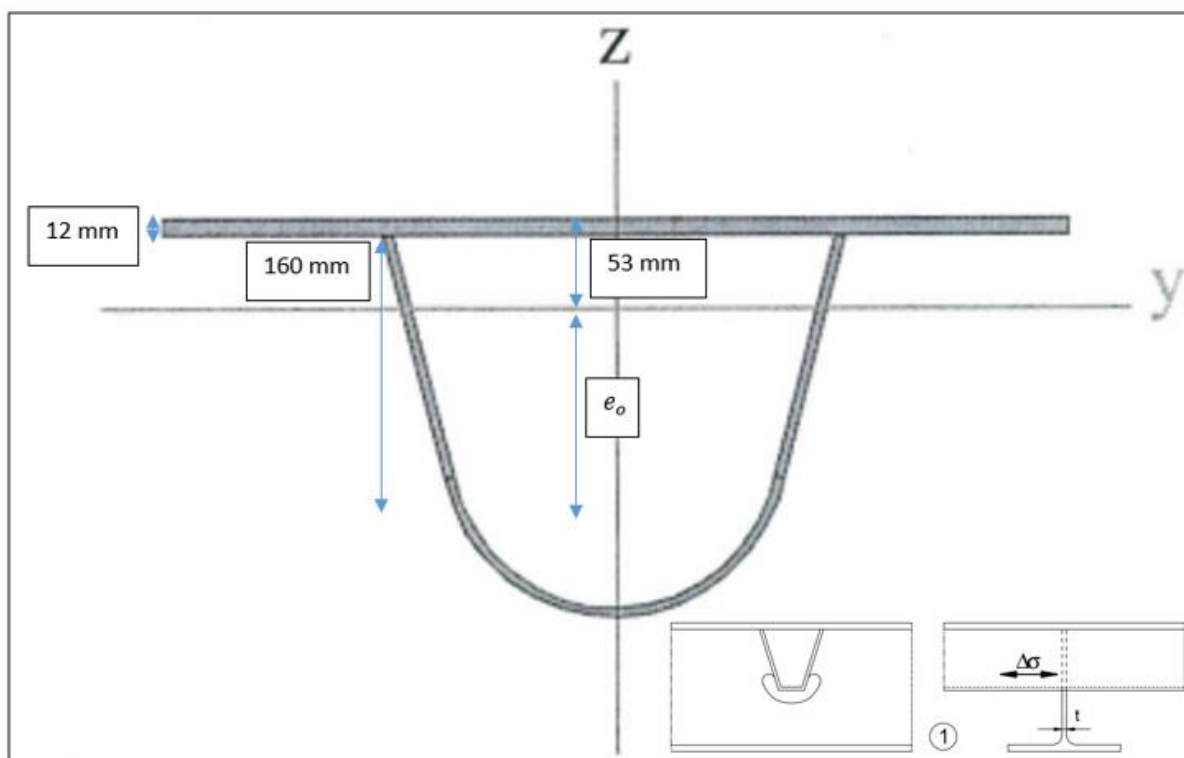
De afstand e_o is bepaald met de figuur op de volgende pagina. Er is aangenomen dat de trog rust op 160 mm op de dwarsdrager. Op die hoogte vindt dan de overgave van de spanningsinterval plaats, zie de twee figuren op de volgende pagina.

$$e_o = 160 + 12 - 53 = 119 \text{ mm}$$



Figuur 95: Doorgang van de dwarsdrager en trog is 1 mm aan alle zijden. “Indien goten afwijkingen vertonen doorgangen in dwarsdrager aanpassen”. In de huidige staat is dus onduidelijk waar de trog rust op de dwarsdrager (Verbaan, A52368 - Val hoofdliggers en dwarsdragers).

Het is onbekend of alle troggen rusten op de dwarsdrager aan alle zijden. De doorgang is 1 mm tussen de dwarsdrager en de trog, echter is de aansluiting onbekend. Daarnaast zijn de afwijkingen in de goten niet vastgelegd in de huidige staat, zie figuur bovenaan.



Figuur 94: Trogprofiel met zwaartepunt om e_0 te bepalen op de hoogte van het spanningsinterval, zie rechtsonder.

In onderstaande tabel zijn de grootste spanningsintervallen bepaald per type vrachtwagen met gebruik van eerder benoemde formule.

Tabel 26: Berekende spanningsinterval per vrachtwagentype model 1

Benaming	Spanningsinterval $\Delta\sigma$
BM4 Type 1	$\Delta\sigma_1 = 37 \times 10^6 \text{ N*mm} \times 119 \text{ mm} / 8,3 \times 10^7 \text{ mm}^4 = 53 \text{ N/mm}^2$
BM4 Type 2	$\Delta\sigma_2 = 55 \times 10^6 \text{ N*mm} \times 119 \text{ mm} / 8,3 \times 10^7 \text{ mm}^4 = 79 \text{ N/mm}^2$
BM4 Type 3	$\Delta\sigma_3 = 42 \times 10^6 \text{ N*mm} \times 119 \text{ mm} / 8,3 \times 10^7 \text{ mm}^4 = 60 \text{ N/mm}^2$
BM4 Type 4	$\Delta\sigma_4 = 52 \times 10^6 \text{ N*mm} \times 119 \text{ mm} / 8,3 \times 10^7 \text{ mm}^4 = 75 \text{ N/mm}^2$
BM4.5 Type 5	$\Delta\sigma_5 = 69 \times 10^6 \text{ N*mm} \times 119 \text{ mm} / 8,3 \times 10^7 \text{ mm}^4 = 99 \text{ N/mm}^2$

Alle $\Delta\sigma < 1,5 \cdot f_y$ (355 N/mm^2) $\rightarrow 99 \text{ N/mm}^2 > 532,5 \text{ N/mm}^2$ dus OK! [NEN 1993-1-9 Vermoeiingstoetsing (8.1)]

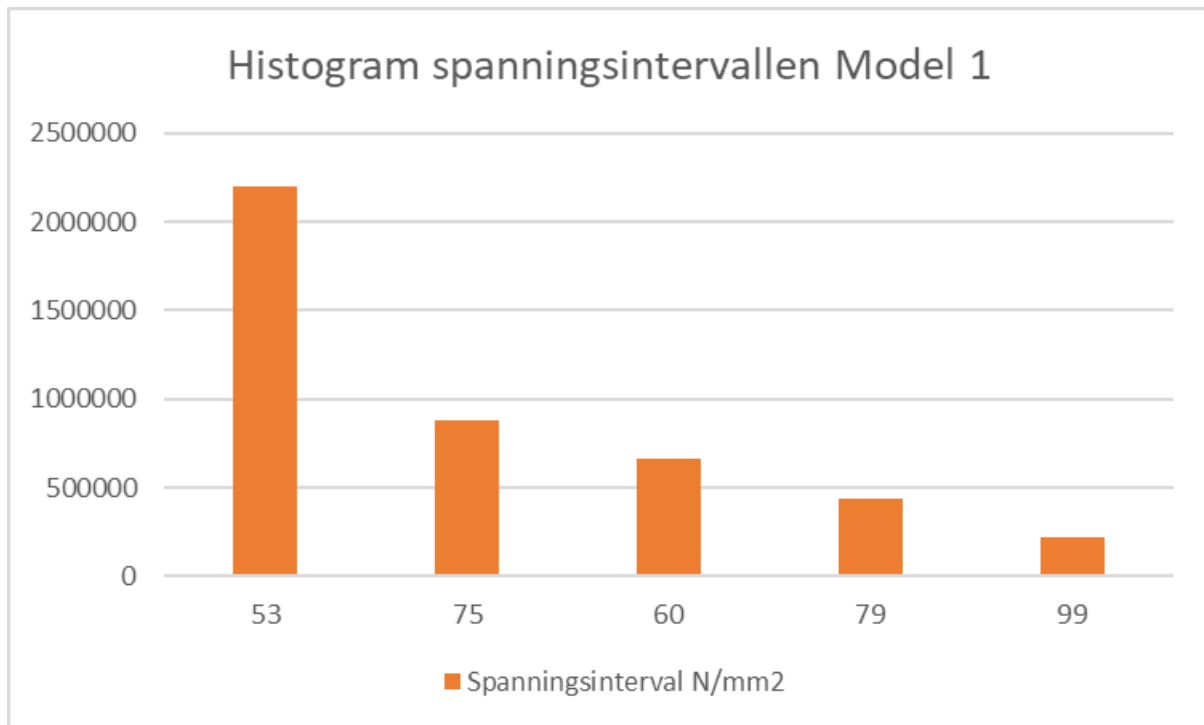
Spanningswisselingen

De spanning per één vrachtwagen is nu berekend. Van 1970 tot 2022 is bepaald onder 2.8 Prognose verkeersintensiteit dat er 13,21 miljoen vrachtwagens over de brug rijden. Van deze vrachtwagens is in de tabel van de vrachtwagensamenstellingen aangenomen dat de “Middellange afstand” percentages gelden. In de eerstvolgende tabel zijn de aantal vrachtwagens per type berekend.

Tabel 27: Berekende aantal vrachtwagens per type vrachtwagen van 1970 tot 2022.

Benaming	Spanningsinterval	Percentage	Rijstroken	Aantal vrachtwagens per rijstrook
BM4 Type 1	53 N/mm ²	50%	3	2.200.000
BM4 Type 2	79 N/mm ²	10%	3	440.000
BM4 Type 3	60 N/mm ²	15%	3	660.000
BM4 Type 4	75 N/mm ²	20%	3	880.000
BM4.5 Type 5	99 N/mm ²	5,0%	3	220.000

Met deze gegevens is de volgende histogram gemaakt. De histogram geeft de verschillende spanningen weer samen met het aantal spanningswisselingen van 1970 tot 2022, zie figuur op de volgende pagina.



Figuur 96: Histogram van de spanningsintervallen en -aantallen van model 1

Toetsing

Voor het toetsen van de troggen is de volgende formule gebruikt:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} + \frac{n_5}{N_5}$$

n_i = Hedendaagse aantal vrachtwagens

N_i = Toegestane aantal vrachtwagens

De toegestane aantal vrachtwagens is te berekenen met de volgende formule.

$$\Delta\sigma_R^m \times N_R = \Delta\sigma_C^m \times 2 \times 10^6 \text{ met } m = 3 \text{ voor } N \leq 5 \times 10^6$$

$$\Delta\sigma_R^m \times N_R = \Delta\sigma_D^m \times 5 \times 10^6 \text{ met } m = 5 \text{ voor } 5 \times 10^6 < N \leq 10^8$$

Hierbij is

$\Delta\sigma_R$ = Berekende spanning

N_R = Toelaatbare aantal vrachtwagens

$\Delta\sigma_C$ = Detailcategorie, te bepalen uit Tabel 8.8 uit NEN 1993-1-9, zie Bijlage XVIII.

Voor het trogdetail geldt $\Delta\sigma_C = 80$ (Doorgaande langsverstijver met uitsparingen in de dwarsdrager, met $t=12$).

De toelaatbare aantal vrachtwagens per vrachtwagentype is als volgt berekend.

Vrachtwagentype 1:

$$\Delta\sigma_R^m \times N_1 = \Delta\sigma_C^m \times 2 \times 10^6$$

$$53^3 \times N_1 = 80^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_1 = 6,88 \times 10^6 > 5 \times 10^6$$

Dus gebruik de volgende formule:

$$\Delta\sigma_R^m \times N_R = \Delta\sigma_D^m \times 5 \times 10^6$$

$$53^5 \times N_1 = 80^5 \times 5 \times 10^6$$

$$N_1 = 39,2 \times 10^6$$

Vrachtwagentype 2:

$$79^3 \times N_2 = 80^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_2 = 2,08 \times 10^6$$

Vrachtwagentype 3:

$$60^3 \times N_3 = 80^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_3 = 4,74 \times 10^6$$

Vrachtwagentype 4:

$$75^3 \times N_4 = 80^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_4 = 4,23 \times 10^6$$

Vrachtwagentype 5:

$$99^3 \times N_5 = 80^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_5 = 1,06 \times 10^6$$

Schadetoetsingssom geeft:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} + \frac{n_5}{N_5}$$

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{2,20 \times 10^6}{39,2 \times 10^6} + \frac{0,44 \times 10^6}{2,08 \times 10^6} + \frac{0,66 \times 10^6}{4,74 \times 10^6} + \frac{0,88 \times 10^6}{4,23 \times 10^6} + \frac{0,22 \times 10^6}{1,06 \times 10^6}$$

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = 0,06 + 0,21 + 0,14 + 0,21 + 0,21 \approx 0,83$$

$$\sum \frac{n_i}{N_i} \approx 0,83 < 1 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

De berekening is nageemaakt in Excel, om te toetsen in welk jaar de troggen niet meer voldoen. In 2032 wordt de unity check overschreden. De troggen gaan dus nog tien jaar mee. Hieronder zijn de vrachtwagenintensiteiten van jaar 2032 ingevuld.

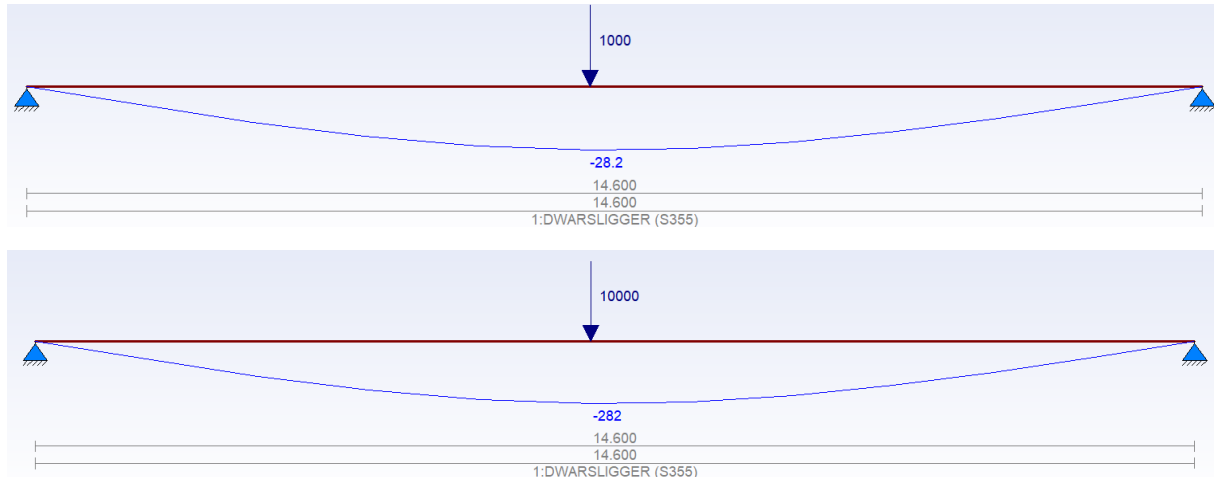
$$\sum \frac{ni}{Ni} = \frac{2,71 \times 10^6}{39,2 \times 10^6} + \frac{0,54 \times 10^6}{2,08 \times 10^6} + \frac{0,81 \times 10^6}{4,74 \times 10^6} + \frac{1,08 \times 10^6}{4,23 \times 10^6} + \frac{0,27 \times 10^6}{1,06 \times 10^6}$$

$$\sum \frac{ni}{Ni} = 0,07 + 0,26 + 0,17 + 0,26 + 0,26 \approx 1,0$$

Bijlagen van de toetsing model 1:

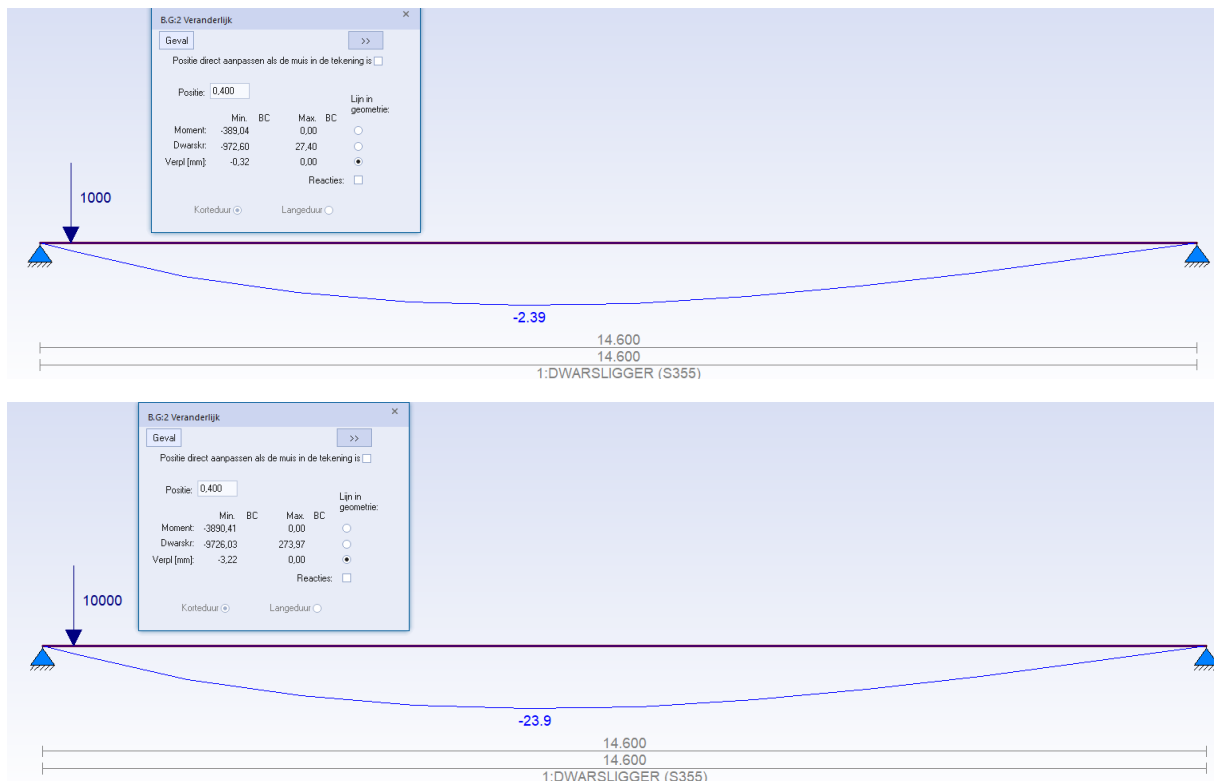
Veerconstante bepaling Model 1 SLAP

Er zijn twee screenshots te zien met een andere kracht en een andere doorbuiging. Dezelfde veerconstante F/U ontstaat. Dus hiermee is er gecontroleerd dat veerconstante met model klopt.



Veerconstante Model 1 STIJF

Er zijn twee screenshots te zien met een andere kracht en een andere doorbuiging. Dezelfde veerconstante F/U ontstaat. Dus hiermee is er gecontroleerd dat veerconstante met model klopt.



Profiel Dwarsligger, ingevuld van gegevens uit toetsing 2007

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 1 <<

Profiel: DWARSLIGGER

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

1:DWARSLIGGER

Bibliotheek

b: 3306

h: 1242

Sterke as: ☒

Zwakke as: ☐

Materiaal: 1:\$355

Staaftype: 0:Normaal

Oppervlak: 5,9192e+4

Torsietr: 0

Buigr: 1,0906e+10

Vormfac: 0

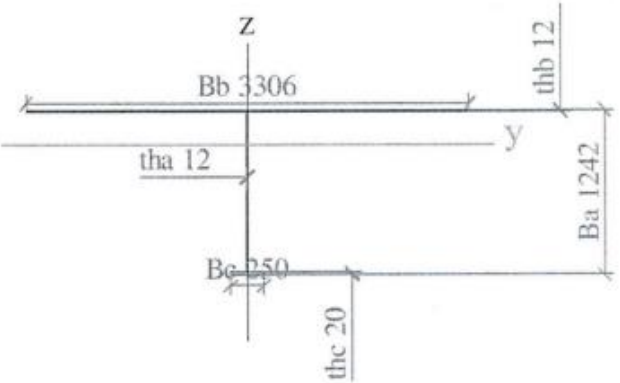
Zs: 963

Werkende b: 1000

Velden ☒

Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

Profielgegevens dwarsdrager, van toetsing 2007

>	Naam	dwarsdrager	
	Uitgebreid	1242, 12, 3306, 12, 250, 20	
	Type	lwn	
	Material	S355	
	Bouwwijze	gelast	
	Knik y-y, z-z	b	c
>	Afbeelding		
>	Material	S355	
	A [mm²]	5,9192e+004	
	A y, z [mm²]	3,3220e+004	1,1164e+004
	I y, z [mm⁴]	1,0906e+010	3,6160e+010
	I t [mm⁴], w [mm³]	3,2771e+006	5,8651e+013
	alpha [deg]	0,00	
	Wel y, z [mm³]	1,1100e+007	2,1875e+007
	Wpl y, z [mm³]	1,5080e+007	3,3145e+007
	c YLCS, ZLCS [mm]	-6	963
	d y, z [mm]	0	254
	AL [m²/m]	9,6200e+000	

Profiel van de trog, ingevuld van gegevens uit toetsing 2007

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 1 <<

Profiel: TROG

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project
1:TROG
Bibliotheek

Sterke as: ☒
Zwakke as: ☐

Materiaal: 1:S355
Staaftype: 0:Normaal

Oppervlak: 1,1024e+4
Torsietr: 0
Buigtr: 8,2654e+7
Vormfac: 0
Zs: 209

Werkende b: 1000

Velden ☒

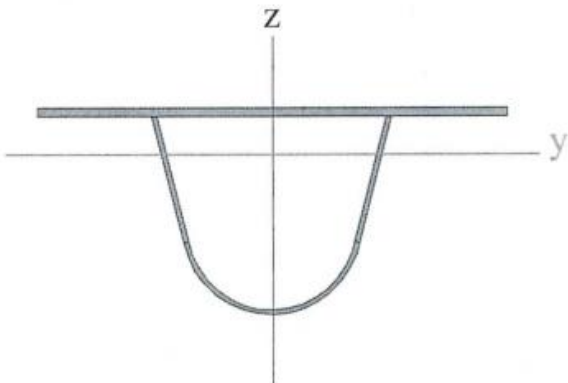
Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

Profielgegevens trog, van berekening 2007

13

Witteveen + Bos

Project -
Onderdeel -
Omschrijving -
Auteur -

>	Afbeelding			
>	Material	S355		
	A [mm ²]	1,1024e+004		
	A y, z [mm ²]	6,8668e+003	3,0882e+003	
	I y, z [mm ⁴]	8,2654e+007	2,5965e+008	
	I t [mm ⁴], w [mm ⁵]	3,9148e+005	5,8323e+010	
	alpha [deg]	0,00		
	Wel y, z [mm ³]	3,9980e+005	8,6548e+005	
	Wpl y, z [mm ³]	6,0443e+005	1,4581e+006	
	c YLCS, ZLCS [mm]	300		-53
	d y, z [mm]	0		0
	AL [m ² /m]	2,5346e+000		

Berekende en ingevulde veerconstante SLAP:

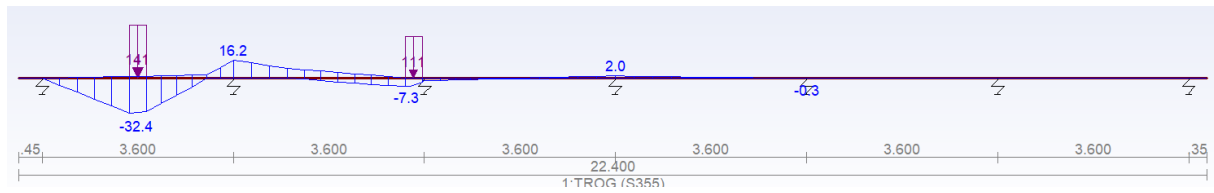
Verende steunpunten [graden]						
	Steunpunt	Richting	Veerwaarde	Veertype	Ondergrens	Bovengrens
1	2	2:Z-translatie	3,550e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
2	3	2:Z-translatie	3,550e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
3	4	2:Z-translatie	3,550e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
4	5	2:Z-translatie	3,550e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
5	6	2:Z-translatie	3,550e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
6	7	2:Z-translatie	3,550e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
7	1	2:Z-translatie	3,550e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10

Berekende en ingevulde veerconstante STIJF:

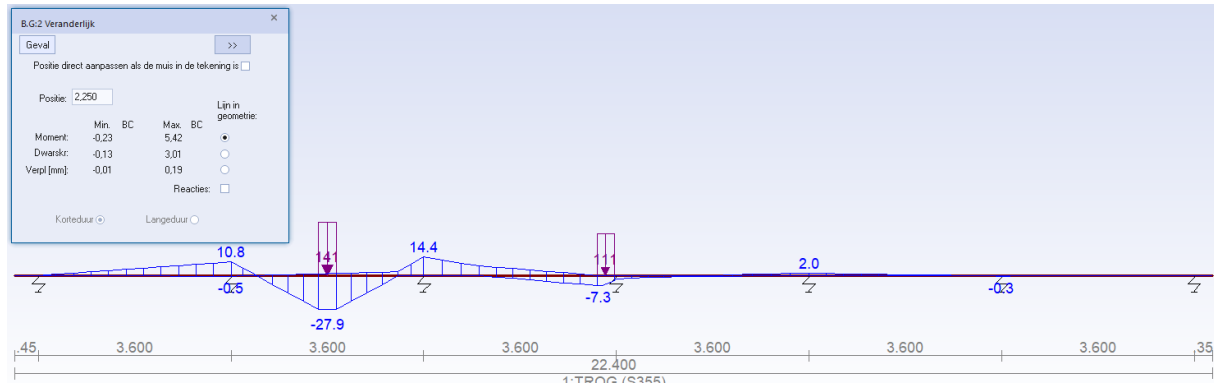
Verende steunpunten [graden]						
	Steunpunt	Richting	Veerwaarde	Veertype	Ondergrens	Bovengrens
1	2	2:Z-translatie	3,110e+06	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
2	3	2:Z-translatie	3,110e+06	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
3	4	2:Z-translatie	3,110e+06	Normaal	-1,000e+10	0,000e+00
4	5	2:Z-translatie	3,110e+06	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
5	6	2:Z-translatie	3,110e+06	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
6	7	2:Z-translatie	3,110e+06	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
7	1	2:Z-translatie	3,110e+06	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10

Modellen & uitwerking

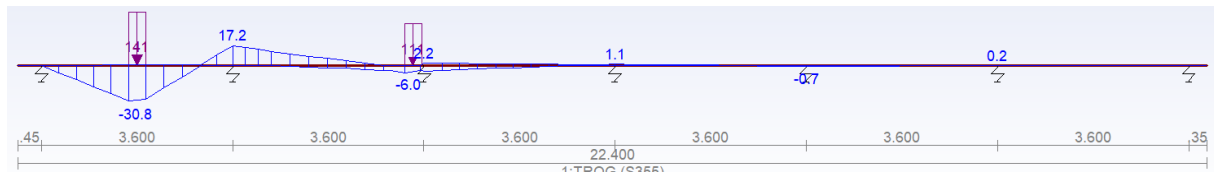
Type 1 SLAP: moment onder



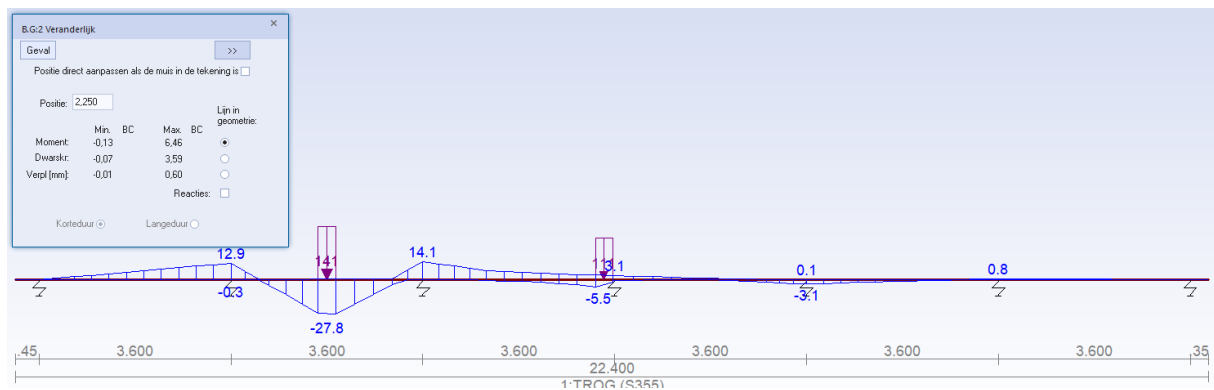
Type 1 SLAP: moment boven



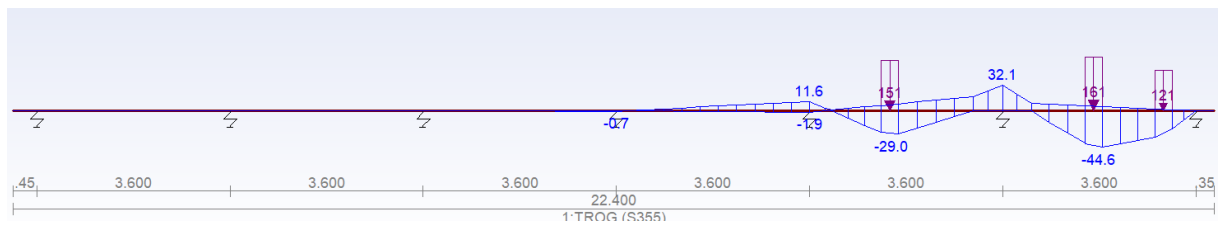
Type 1 STIJF: moment onder



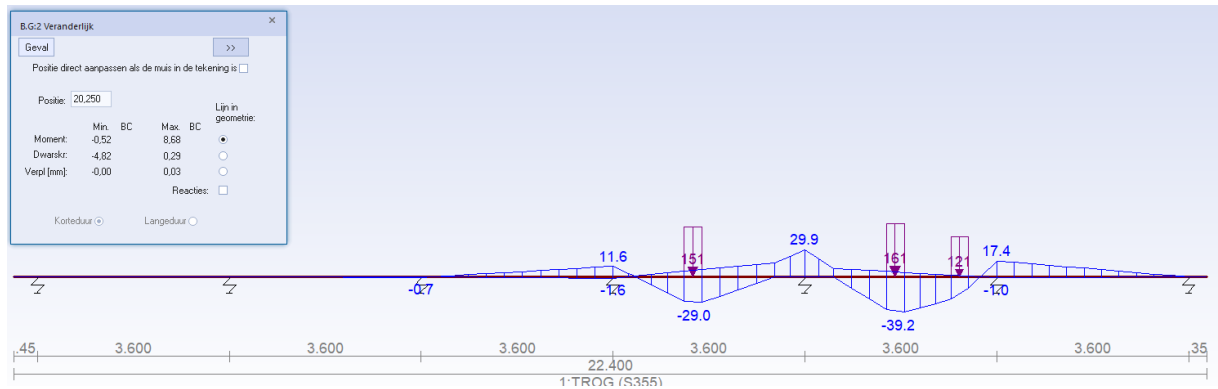
Type 1 STIJF: moment boven



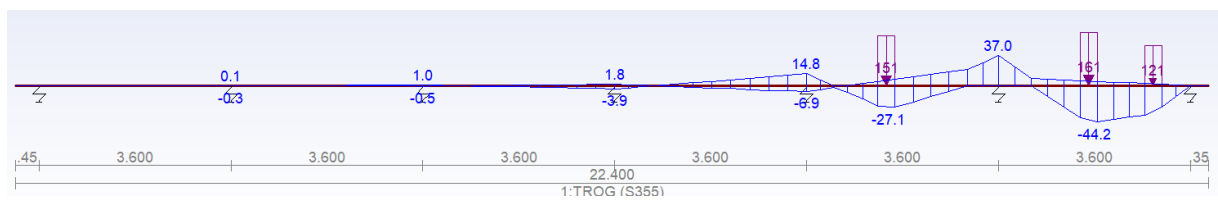
Type 2 SLAP: moment onder



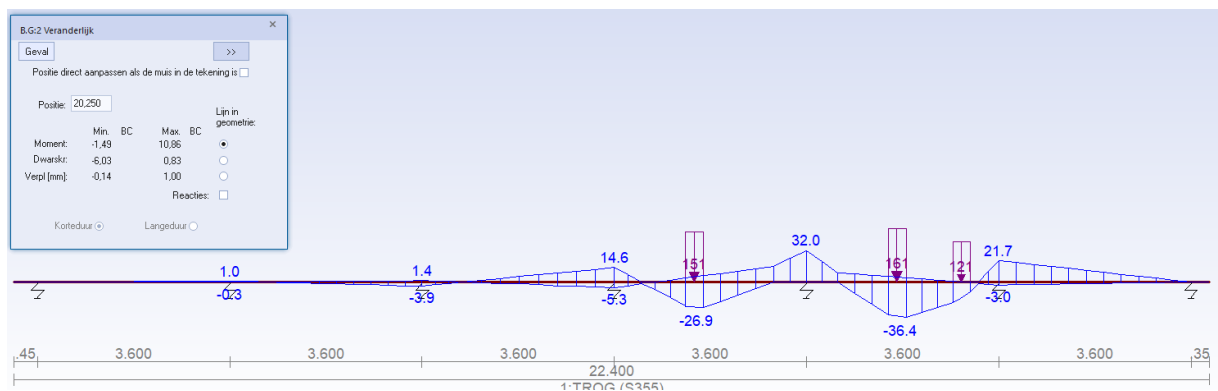
Type 2 SLAP: moment boven



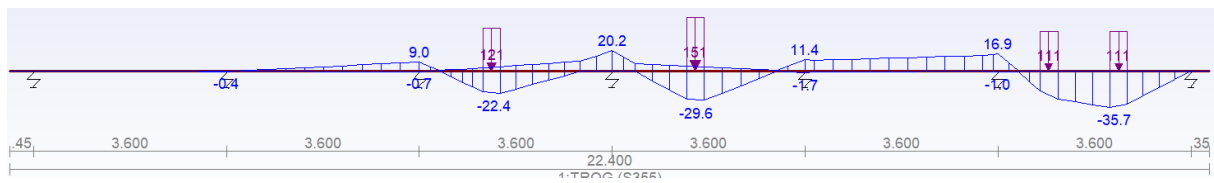
Type 2 STIJF: moment onder



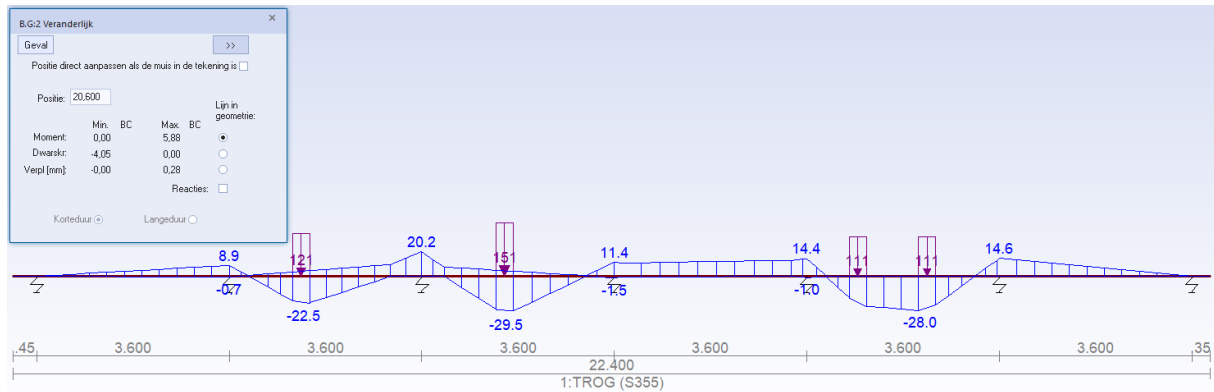
Type 2 STIJF: moment boven



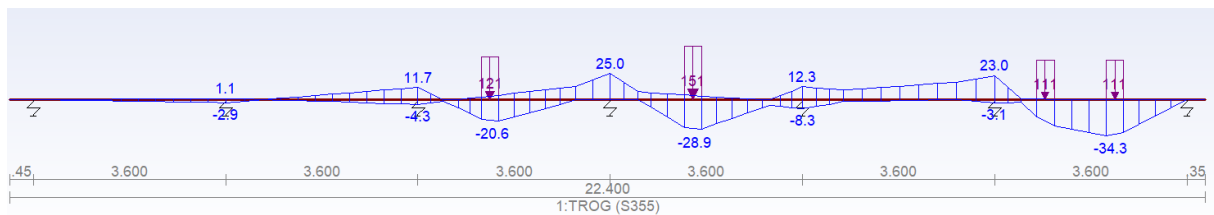
Type 3 SLAP: moment onder



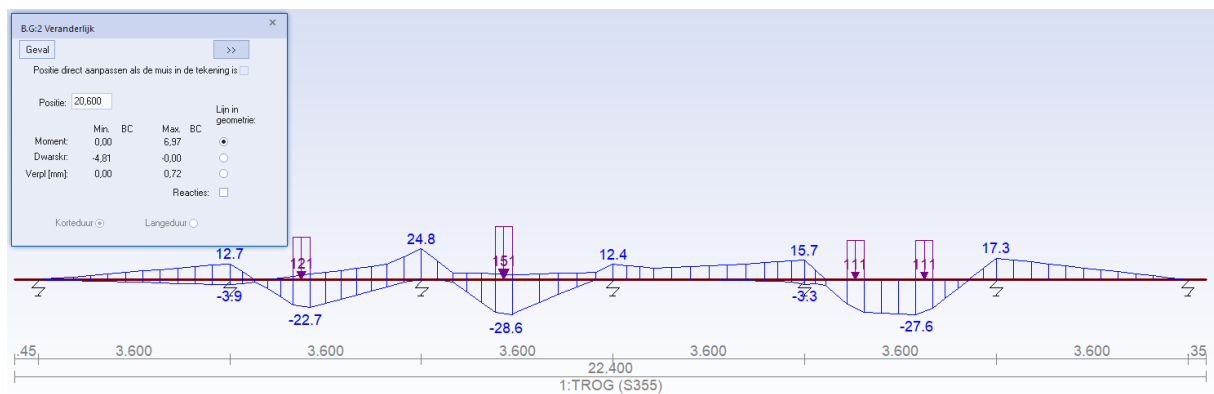
Type 3 SLAP: moment boven



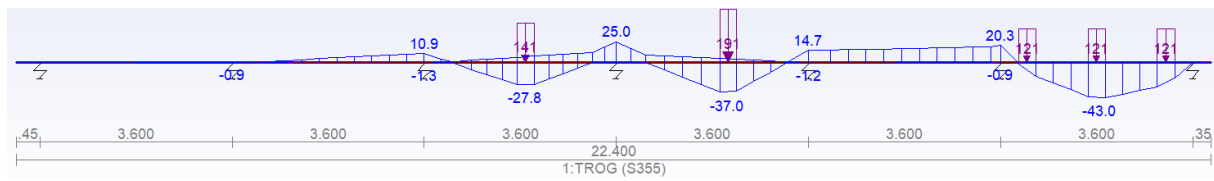
Type 3 STIJF: moment onder



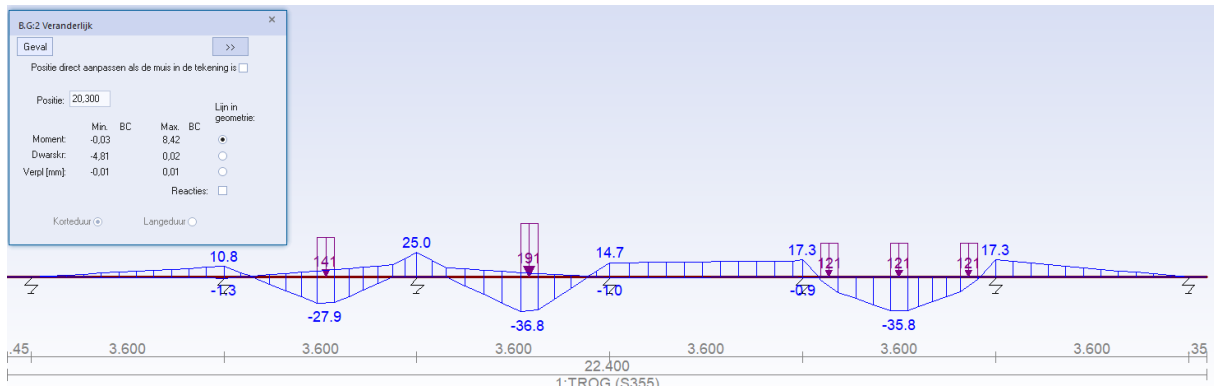
Type 3 STIJF: moment boven



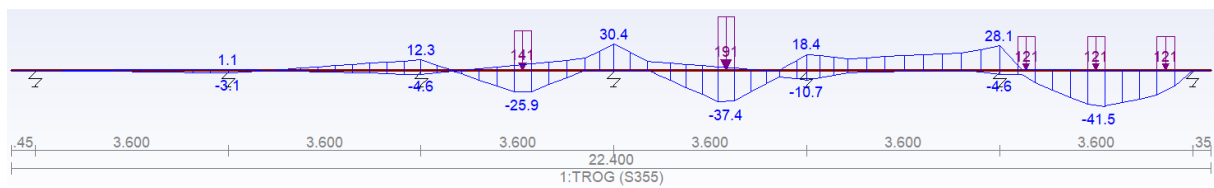
Type 4 SLAP: moment onder



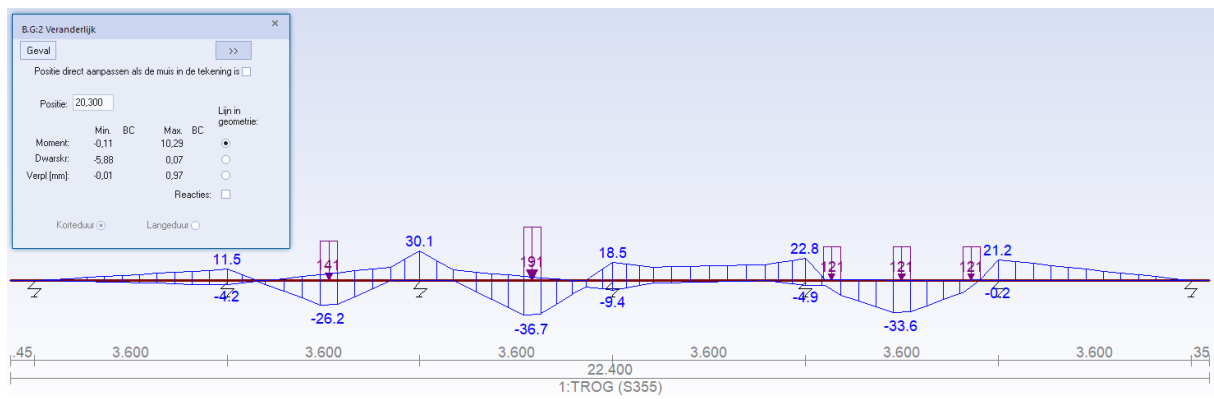
Type 4 SLAP: moment boven



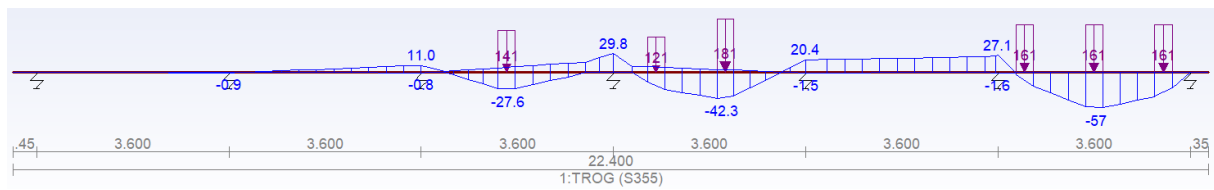
Type 4 STIJF: moment onder



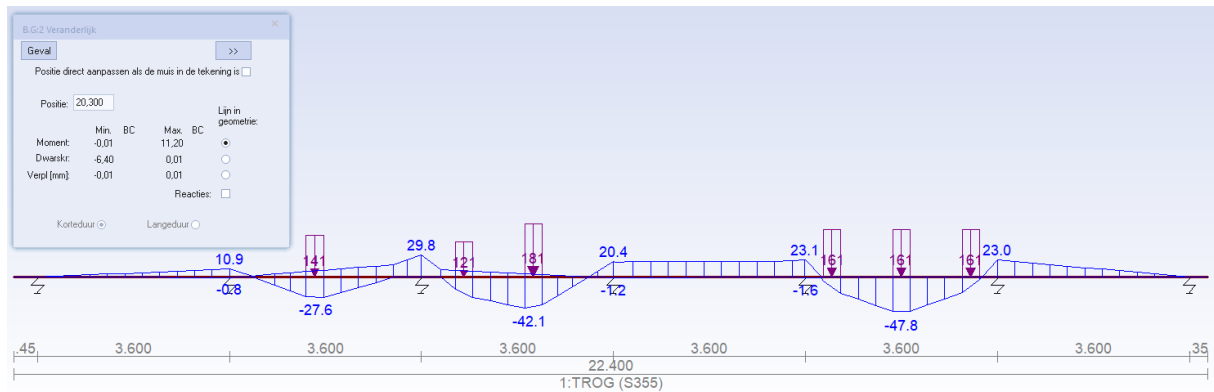
Type 4 STIJF: moment boven



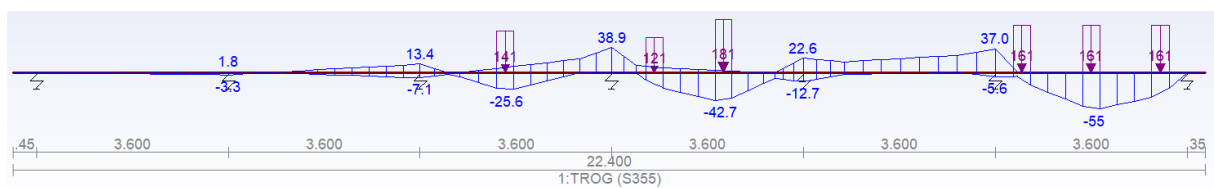
Type 5 SLAP: moment onder



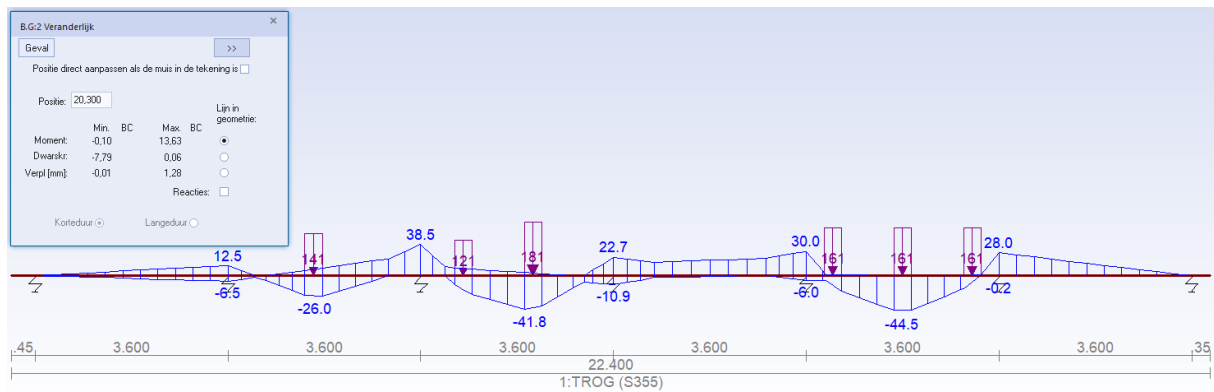
Type 5 SLAP: moment boven



Type 5 STIJF: moment onder



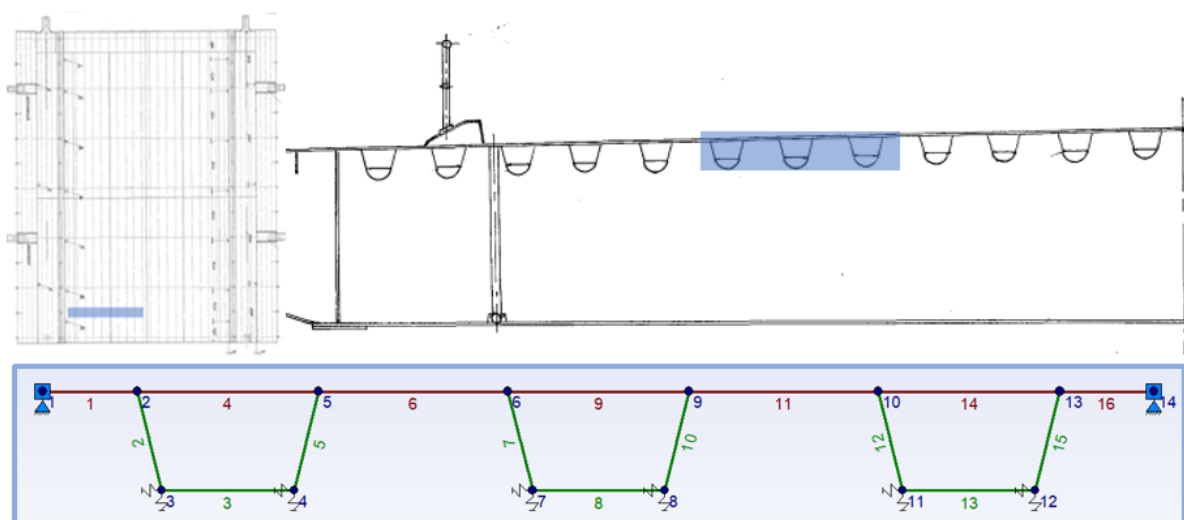
Type 5 STIJF: moment boven



Bijlage XX : Toetsing model 2 – dekplaat & hoeklas vermoeiingsterkte van dekplaat- en trogprofiel in langsrichting

Modelomschrijving

Deze berekening is van de hoeklas van de dekplaat op drie troggen in langsrichting. Het is aangenomen dat de dekplaat een breedte heeft van 0,5 m. De modelering is als volgt, zie onderstaande afbeelding met onderstaande uitleg.



Figuur 97: Model 2 toetsing voor de vermoeiingsterkte van de hoeklas tussen de trog en dekplaat. De las is te vinden in knoop (blauw rondje) 2, 5, 6, 8, 10 en 13. Bovenaan ziet u de helft van de dwarsdoorsnede van het brugdek met in het blauw drie troggen. Links ziet u waar de troggen zich bevinden. Aan de onderkant ziet u het Technosoft model.

Het model is als volgt tot stand gekomen.

De eerste opmaak van model 2 in Technosoft, zie figuur rechts, resulteerde in een onrealistische uitkomst in spanningen. Dit komt door de volgende aanname: de troggen zijn gemodelleerd als veren. In dit model is de werking van het profiel van de trog dus weglaten, waardoor de dekplaat alle krachten op zich neemt. In het model waarmee is berekend, is de werking van de trog wel meegenomen. De volgende modelkeuzes zijn gemaakt.

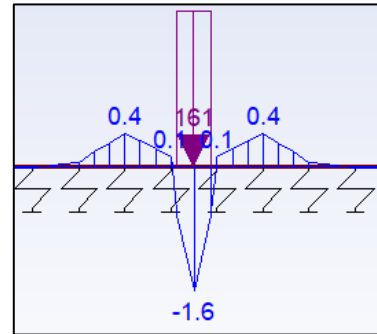


Figuur 98: Eerste opmaak model 2, een dekplaat op troggen. Met iedere trog als twee veren.

Modelkeuzes toegelicht

1. Drie troggen

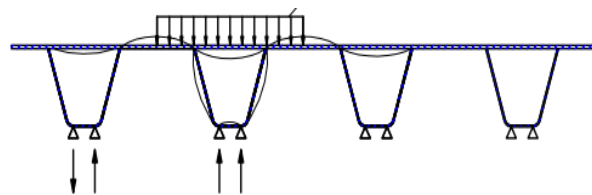
In de eerste opmaak van model 2 is te zien dat de kracht van wiel A voor het allergrootste deel wordt opgenomen door twee veren/één trog, maar dat de momenten zich ook verspreiden wederzijds onder nog twee veren. Dit zijn in totaal dus drie troggen, gemodelleerd door zes veren.



*Figuur 99: Vrachtwagentype 1
Wiel A op eerste opmaak.
Krachtspreiding vooral op 6
veren/3 troggen.*

2. Veren verticaal

In de figuur rechts is een model te zien waarbij de troggen steunen op vaste steunpunten, echter ligt de trog niet vast op. Juist op locatie waar de trog zich midden twee dwarsdragers bevindt heeft de trog een bepaalde veerwaarde die hierbij niet wordt meegenomen. In mijn model is er daarom wel gerekend met een veerwaarde. Het verschil in moment tussen een model met veren en een model met vaste steunpunten was echter niet meer dan 0,05 kNm. Deze modelkeuze heeft dus een redelijke impact op de uitkomst van de berekening.



*Figuur 100: Buiging door wielbelasting uit NEN-
1993-2 Bijlaag C (NEN, 2007).*

3. Veren horizontaal

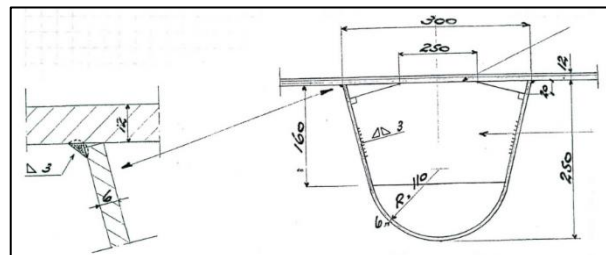
Een trog heeft niet alleen een verende werking in verticale richting, maar ook in horizontale richting. Een trog kan zich wel verbuigen horizontaal, maar is veel stijver in deze richting door de aansluiting met de dwarsdragers. Daarom hebben de veren in horizontale richting een waarde van 10.000 kN/m. Het toevoegen van deze veren resulteert in een momentenreductie van ongeveer 0,01 kNm. Deze modelkeuze heeft dus niet veel impact op de uitkomst van de berekening.

4. Meewerkende breedte

De breedte van de trog is aangenomen op een halve meter. De spreiding van krachten in de breedte is lastig te bepalen wegens de driedimensionale krachtopname. Een spreiding van 1 meter is onrealistisch veel, maar 0,1 meter te klein. De aangenomen meewerkende breedte is dus 0,5 meter.

5. Halfronde onderkant trog

De onderkant van de trog is halfrond met een straal van 110 mm, echter is aangenomen dat de aansluiting tot de dwarsdrager zich bevindt ten hoogte van het schot op 160 mm onder de dekplaat, zie figuur rechts. Ronde vormen kunnen echter niet worden gemodelleerd in Technosoft, daarom is uitgegaan van een rechte staaf aan de onderkant van de trog op hoogte

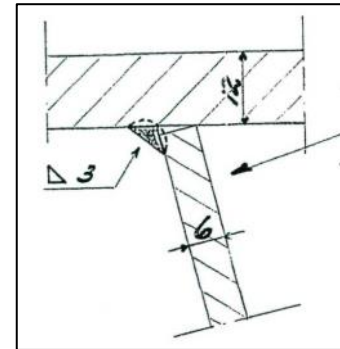


*Figuur 101: Maatvoering trog, zie Hoofdstuk 2.1
Definitie.*

van 160 mm onder de dekplaat. In Bijlage XXVI wordt onderzocht wat er veranderd aan de resultaten als de trog hoger op 200 mm wordt beschouwd.

6. Hoeklas

Het is onbekend of de afmeting van de las in de huidige staat hetzelfde is als op de tekening van de bouw. Een las van 3mm lijkt in eerste instantie klein voor het brugdek van de Schroefbrug. Er is verwacht dat de las een vermoeiingsgevoelige locatie is. In het Technosoft raamwerkmodel wordt uitgegaan van een volledige overdracht van het moment door de las, echter zal dit in werkelijkheid een gedeeltelijke momentenoverdracht zijn in de hoeklas. Er spelen daarom grote momenten in de modellering. Om dit te compenseren is er een aanname gemaakt dat de las een doorsnede heeft van 6 mm, in plaats van 3mm. Daarnaast zijn ook de schotten weggelaten.



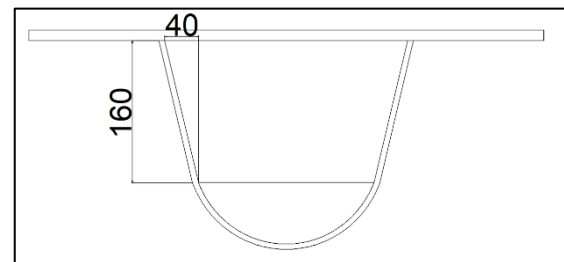
Figuur 102: Hoeklas van 3mm, zorgt in werkelijkheid niet voor een volledige krachtenoverdracht.

Ook bestaat de vuistregel dat de lasdoorsnede minimaal 0,7 x de dunste plaatdikte moet zijn. In dit geval is dat dus 0,7 x 6 mm = 4,2 mm. Drie mm is dus te klein voor de trog.

Ook zijn andere manieren om te modelleren uitgeprobeerd, zoals extra scharnieren of staven. Echter, lijken de uitkomsten dan onrealistisch of te ongunstig.

7. Afmeting trog

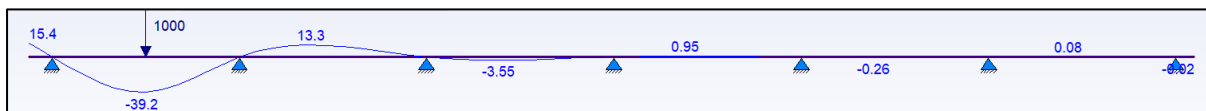
De hoek tussen de trog en de dekplaat is niet maatgegeven in de tekeningen. Om dit na zo gedetailleerd mogelijk te onderzoeken is de trog nagetekend in AutoCAD, afmetingen zijn afgerond op mm. Dit resulteerde in het volgende, zie de figuur rechts.



Figuur 103: Trog nagetekend in AutoCAD

Veerconstante verticaal en horizontaal

Voor dit model is aangenomen dat alle verticale veren dezelfde veerconstante hebben. De grootste veerconstante is hiervoor maatgevend. De veerconstante voor de trog is bepaald met de uitrekking van de trog op zeven dwarsdragers. De grootste doorbuiging bevindt zich op de volgende locatie in het midden van de twee eerste dwarsdragers, zie onderstaande figuur.



Figuur 104: Trog op zeven dwarsdragers, om de verticale veerconstante van de trog te bepalen, zie De doorbuiging met 1000 kN in het midden van de twee steunpunten bedraagt 39,2 mm. De volgende veerconstante is berekend voor één trog.

$$K_{trog} = \frac{F}{U}$$

$$K_{trog} = \frac{1000}{39,2 \times 10^{-3}} = 2,55 \times 10^4 \text{ kN/m}$$

In het Technosoft model gelden twee verticale veren per trog, dus gedeeld door twee. Daarnaast is de breedte van de plaat een halve meter breed.

$$K_{trog2} = \frac{2,55 \times 10^4}{2 \times 2} = 6,378 \times 10^3 \text{ kN/m}$$

De verticale veerconstante is kleiner dan de aangenomen horizontale veerconstante van 10.000 kN/m. Dit klopt, aangezien de trog verticaal minder stijf is dan horizontaal. Deze veerconstanten zijn ingevuld in Technosoft, zie Bijlage XX.II.

Lijnbelasting

Belastingsmodel 4 voor vermoeiing is gebruikt voor het bepalen van de vermoeiingssterkte. Dit model bepaalt de spanningshistorie door middel van vijf standaard belastingsvoertuigen. De standaard belastingsvoertuigen verschillen over drie tijdsperiodes, omdat de vrachtwagens van vroeger minder belasten dan nu. De vrachtwagensamenstellingen zijn vastgesteld in NEN8701, zie de tabellen in Bijlage XVII.IV. Samen met de aannames uit 2.7.4 zijn de asbelastingen bepaald voor elk type vrachtwagen. Met de volgende formule zijn de lijnbelastingen berekend als input voor de Technosoft modellen, zie tabel op de volgende pagina.

$$Lijnbelasting = \frac{\frac{asbelasting}{aantal\ wielen}}{wiellengte} \times vermoeiingsbelastingfactor$$

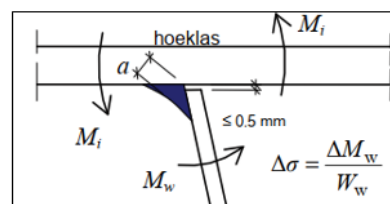
Tabel 28: Aslastenberekening als input voor Technosoft: dekplaat met troggen in dwarsrichting (Model 2 Technosoft, zie Bijlage XX.II)

Belastingsmodel	Wieltype	Berekening	Wiellengte
BM4.1	A	$55 \text{ kN} / 2 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 161 \text{ kN/m}$	0,22 m
	B	$70 \text{ kN} / 4 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 102 \text{ kN/m (2x)}^*$	0,22 m
BM4.2	A	$75 \text{ kN} / 2 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 219 \text{ kN/m}$	0,22 m
	B1	$80 \text{ kN} / 4 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 117 \text{ kN/m (2x)}^*$	0,22 m
	B2	$60 \text{ kN} / 4 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 88 \text{ kN/m (2x)}^*$	0,22 m
BM4.3	A	$60 \text{ kN} / 2 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 176 \text{ kN/m}$	0,22 m
	B	$75 \text{ kN} / 4 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 110 \text{ kN/m (2x)}^*$	0,22 m
	C	$55 \text{ kN} / 2 / 0,27 \text{ m} \times 1,287 = 66 \text{ kN/m}$	0,27 m
BM4.4	A	$70 \text{ kN} / 2 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 205 \text{ kN/m}$	0,22 m
	B	$95 \text{ kN} / 4 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 139 \text{ kN/m (2x)}^*$	0,22 m
	C	$60 \text{ kN} / 2 / 0,27 \text{ m} \times 1,287 = 143 \text{ kN/m}$	0,27 m
BM4.5	A	$70 \text{ kN} / 2 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 205 \text{ kN/m}$	0,22 m
	B1	$60 \text{ kN} / 4 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 88 \text{ kN/m (2x)}^*$	0,22 m
	B2	$90 \text{ kN} / 4 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 132 \text{ kN/m (2x)}^*$	0,22 m
	B3	$80 \text{ kN} / 4 / 0,22 \text{ m} \times 1,287 = 117 \text{ kN/m (2x)}^*$	0,22 m

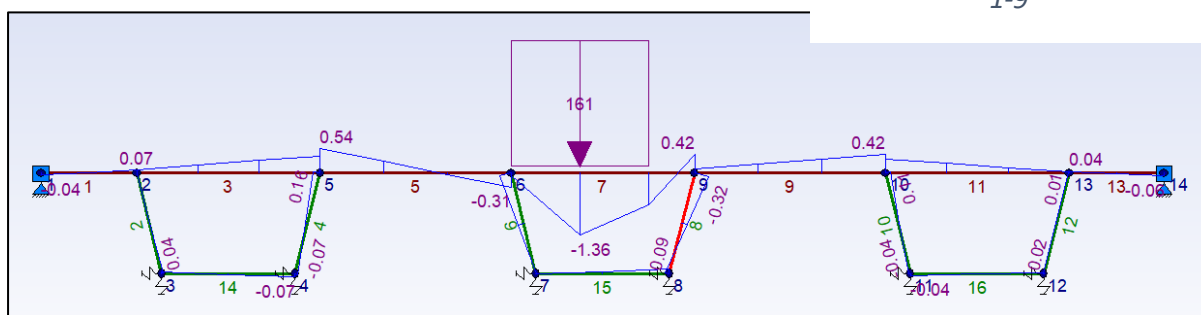
* = Lijnbelasting voor type B is een dubbelluchtband en dus 2x als lijnbelasting ingevuld, volgens Tabel 2, zie Bijlage XVIII.IV.

Momentbepaling

Elk type wiel van elke type vrachtwagen is ingevuld in Technosoft voor het bepalen van de spanningsinterval, zie onderstaand model als voorbeeld. Belastingsmodel 1 met wiel A is als voorbeeld gebruikt. De lijnbelasting is op de maatgevende plek gezet, waar het grootste moment in de trog (M_w) ontstaat.



Figuur 105: M_w nodig voor spanningsinterval uit NEN 1993-1-9



Figuur 106: Belastingsmodel/vrachtwagetype 1 wiel A op maatgevende locatie Model 2

Zoals in bovenstaand figuur te zien is ontstaat er een moment van -0,32 kNm. De maatgevende locatie voor wieltype B was lastiger te vinden. Wieltype B is op vijf verschillende plekken getest, waarbij de maatgevende locatie is gevonden.

Alle type banden zijn ingevuld in Technosoft waarbij de uitwerkingen te zien zijn in Bijlage XX.II. De volgende momenten zijn afgelezen, zie Tabel op de volgende pagina.

Tabel 29: Maatgevende momenten voor alle typen vrachtwagens voor het stijve en slappe model, afgelezen uit modellen uit Bijlage XX.I.

Benaming	Q-last	M _w (kNm)
BM4.1	A	-0,32
	B	-0,26
BM4.2	A	-0,43
	B1	-0,30
	B2	-0,23
BM4.3	A	-0,34
	B	-0,28
	C	-0,15
BM4.4	A	-0,40
	B	-0,36
	C	-0,32
BM4.5	A	-0,40
	B1	-0,23
	B2	-0,34
	B3	-0,30

Spanningsintervallen

Het grootste moment per type is als maatgevend beschouwd voor de verdere berekening, waarbij de overige wieltypes worden weggelaten.

Met de onderste formule is de spanning berekend.

$$\Delta\sigma = \frac{M_w}{W}$$

Voor het weerstandsmoment geldt de volgende formule met de aanname dat de hoeklas een doorsnede heeft van 6 mm.

$$W = \frac{b \times h^2}{6}$$

$$W = \frac{500 \times 6^2}{6} = 3 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

In de vorige tabel is te zien dat de grootste momenten ontstaan door wieltype A. Deze momenten zijn maatgevend voor het berekenen van de grootste spanning per type vrachtwagen. Dit is de totale spanning door de las.

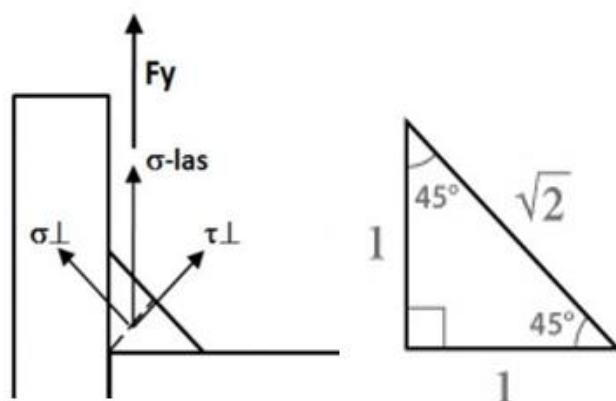
$$\sigma_{las} = \frac{M}{W}$$

Tabel 30: Totale spanning door hoeklas per maatgevend moment per vrachtwagentype

Benaming	
BM4 Type 1	$\sigma_{las} = 0,32 \times 10^6 \text{ N*mm} / 3,0 \times 10^3 = 107 \text{ N/mm}^2$
BM4 Type 2	$\sigma_{las} = 0,43 \times 10^6 \text{ N*mm} / 3,0 \times 10^3 = 143 \text{ N/mm}^2$
BM4 Type 3	$\sigma_{las} = 0,34 \times 10^6 \text{ N*mm} / 3,0 \times 10^3 = 113 \text{ N/mm}^2$
BM4 Type 4	$\sigma_{las} = 0,40 \times 10^6 \text{ N*mm} / 3,0 \times 10^3 = 133 \text{ N/mm}^2$
BM4.5 Type 5	$\sigma_{las} = 0,40 \times 10^6 \text{ N*mm} / 3,0 \times 10^3 = 133 \text{ N/mm}^2$

Alle $\Delta\sigma < 1,5 * f_y$ (355 N/mm^2) $\rightarrow 143 \text{ N/mm}^2 > 532,5 \text{ N/mm}^2$ dus OK! [NEN 1993-1-9 Vermoeiingstoetsing (8.1)]

De totale spanning in de las ontstaat door twee soorten spanning: normaal- en schuifspanning. De normaal- en schuifspanning is berekend door de totale spanning te ontbinden. De aanname is gemaakt dat de hoeklas een rechte hoek bevat, en daarom vergelijkbaar is met een rechthoekige driehoek, zie onderstaande figuur.



Figuur 107: Hoeklas onder 90 graden, waarbij de spanning wordt ontbonden tussen schuif- en

Dus de volgende formule geldt:

$$\sigma_N = \sigma_S = \frac{\sigma_{las}}{\sqrt{2}}$$

Tabel 31: Berekende normaalspanning per type vrachtwagen

Benaming	Normaalspanning	Schuifspanning
BM4 Type 1	$\sigma_N = 107 / \sqrt{2} = 76 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_s = 107 / \sqrt{2} = 76 \text{ N/mm}^2$
BM4 Type 2	$\sigma_N = 143 / \sqrt{2} = 101 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_s = 143 / \sqrt{2} = 101 \text{ N/mm}^2$
BM4 Type 3	$\sigma_N = 113 / \sqrt{2} = 80 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_s = 113 / \sqrt{2} = 80 \text{ N/mm}^2$
BM4 Type 4	$\sigma_N = 133 / \sqrt{2} = 94 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_s = 133 / \sqrt{2} = 94 \text{ N/mm}^2$
BM4.5 Type 5	$\sigma_N = 133 / \sqrt{2} = 94 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_s = 133 / \sqrt{2} = 94 \text{ N/mm}^2$

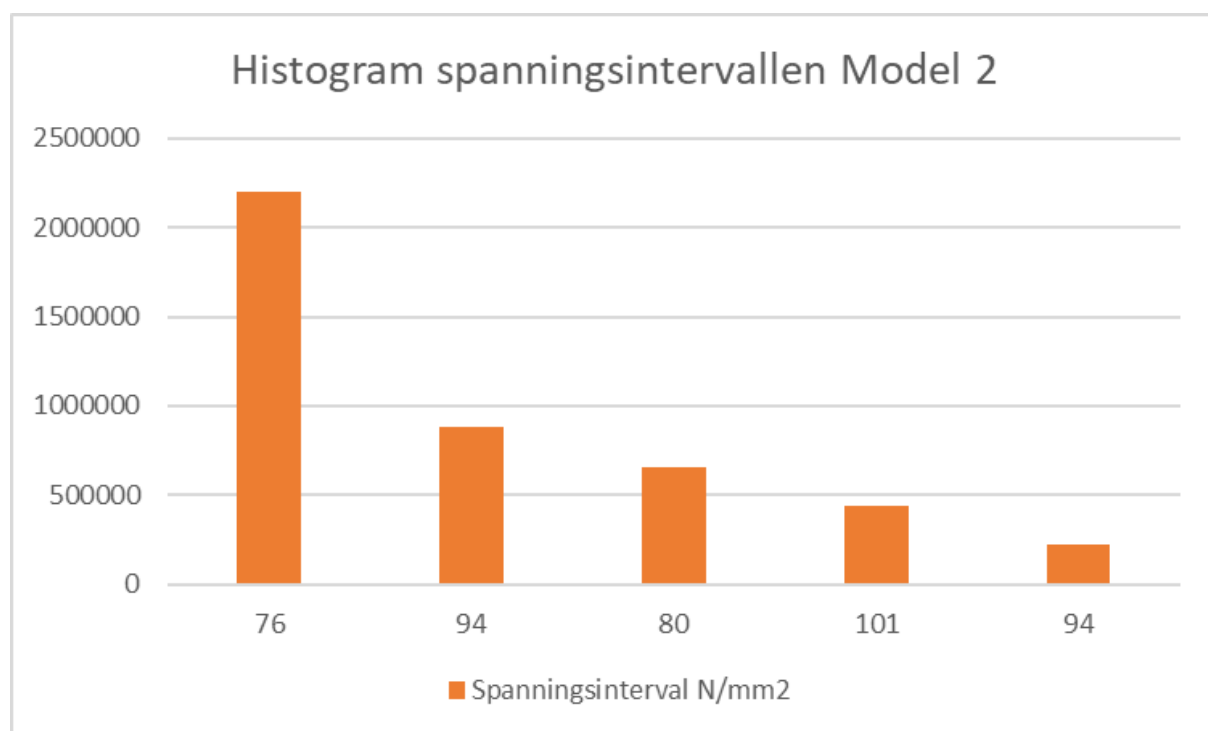
Spanningswisselingen

De spanning per één vrachtwagen is nu berekend. Van 1970 tot 2022 is bepaald onder 2.8 Prognose verkeersintensiteit dat er 13,21 miljoen vrachtwagens over de brug rijden. Van deze vrachtwagens is in de tabel van de vrachtwagensamenstellingen aangenomen dat de “Middellange afstand” percentages gelden. In de eerstvolgende tabel zijn de aantal vrachtwagens per type berekend.

Tabel 32: Berekende aantal vrachtwagens per type vrachtwagen van 1970 tot 2022.

Benaming	Schuif- en normaalspanning	Percentage	Rijstroken	Aantal vrachtwagens tot 2022 per rijstrook
BM4 Type 1	76 N/mm ²	50%	3	2.200.000
BM4 Type 2	101 N/mm ²	10%	3	440.000
BM4 Type 3	80 N/mm ²	15%	3	660.000
BM4 Type 4	94 N/mm ²	20%	3	880.000
BM4.5 Type 5	94 N/mm ²	5,0%	3	220.000

Met deze gegevens is de volgende histogram gemaakt. De histogram geeft de verschillende spanningen weer samen met het aantal spanningswisselingen van 1970 tot 2022, zie onderstaande afbeelding.



Figuur 108: Histogram van de spanningsintervallen en -aantallen van model 2

Toetsing

Voor het toetsen van de hoeklas is de volgende formule gebruikt, volgens NEN 1993-1-9 (Bijlage A):

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} + \frac{n_5}{N_5}$$

n_i = Hedendaagse aantal vrachtwagens

N_i = Toegestane aantal vrachtwagens

Normaalspanning

De toegestane aantal vrachtwagens met betrekking tot de normaalspanning is te berekenen met de volgende formule.

$$\Delta\sigma_R^m \times N_R = \Delta\sigma_C^m \times 2 \times 10^6 \text{ met } m = 3 \text{ voor } N \leq 5 \times 10^6$$

$$\Delta\sigma_R^m \times N_R = \Delta\sigma_D^m \times 5 \times 10^6 \text{ met } m = 5 \text{ voor } 5 \times 10^6 < N \leq 10^8$$

Hierbij is

$\Delta\sigma_R$ = Berekende normaalspanning

N_R = Toelaatbare aantal vrachtwagens

$\Delta\sigma_C$ = Detailcategorie, te bepalen uit Tabel 8.8 uit NEN 1993-1-9, zie Bijlage XVIII.

Voor het trogdetail geldt $\Delta\sigma_C = 50$ (Hoeklas met spleet buiten het geldigheidsgebied van detail 7).

De toelaatbare aantal vrachtwagens per vrachtwagentype is als volgt berekend.

Vrachtwagentype 1:

$$\Delta\sigma_R^m \times N_1 = \Delta\sigma_C^m \times 2 \times 10^6$$

$$76^3 \times N_1 = 50^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_1 = 5,70 \times 10^5$$

Vrachtwagentype 2:

$$\Delta\sigma_R \times N_2 = \Delta\sigma_C \times 2 \times 10^6$$

$$101^3 \times N_2 = 50^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_2 = 2,43 \times 10^5$$

Vrachtwagentype 3:

$$\Delta\sigma_R \times N_3 = \Delta\sigma_C \times 2 \times 10^6$$

$$80^3 \times N_3 = 50^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_3 = 4,88 \times 10^5$$

Vrachtwagentype 4:

$$\Delta\sigma_R \times N_4 = \Delta\sigma_C \times 2 \times 10^6$$

$$94^3 \times N_4 = 50^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_4 = 3,01 \times 10^5$$

Vrachtwagentype 5:

$$\Delta\sigma_R \times N_5 = \Delta\sigma_C \times 2 \times 10^6$$

$$94^3 \times N_5 = 50^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_5 = 3,01 \times 10^5$$

Schuifspanning

De toegestane aantal vrachtwagens met betrekking tot de schuifspanning is te berekenen met de volgende formule.

$$\Delta\tau_R^m \times N_R = \Delta\tau_C^m \times 2 \times 10^6 \text{ met } m = 3 \text{ voor } N \leq 5 \times 10^6$$

Hierbij is

$\Delta\tau_R$ = Berekende normaalspanning

N_R = Toelaatbare aantal vrachtwagens

$\Delta\tau_C$ = Detailcategorie, te bepalen uit Tabel 8.8 uit NEN 1993-1-9, zie Bijlage XVIII.

Voor het trogdetail geldt $\Delta\tau_C = 80$.

Het detail is sterker in het opnemen van schuifspanning.

De toelaatbare aantal vrachtwagens per vrachtwagentype is als volgt berekend.

Vrachtwagentype 1:

$$\Delta\tau_R^m \times N_R = \Delta\tau_C^m \times 2 \times 10^6$$

$$76^3 \times N_1 = 80^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_1 = 23,3 \times 10^5$$

Vrachtwagentype 2:

$$\Delta\tau_R^m \times N_R = \Delta\tau_C^m \times 2 \times 10^6$$

$$101^3 \times N_2 = 80^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_2 = 9,93 \times 10^5$$

Vrachtwagentype 3:

$$\Delta\tau_R^m \times N_R = \Delta\tau_C^m \times 2 \times 10^6$$

$$80^3 \times N_3 = 80^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_3 = 20,0 \times 10^5$$

Vrachtwagentype 4:

$$\Delta\tau_R^m \times N_R = \Delta\tau_C^m \times 2 \times 10^6$$

$$94^3 \times N_4 = 80^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_4 = 12,3 \times 10^5$$

Vrachtwagentype 5:

$$\Delta\tau_R^m \times N_R = \Delta\tau_C^m \times 2 \times 10^6$$

$$94^3 \times N_5 = 80^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_5 = 12,3 \times 10^5$$

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} + \frac{n_5}{N_5}$$

$$\begin{aligned} \text{Normaalspanning} \sum \frac{n_i}{N_i} &= \frac{22,0 \times 10^5}{5,70 \times 10^5} + \frac{4,40 \times 10^5}{2,43 \times 10^5} + \frac{6,60 \times 10^5}{4,88 \times 10^5} + \frac{8,81 \times 10^5}{3,01 \times 10^5} + \frac{2,20 \times 10^5}{3,01 \times 10^5} \\ &= 3,86 + 1,81 + 1,35 + 2,95 + 0,74 \approx 10,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Schuifspanning} \sum \frac{n_i}{N_i} &= \frac{22,0 \times 10^5}{23,3 \times 10^5} + \frac{4,40 \times 10^5}{9,93 \times 10^5} + \frac{6,60 \times 10^5}{20,0 \times 10^5} + \frac{8,81 \times 10^5}{12,3 \times 10^5} + \frac{2,20 \times 10^5}{12,3 \times 10^5} \\ &= 0,94 + 0,44 + 0,33 + 0,72 + 0,18 \approx 2,6 \end{aligned}$$

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = 10,7 + 2,6 = 13,3 > 1 \rightarrow \text{VOLDOET NIET}$$

De hoeklas niet sterk genoeg voor vermoeiing in deze indicatieve berekening. Het is aangeraden deze las te vervangen door een stompe las, zie die berekening op de volgende pagina.

Bijlage voor toetsing model 2:

Veerconstante bepaling

Er zijn twee screenshots te zien met een andere kracht en een andere doorbuiging. Dezelfde veerconstante F/U ontstaat. Dus hiermee is er gecontroleerd dat veerconstante met model klopt.



Profiel van de trog voor veerconstante, ingevuld van gegevens uit toetsing 2007

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 1 << b: 300

Profiel: TROG h: 262

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Sterke as: ☒ Zwakke as: ☐

Materiaal: 1:S355

Staatstype: 0:Normaal

Oppervlak: 1,1024e+4

Torsietr: 0

Buigtr: 8,2654e+7

Vormfac: 0

Zs: 209

Werkende b: 1000

Velden ✓

Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

Profiel van de dekplaat

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 1 << b: 500

Profiel: STRIP500*12 h: 12

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP500*12
- 2:STRIP500*6

Bibliotheek

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staatype: 0:Normaal

Oppervlak: 6e+3

Torsietr: 2,8365e+5

Buigr: 7,2e+4

Vormfac: 0

Zs: 6

Werkende b: 1000

Staven: ☒

Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

COORDINATEN MODEL 2

Knopen		
	X-coördinaat	Z-coördinaat
1	0,0000	0,0000
2	0,1530	0,0000
3	0,1930	-0,1600
4	0,4070	-0,1600
5	0,4470	0,0000
6	0,7530	0,0000
7	0,7930	-0,1600
8	1,0070	-0,1600
9	1,0470	0,0000
10	1,3530	0,0000
11	1,3930	-0,1600
12	1,6070	-0,1600
13	1,6470	0,0000
14	1,8000	0,0000

Profiel van de trog

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr: 2 <<

Profiel: STRIP500*6

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP500*12
- 2:STRIP500*6

Bibliotheek

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staatype: 0:Normaal

Oppervlak: 3e+3

Torsietr: 3,5728e+4

Buigr: 9e+3

Vormfac: 0

Zs: 3

Werkende b: 1000

Staven: ☒

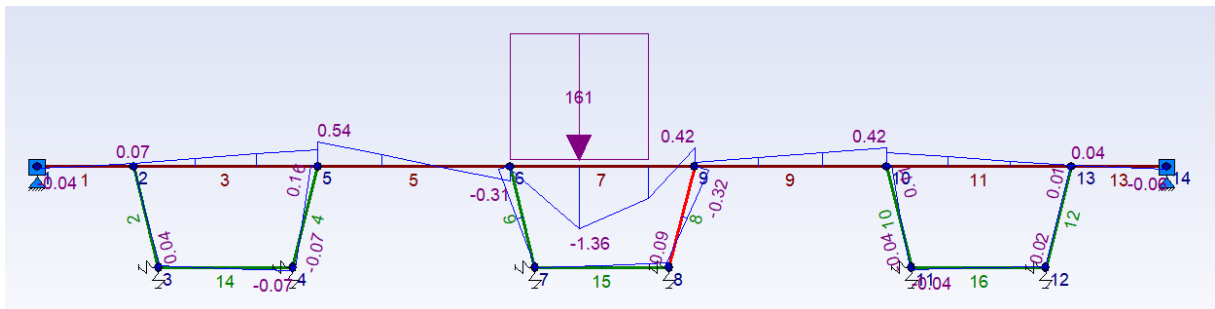
Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

Berekenende en ingevulde veerconstante

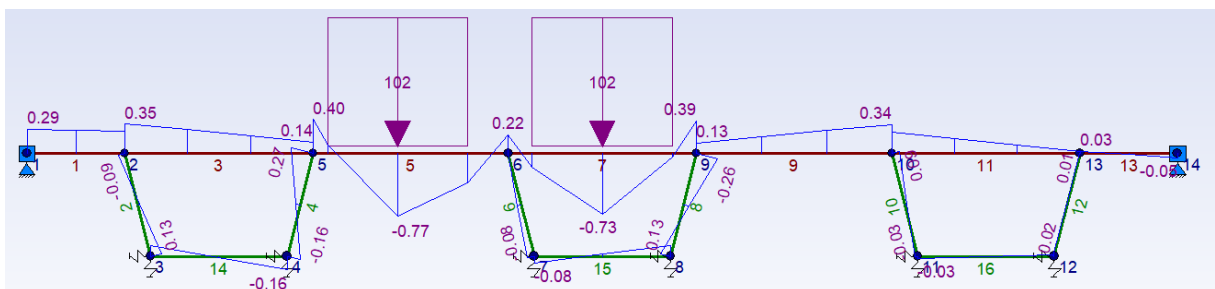
Verende steunpunten							
	<noo>	Richting	Hoek [graden]	Veerwaarde	Veertype	Ondergrens	Ovengrens
1	3	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
2	3	2:Z-translatie	0,00	6,378e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
3	4	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
4	4	2:Z-translatie	0,00	6,378e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
5	7	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
6	7	2:Z-translatie	0,00	6,378e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
7	8	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
8	8	2:Z-translatie	0,00	6,378e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
9	11	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
10	11	2:Z-translatie	0,00	6,378e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
11	12	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
12	12	2:Z-translatie	0,00	6,378e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10

Modellen & uitwerking

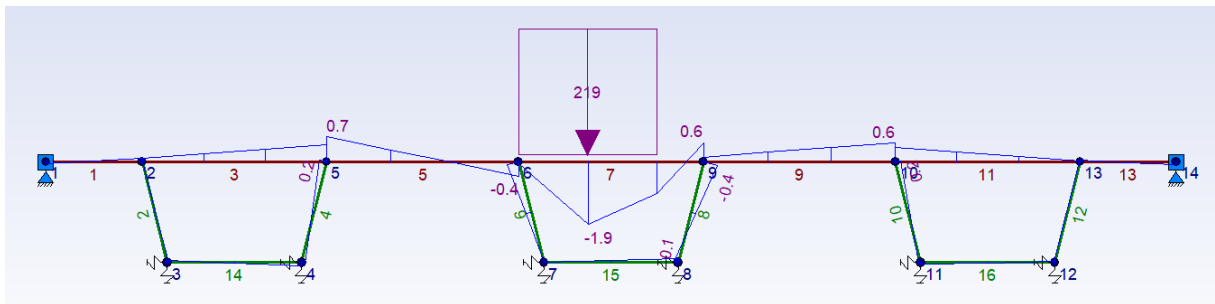
Type 1 wiel A



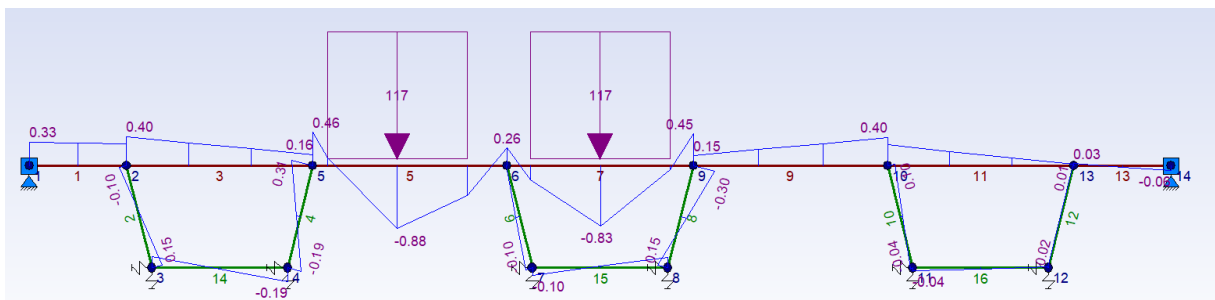
Type 1 wiel B



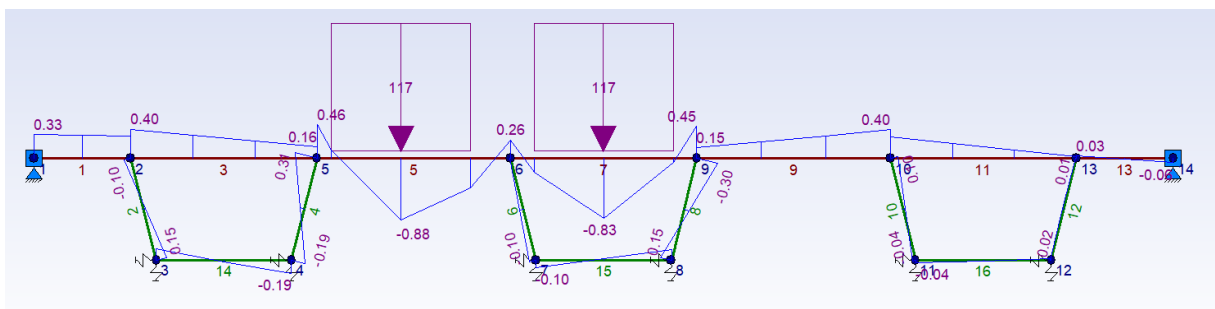
Type 2 wiel A



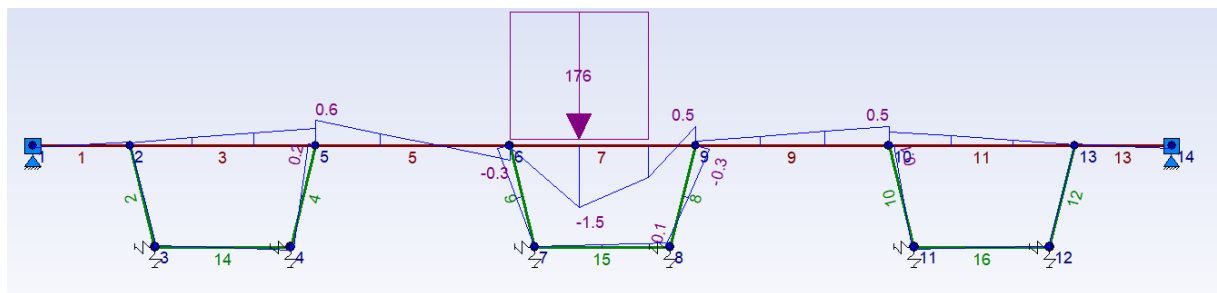
Type 2 wiel B1



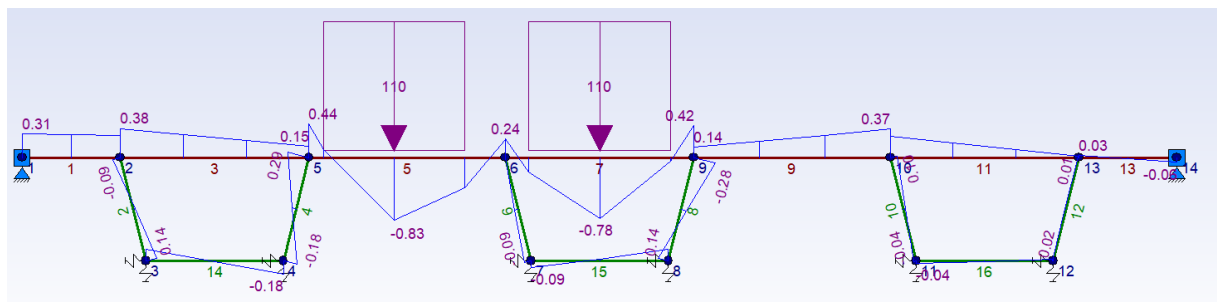
Type 2 wiel B2



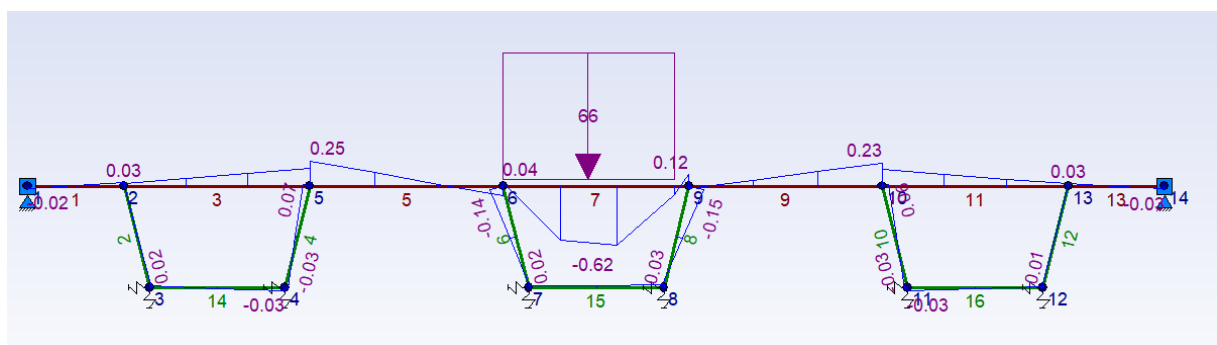
Type 3 wiel A



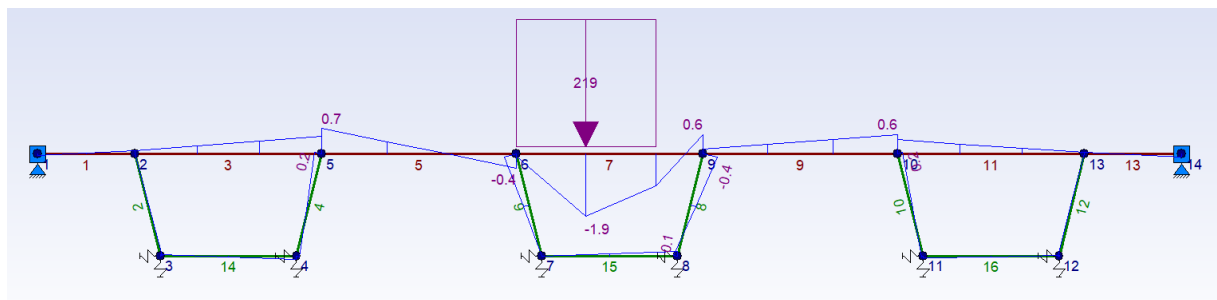
Type 3 wiel B



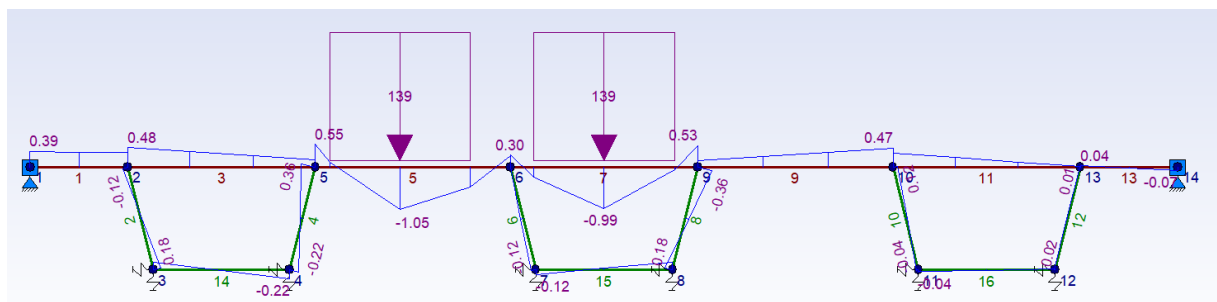
Type 3 wiel C



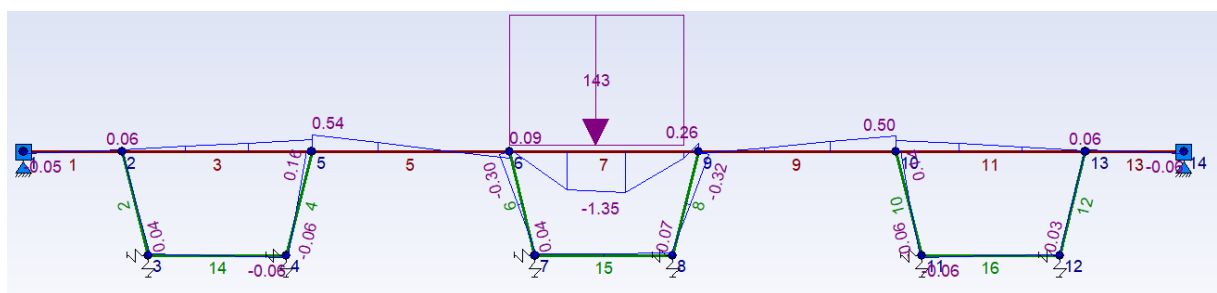
Type 4 wiel A



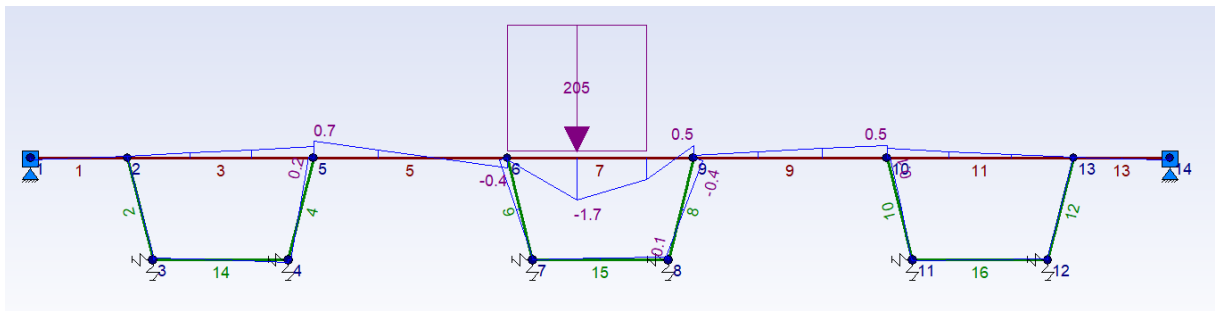
Type 4 wiel B



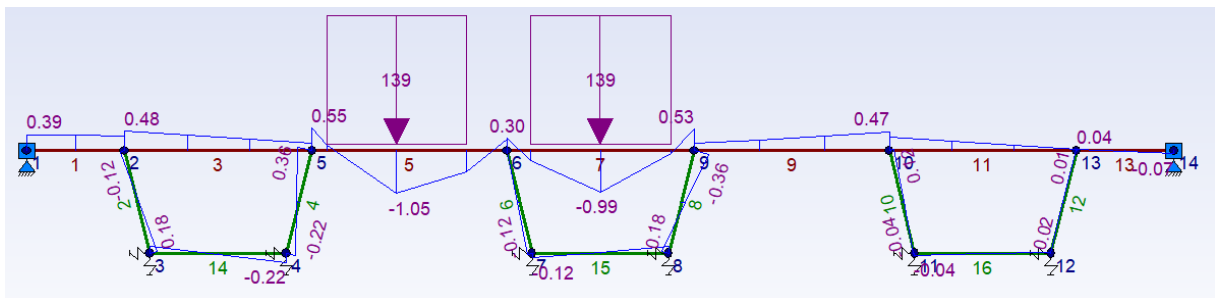
Type 4 wiel C



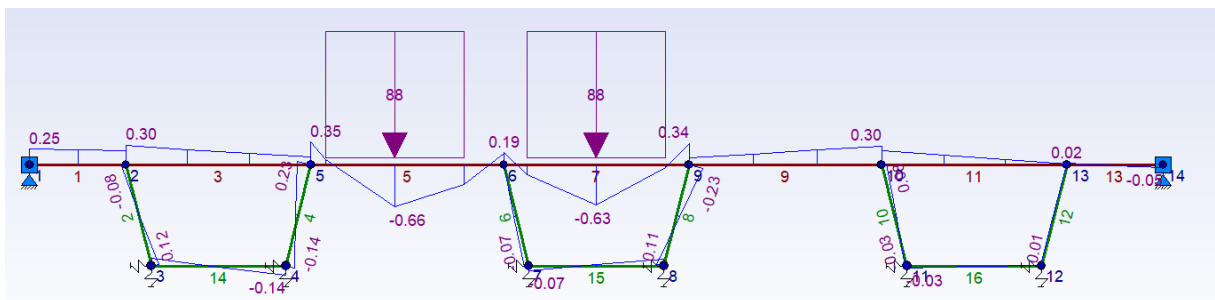
Type 5 wiel A



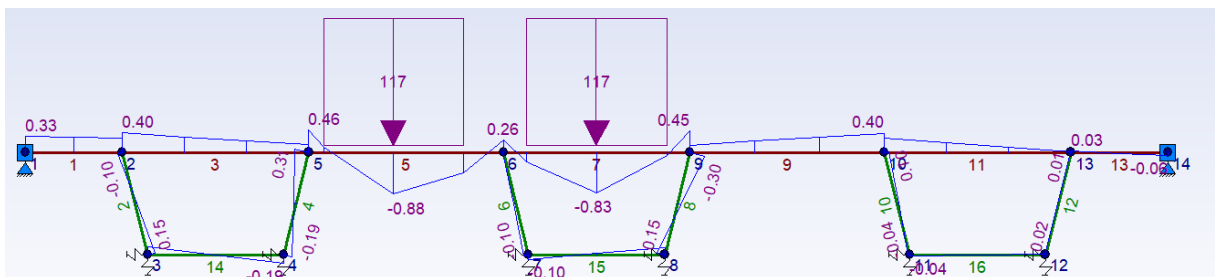
Type 5 wiel B1



Type 5 wiel B2



Type 5 wiel B3



Bijlage XXI : Variant 1 - nieuw brugdek trog dikker

Maatvoering hetzelfde, werk alleen aan diktes. Hoe dik dient dit te zijn?

ZIE 1993-2 voor enkele uitspraken over de diktes:

C.1.2.2 Dikte van dekplaten en minimale stijfheid van langsverstijvingen

(1) De dikte van de dekplaat behoort te zijn gekozen in overeenstemming met de verkeerscategorie, de effecten van de samenwerking van de dekplaat en de slijtlaag en de hart-op-hartafstand tussen de ondersteuning van de dekplaat.

OPMERKING 1 De nationale bijlage kan advies geven over de te gebruiken plaatdikte. De aanbevolen plaatafmetingen zijn als volgt, zie figuur C.2:

1. Dikte van de dekplaat van de rijvloer in de rijstrook voor zwaar verkeer:

$t \geq 14$ mm voor een asfaltlaag ≥ 70 mm;

$t \geq 16$ mm voor een asfaltlaag ≥ 40 mm.

4. Dikte van de langsverstijving:

$t_{\text{stiff}} \geq 6$ mm.

Stel troggen op 8 mm ipv, 6 mm. Stompe las is dan 8 mm.

$$W = \frac{b \times h^2}{6}$$

$$W = \frac{500 \times 8^2}{6} = 5,333 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Hoogte in kwadraat, weestandmoment groter, spanningen vele malen minder. Spanning = m/w.

Echter moment wordt bijna 2 x groter bij het veranderen van 6 mm tot 8 mm.

Conclusie: Trog en las naar 8 mm zorgt voor een grotere unity check. 6 mm geeft: 16,85. 8 mm geeft: 21,44. Momenten zijn groot, waardoor de spanningen te groot worden. Dit komt omdat de trog stijver is.

Is dit anders als er de plaatdikte groter is? Probeer 23 mm. Heeft het met logaritmische verhoudingen te maken en zal de trog dikker toch een reductie geven op de plaatdikte?

Conclusie: Trog en las naar 8 mm zorgt voor een grotere unity check . 6 mm geeft: 0,756. 8 mm geeft: 1,592. Een dikkere trog en las geeft dus geen betere vermoeiingsterkte.

Dunnere trog kan niet, volgens eisen.

Wat gebeurd er als de h.o.h afstand wordt verkleind van 600 mm naar 400?

VERKEERSINTENSITEIT VAN 2022 TOT 2072, OMDAT 50 JAAR LEVENSDUUR VAN NIEUW DEK.

Nieuw brugdek (trog 8 mm)									
BM	MOMENT	Spanning	n (2022-2072)	Detail	$\Delta\sigma C$	$\Delta\sigma R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)
1A	0,6	112,507	2.800.000	71	357911	1424095,1	502650	5,57	17,44
2A	0,81	151,884	560.000	71	357911	3503808	204298	2,74	
3A	0,65	121,883	840.000	71	357911	1810611,7	395348	2,12	
4A	0,81	151,884	1.200.000	71	357911	3503808	204298	5,87	
5A	0,76	142,509	280.000	71	357911	2894183,3	247331	1,13	
Nieuw brugdek (trog 8 mm, plaatdikte 23)									
BM	MOMENT	Spanning	n (2022-2072)	Detail	$\Delta\sigma C$	$\Delta\sigma R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)
1A	0,25	46,878	2.800.000	71	357911	103016,14	6948639	0,40	1,294
2A	0,34	63,754	560.000	71	357911	259132,57	2762378	0,20	
3A	0,28	52,503	840.000	71	357911	144730,26	4945904	0,17	
4A	0,34	63,754	1.200.000	71	357911	259132,57	2762378	0,43	
5A	0,32	60,004	280.000	71	357911	216040,51	3313369	0,08	

Profiel van de trog met 8 mm

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 2

Profiel: STRIP500*8

Invoegen

Toevoegen

Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP500*12
- 2:STRIP500*8

Bibliotheek

b: 500

h: 8

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staatype: 0:Normaal

Oppervlak: 4e+3

Torsietr: 8,4473e+4

Buigtr: 2,1333e+4

Vormfac: 0

Zs: 4

Werkende b: 1000

Staven:

☒

Sluiten

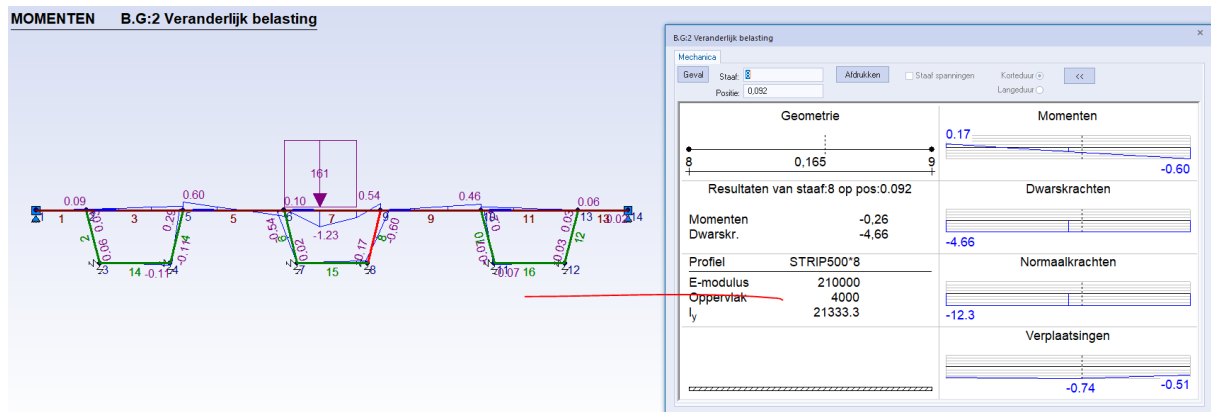
Help

DXF Import

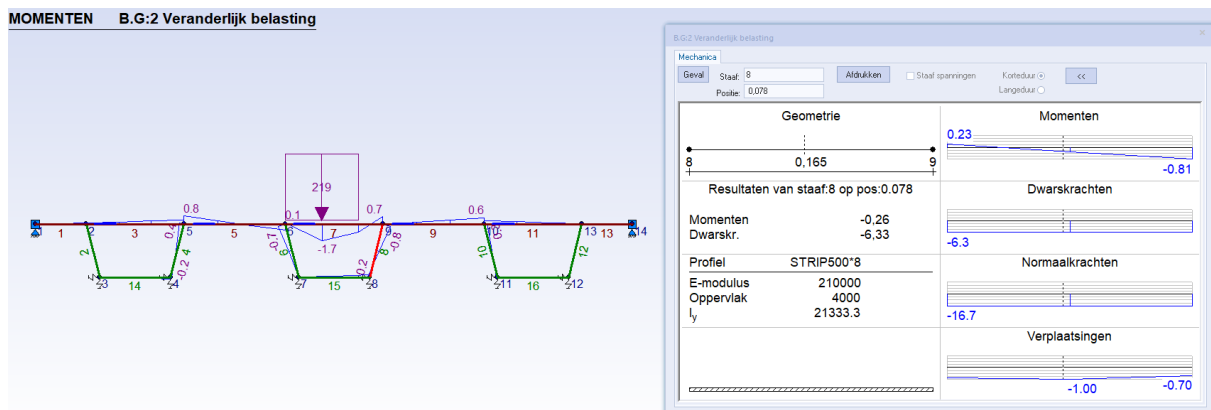
Standaard materialen

- 108 -

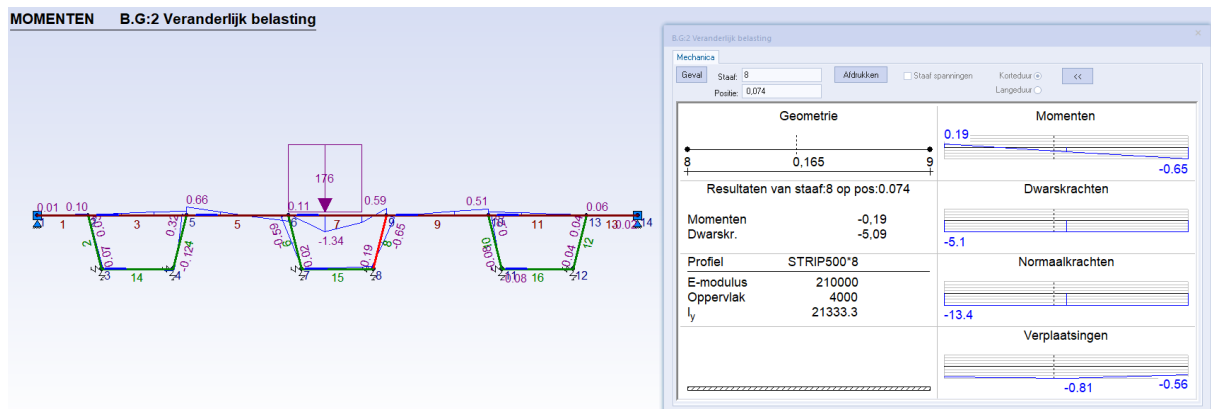
Type 1 Wiel A



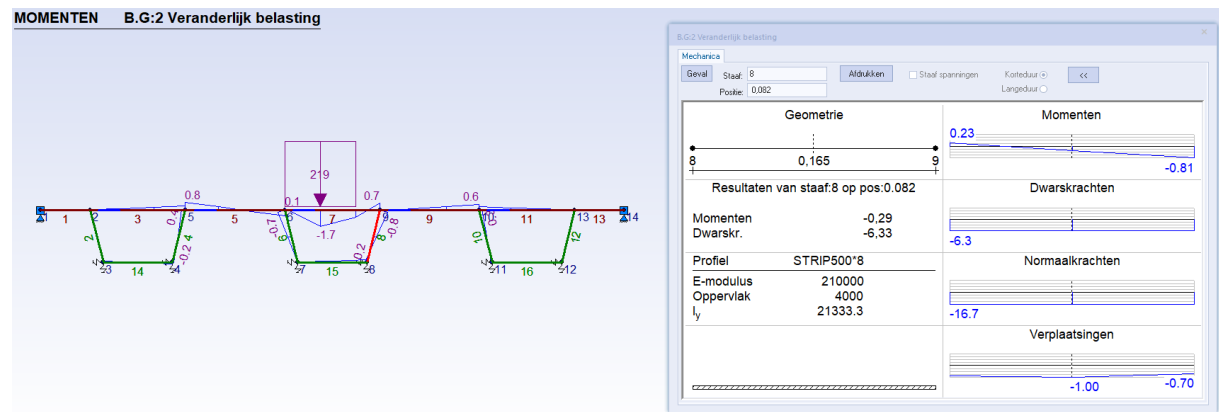
Type 2 Wiel A



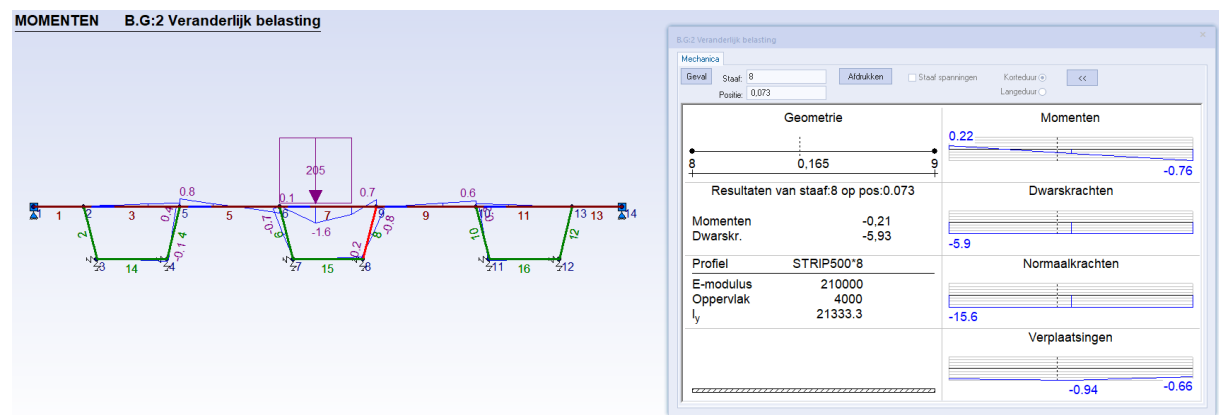
Type 3 Wiel A



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



Profiel van de trog met 8 mm & plaatdikte 23 mm

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 1 <<

Profiel: STRIP500*23

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP500*23
- 2:STRIP500*8

Bibliotheek

b: 500

h: 23

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staaftype: 0:Normaal

Oppervlak: 1,15e+4

Torsietr: 1,9691e+6

Buigtr: 5,0696e+5

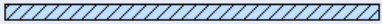
Vormfac: 0

Zs: 11,5

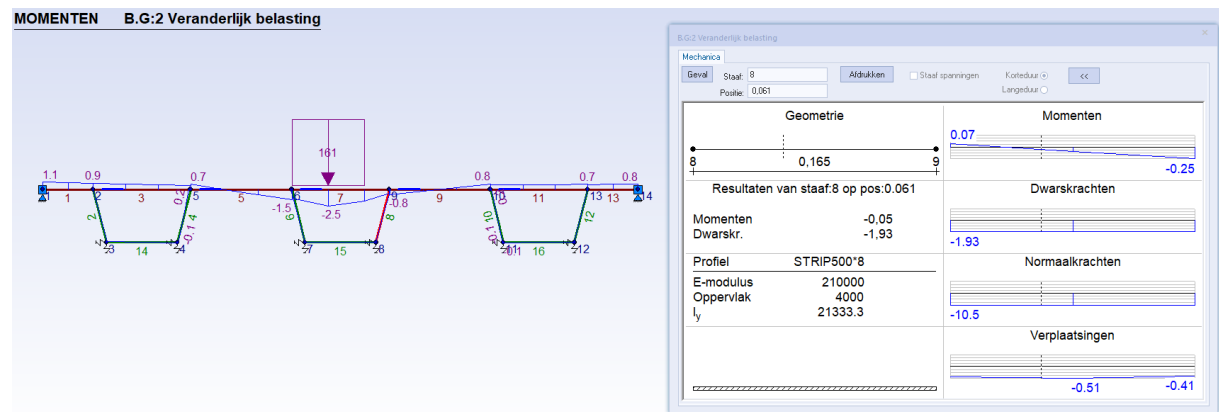
Werkende b: 1000

Staven: ☒

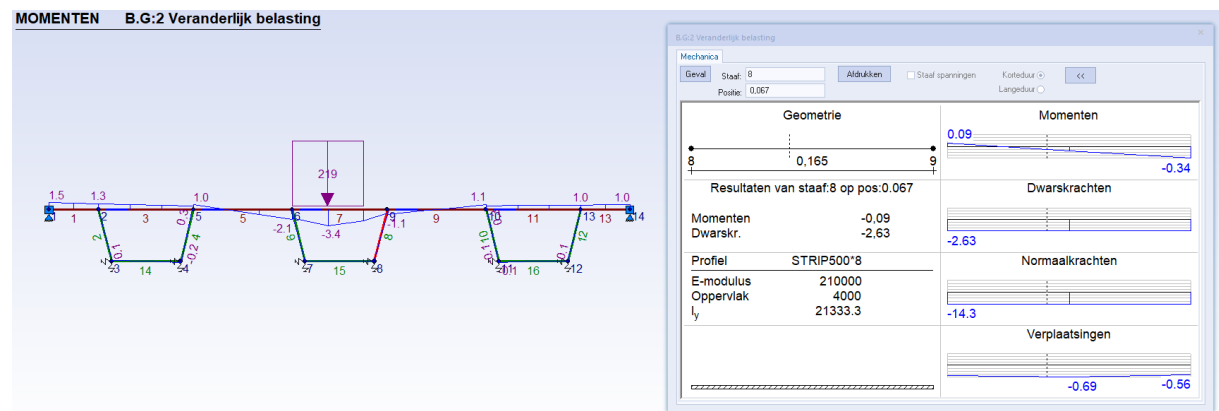
Sluiten Help DXF Import Standaard materialen



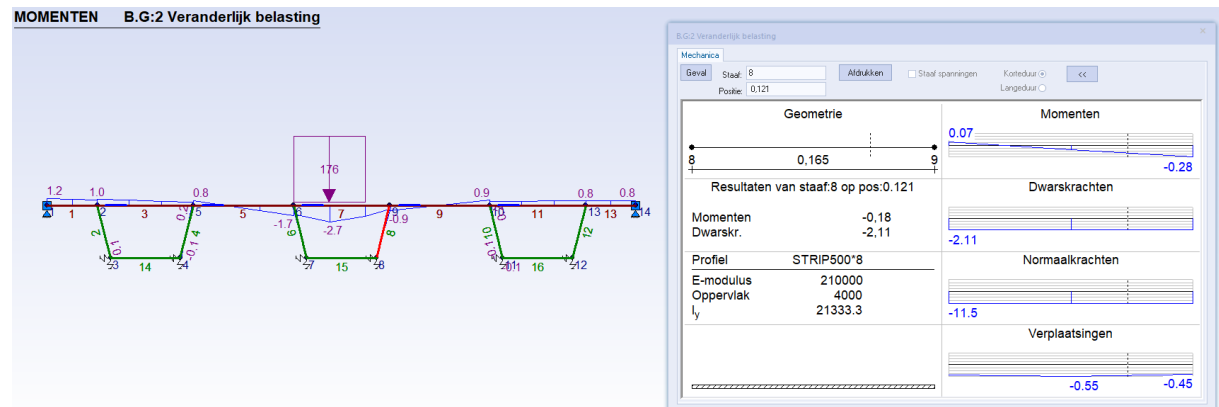
Type 1 Wiel A



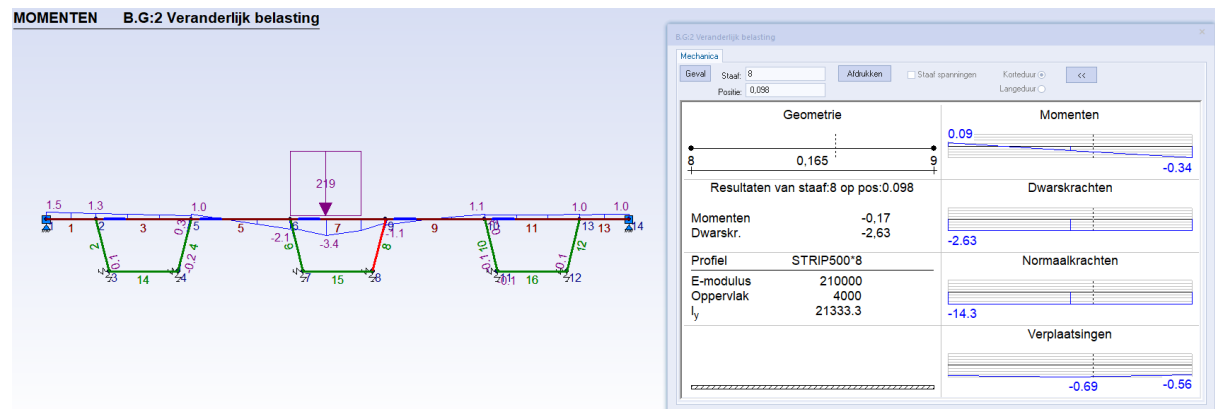
Type 2 Wiel A



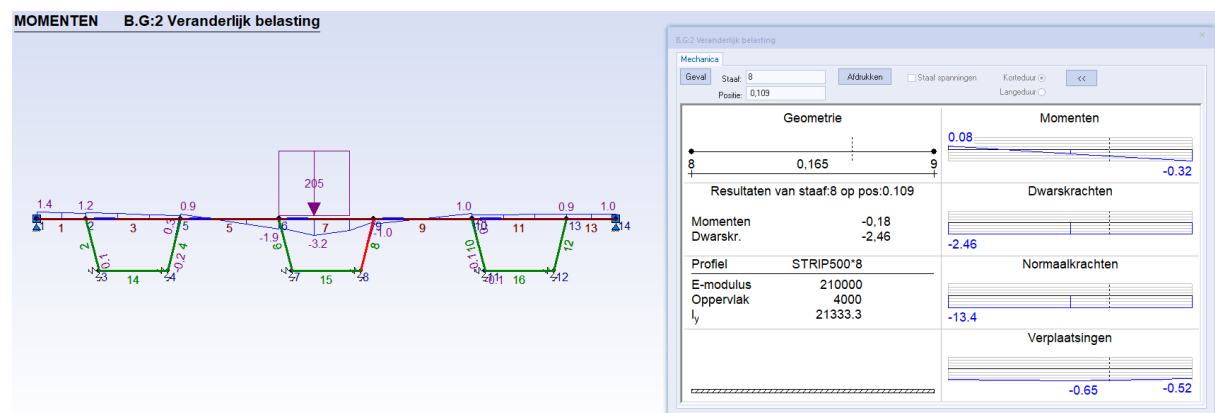
Type 3 Wiel A



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



Bijlage XXII : Variant 1 - nieuw brugdek h.o.h. afstand kleiner

Nieuw brugdek (6mm, h.o.h. afstand 400 mm ipv 600)										
BM	MOMENT	Spanning	n (2022-2072)	Detail	$\Delta\sigma C$	$\Delta\sigma R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)	
1A	0,3	100,000	2.800.000	71	357911	1000000	715822	3,91	12,61	
2A	0,41	136,667	560.000	71	357911	2552629,6	280425	2,00		
3A	0,33	110,000	840.000	71	357911	1331000	537808	1,56		
4A	0,41	136,667	1.200.000	71	357911	2552629,6	280425	4,28		
5A	0,39	130,000	280.000	71	357911	2197000	325818	0,86		

Profiel met de huidige diktes

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr: 1 <<

Profiel: STRIP500*12

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP500*12
- 2:STRIP500*6

Bibliotheek

b: 500

h: 12

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staaftype: 0:Normaal

Oppervlak: 6e+3

Torsietr: 2,8365e+5

Buigtr: 7,2e+4

Vormfac: 0

Zs: 6

Werkende b: 1000

Staven: ☒

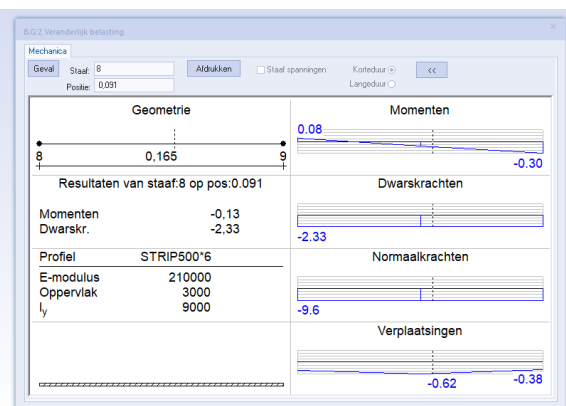
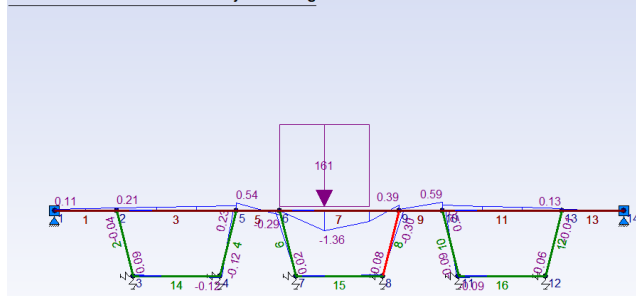
Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

Technosoft ingevulde punten

Knopen		
	X-coördinaat	Z-coördinaat
1	0,0000	0,0000
2	0,1530	0,0000
3	0,1930	-0,1600
4	0,4070	-0,1600
5	0,4470	0,0000
6	0,5530	0,0000
7	0,5930	-0,1600
8	0,8070	-0,1600
9	0,8470	0,0000
10	0,9530	0,0000
11	0,9930	-0,1600
12	1,2070	-0,1600
13	1,2470	0,0000
14	1,4000	0,0000

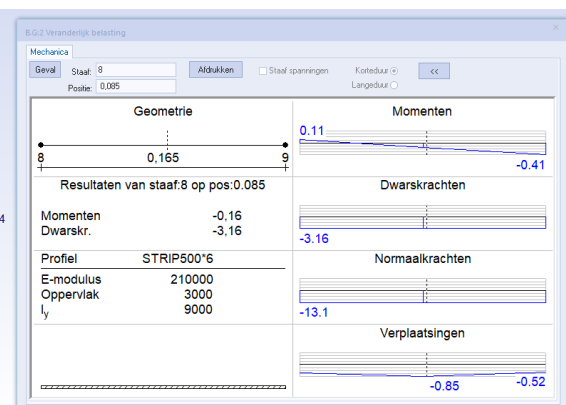
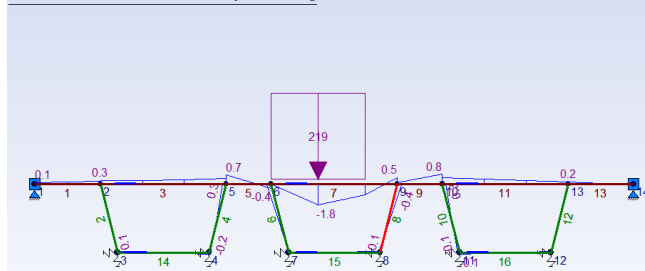
Type 1 Wiel A

MOMENTEN B.G:2 Veranderlijk belasting

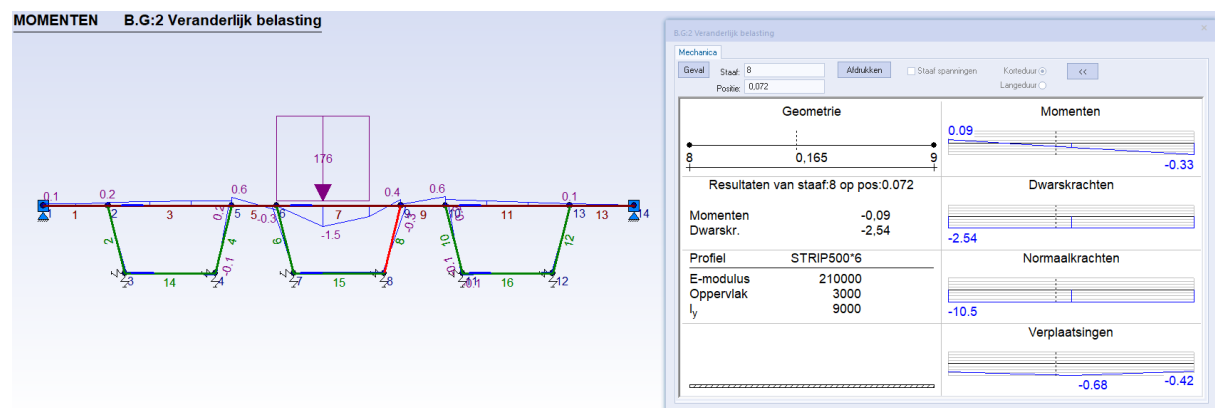


Type 2 Wiel A

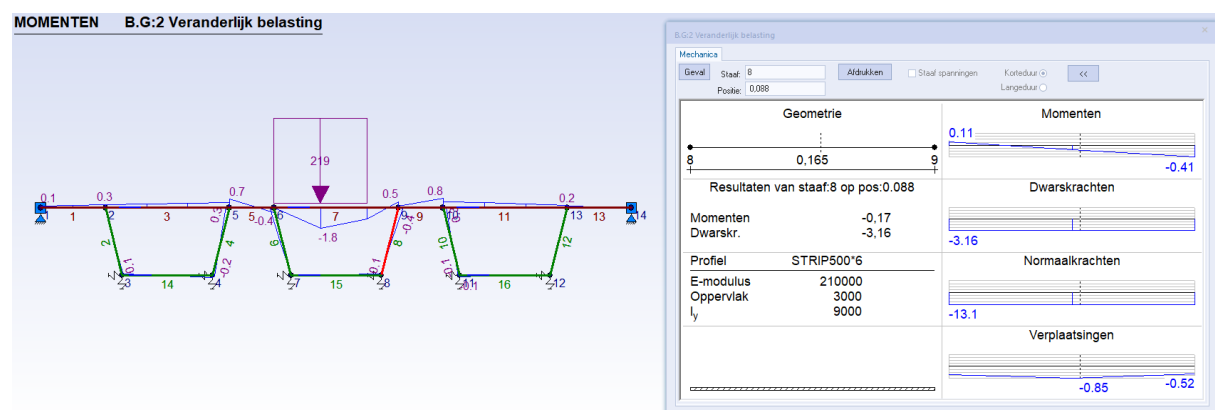
MOMENTEN B.G:2 Veranderlijk belasting



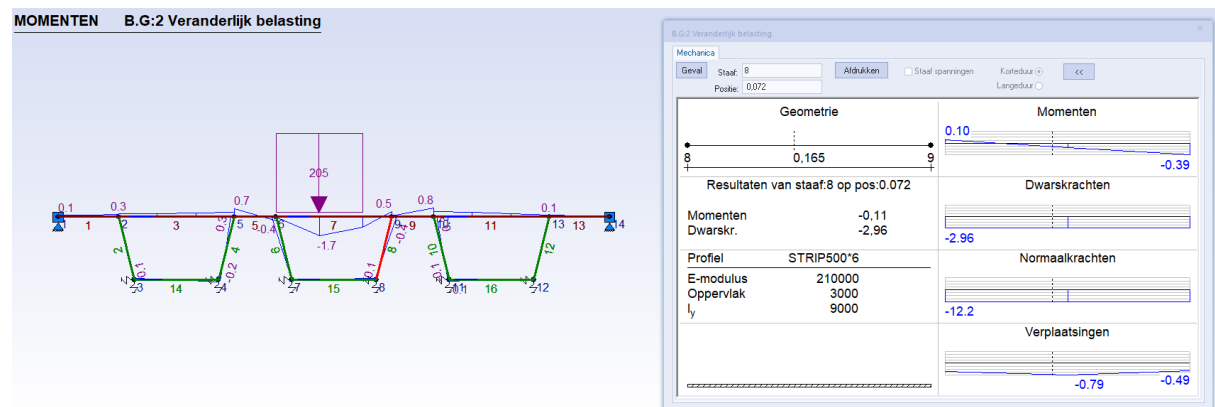
Type 3 Wiel A



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



Bijlage XXIII : Variant 1 - nieuw brugdek trog hoger

	Nieuw brugdek (6mm, hoger 200 ipv 160)									
BM	MOMENT	Spanning	n (2022-2072)	Detail	$\Delta\sigma C$	$\Delta\sigma R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)	
1A	0,27	90,000	2.800.000	71	357911	729000	981923	2,85	9,26	
2A	0,37	123,333	560.000	71	357911	1876037	381561	1,47		
3A	0,3	100,000	840.000	71	357911	1000000	715822	1,17		
4A	0,37	123,333	1.200.000	71	357911	1876037	381561	3,14		
5A	0,35	116,667	280.000	71	357911	1587963	450780	0,62		

Troghoogte veranderen

Profiel met de huidige diktes

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 1 <<

Profiel: STRIP500*12

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP500*12
- 2:STRIP500*6

Bibliotheek

b: 500

h: 12

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staaltype: 0:Normaal

Oppervlak: 6e+3

Torsietr: 2,8365e+5

Buigr: 7,2e+4

Vormfac: 0

Zs: 6

Werkende b: 1000

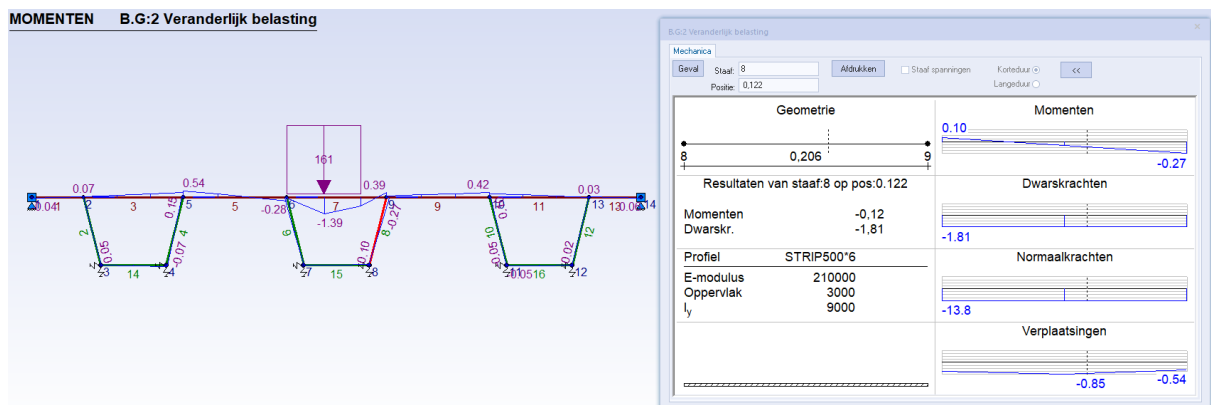
Staven: ☒

Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

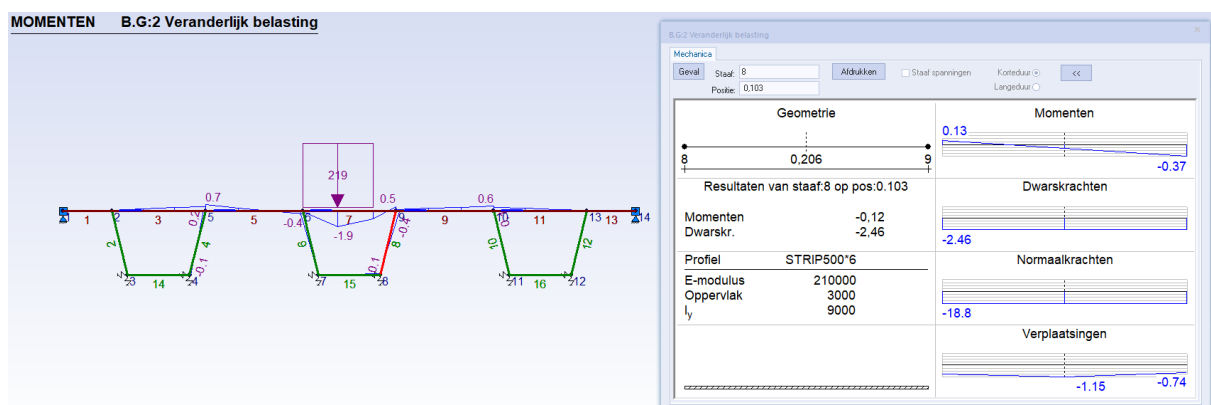
Technosoft ingevulde punten

Knopen		
	X-coördinaat	Z-coördinaat
1	0,0000	0,0000
2	0,1530	0,0000
3	0,2030	-0,2000
4	0,3970	-0,2000
5	0,4470	0,0000
6	0,7530	0,0000
7	0,8030	-0,2000
8	0,9970	-0,2000
9	1,0470	0,0000
10	1,3530	0,0000
11	1,4030	-0,2000
12	1,5970	-0,2000
13	1,6470	0,0000
14	1,8000	0,0000

Type 1 Wiel A

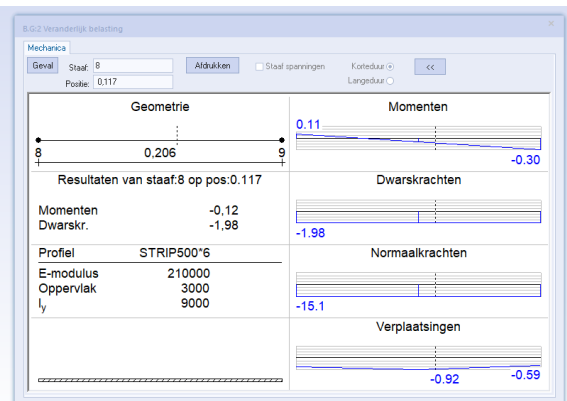
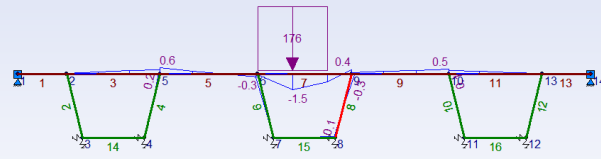


Type 2 Wiel A



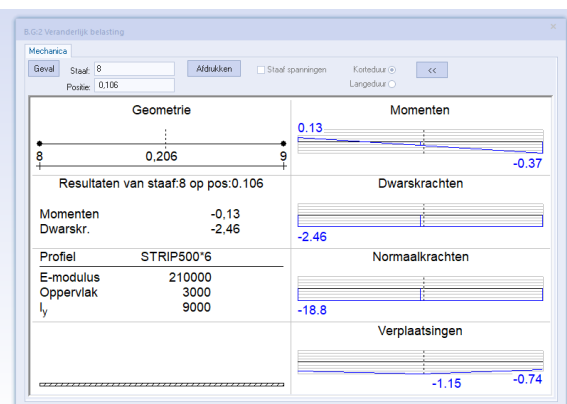
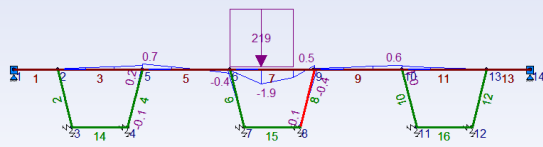
Type 3 Wiel A

MOMENTEN B.G:2 Veranderlijk belasting



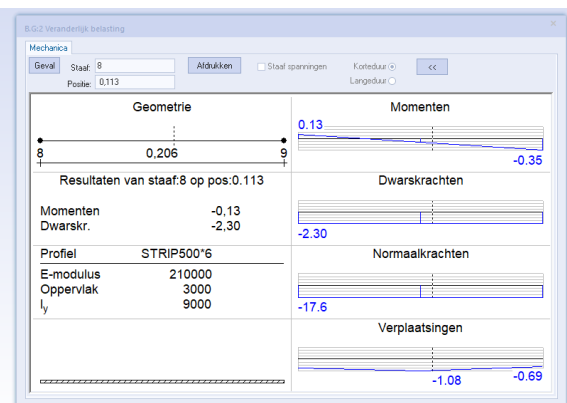
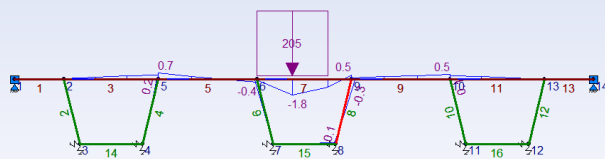
Type 4 Wiel A

MOMENTEN B.G:2 Veranderlijk belasting



Type 5 Wiel A

MOMENTEN B.G:2 Veranderlijk belasting



Bijlage XXIV : Variant 1 - nieuw brugdek trog smaller

Nieuw brugdek (6mm, smaller 200 mm ipv 300)										
BM	MOMENT	Spanning	n (2022-2072)	Detail	$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)	
1A	0,28	93,333	2.800.000	71	357911	813037,04	880430	3,18	10,55	
2A	0,39	130,000	560.000	71	357911	2197000	325818	1,72		
3A	0,31	103,333	840.000	71	357911	1103370,4	648759	1,29		
4A	0,39	130,000	1.200.000	71	357911	2197000	325818	3,68		
5A	0,36	120,000	280.000	71	357911	1728000	414249	0,68		

Profiel van de huidige diktes

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 1 <<

Profiel: STRIP500*12

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP500*12
- 2:STRIP500*6

Bibliotheek

b: 500

h: 12

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staaltype: 0:Normaal

Oppervlak: 6e+3

Torsietr: 2,8365e+5

Buigr: 7,2e+4

Vormfac: 0

Zs: 6

Werkende b: 1000

Staven: ✓

Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

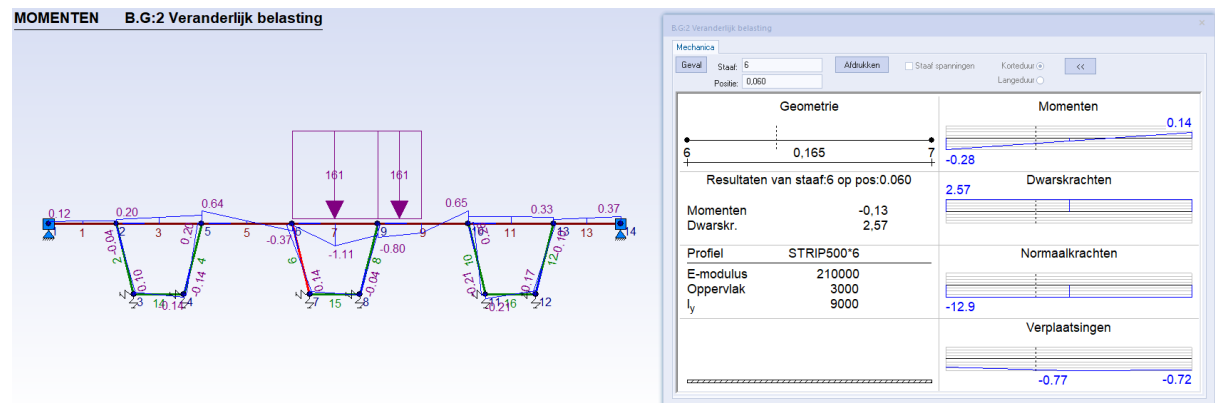
Ingevulde lasten

Staaflasten - B.G. 2										
	Staal	Type	Index	q1/F/M	q2	a	b	psi0	psi1	psi2
1	7	3:QZP		-161,000	-161,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	9	3:QZP		-161,000	-161,000	0,000	0,106	0,000	0,000	0,000

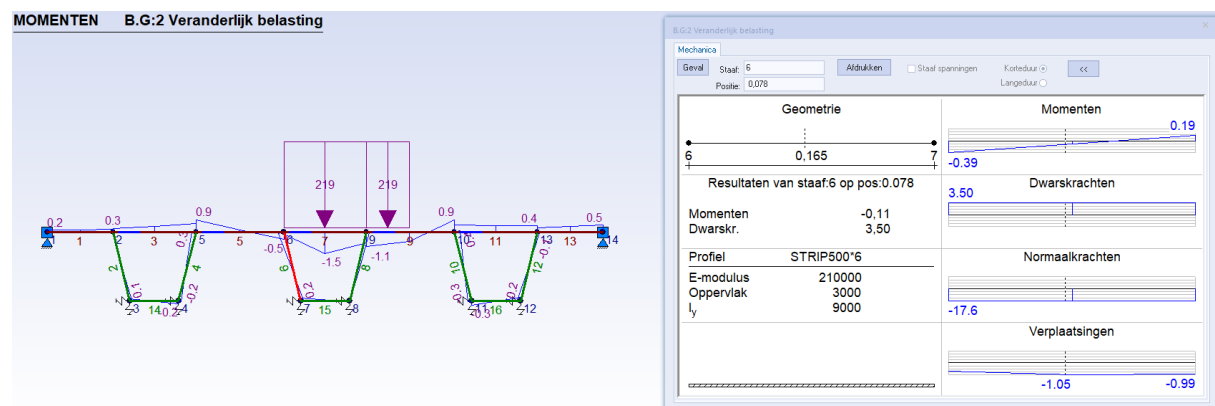
Technosoft ingevulde punten

Knopen		
	X-coördinaat	Z-coördinaat
1	0,0000	0,0000
2	0,1530	0,0000
3	0,1930	-0,1600
4	0,3070	-0,1600
5	0,3470	0,0000
6	0,5530	0,0000
7	0,5930	-0,1600
8	0,7070	-0,1600
9	0,7470	0,0000
10	0,9530	0,0000
11	0,9930	-0,1600
12	1,1070	-0,1600
13	1,1470	0,0000
14	1,3000	0,0000

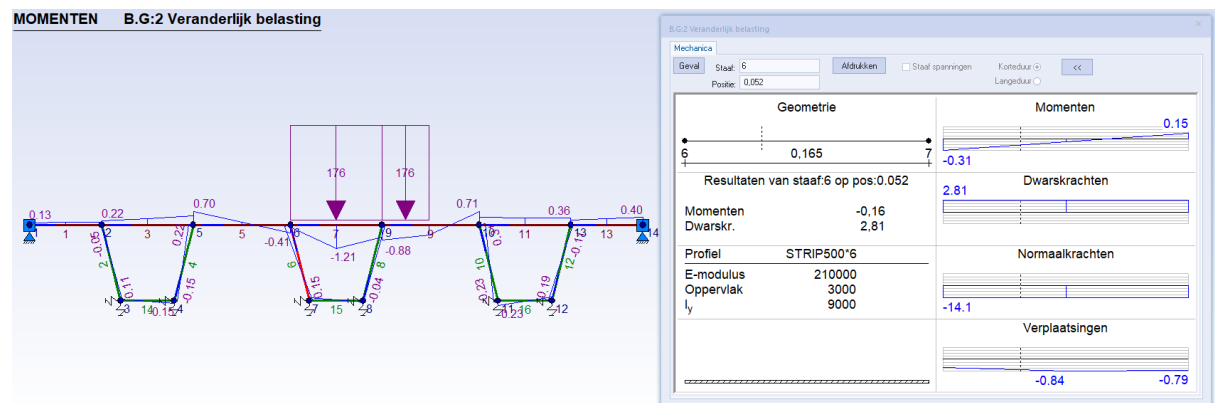
Type 1 Wiel A



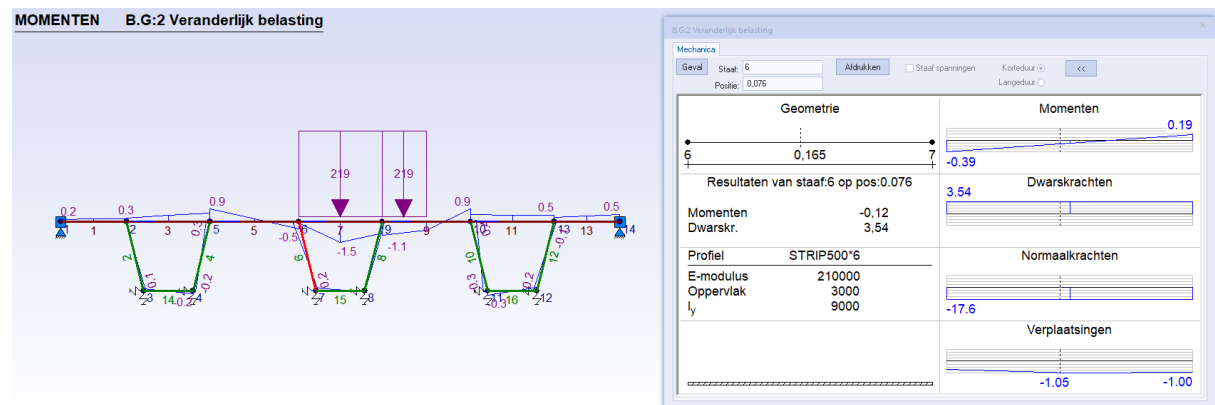
Type 2 Wiel A



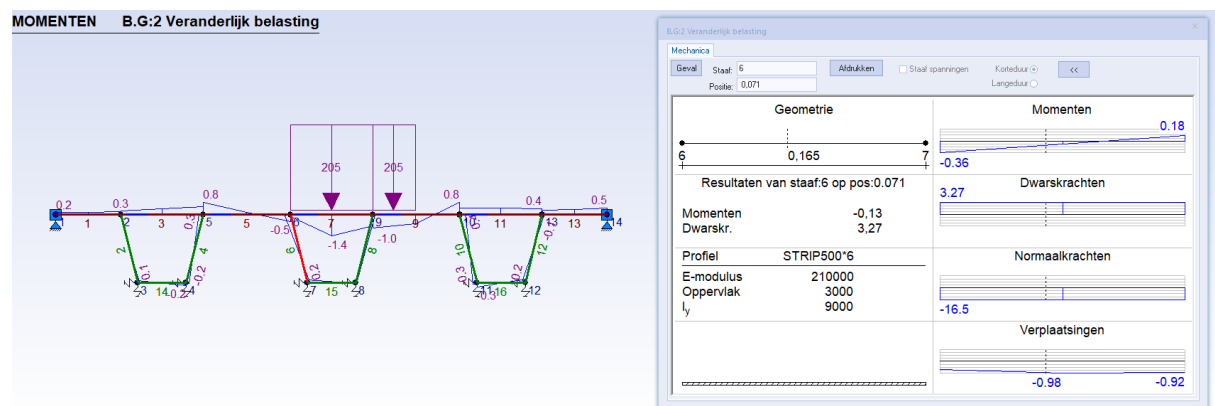
Type 3 Wiel A



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



Bijlage XXV : Variant 1 - nieuw brugdek trog hoger & smaller met dikkere dekplaat

Nieuw brugdek (6mm, hoger & smaller)									
BM	MOMENT	Spanning	n (2022-2072)	Detail	$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)
1A	0,25	83,333	2.800.000	71	357911	578703,7	1236940	2,26	7,60
2A	0,35	116,667	560.000	71	357911	1587963	450780	1,24	
3A	0,28	93,333	840.000	71	357911	813037,04	880430	0,95	
4A	0,35	116,667	1.200.000	71	357911	1587963	450780	2,66	
5A	0,32	106,667	280.000	71	357911	1213629,6	589819	0,47	
Nieuw brugdek (6mm, hoger & smaller 20 mm dik)									
BM	MOMENT	Spanning	n (2022-2072)	Detail	$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)
1A	0,12	40,000	2.800.000	71	357911	64000	11184719	0,25	0,85
2A	0,17	56,667	560.000	71	357911	181962,96	3933888	0,14	
3A	0,13	43,333	840.000	71	357911	81370,37	8797084	0,10	
4A	0,17	56,667	1.200.000	71	357911	181962,96	3933888	0,31	
5A	0,16	53,333	280.000	71	357911	151703,7	4718553	0,06	

Voldoet bij 20 mm dik!

Profiel van de huidige diktes

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr: 1 <<

Profiel: STRIP500*12

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP500*12
- 2:STRIP500*6

Bibliotheek

b: 500

h: 12

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staaftype: 0:Normaal

Oppervlak: 6e+3

Torsietr: 2,8365e+5

Buigr: 7,2e+4

Vormfac: 0

Zs: 6

Werkende b: 1000

Staven: ☒

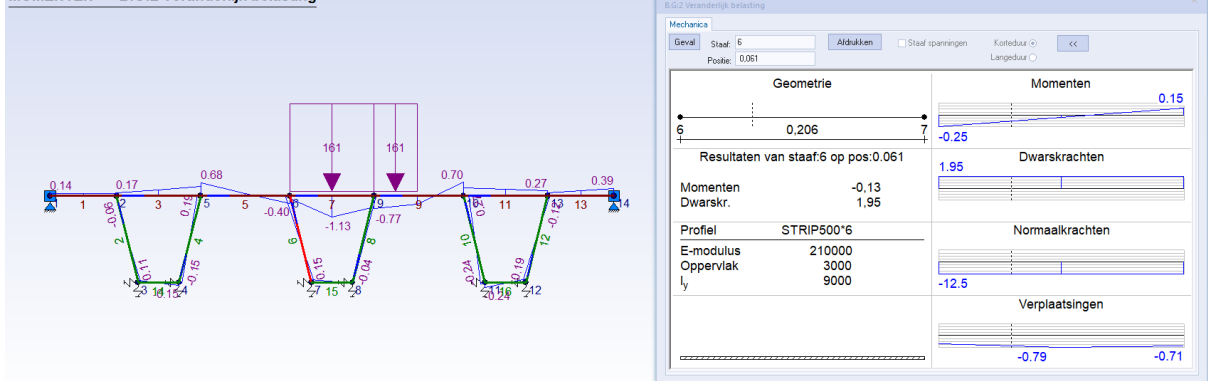
Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

Technosoft ingevulde punten

Knopen		
	X-coördinaat	Z-coördinaat
1	0,0000	0,0000
2	0,1530	0,0000
3	0,2030	-0,2000
4	0,2970	-0,2000
5	0,3470	0,0000
6	0,5530	0,0000
7	0,6030	-0,2000
8	0,6970	-0,2000
9	0,7470	0,0000
10	0,9530	0,0000
11	1,0030	-0,2000
12	1,0970	-0,2000
13	1,1470	0,0000
14	1,3000	0,0000

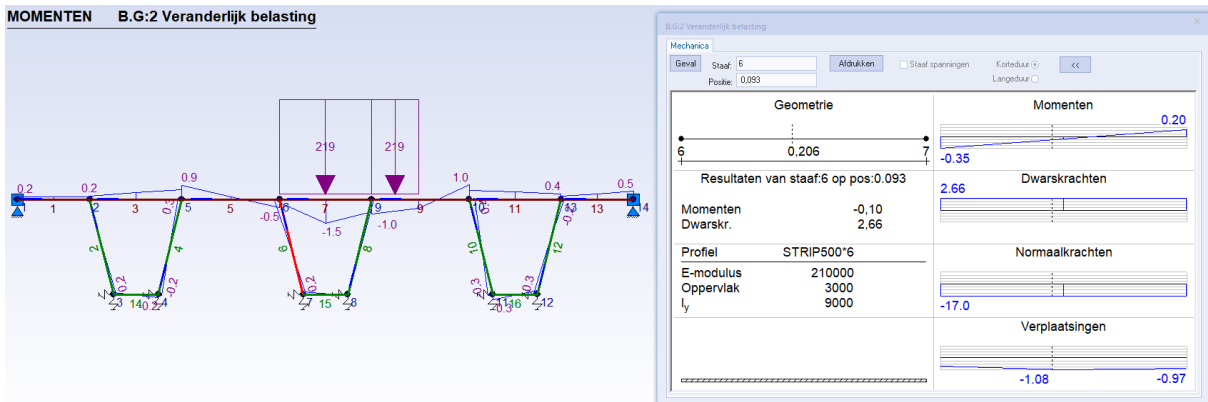
Type 1 Wiel A

MOMENTEN B.G:2 Veranderlijk belasting



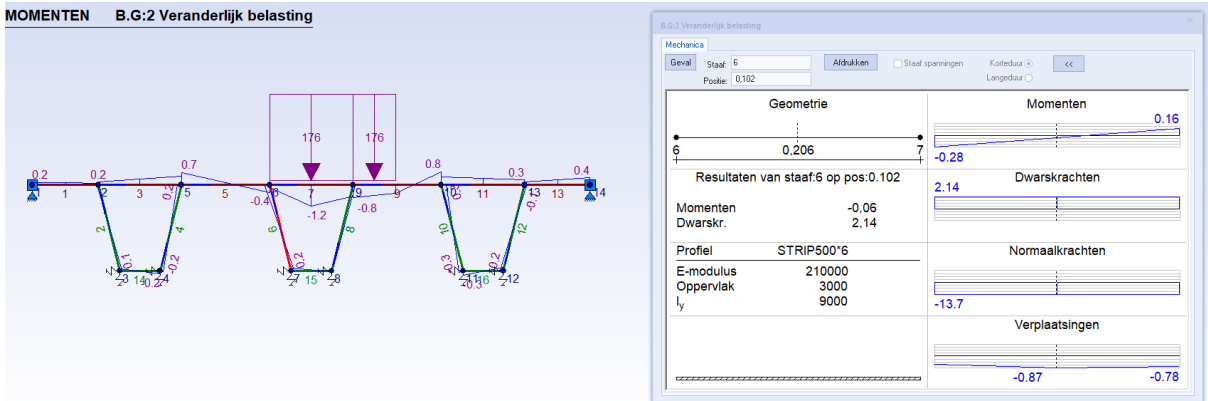
Type 2 Wiel A

MOMENTEN B.G:2 Veranderlijk belasting

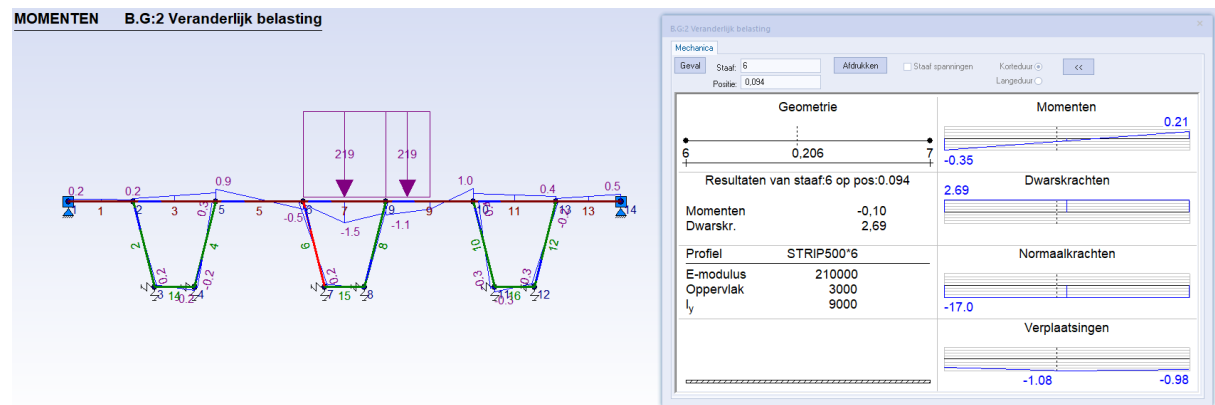


Type 3 Wiel A

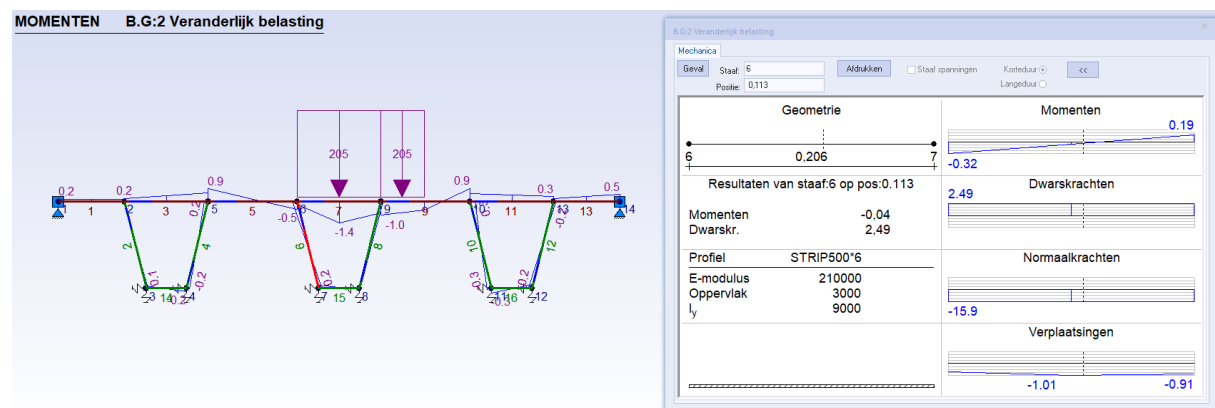
MOMENTEN B.G:2 Veranderlijk belasting



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



Profiel totale dekplaatdikte 20 mm

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr: 1 <<

Profiel: STRIP500*20

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP500*20
- 2:STRIP500*6

Bibliotheek

b: 500

h: 20

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staaftype: 0:Normaal

Oppervlak: 1e+4

Torsietr: 1,2997e+6

Buigtr: 3,3333e+5

Vormfac: 0

Zs: 10

Werkende b: 1000

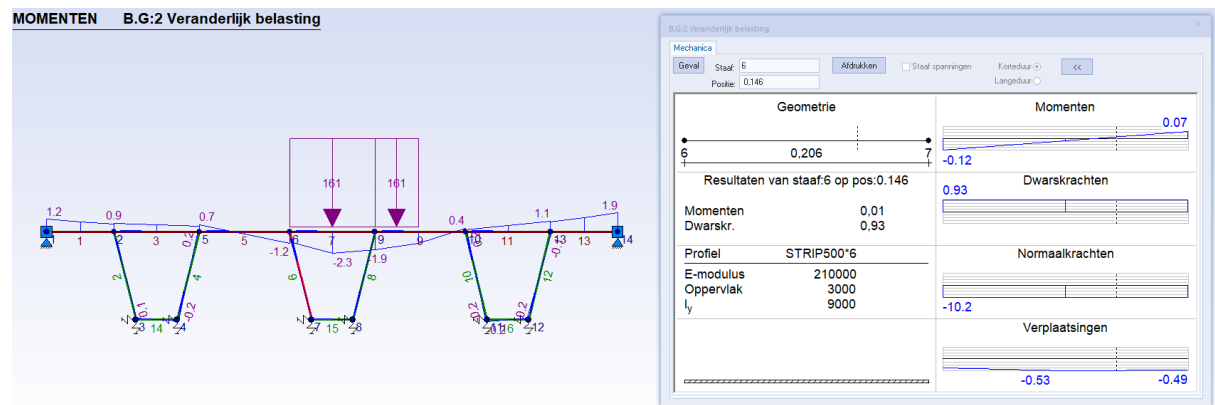
Staven: ☒

Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

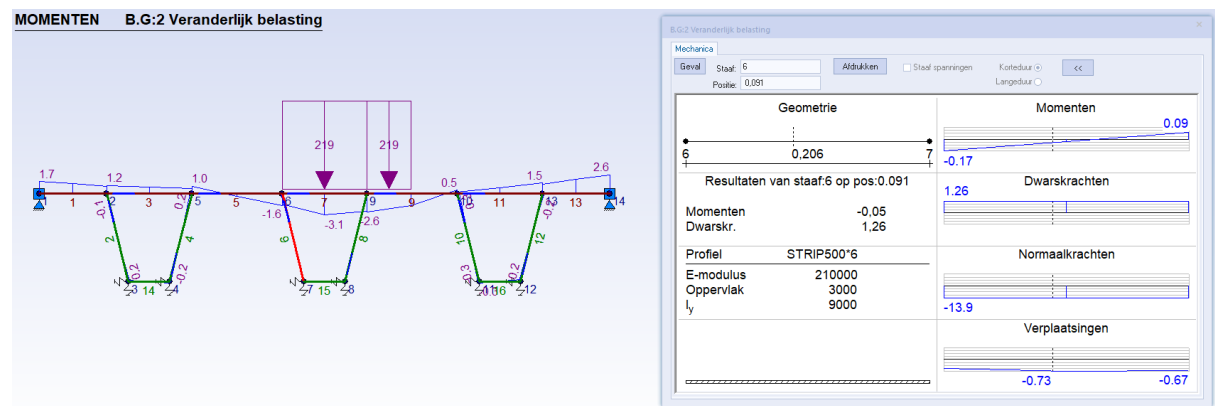
Technosoft ingevulde punten

Knopen		
	X-coördinaat	Z-coördinaat
1	0,0000	0,0000
2	0,1530	0,0000
3	0,2030	-0,2000
4	0,2970	-0,2000
5	0,3470	0,0000
6	0,5530	0,0000
7	0,6030	-0,2000
8	0,6970	-0,2000
9	0,7470	0,0000
10	0,9530	0,0000
11	1,0030	-0,2000
12	1,0970	-0,2000
13	1,1470	0,0000
14	1,3000	0,0000

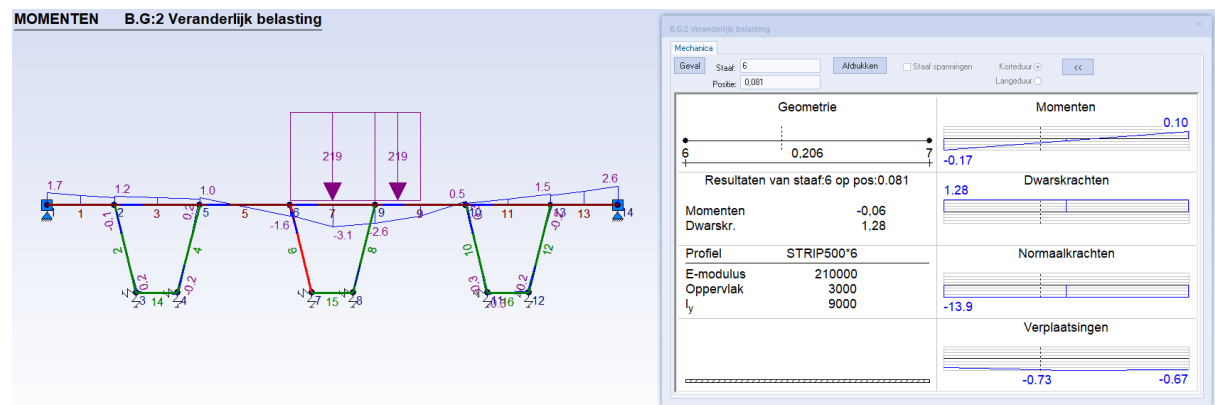
Type 1 Wiel A



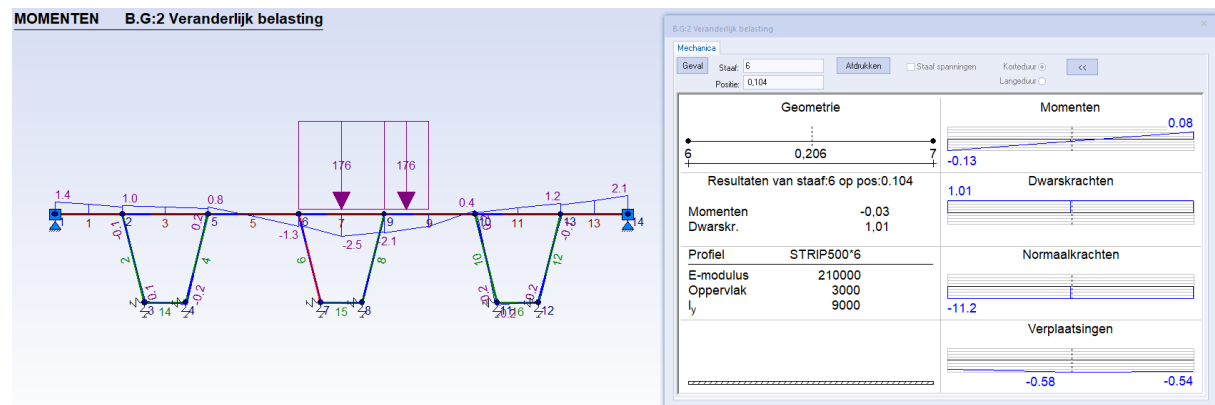
Type 2 Wiel A



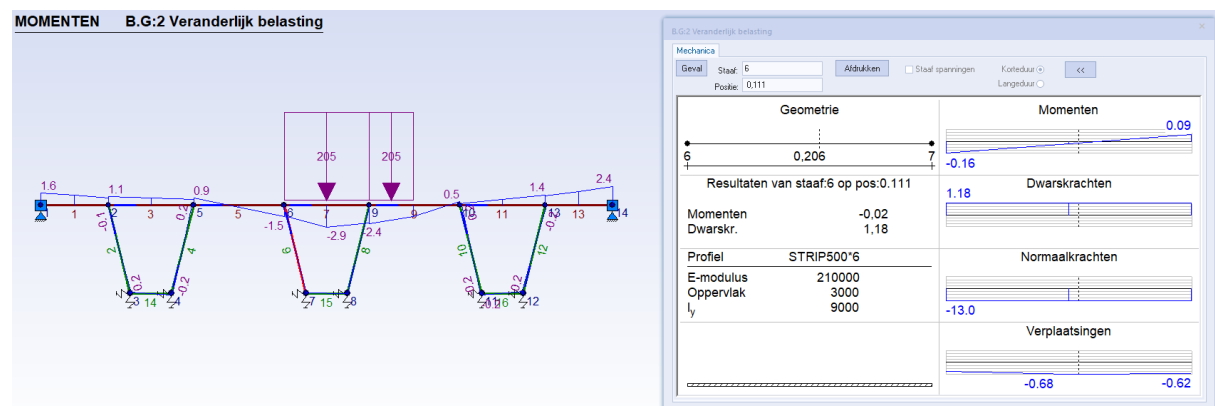
Type 3 Wiel A



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



H.O.H Afstand plus troghoogte hoger met 21 mm totale dikte

Profiel totale dekplaatdike 21 mm

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 1 <<

Profiel: STRIP500*21

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP500*21
- 2:STRIP500*6

Bibliotheek

b: 500

h: 21

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staaftype: 0:Normaal

Oppervlak: 1,05e+4

Torsietr: 1,5027e+6

Buigtr: 3,8587e+5

Vormfac: 0

Zs: 10,5

Werkende b: 1000

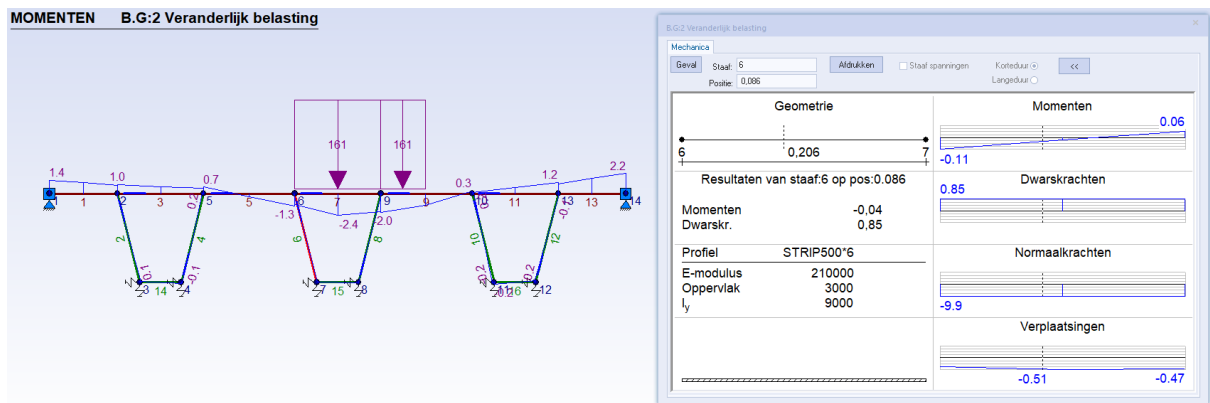
Staven: ☒

Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

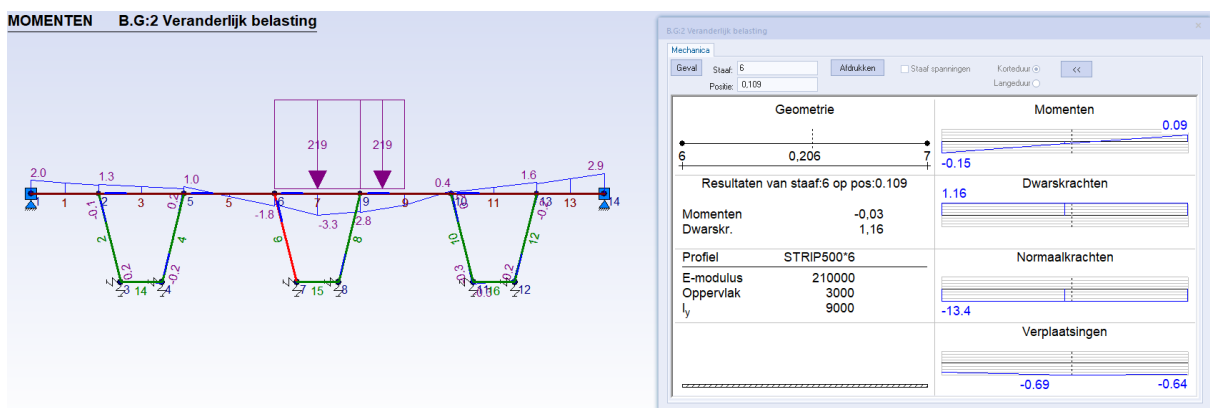
Technosoft ingevulde punten

Knopen		
	X-coördinaat	Z-coördinaat
1	0,0000	0,0000
2	0,1530	0,0000
3	0,2030	-0,2000
4	0,2970	-0,2000
5	0,3470	0,0000
6	0,5530	0,0000
7	0,6030	-0,2000
8	0,6970	-0,2000
9	0,7470	0,0000
10	0,9530	0,0000
11	1,0030	-0,2000
12	1,0970	-0,2000
13	1,1470	0,0000
14	1,3000	0,0000

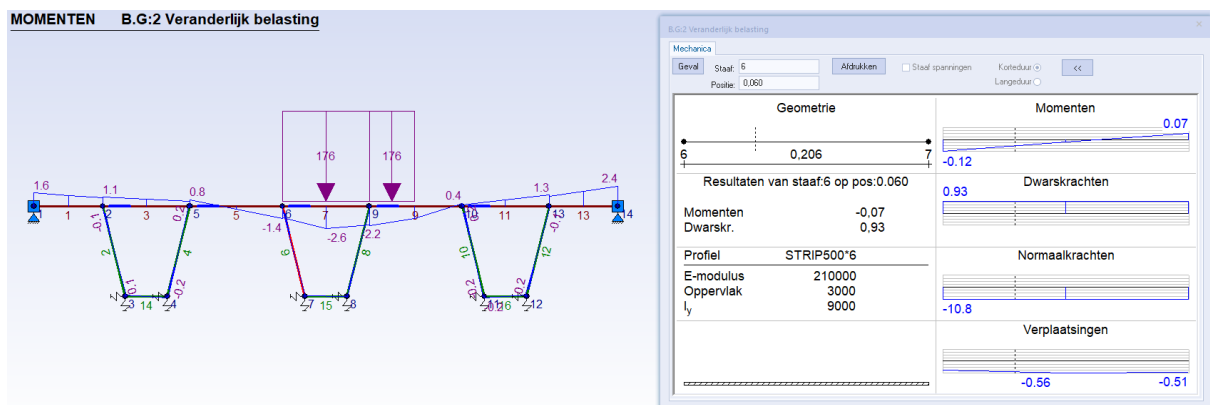
Type 1 Wiel A



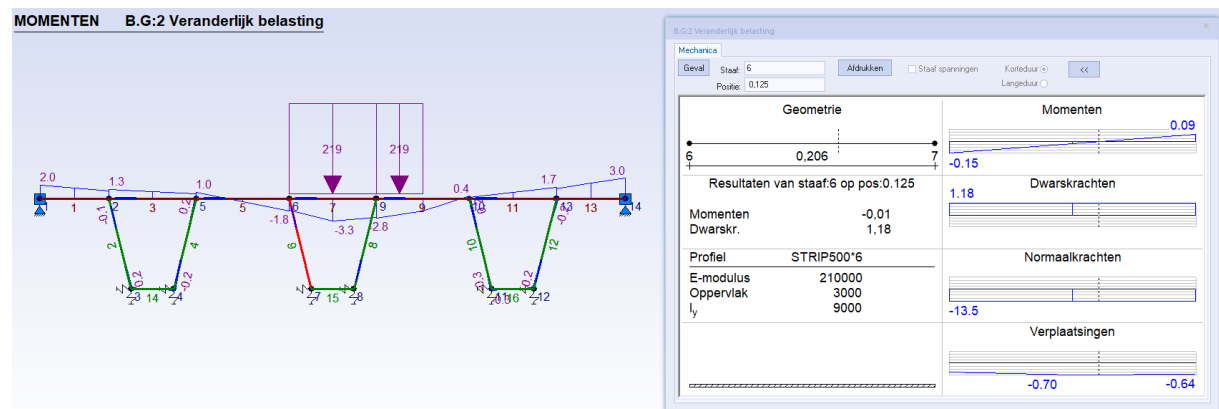
Type 2 Wiel A



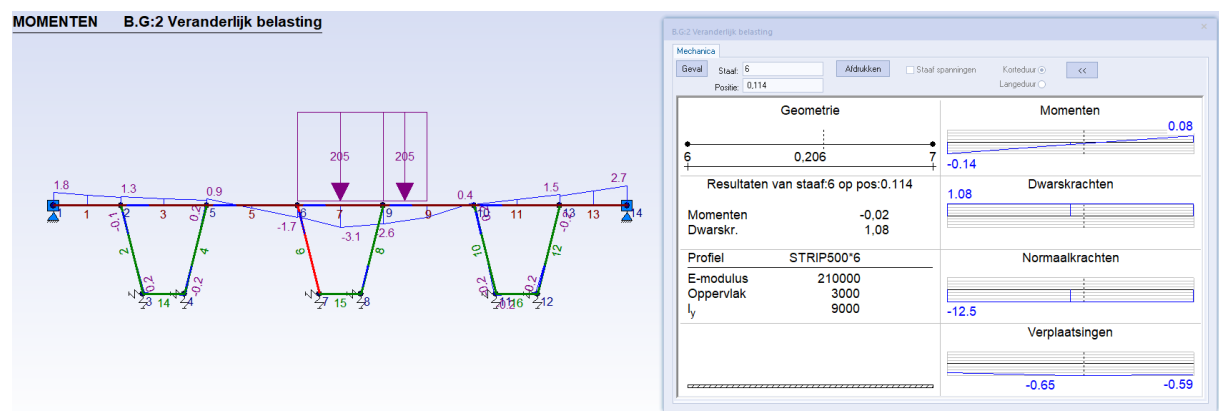
Type 3 Wiel A



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



Bijlage XXVI : Variant 2 - aangepast brugdek stompe las 2022

Deze berekening gebruikt de gegevens en modellen van: Toetsing Model 2: hoeklas vermoeiingsterkte op afkeur van dekplaat op troggen in langsrichting. Er is verder gerekend met de volgende spanningen.

Tabel 33: Totale spanning door stompe las per maatgevend moment per vrachtwagentype.

Benaming	Totale spanning door las
BM4 Type 1	$\sigma_{las} = 0,32 \times 10^6 \text{ N*mm} / 3,0 \times 10^3 = 107 \text{ N/mm}^2$
BM4 Type 2	$\sigma_{las} = 0,43 \times 10^6 \text{ N*mm} / 3,0 \times 10^3 = 143 \text{ N/mm}^2$
BM4 Type 3	$\sigma_{las} = 0,34 \times 10^6 \text{ N*mm} / 3,0 \times 10^3 = 113 \text{ N/mm}^2$
BM4 Type 4	$\sigma_{las} = 0,40 \times 10^6 \text{ N*mm} / 3,0 \times 10^3 = 133 \text{ N/mm}^2$
BM4.5 Type 5	$\sigma_{las} = 0,40 \times 10^6 \text{ N*mm} / 3,0 \times 10^3 = 133 \text{ N/mm}^2$

Bij de stompe las geldt het ontbinden van de totale spanning naar schuif- en normaalspanning niet.

Spanningswisselingen

De spanning per één vrachtwagen is nu berekend. Van 1970 tot 2022 is bepaald onder 2.8 Prognose verkeersintensiteit dat er 13,21 miljoen vrachtwagens over de brug rijden. Van deze vrachtwagens is in de tabel van de vrachtwagensamenstellingen aangenomen dat de “Middellange afstand” percentages gelden. In de eerstvolgende tabel zijn de aantal vrachtwagens per type berekend.

Tabel 34: Berekende aantal vrachtwagens per type vrachtwagen van 1970 tot 2022.

Belastingsmodel	Spanning	Percentage	Rijstroken	Aantal vrachtwagens tot 2022 per rijstrook
BM4 Type 1	107 N/mm ²	50%	3	2.200.000
BM4 Type 2	143 N/mm ²	10%	3	440.000
BM4 Type 3	113 N/mm ²	15%	3	660.000
BM4 Type 4	133 N/mm ²	20%	3	880.000
BM4.5 Type 5	133 N/mm ²	5,0%	3	220.000

Toetsing (2022)

Voor het toetsen van de stompe las is de volgende formule gebruikt, volgens NEN 1993-1-9 (Bijlage A):

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} + \frac{n_5}{N_5}$$

n_i = Hedendaagse aantal vrachtwagens

N_i = Toegestane aantal vrachtwagens

De toegestane aantal vrachtwagens is te berekenen met de volgende formule.

$$\Delta\sigma_R^m \times N_R = \Delta\sigma_C^m \times 2 \times 10^6 \text{ met } m = 3 \text{ voor } N \leq 5 \times 10^6$$

$$\Delta\sigma_R^m \times N_R = \Delta\sigma_D^m \times 5 \times 10^6 \text{ met } m = 5 \text{ voor } 5 \times 10^6 < N \leq 10^8$$

Hierbij is

$\Delta\sigma_R$ = Berekende spanning

N_R = Toelaatbare aantal vrachtwagens

$\Delta\sigma_C$ = Detailcategorie, te bepalen uit Tabel 8.8 uit NEN 1993-1-9, zie Bijlage XVIII.

Voor het trogdetail geldt $\Delta\sigma_C = 71$ (stompe las).

De toelaatbare aantal vrachtwagens per vrachtwagentype is als volgt berekend.

Vrachtwagentype 1:

$$\Delta\sigma_R^m \times N_1 = \Delta\sigma_C^m \times 2 \times 10^6$$

$$107^3 \times N_1 = 71^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_1 = 5,84 \times 10^5$$

Vrachtwagentype 2:

$$\Delta\sigma_R \times N_2 = \Delta\sigma_C \times 2 \times 10^6$$

$$143^3 \times N_2 = 71^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_2 = 2,45 \times 10^5$$

Vrachtwagentype 3:

$$\Delta\sigma_R \times N_3 = \Delta\sigma_C \times 2 \times 10^6$$

$$113^3 \times N_3 = 71^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_3 = 4,96 \times 10^5$$

Vrachtwagentype 4:

$$\Delta\sigma_R \times N_4 = \Delta\sigma_C \times 2 \times 10^6$$

$$133^3 \times N_4 = 71^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_4 = 3,04 \times 10^5$$

Vrachtwagentype 5:

$$\Delta\sigma_R \times N_5 = \Delta\sigma_C \times 2 \times 10^6$$

$$133^3 \times N_5 = 71^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_5 = 3,04 \times 10^5$$

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} + \frac{n_5}{N_5}$$

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{22,0 \times 10^5}{5,84 \times 10^5} + \frac{4,40 \times 10^5}{2,45 \times 10^5} + \frac{6,60 \times 10^5}{4,96 \times 10^5} + \frac{8,81 \times 10^5}{3,04 \times 10^5} + \frac{2,20 \times 10^5}{3,04 \times 10^5}$$

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = 3,77 + 1,80 + 1,33 + 2,90 + 0,72 \approx 10,4 > 1 \rightarrow \text{VOLDOET NIET}$$

Het veranderen naar een stompe las geeft een reductie van 13,3 naar 10,4. Dit is het directe verschil tussen het veranderen van de las. Echter zal variant 2 sterk genoeg moeten zijn tot 2047, zie komende berekening.

Zie de Excel berekening op de volgende pagina. Hierbij is te zien dat de berekeningen kloppen aangezien de resultaten en tussenstappen dezelfde waardes krijgen.

Excel berekening en resultaten.

HOEKLAS 2022																	
BM	MOMENT	Spanning	Ontbinden	n (2022)	Detail	$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_R$	N (2022)	n/N	SOMo(n/N)	Detail	$\Delta\tau_C$	$\Delta\tau_R$	N (2022)	n/N	SOMt(n/N)	SOMtot
1A	0,32	106,7	75,4	2.200.000	50	125000	429083	582638	3,78	10,65	80	512000	429083	2386485	0,92	2,60	13,26
2A	0,43	143,3	101,4	440.000	50	125000	1041110	240128	1,83		80	512000	1041110	983566	0,45		
3A	0,34	113,3	80,1	660.000	50	125000	514669	485749	1,36		80	512000	514669	1989628	0,33		
4A	0,4	133,3	94,3	880.000	50	125000	838052	298311	2,95		80	512000	838052	1221881	0,72		
5A	0,4	133,3	94,3	220.000	50	125000	838052	298311	0,74		80	512000	838052	1221881	0,18		
Stompe las 2022																	
BM	MOMENT	Spanning	n (2022)	Detail	$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_R$	N (2022)	n/N	SOM(n/N)								
1A	0,32	106,6666667	2.200.000	71	357911	1213629,6	589819	3,73	10,52								
2A	0,43	143,3333333	440.000	71	357911	2944703,7	243088	1,81									
3A	0,34	113,3333333	660.000	71	357911	1455703,7	491736	1,34									
4A	0,4	133,3333333	880.000	71	357911	2370370,4	301987	2,91									
5A	0,4	133,3333333	220.000	71	357911	2370370,4	301987	0,73									
Stompe las 2047																	
BM	MOMENT	Spanning	n (2047)	Detail	$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)								
1A	0,32	106,6666667	3.500.000	71	357911	1213629,6	589819	5,93	16,85								
2A	0,43	143,3333333	700.000	71	357911	2944703,7	243088	2,88									
3A	0,34	113,3333333	1.100.000	71	357911	1455703,7	491736	2,24									
4A	0,4	133,3333333	1.400.000	71	357911	2370370,4	301987	4,64									
5A	0,4	133,3333333	350.000	71	357911	2370370,4	301987	1,16									

Bijlage XXVII : Variant 2 - aangepast brugdek stompe las 2047

Variant 2 dient tot 2047 sterk genoeg moeten zijn. Voor deze berekening is Excel gebruikt. In deze berekening groeit de verkeersintensiteit van 13,2 miljoen vrachtwagens in 2022, naar 21,1 miljoen vrachtwagens in 2047.

Hierdoor ontstaan de volgende aantal vrachtwagens per belastingsmodel tot 2047.

Tabel 35: Berekende aantal vrachtwagens per type vrachtwagen van 1970 tot 2047

Belastingsmodel	Spanning	Percentage	Rijstroken	Aantal vrachtwagens tot 2047 per rijstrook
BM4 Type 1	107 N/mm ²	50%	3	3.500.000
BM4 Type 2	143 N/mm ²	10%	3	700.000
BM4 Type 3	113 N/mm ²	15%	3	1.100.000
BM4 Type 4	133 N/mm ²	20%	3	1.400.000
BM4.5 Type 5	133 N/mm ²	5,0%	3	350.000

Bij het berekenen van de vermoeiingsterkte van het brugdek tot 2047 in dwarsrichting in het Excel bestand ontstaat een unity check van 16,85, zie vorige pagina voor Excel berekening. Door de vermeerdering van de vrachtwagens van 2022 tot 2047 is de unity check veranderd van 10,4 naar 16,9. Om de las te laten voldoen dient de dikte van de dekplaat in het Technosoft model aangepast te worden. Zie daarvoor de volgende berekening op de volgende bladzijde.

Bijlage XXVIII : Variant 2 - aangepast brugdek stompe las 2047 & dikkere dekplaat

Voor het berekenen van de plaat voor op de dekplaat, om de plaatdikte te vergroten is verder gerekend met Excel, zie Bijlage XX.V Eerst is berekend welk moment nodig zal zijn om de unity check lager te krijgen als 1, uitgaande van dezelfde momentverhoudingen als in de vorige berekening. Toen is gezocht bij welke plaatdikte de momenten zo worden gereduceerd. Daarna is verder gerekend met deze momenten om te ontdekken hoe dik de plaat precies moet worden gemaakt.

Bij grotere plaatdikte wordt het moment veel meer opgenomen door de dekplaat waardoor er minder kracht wordt opgenomen door de trogprofiel en de las. Dit zie je terug in Technosoft. Daarnaast is het profiel vele malen stijver.

Zie de volgende resultaten. Hieruit is af te lezen dat een 23 mm dikke plaat het effectiefst voldoet. Onder unity check 1, maar dichtstbij de 1. Dit houdt in dat de huidige 12 mm plaat, plus een plaat van 11 mm dik het best voldoet. Dikkere platen zijn volgens deze indicatieve berekening overbodig.

Tabel 36: Resultaten Excel

	24 mm plaatdikte	23 mm plaatdikte	22 mm plaatdikte
BM4 Type 1	0,11 kNm	0,12 kNm	0,13 kNm
BM4 Type 2	0,15 kNm	0,16 kNm	0,17 kNm
BM4 Type 3	0,12 kNm	0,13 kNm	0,14 kNm
BM4 Type 4	0,15 kNm	0,16 kNm	0,17 kNm
BM4.5 Type 5	0,14 kNm	0,15 kNm	0,16 kNm
UNITY CHECK	0,76	0,96	1,16

Excel berekening om de dekplaatdikte te vinden waarbij het brugdek tot 2047 voldoet.

	Dekplaatdikte 24 mm								
BM	MOMENT	Spanning	n (2047)	Detail	$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)
1A	0,11	36,66666667	3.500.000	71	357911	49296,296	14520807	0,24	0,756
2A	0,15	50	700.000	71	357911	125000	5726576	0,12	
3A	0,12	40	1.100.000	71	357911	64000	11184719	0,10	
4A	0,15	50	1.400.000	71	357911	125000	5726576	0,24	
5A	0,14	46,66666667	350.000	71	357911	101629,63	7043438	0,05	
	Dekplaatdikte 22 mm								
BM	MOMENT	Spanning	n (2047)	Detail	$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)
1A	0,13	43,33333333	3.500.000	71	357911	81370,37	8797084	0,40	1,162
2A	0,17	56,66666667	700.000	71	357911	181962,96	3933888	0,18	
3A	0,14	46,66666667	1.100.000	71	357911	101629,63	7043438	0,16	
4A	0,17	56,66666667	1.400.000	71	357911	181962,96	3933888	0,36	
5A	0,16	53,33333333	350.000	71	357911	151703,7	4718553	0,07	
	Dekplaatdikte 23 mm								
BM	MOMENT	Spanning	n (2047)	Detail	$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)
1A	0,12	40	3.500.000	71	357911	64000	11184719	0,31	0,944
2A	0,16	53,33333333	700.000	71	357911	151703,7	4718553	0,15	
3A	0,13	43,33333333	1.100.000	71	357911	81370,37	8797084	0,13	
4A	0,16	53,33333333	1.400.000	71	357911	151703,7	4718553	0,30	
5A	0,15	50	350.000	71	357911	125000	5726576	0,06	

Plaatdikte 24 mm / 12 mm dikker

Profiel dekplaat 24 mm

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr: 1 <<

Profiel: STRIP500*24

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP500*24
- 2:STRIP500*6

Bibliotheek

b: 500

h: 24

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staatype: 0:Normaal

Oppervlak: 1,2e+4

Torsietr: 2,2343e+6

Buigr: 5,76e+5

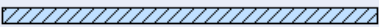
Vormfac: 0

Zs: 12

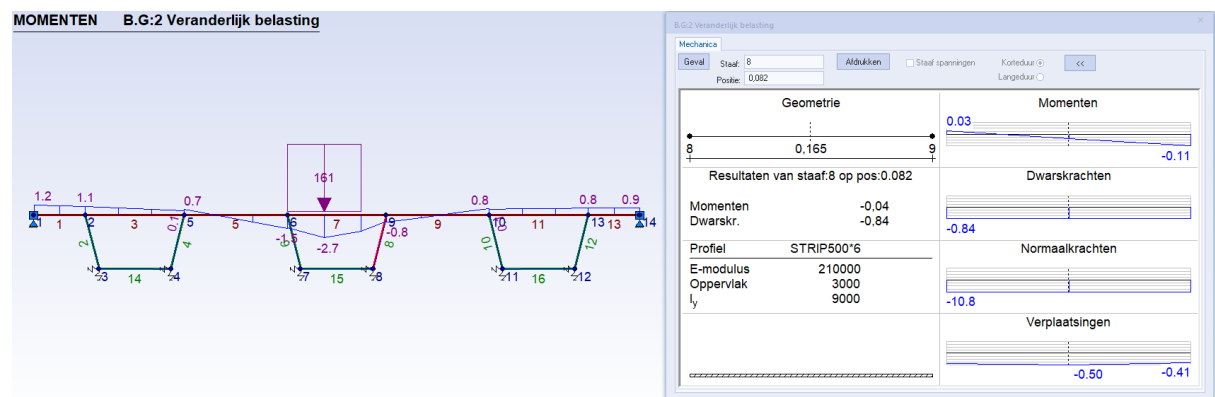
Werkende b: 1000

Staven: ☒

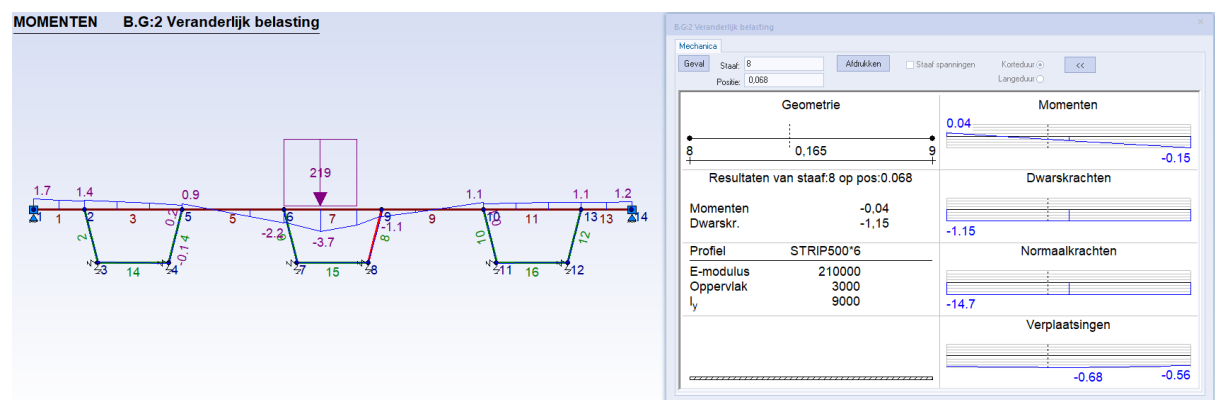
Sluiten Help DXF Import Standaard materialen



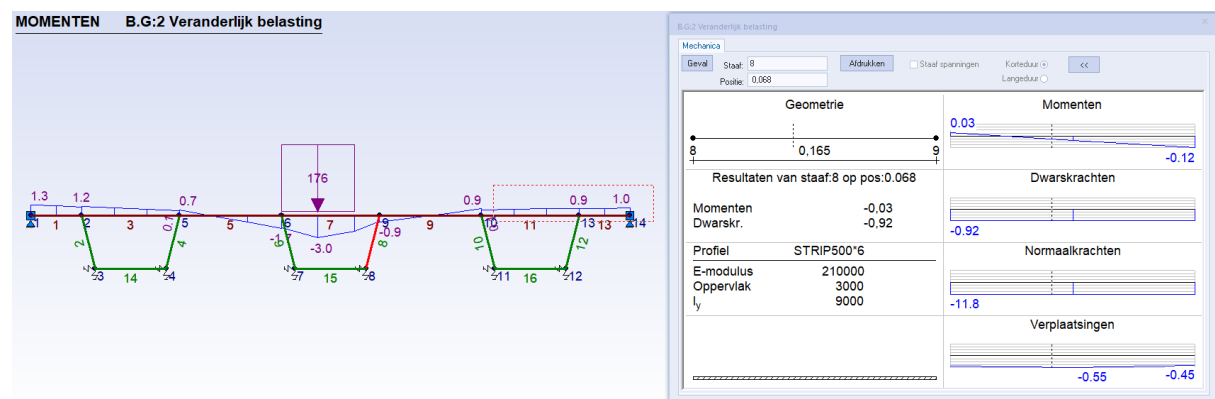
Type 1 Wiel A



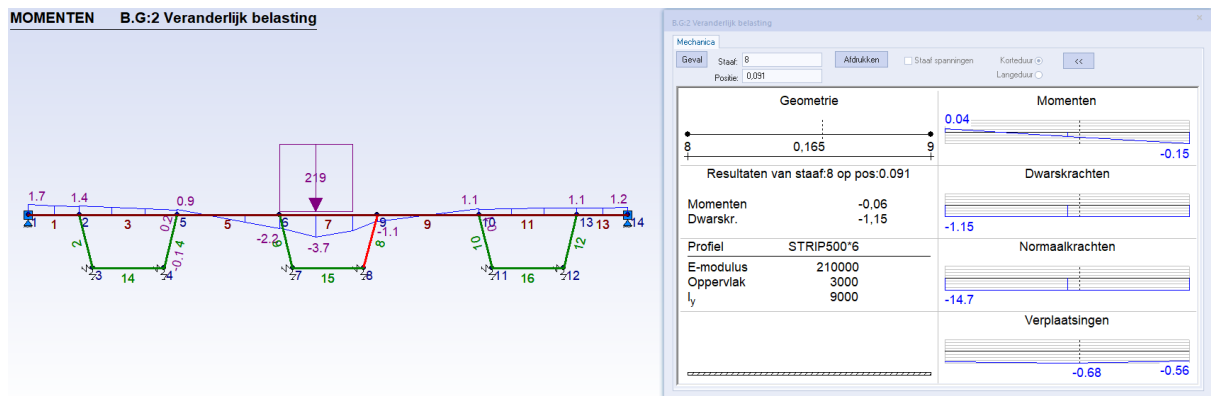
Type 2 Wiel A



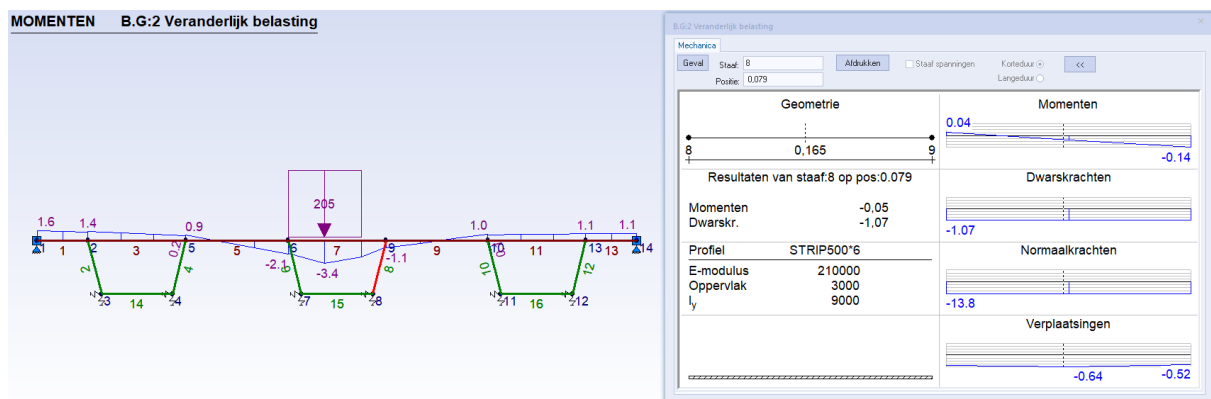
Type 3 Wiel A



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



Plaatdikte 23 mm / 11 mm dikker

Profiel dekplaat 23 mm

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 1 << b: 500

Profiel: STRIP500*23 h: 23

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Sterke as: ☐ Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355 Staalttype: 0:Normaal

Oppervlak: 1,15e+4 Torsietr: 1,9691e+6

Buigtr: 5,0696e+5 Vormfac: 0 Zs: 11,5

Werkende b: 1000

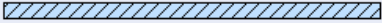
Huidig project

- 1:STRIP500*23
- 2:STRIP500*6

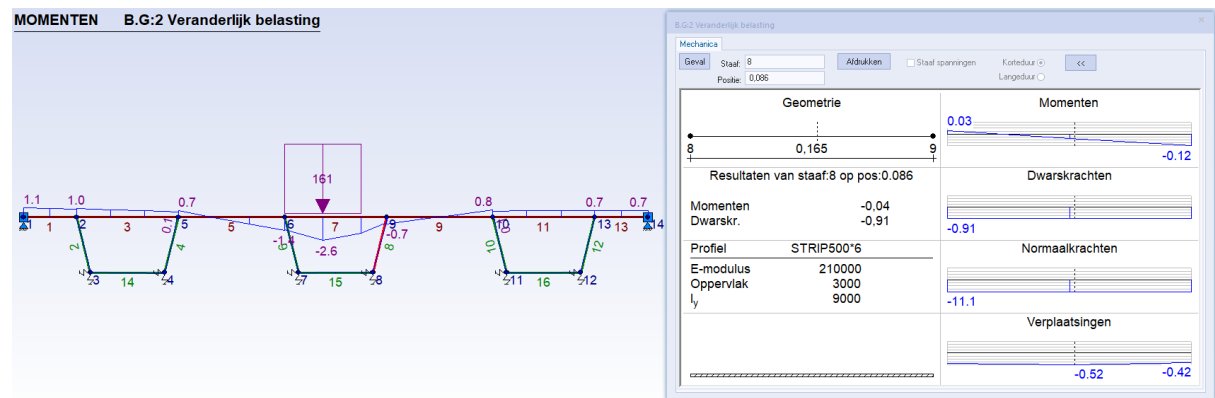
Bibliotheek

Staven: ☒

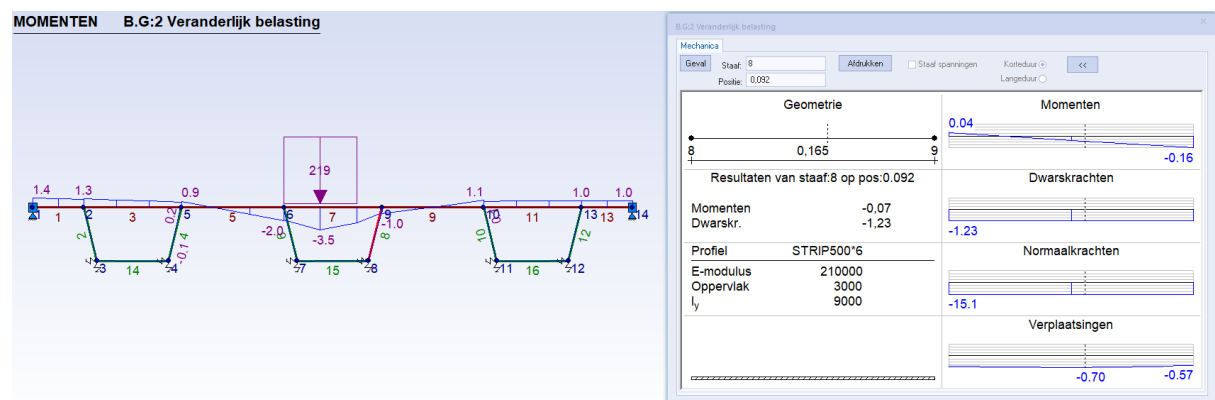
Sluiten Help DXF Import Standaard materialen



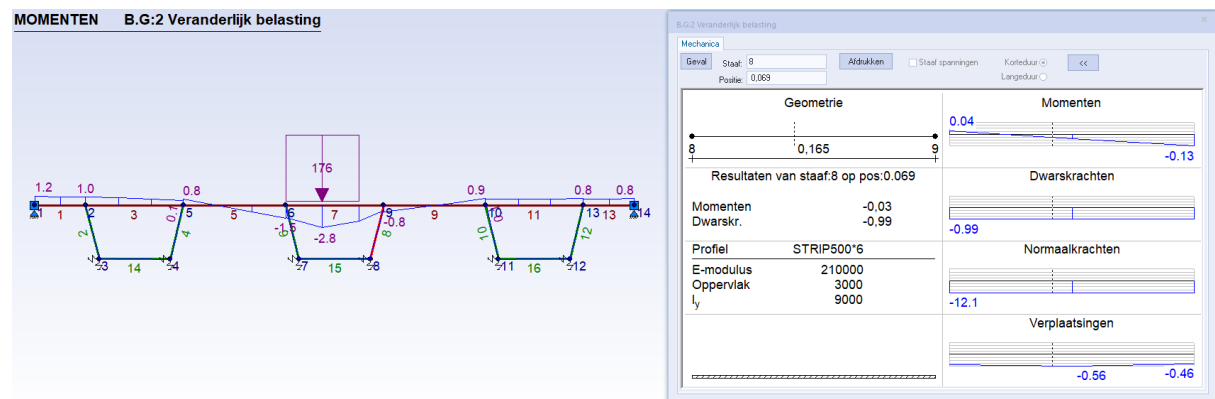
Type 1 Wiel A



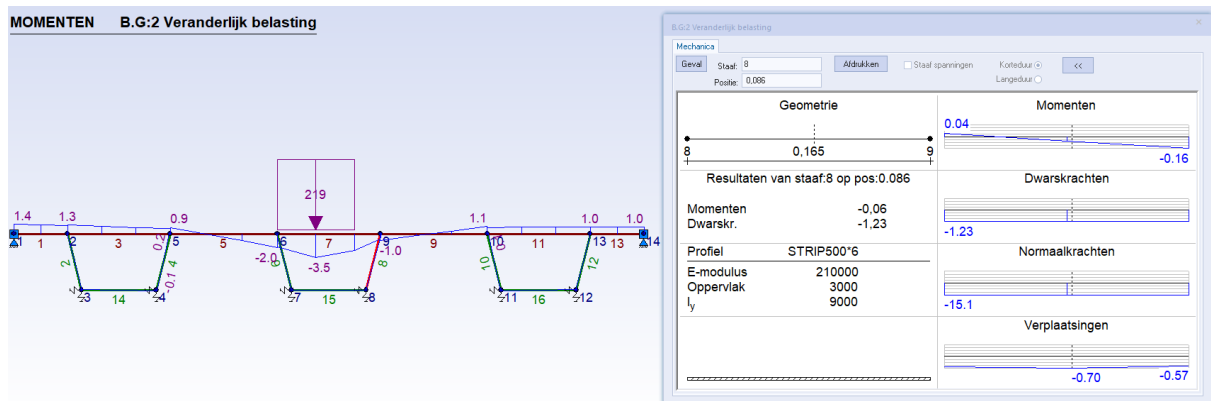
Type 2 Wiel A



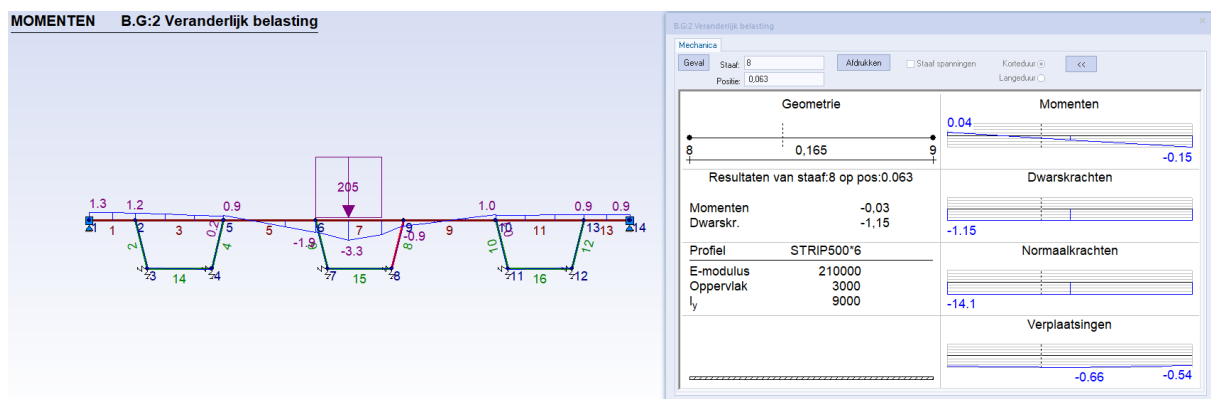
Type 3 Wiel A



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



Plaatdikte 22 mm / 10 mm dikker

Profiel dekplaat 22 mm

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 1 << b: 500

Profiel: STRIP500*22 h: 22

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP500*22
- 2:STRIP500*6

Bibliotheek

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staaftype: 0:Normaal

Oppervlak: 1,1e+4

Torsietr: 1,7255e+6

Buigtr: 4,4367e+5

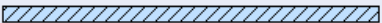
Vormfac: 0

Zs: 11

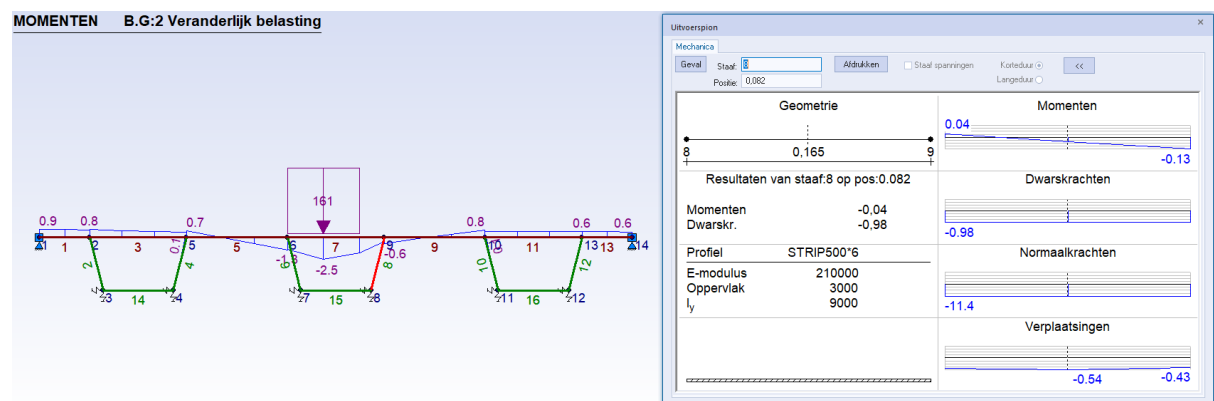
Werkende b: 1000

Staven: ☒

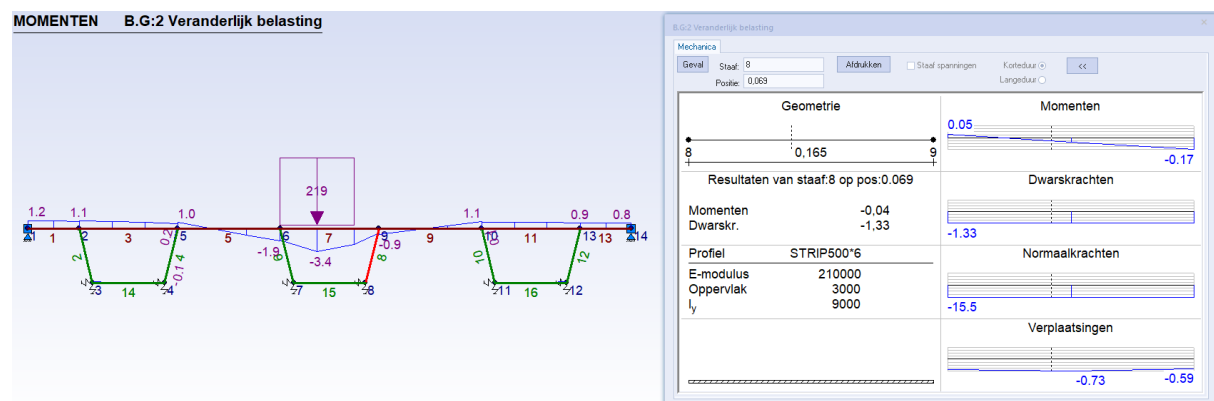
Sluiten Help DXF Import Standaard materialen



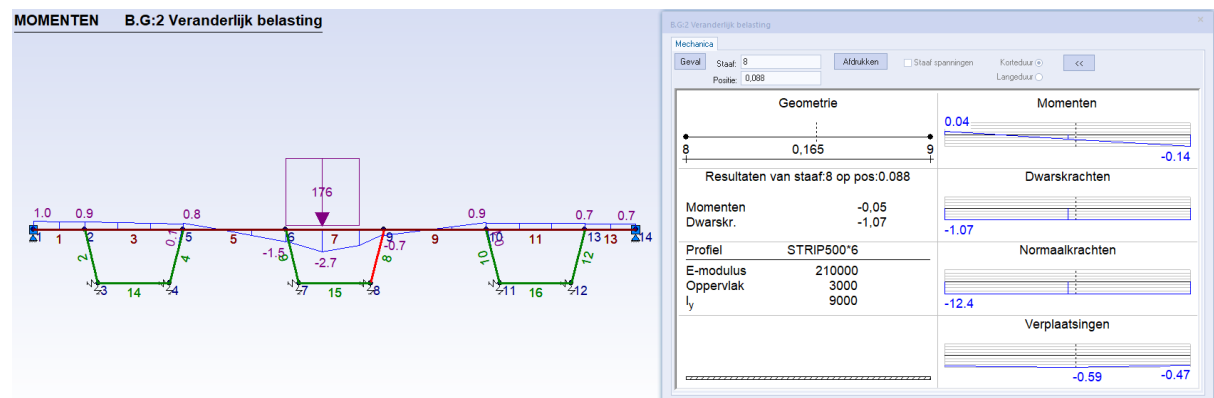
Type 1 Wiel A



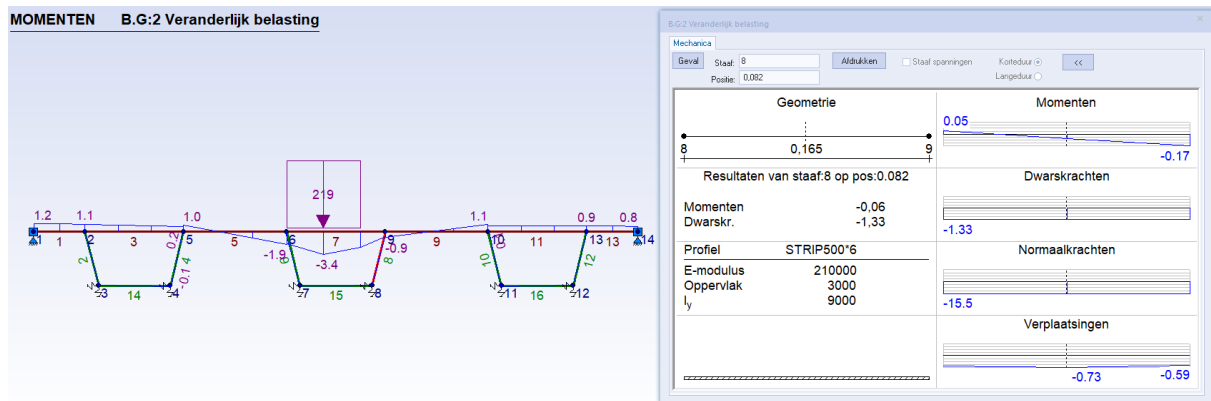
Type 2 Wiel A



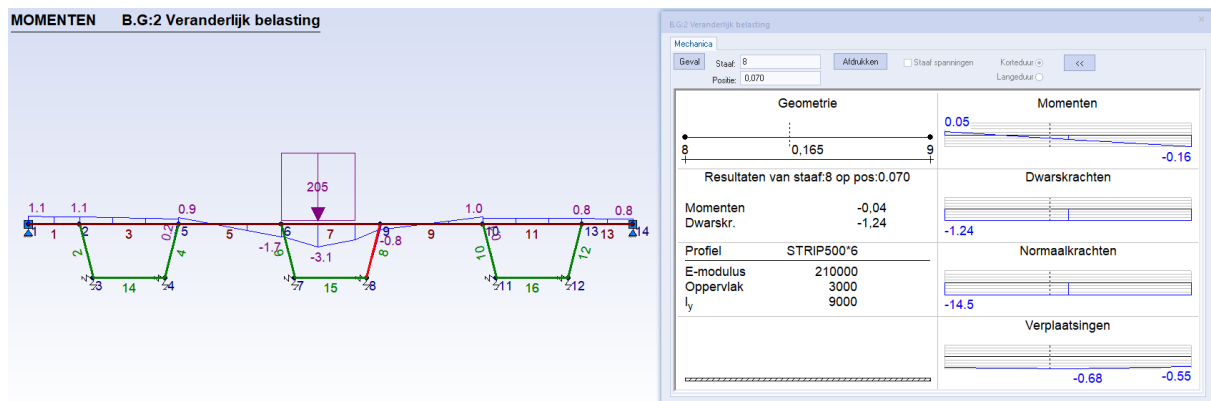
Type 3 Wiel A



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



Bijlage XXIX : Variant 2 - evenwichtsvergelijking

Is variant 2 licht genoeg voor brugdek? Of zal de bascule zwaarder moeten worden gemaakt?

Evenwichtsvergelijking

Val is altijd zwaarder dan bascules, aangezien het brugdek in geval van error dan dicht valt. Dit is een ontwerpkeuze in geval van veiligheid en doorstroming als de aandrijving het begeeft.

BOUW:

$7,096 \text{ m} \text{ keer } 181812 \text{ kg} = 1,29 \text{ miljoen kgm}$

$11,657 \text{ m} \text{ keer } 110680 \text{ kg} = 1,29 \text{ miljoen kgm} (1\text{kn} = 100 \text{ kg})$

Berekend is de benodigde ballast, dus logisch dat er evenwicht is in de vergelijking.

Ballast totaal was 133276 kg

VERBREDING:

Verbreiding heeft gezorgd voor 5320 kg bij val erbij.

Gewicht van val is 116000 kg inclusief verbreiding.

Verbreiding heeft gezorgd voor 60,1 kN = 6010 kg bij ballast erbij.

Ballast is 139285 kg

STALEN PLAAT:

Soortelijk gewicht van staal = 7850 kg/m³

Gewicht stalen plaat = $11 \text{ m} \times 22,4 \text{ m} \times 0,012 \text{ m} \times 7850 \text{ kg/m}^3 = 23211 \text{ kg}$

Gewicht van val is 139200kg incl. plaat.

Benodigde ballast: $(139200 \text{ kg} * 11,657 \text{ m} + 1834 \text{ kg} * 15,6 \text{ m} + 46702 \text{ kg} * 1,212) / 10,32 \text{ m} = 165482\text{kg}$

Bijplaatsen: $165482 \text{ kg} - 139285 \text{ kg} = 26.197 \text{ kg}$.

Er zijn in totaal acht ballastruimtes met elk een capaciteit van 1805,7 kg. Na 2008 zitten ruimtes 1t/m4 vol. Er is nog plaats in kist 5t/m8, echter niet veel. Bij eventuele werkzaamheden aan het val streven naar een gelijkblijvend gewicht. Kist 1 t/m 4 zijn onderdeel van priem A. Kist 5 t/m 8 zijn onderdeel van priem B, zie afbeeldingen op de volgende pagina.

Op basis van het volgende document: "Aanpassen ballast Schroefbrug.PDF" is berekend hoeveel ruimte er nog over is. Zie ook de volgende getrokken conclusie uit dit document.

Opmerkingen:
 Op basis van stalen broodjes heeft elke ballastruimte een capaciteit van:
 $39 \times 46,3 \text{ kg} = 1805,7 \text{ kg}$.
 Qua gewicht zitten de ruimtes 1 t/m 4 vol.
 Qua ruimte is er nog enige plaats, echter niet veel meer.
 Bij eventuele werkzaamheden aan het val streven naar een gelijkblijvend gewicht.

Figuur 109: Opmerkingen uit evenwichtsberekening 2008 (BSB, 2008).

Tabel 37: Uit hetzelfde document zijn de volgende gewichten berekend in de acht ballastkisten. Hiermee is berekend hoeveel gewicht er over is.

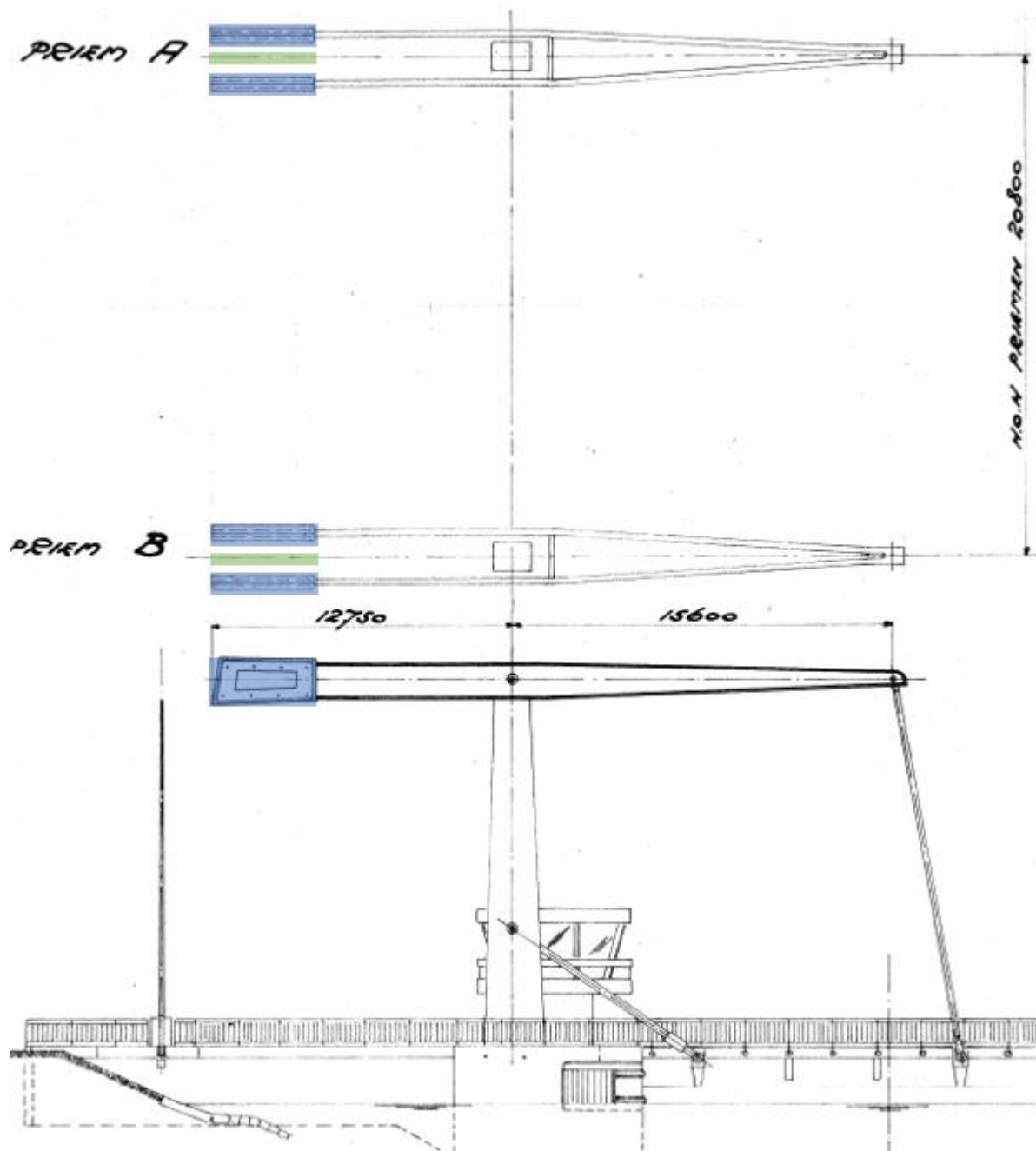
	Kist 1	Kist 2	Kist 3	Kist 4	Kist 5	Kist 6	Kist 7	Kist 8
Huidig	1828,5	1794,5	1828,5	1828,5	943	1315,6	1178,4	1408,2
Vrij	VOL	VOL	VOL	VOL	885,5	512,9	650,1	420,3

In totaal is er dus 2469 kg ruimte vrij (uitgaande van staal). Meer dan tien keer zo veel ruimte is nodig.

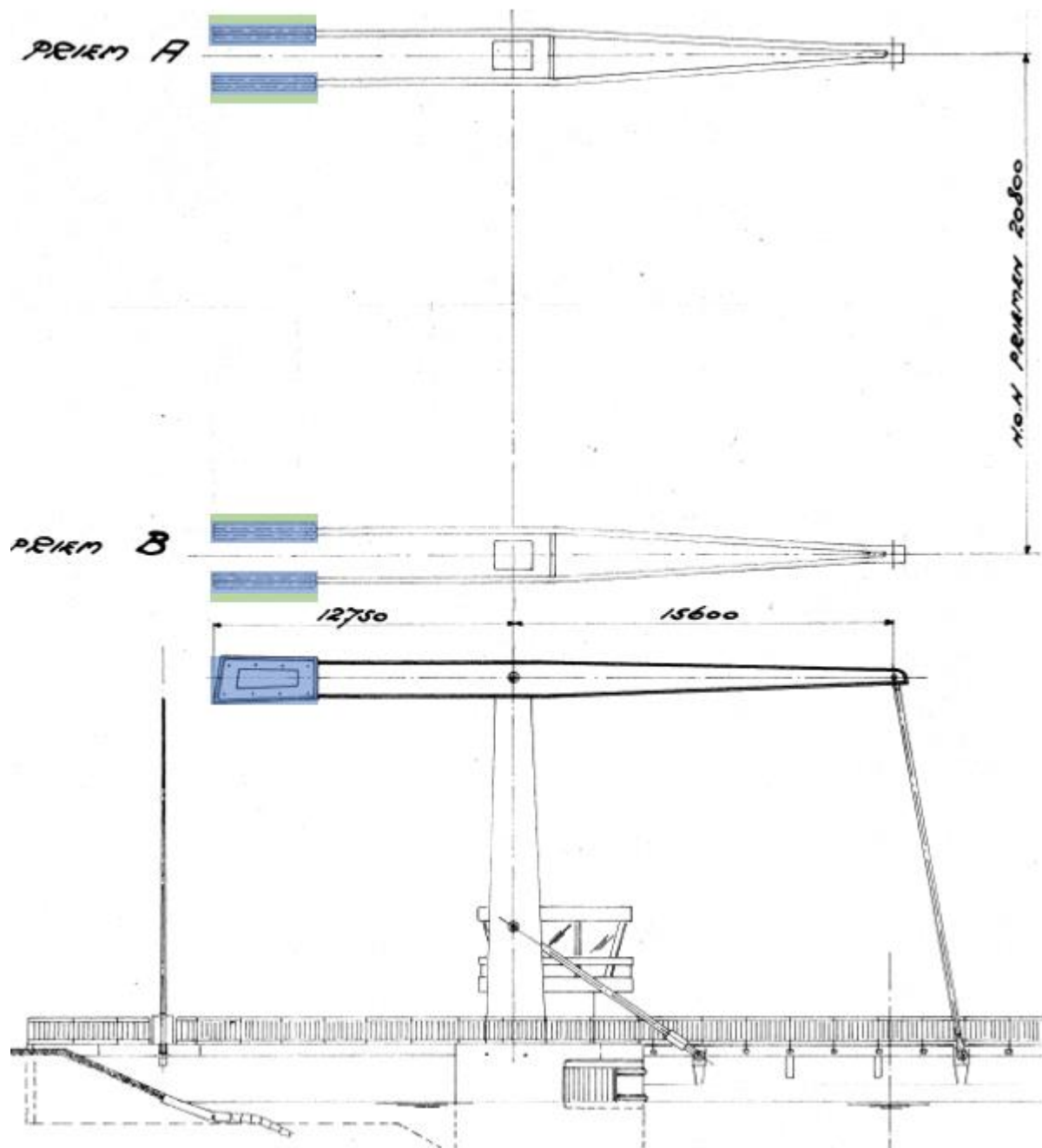
Stel dat alle kisten vol zitten is er nog: 23.728 kg nodig. De totale kg van het huidige ballast is 139.285 kg. Het benodigde 24.000 kg erbij vergeleken met het huidige gewicht van 140.000 lijkt niet reusachtig. Aangezien er niet genoeg ruimte vrij wordt er aanbevolen extra ballasten te construeren in het midden tussen de huidige ballastkisten (idee 1) of de huidige ballastkisten vergroten (idee 2). Daarnaast kan er aan de achterkant tussen de twee ballasten extra ruimte worden gecreëerd (idee 3). Op deze manieren blijven de balansen symmetrisch en in evenwicht.

Echter dient rekening te worden gehouden met de sterkte en evenwicht van het balans. Ook na aanpassen van de ballasten moeten alle ballastkisten bereikbaar zijn voor onderhoud en inspecties.

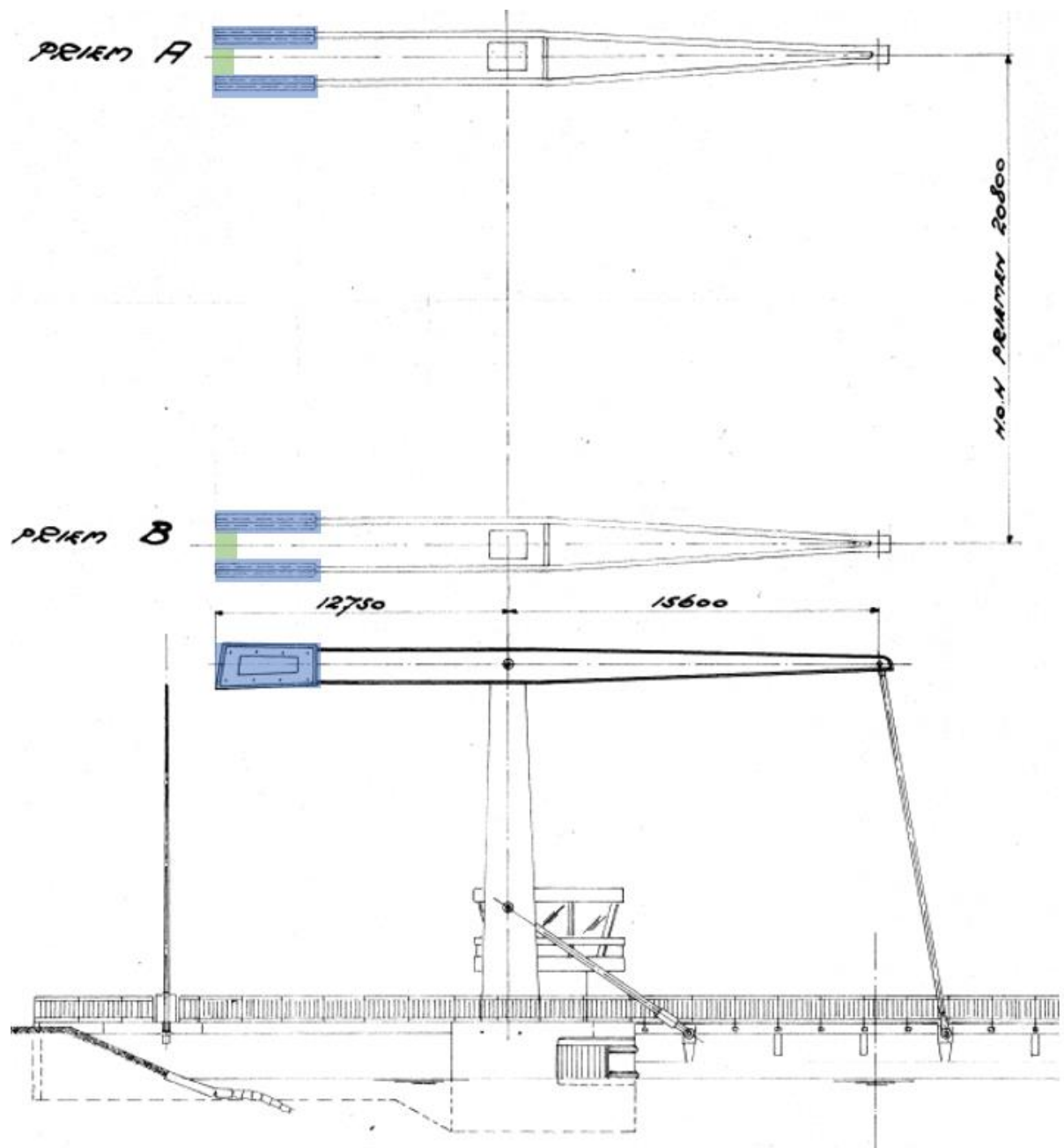
Maximale hoeveelheid per kist is 1805,7 kg aan staal, volgens eerdere berekening. Stel dat dit vervangen wordt door lood, dan is dit 2599,2 kg. Berekend met het verschil in dichtheid. Nu zit er 12125,2 kg in totaal in de kisten. Stel dat alles lood is en vol zit kan er 20.794,3 kg in de kisten zitten. Al het staal vervangen naar lood geeft en helemaal opvullen geeft een zwaartegroei van 8669,1 kg. Wat niet genoeg is aan de vereiste 26.197 kg.



Figuur 110: Idee 1 om gewicht toe te voegen aan de ballasten. Op deze manier hoeven er twee extra ruimtes toegevoegd te worden aan de constructie en blijft de brug in evenwicht. Echter zijn de middelste ballasten slecht bereikbaar.



Figuur 111: Idee 2 om gewicht toe te voegen aan de ballasten. Op deze manier blijven de middelste ballastkisten bereikbaar en maak je de kisten aan de buitenzijde groter, waardoor er meer gewicht in kan.



Figuur 112: Idee 3 om gewicht toe te voegen aan de ballasten. Aan de achterzijde is er ruimte om extra ballast toe te voegen zonder in de weg te zitten van de andere acht ballastruimtes. Ook is de arm tot het zwaartepunt groter en is er minder gewicht nodig om tot evenwicht te komen.

INDELING BALLASTKISTEN SCHROEBRUG NA AANPASSING FIETSPADEN
10-2008

Priem Veere, blok Veere, ruimte Veere:	Ballastkist 1
Priem Veere, blok Veere, ruimte Vliss.:	Ballastkist 2
Priem Veere, blok Vliss., ruimte Veere:	Ballastkist 3
Priem Veere, blok Vliss., ruimte Vliss.:	Ballastkist 4

Priem Vliss., blok Veere, ruimte Veere:	Ballastkist 5
Priem Vliss., blok Veere, ruimte Vliss.:	Ballastkist 6
Priem Vliss., blok Vliss., ruimte Veere:	Ballastkist 7
Priem Vliss., blok Vliss., ruimte Vliss.:	Ballastkist 8

Ballastkist 1

Indeling van achteren na voren

$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$

$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$

$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$

$(4 \times 7) \times 21 \text{ kg} = 588 \text{ kg lood}$

$((4 \times 6) + 2) \times 21 \text{ kg} = 546 \text{ kg lood}$

Totaal: 1828,5 kg

Ballastkist 2

Indeling van achteren na voren

$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$

$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$

$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$

$(4 \times 7) \times 20 \text{ kg} = 560 \text{ kg lood}$

$((4 \times 6) + 3) \times 20 \text{ kg} = 540 \text{ kg lood}$

Totaal: 1794,5 kg

Ballastkist 3

Indeling van achteren na voren

$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$

$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$

$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$

$(4 \times 7) \times 21 \text{ kg} = 588 \text{ kg lood}$

$((4 \times 6) + 2) \times 21 \text{ kg} = 546 \text{ kg lood}$

Totaal: 1828,5 kg

Ballastkist 4

Indeling van achteren na voren

$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$

$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$

$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$

$(4 \times 7) \times 21 \text{ kg} = 588 \text{ kg lood}$

$((4 \times 6) + 2) \times 21 \text{ kg} = 546 \text{ kg lood}$

Totaal: 1828,5 kg

Ballastkist 5

Indeling van achteren na voren

$$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$$

$$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$$

$$12 \times 40 \text{ kg} = 480 \text{ kg staal}$$

$$\text{Totaal: } 943 \text{ kg}$$

Ballastkist 6

Indeling van achteren na voren

$$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$$

$$(3 \times 46,3 \text{ kg}) + (4 \times 27,8 \text{ kg}) = 250,1 \text{ kg staal}$$

$$8 \times 27,8 \text{ kg} = 222,4 \text{ kg staal}$$

$$8 \times 27,8 \text{ kg} = 222,4 \text{ kg staal}$$

$$8 \times 27,8 \text{ kg} = 222,4 \text{ kg staal}$$

$$6 \times 27,8 \text{ kg} = 166,8 \text{ kg staal}$$

$$\text{Totaal: } 1315,6 \text{ kg}$$

Ballastkist 7

$$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$$

$$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$$

$$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$$

$$3 \times 46,3 \text{ kg} = 138,9 \text{ kg staal}$$

$$(8 \times 20 \text{ kg}) + 65 \text{ kg} + 60 \text{ kg} + 60 \text{ kg} + 40 \text{ kg} + 20 \text{ kg} = 345 \text{ kg staal}$$

$$\text{Totaal: } 1178,4 \text{ kg}$$

Ballastkist 8

Indeling van achteren na voren

$$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$$

$$5 \times 46,3 \text{ kg} = 231,5 \text{ kg staal}$$

$$8 \times 27,8 \text{ kg} = 222,4 \text{ kg staal}$$

$$8 \times 27,8 \text{ kg} = 222,4 \text{ kg staal}$$

$$8 \times 27,8 \text{ kg} = 222,4 \text{ kg staal}$$

$$8 \times 27,8 \text{ kg} = 222,4 \text{ kg staal}$$

$$2 \times 27,8 \text{ kg} = 55,6 \text{ kg staal}$$

$$\text{Totaal: } 1408,2 \text{ kg}$$



Ballastruimte 3

Van ballastruimte 4 zijn geen foto's beschikbaar.



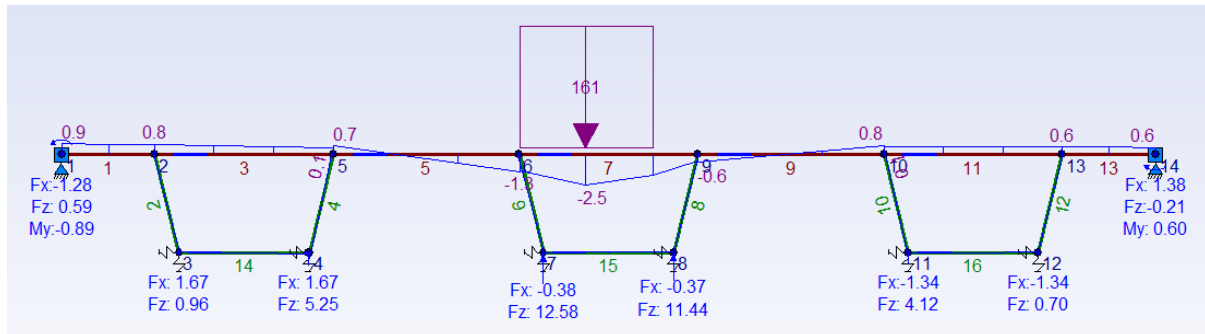
Ballastruimte 5

Figuur 113: Voorbeeld van de ballastruimtes

Bijlage XXX : Gevoeligheidsanalyse model 1 – meewerkende breedte

In deze bijlage is de gevoeligheidsanalyse van variant 2 in langsrichting toegelicht.

Voor de toetsing van model 1 is een meewerkende breedte aangenomen van 1 trog. Volgens het model in dwarsrichting worden de meeste krachten opgenomen door de trog, echter vinden er in knoop 3 & 4 en 11 & 12 ook verticale oplegreacties plaats, zoals te zien is in onderstaande afbeelding.



Figuur 114: Belastingsmodel 1 wiel A in dwarsrichting met oplegreacties. De meewerkende breedte is groter dan 1 trog, omdat er ook verticale (z) oplegreacties bij de naastliggende troggen te vinden zijn.

Ongeveer 24 kN wordt opgenomen door de trog, terwijl 11 kN nog wordt opgenomen door de naastliggende twee troggen. Dit houdt in dat de aanname om 1 trog te modelleren ietwat te eenvoudig is en dat de spanningen die ontstaan niet alleen door 1 trog wordt opgenomen. De spanningen kunnen met 24/35 kN worden gereduceerd, omdat 11/35 kN door de naastliggende troggen wordt opgenomen. Dit zal resulteren in een lagere unity check.

Deze berekening gaat alleen uit van een reductie van de spanningen, ten opzichte van Toetsing Model 1. De dikkere plaat is niet toegepast, aangezien dwarsrichting waarschijnlijk maatgevend is en de troggen wellicht voldoe zonder het aanpassen van de plaatdikte.

Deze toetsing gaat dan ook verder bij het toetsen van de unity check en maakt gebruik van de toetsing van model 1.

Toetsing

Voor het toetsen van de troggen is de volgende formule gebruikt:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \frac{n_4}{N_4} + \frac{n_5}{N_5}$$

n_i = Hedendaagse aantal vrachtwagens

N_i = Toegestane aantal vrachtwagens

De toegestane aantal vrachtwagens is te berekenen met de volgende formule.

$$\Delta\sigma_R^m \times N_R = \Delta\sigma_C^m \times 2 \times 10^6 \text{ met } m = 3 \text{ voor } N \leq 5 \times 10^6$$

$$\Delta\sigma_R^m \times N_R = \Delta\sigma_D^m \times 5 \times 10^6 \text{ met } m = 5 \text{ voor } 5 \times 10^6 < N \leq 10^8$$

Hierbij is

$\Delta\sigma_R$ = Berekende spanning

N_R = Toelaatbare aantal vrachtwagens

$\Delta\sigma_C$ = Detailcategorie, te bepalen uit Tabel 8.8 uit NEN 1993-1-9, zie Bijlage XVIII.IV.

Voor het trogdetail geldt $\Delta\sigma_C = 80$ (Doorgaande langsverstijver met uitsparingen in de dwarsdrager, met $t=12$).

De toelaatbare aantal vrachtwagens per vrachtwagentype is als volgt berekend.

Vrachtwagentype 1:

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_R^m \times N_1 &= \Delta\sigma_C^m \times 2 \times 10^6 \\ \left(53 \times \frac{24}{35}\right)^3 \times N_1 &= 80^3 \times 2 \times 10^6 \\ N_1 &= 21,3 \times 10^6 > 5 \times 10^6\end{aligned}$$

Dus gebruik de volgende formule:

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_R^m \times N_R &= \Delta\sigma_D^m \times 5 \times 10^6 \\ \left(53 \times \frac{24}{35}\right)^5 \times N_1 &= 80^5 \times 5 \times 10^6 \\ N_1 &= 258 \times 10^6\end{aligned}$$

Vrachtwagentype 2:

$$\begin{aligned}\left(79 \times \frac{24}{35}\right)^3 \times N_2 &= 80^3 \times 2 \times 10^6 \\ N_2 &= 6,44 \times 10^6 > 5 \times 10^6\end{aligned}$$

Dus gebruik volgende formule:

$$\begin{aligned}\left(79 \times \frac{24}{35}\right)^5 \times N_2 &= 80^5 \times 5 \times 10^6 \\ N_2 &= 35,1 \times 10^6\end{aligned}$$

Vrachtwagentype 3:

$$\begin{aligned}\left(60 \times \frac{24}{35}\right)^3 \times N_3 &= 80^3 \times 2 \times 10^6 \\ N_3 &= 14,7 \times 10^6\end{aligned}$$

Vrachtwagentype 4:

$$\begin{aligned}\left(75 \times \frac{24}{35}\right)^3 \times N_4 &= 80^3 \times 2 \times 10^6 \\ N_4 &= 7,53 \times 10^6\end{aligned}$$

Vrachtwagentype 5:

$$(99 \times \frac{24}{35})^3 \times N_5 = 80^3 \times 2 \times 10^6$$

$$N_5 = 3,27 \times 10^6$$

Schadetoetsingssom geeft:

$$\sum \frac{ni}{Ni} = \frac{n1}{N1} + \frac{n2}{N2} + \frac{n3}{N3} + \frac{n4}{N4} + \frac{n5}{N5}$$

$$\sum \frac{ni}{Ni} = \frac{2,20 \times 10^6}{258 \times 10^6} + \frac{0,44 \times 10^6}{35,1 \times 10^6} + \frac{0,66 \times 10^6}{14,7 \times 10^6} + \frac{0,88 \times 10^6}{7,53 \times 10^6} + \frac{0,22 \times 10^6}{3,27 \times 10^6}$$

$$\sum \frac{ni}{Ni} = 0,01 + 0,01 + 0,04 + 0,12 + 0,07 \approx 0,25$$

$$\sum \frac{ni}{Ni} \approx 0,25 < 1 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

Door het reduceren van de spanning met de meewerkende breedte veranderd de unity check van 0,83 naar 0,25 met de verkeersintensiteit tot 2022. Nu is de vraag of de troggen in langsricting voldoen met de verkeersintensiteit tot 2047. Zie komende berekening met de vrachtwagencijfers tot 2047, zie Bijlage XIX.IV voor de toelichting van de verkeerscijfers tot 2047.

$$\sum \frac{ni}{Ni} = \frac{3,51 \times 10^6}{258 \times 10^6} + \frac{0,70 \times 10^6}{35,1 \times 10^6} + \frac{1,05 \times 10^6}{14,7 \times 10^6} + \frac{1,41 \times 10^6}{7,53 \times 10^6} + \frac{0,35 \times 10^6}{3,27 \times 10^6}$$

$$\sum \frac{ni}{Ni} = 0,01 + 0,02 + 0,07 + 0,19 + 0,11 \approx 0,4$$

$$\sum \frac{ni}{Ni} \approx 0,4 < 1 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

De troggen in langsricting voldoen voor de komende 25 jaar.

Met een snelle Excel berekening voldoen de troggen zelfs de komende 50 jaar. Hier de berekening met een verkeersintensiteit tot 2072.

$$\sum \frac{ni}{Ni} = \frac{4,95 \times 10^6}{258 \times 10^6} + \frac{0,90 \times 10^6}{35,1 \times 10^6} + \frac{1,50 \times 10^6}{14,7 \times 10^6} + \frac{2,00 \times 10^6}{7,53 \times 10^6} + \frac{0,50 \times 10^6}{3,27 \times 10^6}$$

$$\sum \frac{ni}{Ni} = 0,02 + 0,03 + 0,10 + 0,27 + 0,15 \approx 0,57$$

$$\sum \frac{ni}{Ni} \approx 0,57 < 1 \rightarrow \text{VOLDOET}$$

Bijlage XXXI : Gevoeligheidsanalyse

model 2 – meewerkende breedte

In deze bijlage is de gevoeligheidsanalyse van model 2 in dwarsrichting toegelicht. Er wordt gerekend met dezelfde waarden als dat van variant 2: Aangepast brugdek.

Hierbij is variant 2 opnieuw berekend op een meewerkende breedte van 0,3 m in plaats van 0,5 m. In de berekening van variant 2 in dwarsrichting was aangenomen dat het brugdek een meewerkende breedte heeft van 0,5 m. Echter is in realiteit lastig te bepalen hoeveel het dek meewerkt in bepaalde richtingen. Het orthotrope brugdek verdeelt de ontstaande krachten namelijk in verschillende richtingen over het gehele dek.

Ten eerste is de waarde van de veerconstanten kleiner met een kleinere meewerkende breedte. Er wordt namelijk minder dek beschouwd, waardoor er minder staal is om krachten op te nemen en de constructie slapper is. De verandering in veerwaarde zal echter geen tot niet veel verandering geven in de uiteindelijke spanningen die optreden, omdat dit eerder is bewezen in de toetsing model 1 in langsrichting waarbij twee verschillende veren zijn gebruikt.

$$K_{trog} = 2,55 \times 10^4 \text{ kN/m}$$

In het Technosoft model gelden twee verticale veren per trog, dus gedeeld door twee. Daarnaast is de breedte van de plaat een 0,3 m.

$$K_{trog2} = \frac{2,55 \times 10^4}{2} \times 0,3 = 3,825 \times 10^3 \text{ kN/m}$$

Ten tweede is in het model het profiel veranderd van 500 naar 300 mm breed. Er wordt verwacht dat hierdoor andere momenten ontstaan.

Bij het aanpassen van het profiel en de veerconstanten veranderen de momenten niet, zie Bijlage XX.VI. Dit komt waarschijnlijk door de stijfheid van de constructie door de dikte van de dekplaat. De dekplaat is namelijk 23 mm. Als de breedte wordt aangepast in het model met 12 mm dikte, dan veranderen de momenten namelijk wel.

Ten derde veranderd het weerstandsmoment. Doordat de breedte kleiner is, is het weerstandsmoment kleiner, waardoor de spanning (Moment/Weerstandsmoment) groter is.

$$W = \frac{b \times h^2}{6}$$
$$W = \frac{300 \times 6^2}{6} = 1,8 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

In het Excel bestand is deze W aangepast. De unity check veranderd hierbij van 0,94 met een meewerkende breedte van 0,5 m naar 4,37 met een meewerkende breedte van 0,3 m. De las voldoet hierbij niet meer. Ook is te concluderen dat het aanpassen van de meewerkende breedte een maatgevende factor is in deze berekening.

	Gevoeligheid 0,3m 23 mm								
BM	MOMENT	Spanning	n (2047)	Detail	ΔσC	ΔσR	N (2047)	n/N	SOM(n/N)
1A	0,12	66,667	3.500.000	71	357911	296296,3	2415899	1,45	4,371
2A	0,16	88,889	700.000	71	357911	702331,96	1019207	0,69	
3A	0,13	72,222	1.100.000	71	357911	376714,68	1900170	0,58	
4A	0,16	88,889	1.400.000	71	357911	702331,96	1019207	1,37	
5A	0,15	83,333	350.000	71	357911	578703,7	1236940	0,28	

Figuur 115: Excel bestand met de berekening van de gevoeligheidsanalyse van variant 2 waarbij de meewerkende breedte is veranderd

Er is onderzocht bij welke breedte de stompe las dan wel voldoet, uitgaande van een meewerkende breedte van 0,3 m. Dit is op dezelfde manier voltooid als de eerdere berekening voor de plaatdikte, zie Bijlage XIX.V. Zie de resultaten in de onderstaande tabel.

Tabel 38: Excel resultaten van de gevoeligheidsanalyse, waarbij de meewerkende breedte werd veranderd.

	23 mm plaatdikte	28 mm plaatdikte	32 mm plaatdikte
Toegevoegde plaatdikte	11 mm	16 mm	20 mm
UNITY CHECK	4,37	1,65	0,83

Er zijn alleen plaatdiktes beschouwd die daadwerkelijk bestaan. De genoemde plaatdikte is de totale plaatdikte die is ingevuld in Technosoft. In praktijk wordt deze dikte bereikt door op de huidige plaat van 12 mm een stalen plaat vast te maken.

Uit het tabel is te concluderen dient de dekplaat versterkt te worden met een plaat van 20 mm, zodat de las voldoet.

Bij een 20 mm plaat is er nog meer tegengewicht nodig bij de ballast.

Gewicht stalen plaat = 20 m x 22,4 m x 0,012 m x 7850 kg/m³ = 42202 kg

Gewicht van val is 158200 kg incl. plaat.

Benodigde ballast: (158200 kg * 11,657 m + 1834 kg * 15,6 m + 46702 kg * 1,212) / 10,32 m = 186953 kg

Bijplaatsen 186953 kg – 139285 kg = 47668 kg

Excel berekening voor het vinden van de bijpassende totale plaatdikte, na het reduceren van de meewerkende breedte.

Gevoeligheid 0,3m 23 mm									
BM	MOMENT	Spanning	n (2047)	Detail	$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)
1A	0,12	66,667	3.500.000	71	357911	296296,3	2415899	1,45	4,371
2A	0,16	88,889	700.000	71	357911	702331,96	1019207	0,69	
3A	0,13	72,222	1.100.000	71	357911	376714,68	1900170	0,58	
4A	0,16	88,889	1.400.000	71	357911	702331,96	1019207	1,37	
5A	0,15	83,333	350.000	71	357911	578703,7	1236940	0,28	
Gevoeligheid 0,3m 32 mm									
BM	MOMENT	Spanning	n (2047)	Detail	$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)
1A	0,07	38,889	3.500.000	71	357911	58813,443	12171061	0,29	0,834
2A	0,09	50,000	700.000	71	357911	125000	5726576	0,12	
3A	0,07	38,889	1.100.000	71	357911	58813,443	12171061	0,09	
4A	0,09	51,839	1.400.000	71	357911	139305,11	5138519	0,27	
5A	0,09	50,000	350.000	71	357911	125000	5726576	0,06	
Gevoeligheid 0,3m 28 mm									
BM	MOMENT	Spanning	n (2047)	Detail	$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_R$	N (2047)	n/N	SOM(n/N)
1A	0,09	50,000	3.500.000	71	357911	125000	5726576	0,61	1,651
2A	0,12	66,667	700.000	71	357911	296296,3	2415899	0,29	
3A	0,09	50,000	1.100.000	71	357911	125000	5726576	0,19	
4A	0,11	61,111	1.400.000	71	357911	228223,59	3136494	0,45	
5A	0,11	61,111	350.000	71	357911	228223,59	3136494	0,11	

Profiel dekplaat 23 mm met 0,3 meter meewerkende breedte

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 1 << b: 300

Profiel: STRIP300*23 h: 23

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Sterke as: ☐ Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staatstype: 0:Normaal

Oppervlak: 6,9e+3

Torsietr: 1,158e+6

Buigr: 3,0417e+5

Vormfac: 0

Zs: 11,5

Werkende b: 1000

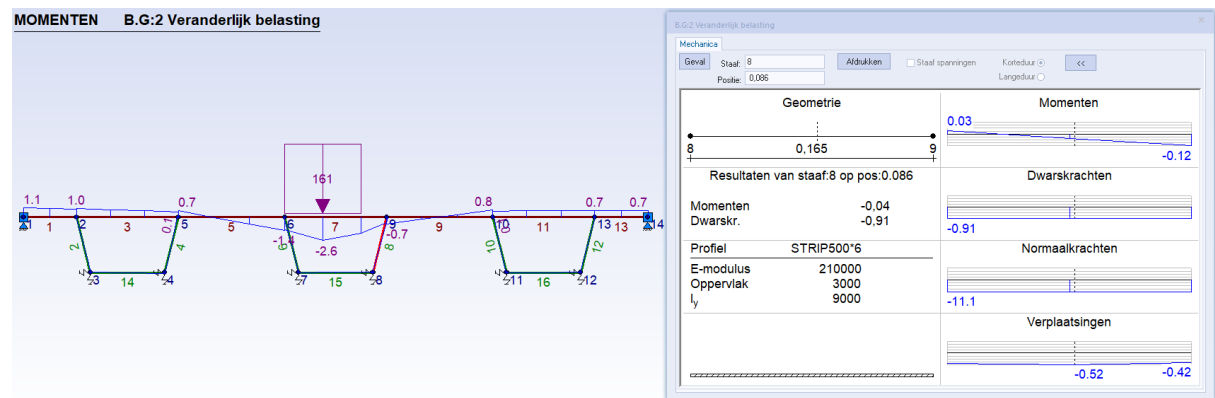
Staven: ☒

Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

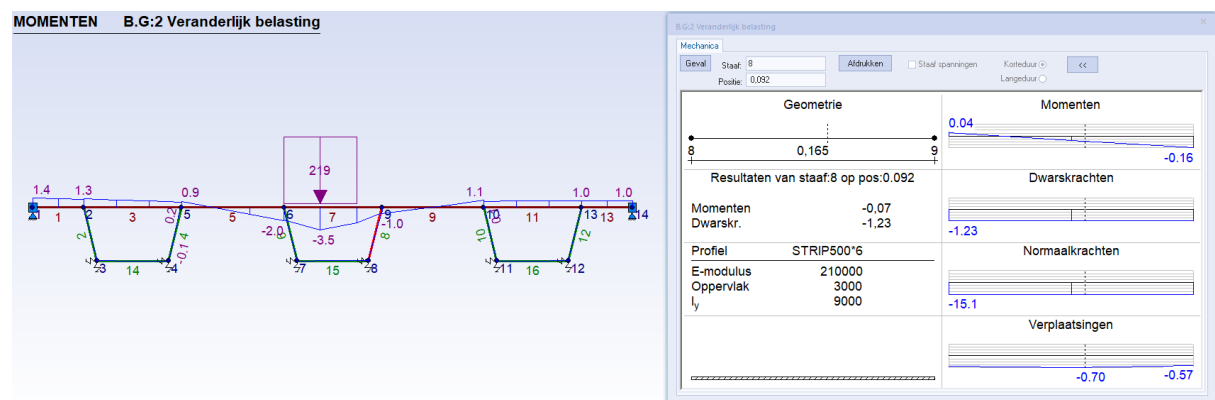
Veerconstanten

Verende steunpunten							
	<u>Knooi</u>	Richting	Loek [graden]	Veerwaarde	Veertype	Ondergrens	Bovangrens
1	3	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
2	3	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
3	4	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
4	4	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
5	7	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
6	7	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
7	8	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
8	8	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
9	11	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
10	11	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
11	12	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
12	12	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10

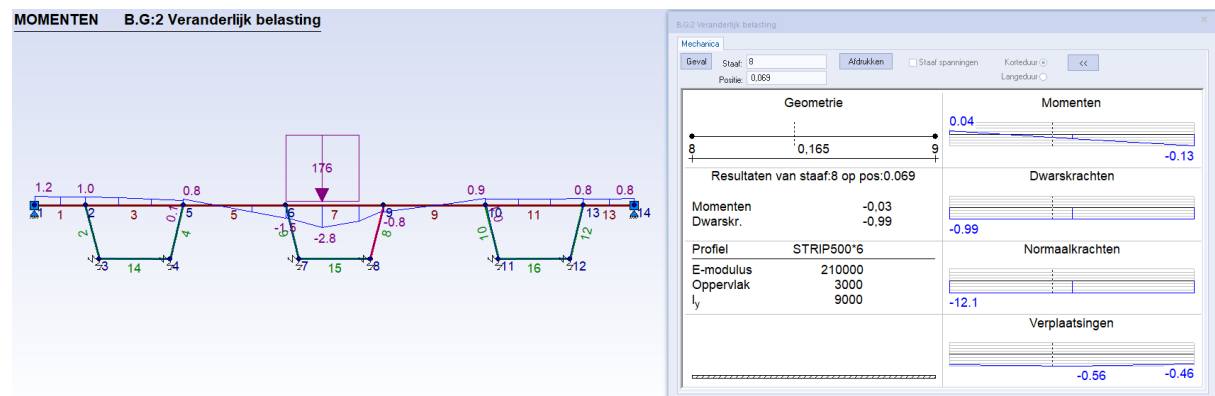
Type 1 Wiel A



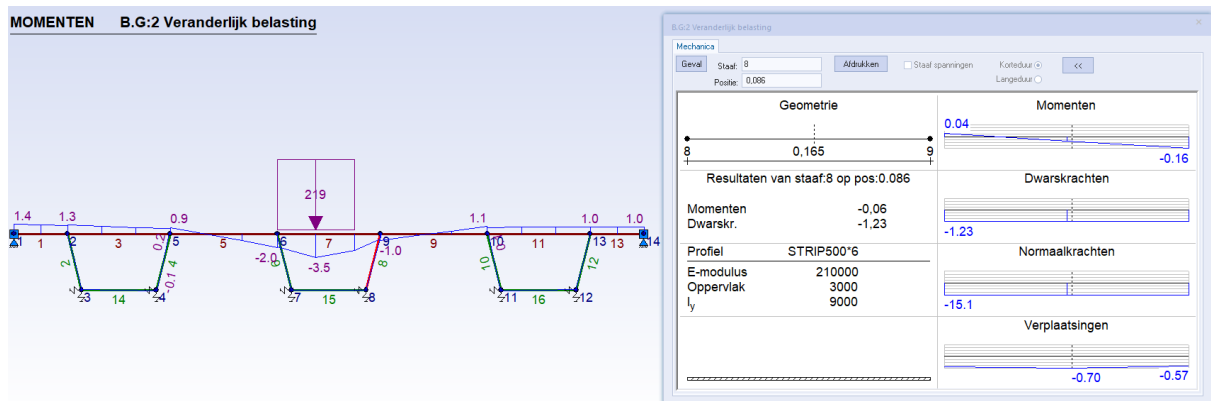
Type 2 Wiel A



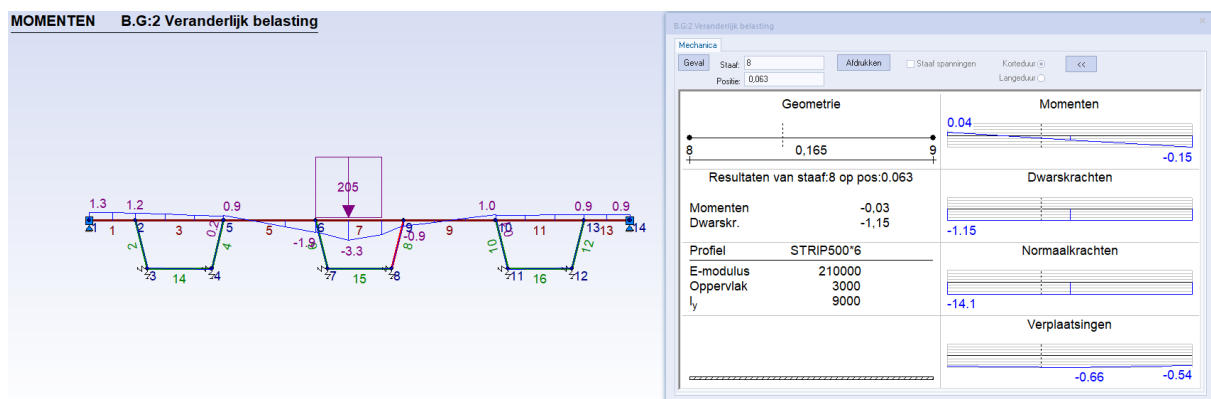
Type 3 Wiel A



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



Profiel dekplaat 32 mm met 0,3 meter meewerkende breedte

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr: 1 << b: 300

Profiel: STRIP300*32 h: 32

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Huidig project

- 1:STRIP300*32
- 2:STRIP300*6

Bibliotheek

Sterke as: ☐

Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staaftype: 0:Normaal

Oppervlak: 9,6e+3

Torsietr: 3,0568e+6

Buigr: 8,192e+5

Vormfac: 0

Zs: 16

Werkende b: 1000

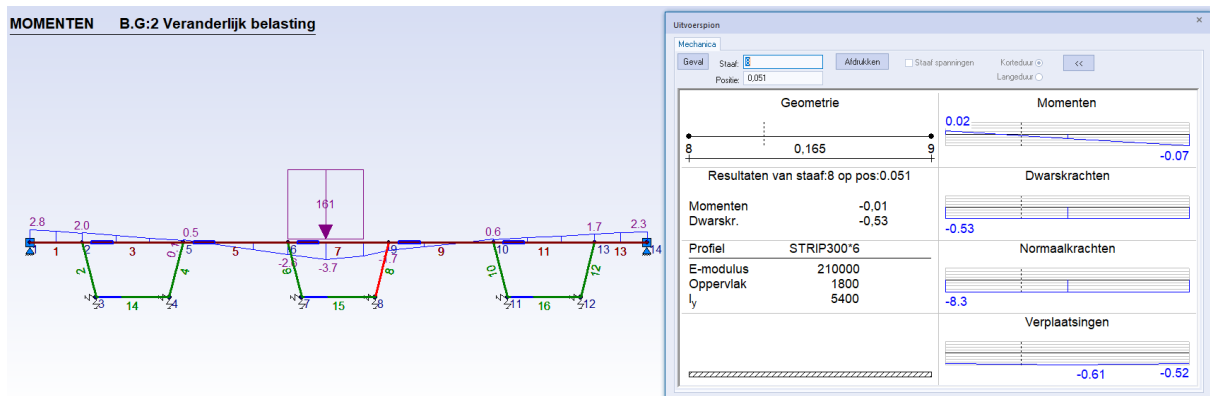
Staven: ☒

Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

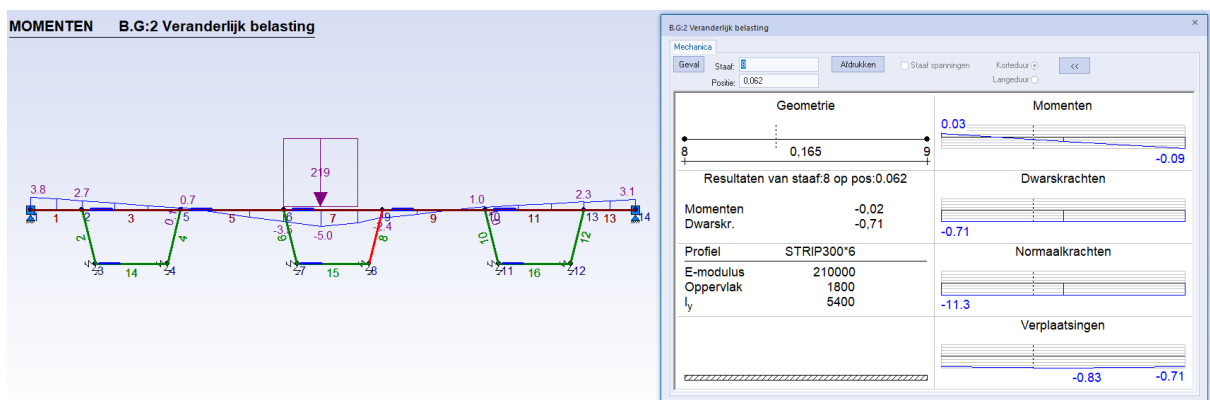
Veerconstanten

Verende steunpunten							
	<noo>	Richting	Hoek [graden]	Veerwaarde	Veertype	Ondergrens	Bovangrens
1	3	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
2	3	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
3	4	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
4	4	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
5	7	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
6	7	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
7	8	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
8	8	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
9	11	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
10	11	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
11	12	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
12	12	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10

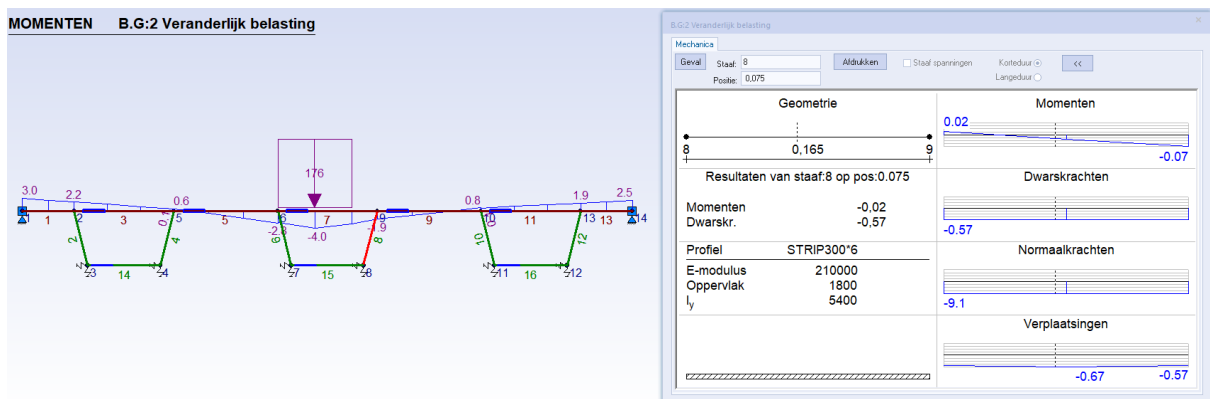
Type 1 Wiel A



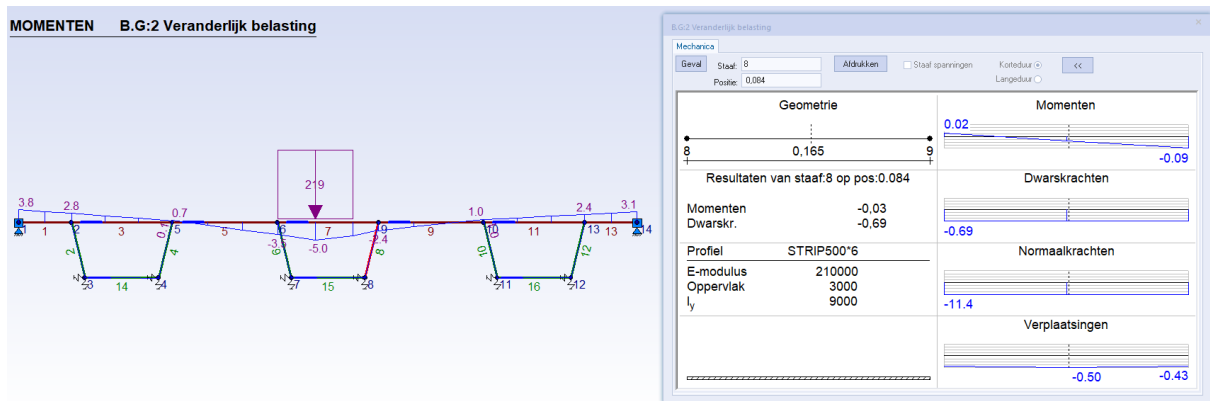
Type 2 Wiel A



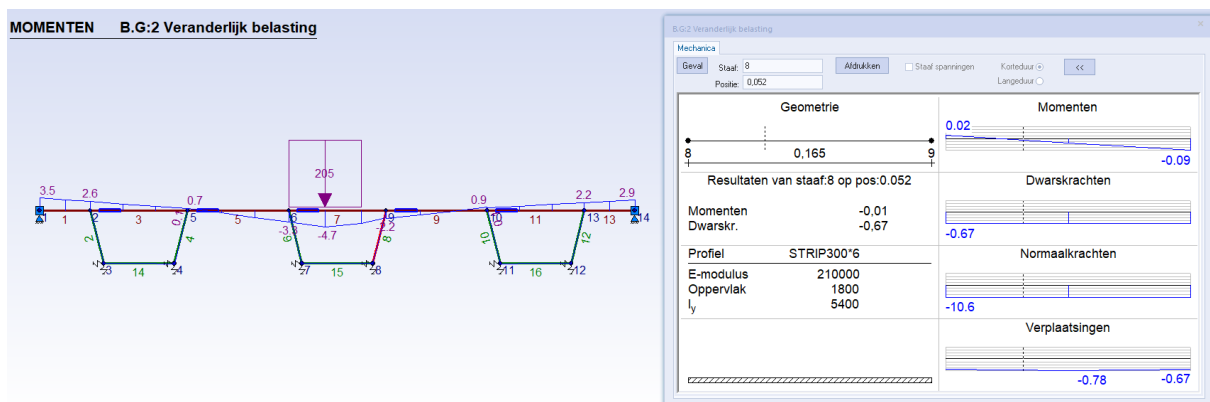
Type 3 Wiel A



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



Profiel dekplaat 28 mm met 0,3 meter meewerkende breedte

Profielgegevens [N] [mm]

Profielgegevens

Profielnr. 1 << b: 300

Profiel: STRIP300*28 h: 28

Invoegen Toevoegen Verwijderen

Sterke as: ☐ Zwakke as: ☒

Materiaal: 1:S355

Staatstype: 0:Normaal

Oppervlak: 8,4e+3

Torsietr: 2,0662e+6

Buigtr: 5,488e+5

Vormfac: 0

Zs: 14

Werkende b: 1000

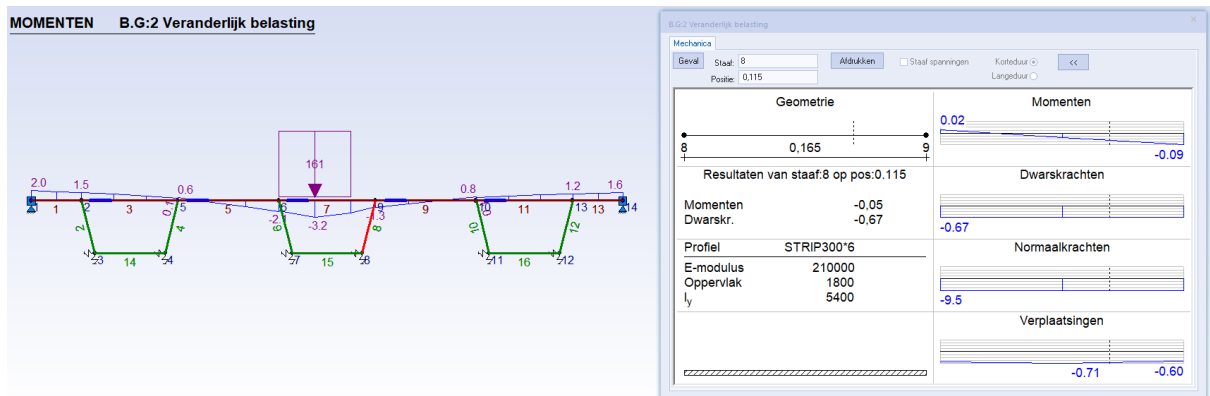
Staven: ☒

Sluiten Help DXF Import Standaard materialen

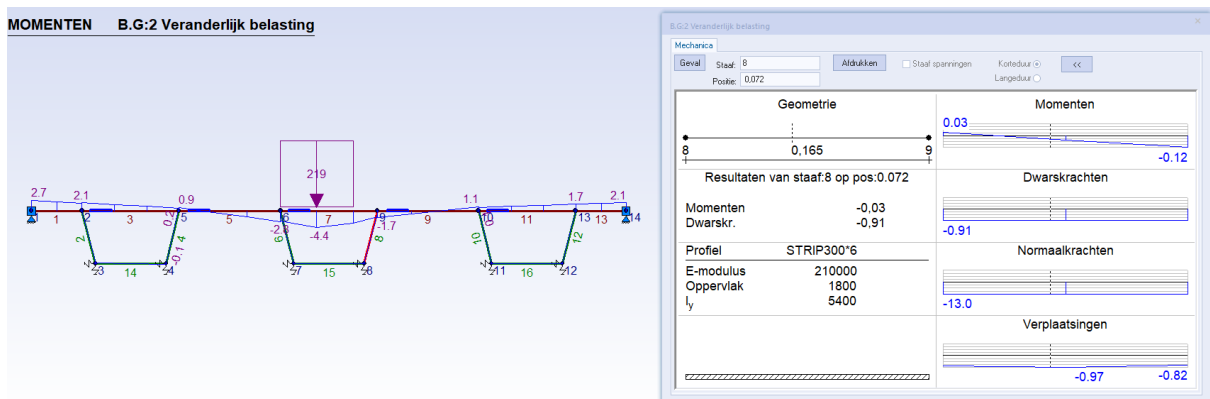
Veerconstante

Verende steunpunten							
	<u>Knooi</u>	Richting	Loek [graden]	Veerwaarde	Veertype	Ondergrens	Bovangrens
1	3	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
2	3	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
3	4	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
4	4	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
5	7	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
6	7	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
7	8	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
8	8	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
9	11	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
10	11	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
11	12	1:X-translatie	0,00	1,000e+04	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10
12	12	2:Z-translatie	0,00	3,825e+03	Normaal	-1,000e+10	1,000e+10

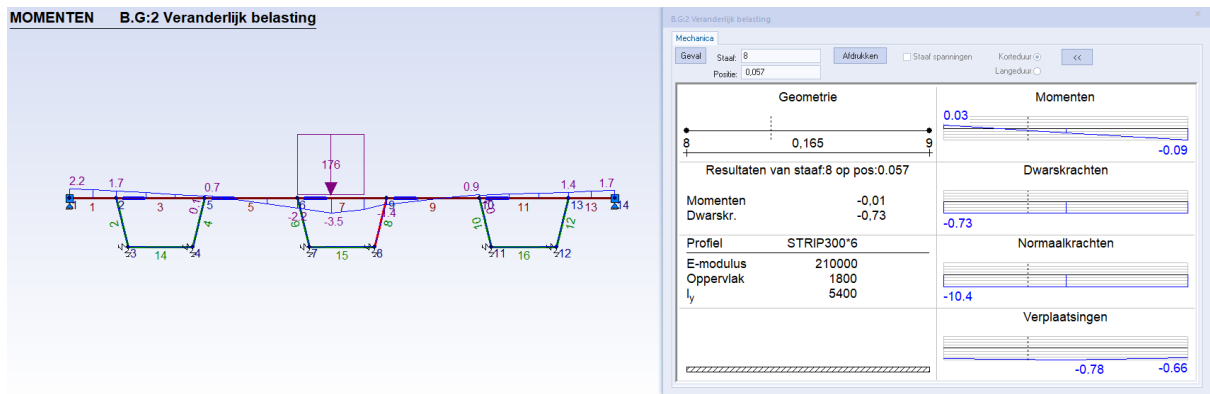
Type 1 Wiel A



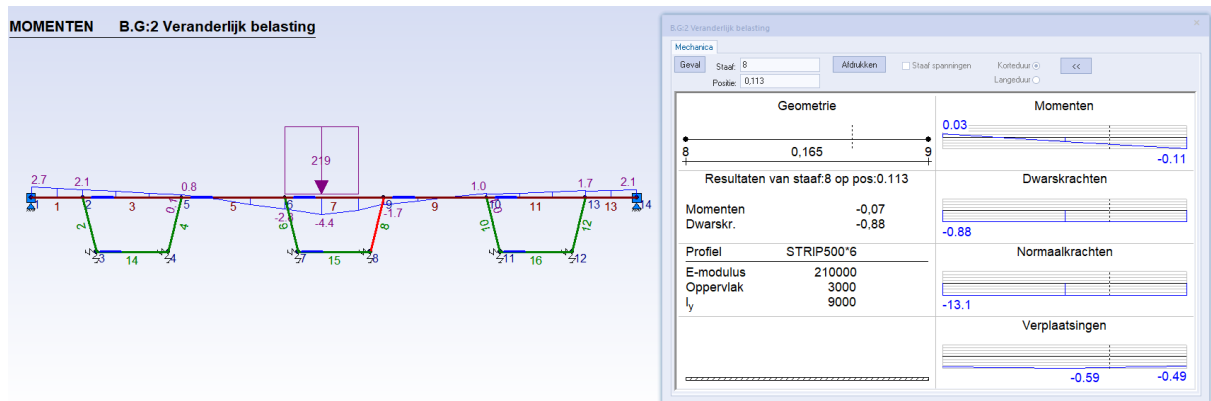
Type 2 Wiel A



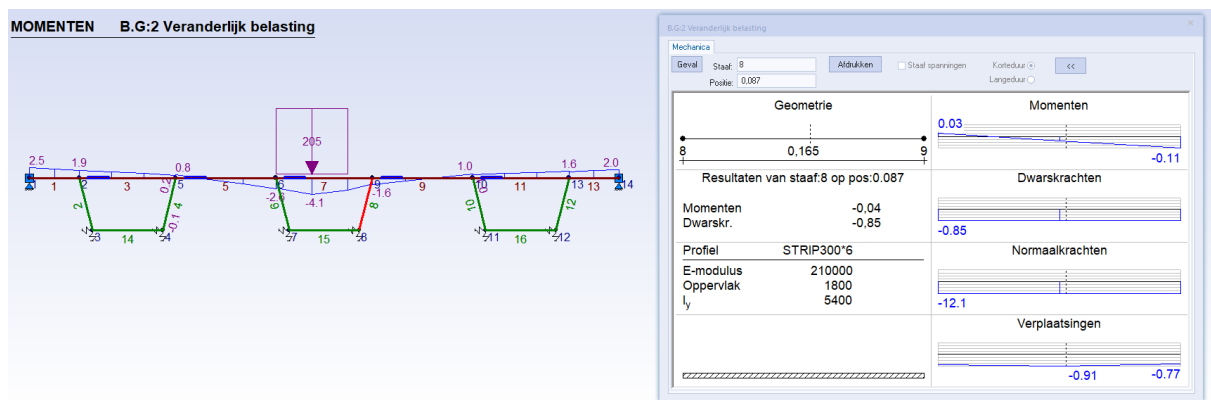
Type 3 Wiel A



Type 4 Wiel A



Type 5 Wiel A



Bijlage XXXII : Kostenraming, LCC en gevoeligheidsanalyse

Variant 1 met staalprijs 15 euro per kilo

Variant 1: Nieuw brugdek	STAALPRIJS			
Levensduur = 50 jaar	15			
<u>Productie nieuw brugdek</u>	prijs/eenheid	waarde	eenheid	Totaal
Dekplaat (22,4 m * 0,02 m * 14,6 m * 7850 kg/m3)	15	51345	kg	€ 770.175
Troggen (22,4 m * 0,011 m2 * 24 * 7850 kg/m3)	15	46000	kg	€ 690.000
Hoofdliggers (22,4 m * 0,087 m2 * 2 * 7850 kg/m3)	15	30500	kg	€ 457.500
Dwarsdragers (19 m * 0,059 m2 * 7 * 7850 kg/m3)	15	62000	kg	€ 930.000
Ballast aanvulling	10	26000	kg	€ 260.000
Lassen dekplaat-trog (22,4 * 24 * 2)	20	1075	m	€ 21.500
Lassen trog-dwarsdragers (0,5 m * 24 * 7)	20	84	m	€ 1.680
Lassen dwarsdragers-hoofdliggers (2,5 m * 7 * 2)	20	35	m	€ 700
Slijtlaag	50000	1	maal	€ 50.000
<u>Uitvoering</u>				
Verkeersomleiding	3000	2	dag	€ 6.000
Brug open		-		€ -
Huidig brugdek ontkoppelen bij draaipunt (6x)	50	6	uur	€ 300
Twee kranen incl. machinist	175	16	uur	€ 2.800
Ponton incl. bemanning afvoeren oud brugdek	300	16	uur	€ 4.800
Ponton incl. bemanning aanvoeren nieuw brugdek	300	16	uur	€ 4.800
Drijvend bok brug in- en uithijzen	500	16	uur	€ 8.000
Nieuw brugdek bevestigen bij draaipunt (6x)	50	6	uur	€ 300
Ballasten aanvullen en aanpassen	50	8	uur	€ 400
Brug dicht		-		€ -
Uitvoeringsteam	100	16	uur	€ 1.600
Inspecteren van nieuwe brugdek	100	8	uur	€ 800
<u>TOTAAL</u>				<u>€ 3.211.355</u>

Variant 2 met staalprijs 15 euro per kilo

Variant 2: Aangepast brugdek

Levensduur = 25 jaar

<u>Lassen</u>	prijs/eenh	waarde	eenheid	Totaal
Huidige hoeklassen verwijderen	20	1075	m	€ 21.500
Staal bewerken	20	1075	m	€ 21.500
Nieuwe stompe lassen aanbrengen	20	1075	m	€ 21.500
<u>Dekplaat</u>				€ -
Dekplaat (11 mm)	15	28200	kg	€ 423.000
Slijtlaag verwijderen	50	327	m2	€ 16.350
Dekplaat plaatsen	50	327	m2	€ 16.350
Dekplaat lijmen	50	327	m2	€ 16.350
Dekplaat vastzetten met bouten?	50	327	m2	€ 16.350
Nieuwe slijtlaag aanbrengen	50000	1	maal	€ 50.000
Verhogen aanbrug	10	200	m2	€ 2.000
Ballasten aanvullen en aanpassen	10	26000	kg	€ 260.000
<u>TOTAAL</u>				€ 864.900

Variant 3 met staalprijs 15 euro per kilo

Variant 3: Gedeeltelijk nieuw brugdek				
Levensduur = 25 jaar				
<u>Productie nieuwe brugonderdelen</u>	prijs/eenheid	waarde	eenheid	Totaal
Dekplaat (23 mm)	15	59050	kg	€ 885.750
Troggen (22,4 m * 0,011 m ² * 24 * 7850 kg/m ³)	15	46000	kg	€ 690.000
Lassen dekplaat-trog (22,4 * 24 * 2)	10	1075	m	€ 10.750
Ballasten aanvullen en aanpassen	10	26000	kg	€ 260.000
Nieuwe slijtlaag aanbrengen	50000	1	maal	€ 50.000
<u>Uitvoering</u>				€ -
Verkeersomleiding	3000	2	dag	€ 6.000
Brug open			-	€ -
Huidige lassen verwijderen	20	500	m	€ 10.000
Troggen en dekplaat in delen wegslijpen	20	327	m ²	€ 6.540
Nieuwe troggen en dekplaat plaatsen	20	327	m ²	€ 6.540
Nieuwe lasverbinding troggen-dwarsdragers	20	84	m	€ 1.680
Brug dicht			-	
Uitvoeringsteam	100	200	uur	€ 20.000
Inspecteren van gedeeltelijk nieuwe brugdek	5000	1	dag	€ 5.000
<u>TOTAAL</u>				<u>€ 1.952.260</u>

Variant 1 met staalprijs 10 euro per kilo

Productie nieuw brugdek	prijs/eenheid	waarde	eenheid	Totaal
Dekplaat (22,4 m * 0,02 m * 14,6 m * 7850 kg/m3)	10	51345	kg	€ 513.450
Troggen (22,4 m * 0,011 m2 * 24 * 7850 kg/m3)	10	46000	kg	€ 460.000
Hoofdliggers (22,4 m * 0,087 m2 * 2 * 7850 kg/m3)	10	30500	kg	€ 305.000
Dwarsdragers (19 m * 0,059 m2 * 7 * 7850 kg/m3)	10	62000	kg	€ 620.000
Ballast aanvulling	10	26000	kg	€ 260.000
Lassen dekplaat-trog (22,4 * 24 * 2)	20	1075	m	€ 21.500
Lassen trog-dwarsdragers (0,5 m * 24 * 7)	20	84	m	€ 1.680
Lassen dwarsdragers-hoofdliggers (2,5 m * 7 * 2)	20	35	m	€ 700
Slijtlaag	50000	1	maal	€ 50.000
<u>Uitvoering</u>				
Verkeersomleiding	3000	2	dag	€ 6.000
Brug open		-		€ -
Huidig brugdek ontkoppelen bij draaipunt (6x)	50	6	uur	€ 300
Twee kranen incl. machinist	175	16	uur	€ 2.800
Ponton incl. bemanning afvoeren oud brugdek	300	16	uur	€ 4.800
Ponton incl. bemanning aanvoeren nieuw brugdek	300	16	uur	€ 4.800
Drijvend bok brug in- en uithijzen	500	16	uur	€ 8.000
Nieuw brugdek bevestigen bij draaipunt (6x)	50	6	uur	€ 300
Ballasten aanvullen en aanpassen	50	8	uur	€ 400
Brug dicht		-		€ -
Uitvoeringsteam	100	16	uur	€ 1.600
Inspecteren van nieuwe brugdek	100	8	uur	€ 800
<u>TOTAAL</u>				€ 2.262.130

Variant 2 met staalprijs 10 euro per kilo

Variant 2: Aangepast brugdek				
Levensduur = 25 jaar				
<u>Lassen</u>	prijs/eenh	waarde	eenheid	Totaal
Huidige hoeklassen verwijderen	20	1075	m	€ 21.500
Staal bewerken	20	1075	m	€ 21.500
Nieuwe stompe lassen aanbrengen	20	1075	m	€ 21.500
<u>Dekplaat</u>				€ -
Dekplaat (11 mm)	10	28200	kg	€ 282.000
Slijtlaag verwijderen	50	327	m2	€ 16.350
Dekplaat plaatsen	50	327	m2	€ 16.350
Dekplaat lijmen	50	327	m2	€ 16.350
Dekplaat vastzetten met bouten?	50	327	m2	€ 16.350
Nieuwe slijtlaag aanbrengen	50000	1	maal	€ 50.000
Verhogen aanbrug	10	200	m2	€ 2.000
Ballasten aanvullen en aanpassen	10	26000	kg	€ 260.000
<u>TOTAAL</u>				€ 723.900

Variant 3 met staalprijs 10 euro per kilo

Variant 3: Gedeeltelijk nieuw brugdek				
Levensduur = 25 jaar				
<u>Productie nieuwe brugonderdelen</u>	prijs/eenheid	waarde	eenheid	Totaal
Dekplaat (23 mm)	10	59050	kg	€ 590.500
Troggen (22,4 m * 0,011 m ² * 24 * 7850 kg/m ³)	10	46000	kg	€ 460.000
Lassen dekplaat-trog (22,4 * 24 * 2)	10	1075	m	€ 10.750
Ballasten aanvullen en aanpassen	10	26000	kg	€ 260.000
Nieuwe slijtlaag aanbrengen	50000	1	maal	€ 50.000
<u>Uitvoering</u>				€ -
Verkeersomleiding	3000	2	dag	€ 6.000
Brug open		-		€ -
Huidige lassen verwijderen	20	500	m	€ 10.000
Troggen en dekplaat in delen wegslijpen	20	327	m ²	€ 6.540
Nieuwe troggen en dekplaat plaatsen	20	327	m ²	€ 6.540
Nieuwe lasverbinding troggen-dwarsdragers	20	84	m	€ 1.680
Brug dicht		-		
Uitvoeringsteam	100	200	uur	€ 20.000
Inspecteren van gedeeltelijk nieuwe brugdek	5000	1	dag	€ 5.000
<u>TOTAAL</u>				€ 1.427.010

Resultaten LCC STAALPRIJS 15 euro

Variant 1: Geheel nieuw brugdek					
			Totaal prijs (2022)	Levensduur	
Nieuw Brugdek met staalprijs 15 euro per kilo			€3.200.000,00	50 jaar	
Inspecties voor het waarborgen van de veiligheid			€1.000,00	Elk jaar tot nieuw	
CAPEX				€3.200.000,00	
OPEX				€ 1.000,00	
Startjaar nieuw brugdek: 2027. Gebaseerd op het verlengen van de levensduur met inspecties met tijd voor productie					
NPV	€ -3.901.921,49				
EAC	€ -90.535,28				

Variant 2: Aangepast brugdek					
				Totaal prijs (2022)	Levensduur
Aangepast brugdek met staalprijs 15 euro per kilo				€900.000,00	25 jaar
Coating vernieuwen				€5.000,00	15 jaar
Slijtlaag vervangen				€ 50.000,00	20 jaar
CAPEX				€900.000,00	
OPEX1				€5.000,00	
OPEX2				€50.000,00	
Startjaar 2023: Gebaseerd op directe actie uitkomst toetsing met 1 jaar tijd voor productie					
NPV	€ -2.052.453,06				
EAC	€ -47.622,54				

Variant 3: Gedeeltelijk nieuw brugdek					
				Totaal prijs (2022)	Levensduur
Gedeeltelijk nieuw brugdek met staalprijs 15 euro per kilo				€2.000.000,00	25 jaar
CAPEX				€2.000.000,00	
OPEX					
Startjaar 2023: Gebaseerd op directe actie uitkomst toetsing met 1 jaar tijd voor productie					
NPV	€ -4.243.591,82				
EAC	€ -98.462,97				

Resultaten LCC STAALPRIJS 10 euro

Variant 1: Geheel nieuw brugdek					
			Totaal prijs (2022)	Levensduur	
Nieuw Brugdek met staalprijs 15 euro per kilo			€2.300.000,00	50 jaar	
Inspecties voor het waarborgen van de veiligheid			€1.000,00	Elk jaar tot nieuw	
CAPEX				€2.300.000,00	
OPEX				€ 1.000,00	
Startjaar nieuw brugdek: 2027. Gebaseerd op het verlengen van de levensduur met inspecties met tijd voor productie					
NPV	€ -1.870.292,25				
EAC	€ -94.231,19				

Variant 2: Aangepast brugdek					
			Totaal prijs (2022)	Levensduur	
Aangepast brugdek met staalprijs 15 euro per kilo			€700.000,00	25 jaar	
Coating vernieuwen			€5.000,00	15 jaar	
Slijtlaag vervangen			€ 50.000,00	20 jaar	
CAPEX			€700.000,00		
OPEX1			€5.000,00		
OPEX2			€50.000,00		
Startjaar 2023: Gebaseerd op directe actie uitkomst toetsing met 1 jaar tijd voor productie					
NPV	€ -975.504,84				
EAC	€ -49.148,99				

Variant 3: Gedeeltelijk nieuw brugdek					
			Totaal prijs (2022)	Levensduur	
Gedeeltelijk nieuw brugdek met staalprijs 15 euro per kilo			€1.400.000,00	25 jaar	
CAPEX			€1.400.000,00		
OPEX					
Startjaar 2023: Gebaseerd op directe actie uitkomst toetsing met 1 jaar tijd voor productie					
NPV	€ -1.788.264,13				
EAC	€ -90.098,36				

LCC VARIANT 1 STAALPRIJS 15 EURO

	YEAR	CAPEX	OPEX	RESTWAARDE	TOTAAL	BIJDRAGE AAN NPV
2021	0					
2022	1		€ -1.000,00		€ -1.000,00	-€980,39
2023	2		€ -1.000,00		€ -1.000,00	-€961,17
2024	3		€ -1.000,00		€ -1.000,00	-€942,32
2025	4		€ -1.000,00		€ -1.000,00	-€923,85
2026	5		€ -1.000,00		€ -1.000,00	-€905,73
2027	6	€ -3.200.000,00			€ -3.200.000,00	-€2.841.508,42
2028	7				€ 0,00	€0,00
2029	8				€ 0,00	€0,00
2030	9				€ 0,00	€0,00
2031	10				€ 0,00	€0,00
2032	11				€ 0,00	€0,00
2033	12				€ 0,00	€0,00
2034	13				€ 0,00	€0,00
2035	14				€ 0,00	€0,00
2036	15				€ 0,00	€0,00
2037	16				€ 0,00	€0,00
2038	17				€ 0,00	€0,00
2039	18				€ 0,00	€0,00
2040	19				€ 0,00	€0,00
2041	20				€ 0,00	€0,00
2042	21				€ 0,00	€0,00
2043	22				€ 0,00	€0,00
2044	23				€ 0,00	€0,00
2045	24				€ 0,00	€0,00
2046	25				€ 0,00	€0,00
2047	26				€ 0,00	€0,00
2048	27				€ 0,00	€0,00
2049	28				€ 0,00	€0,00
2050	29				€ 0,00	€0,00
2051	30				€ 0,00	€0,00
2052	31				€ 0,00	€0,00
2053	32				€ 0,00	€0,00
2054	33				€ 0,00	€0,00
2055	34				€ 0,00	€0,00
2056	35				€ 0,00	€0,00
2057	36				€ 0,00	€0,00
2058	37				€ 0,00	€0,00
2059	38				€ 0,00	€0,00
2060	39				€ 0,00	€0,00
2061	40				€ 0,00	€0,00
2062	41				€ 0,00	€0,00
2063	42				€ 0,00	€0,00
2064	43				€ 0,00	€0,00
2065	44				€ 0,00	€0,00
2066	45				€ 0,00	€0,00
2067	46				€ 0,00	€0,00
2068	47				€ 0,00	€0,00
2069	48				€ 0,00	€0,00
2070	49				€ 0,00	€0,00
2071	50				€ 0,00	€0,00

2072	51				€ 0,00	€0,00
2073	52				€ 0,00	€0,00
2074	53				€ 0,00	€0,00
2075	54				€ 0,00	€0,00
2076	55				€ 0,00	€0,00
2077	56	€ -3.200.000,00			€ -3.200.000,00	-€1.055.699,61
2078	57				€ 0,00	€0,00
2079	58				€ 0,00	€0,00
2080	59				€ 0,00	€0,00
2081	60				€ 0,00	€0,00
2082	61				€ 0,00	€0,00
2083	62				€ 0,00	€0,00
2084	63				€ 0,00	€0,00
2085	64				€ 0,00	€0,00
2086	65				€ 0,00	€0,00
2087	66				€ 0,00	€0,00
2088	67				€ 0,00	€0,00
2089	68				€ 0,00	€0,00
2090	69				€ 0,00	€0,00
2091	70				€ 0,00	€0,00
2092	71				€ 0,00	€0,00
2093	72				€ 0,00	€0,00
2094	73				€ 0,00	€0,00
2095	74				€ 0,00	€0,00
2096	75				€ 0,00	€0,00
2097	76				€ 0,00	€0,00
2098	77				€ 0,00	€0,00
2099	78				€ 0,00	€0,00
2100	79				€ 0,00	€0,00
2101	80				€ 0,00	€0,00
2102	81				€ 0,00	€0,00
2103	82				€ 0,00	€0,00
2104	83				€ 0,00	€0,00
2105	84				€ 0,00	€0,00
2106	85				€ 0,00	€0,00
2107	86				€ 0,00	€0,00
2108	87				€ 0,00	€0,00
2109	88				€ 0,00	€0,00
2110	89				€ 0,00	€0,00
2111	90				€ 0,00	€0,00
2112	91				€ 0,00	€0,00
2113	92				€ 0,00	€0,00
2114	93				€ 0,00	€0,00
2115	94				€ 0,00	€0,00
2116	95				€ 0,00	€0,00
2117	96				€ 0,00	€0,00
2118	97				€ 0,00	€0,00
2119	98				€ 0,00	€0,00
2120	99				€ 0,00	€0,00
2121	100				€ 0,00	€0,00
2122	101				€ 0,00	€0,00
	NPV				€ -3.901.921,49	
	EAC				€ -90.535,28	

LCC VARIANT 2 STAALPRIJS 15 EURO

	YEAR	CAPEX	OPEX	RESTWAARDE	TOTAAL	BIJDRAGE AAN NPV
2021	0					
2022	1		€ -50.000,00		€ -50.000,00	-€49.019,61
2023	2	€ -900.000,00			€ -900.000,00	-€865.051,90
2024	3				€ 0,00	€0,00
2025	4				€ 0,00	€0,00
2026	5				€ 0,00	€0,00
2027	6				€ 0,00	€0,00
2028	7				€ 0,00	€0,00
2029	8				€ 0,00	€0,00
2030	9				€ 0,00	€0,00
2031	10				€ 0,00	€0,00
2032	11		€ -5.000,00		€ -5.000,00	-€4.021,32
2033	12				€ 0,00	€0,00
2034	13				€ 0,00	€0,00
2035	14				€ 0,00	€0,00
2036	15				€ 0,00	€0,00
2037	16				€ 0,00	€0,00
2038	17				€ 0,00	€0,00
2039	18				€ 0,00	€0,00
2040	19				€ 0,00	€0,00
2041	20				€ 0,00	€0,00
2042	21		€ -50.000,00		€ -50.000,00	-€32.988,79
2043	22				€ 0,00	€0,00
2044	23				€ 0,00	€0,00
2045	24				€ 0,00	€0,00
2046	25				€ 0,00	€0,00
2047	26				€ 0,00	€0,00
2048	27	€ -900.000,00	€ -5.000,00		€ -905.000,00	-€530.205,15
2049	28				€ 0,00	€0,00
2050	29				€ 0,00	€0,00
2051	30				€ 0,00	€0,00
2052	31				€ 0,00	€0,00
2053	32				€ 0,00	€0,00
2054	33				€ 0,00	€0,00
2055	34				€ 0,00	€0,00
2056	35				€ 0,00	€0,00
2057	36				€ 0,00	€0,00
2058	37				€ 0,00	€0,00
2059	38				€ 0,00	€0,00
2060	39				€ 0,00	€0,00
2061	40				€ 0,00	€0,00
2062	41		€ -55.000,00		€ -55.000,00	-€24.420,56
2063	42				€ 0,00	€0,00
2064	43				€ 0,00	€0,00
2065	44				€ 0,00	€0,00
2066	45				€ 0,00	€0,00
2067	46				€ 0,00	€0,00
2068	47				€ 0,00	€0,00
2069	48				€ 0,00	€0,00
2070	49				€ 0,00	€0,00
2071	50				€ 0,00	€0,00

2072	51				€ 0,00	€0,00
2073	52	€ -900.000,00			€ -900.000,00	-€321.390,90
2074	53				€ 0,00	€0,00
2075	54				€ 0,00	€0,00
2076	55				€ 0,00	€0,00
2077	56		€ -5.000,00		€ -5.000,00	-€1.649,53
2078	57				€ 0,00	€0,00
2079	58				€ 0,00	€0,00
2080	59				€ 0,00	€0,00
2081	60				€ 0,00	€0,00
2082	61		€ -50.000,00		€ -50.000,00	-€14.940,31
2083	62				€ 0,00	€0,00
2084	63				€ 0,00	€0,00
2085	64				€ 0,00	€0,00
2086	65				€ 0,00	€0,00
2087	66				€ 0,00	€0,00
2088	67				€ 0,00	€0,00
2089	68				€ 0,00	€0,00
2090	69				€ 0,00	€0,00
2091	70				€ 0,00	€0,00
2092	71		€ -5.000,00		€ -5.000,00	-€1.225,63
2093	72				€ 0,00	€0,00
2094	73				€ 0,00	€0,00
2095	74				€ 0,00	€0,00
2096	75				€ 0,00	€0,00
2097	76				€ 0,00	€0,00
2098	77	€ -900.000,00			€ -900.000,00	-€195.897,68
2099	78				€ 0,00	€0,00
2100	79				€ 0,00	€0,00
2101	80				€ 0,00	€0,00
2102	81		€ -50.000,00		€ -50.000,00	-€10.054,40
2103	82				€ 0,00	€0,00
2104	83				€ 0,00	€0,00
2105	84				€ 0,00	€0,00
2106	85				€ 0,00	€0,00
2107	86		€ -5.000,00		€ -5.000,00	-€910,66
2108	87				€ 0,00	€0,00
2109	88				€ 0,00	€0,00
2110	89				€ 0,00	€0,00
2111	90				€ 0,00	€0,00
2112	91				€ 0,00	€0,00
2113	92				€ 0,00	€0,00
2114	93				€ 0,00	€0,00
2115	94				€ 0,00	€0,00
2116	95				€ 0,00	€0,00
2117	96				€ 0,00	€0,00
2118	97				€ 0,00	€0,00
2119	98				€ 0,00	€0,00
2120	99				€ 0,00	€0,00
2121	100				€ 0,00	€0,00
2122	101		€ -5.000,00		€ -5.000,00	-€676,63
		NPV			€ -2.052.453,06	
		EAC			€ -47.622,54	

LCC VARIANT 3 STAALPRIJS 15 EURO

	YEAR	CAPEX	OPEX	RESTWAARDE	TOTAAL	BIJDRAGE AAN NPV
2021	0					
2022	1				€ 0,00	€0,00
2023	2	€ -2.000.000,00			€ -2.000.000,00	-€1.922.337,56
2024	3				€ 0,00	€0,00
2025	4				€ 0,00	€0,00
2026	5				€ 0,00	€0,00
2027	6				€ 0,00	€0,00
2028	7				€ 0,00	€0,00
2029	8				€ 0,00	€0,00
2030	9				€ 0,00	€0,00
2031	10				€ 0,00	€0,00
2032	11				€ 0,00	€0,00
2033	12				€ 0,00	€0,00
2034	13				€ 0,00	€0,00
2035	14				€ 0,00	€0,00
2036	15				€ 0,00	€0,00
2037	16				€ 0,00	€0,00
2038	17				€ 0,00	€0,00
2039	18				€ 0,00	€0,00
2040	19				€ 0,00	€0,00
2041	20				€ 0,00	€0,00
2042	21				€ 0,00	€0,00
2043	22				€ 0,00	€0,00
2044	23				€ 0,00	€0,00
2045	24				€ 0,00	€0,00
2046	25				€ 0,00	€0,00
2047	26				€ 0,00	€0,00
2048	27	€ -2.000.000,00			€ -2.000.000,00	-€1.171.724,09
2049	28				€ 0,00	€0,00
2050	29				€ 0,00	€0,00
2051	30				€ 0,00	€0,00
2052	31				€ 0,00	€0,00
2053	32				€ 0,00	€0,00
2054	33				€ 0,00	€0,00
2055	34				€ 0,00	€0,00
2056	35				€ 0,00	€0,00
2057	36				€ 0,00	€0,00
2058	37				€ 0,00	€0,00
2059	38				€ 0,00	€0,00
2060	39				€ 0,00	€0,00
2061	40				€ 0,00	€0,00
2062	41				€ 0,00	€0,00
2063	42				€ 0,00	€0,00
2064	43				€ 0,00	€0,00
2065	44				€ 0,00	€0,00
2066	45				€ 0,00	€0,00
2067	46				€ 0,00	€0,00
2068	47				€ 0,00	€0,00
2069	48				€ 0,00	€0,00
2070	49				€ 0,00	€0,00
2071	50				€ 0,00	€0,00

2072	51				€ 0,00	€0,00
2073	52	€ -2.000.000,00			€ -2.000.000,00	-€714.202,00
2074	53				€ 0,00	€0,00
2075	54				€ 0,00	€0,00
2076	55				€ 0,00	€0,00
2077	56				€ 0,00	€0,00
2078	57				€ 0,00	€0,00
2079	58				€ 0,00	€0,00
2080	59				€ 0,00	€0,00
2081	60				€ 0,00	€0,00
2082	61				€ 0,00	€0,00
2083	62				€ 0,00	€0,00
2084	63				€ 0,00	€0,00
2085	64				€ 0,00	€0,00
2086	65				€ 0,00	€0,00
2087	66				€ 0,00	€0,00
2088	67				€ 0,00	€0,00
2089	68				€ 0,00	€0,00
2090	69				€ 0,00	€0,00
2091	70				€ 0,00	€0,00
2092	71				€ 0,00	€0,00
2093	72				€ 0,00	€0,00
2094	73				€ 0,00	€0,00
2095	74				€ 0,00	€0,00
2096	75				€ 0,00	€0,00
2097	76				€ 0,00	€0,00
2098	77	€ -2.000.000,00			€ -2.000.000,00	-€435.328,17
2099	78				€ 0,00	€0,00
2100	79				€ 0,00	€0,00
2101	80				€ 0,00	€0,00
2102	81				€ 0,00	€0,00
2103	82				€ 0,00	€0,00
2104	83				€ 0,00	€0,00
2105	84				€ 0,00	€0,00
2106	85				€ 0,00	€0,00
2107	86				€ 0,00	€0,00
2108	87				€ 0,00	€0,00
2109	88				€ 0,00	€0,00
2110	89				€ 0,00	€0,00
2111	90				€ 0,00	€0,00
2112	91				€ 0,00	€0,00
2113	92				€ 0,00	€0,00
2114	93				€ 0,00	€0,00
2115	94				€ 0,00	€0,00
2116	95				€ 0,00	€0,00
2117	96				€ 0,00	€0,00
2118	97				€ 0,00	€0,00
2119	98				€ 0,00	€0,00
2120	99				€ 0,00	€0,00
2121	100				€ 0,00	€0,00
2122	101				€ 0,00	€0,00
	NPV				€ -4.243.591,82	
	EAC				€ -98.462,97	

LCC VARIANT 1 STAALPRIJS 10 EURO

	YEAR	CAPEX	OPEX	RESTWAARDE	TOTAAL	BIJDRAGE AAN NPV
2021	0					
2022	1		€ -1.000,00		€ -1.000,00	-€952,38
2023	2		€ -1.000,00		€ -1.000,00	-€907,03
2024	3		€ -1.000,00		€ -1.000,00	-€863,84
2025	4		€ -1.000,00		€ -1.000,00	-€822,70
2026	5		€ -1.000,00		€ -1.000,00	-€783,53
2027	6	€ -2.300.000,00			€ -2.300.000,00	-€1.716.295,41
2028	7				€ 0,00	€0,00
2029	8				€ 0,00	€0,00
2030	9				€ 0,00	€0,00
2031	10				€ 0,00	€0,00
2032	11				€ 0,00	€0,00
2033	12				€ 0,00	€0,00
2034	13				€ 0,00	€0,00
2035	14				€ 0,00	€0,00
2036	15				€ 0,00	€0,00
2037	16				€ 0,00	€0,00
2038	17				€ 0,00	€0,00
2039	18				€ 0,00	€0,00
2040	19				€ 0,00	€0,00
2041	20				€ 0,00	€0,00
2042	21				€ 0,00	€0,00
2043	22				€ 0,00	€0,00
2044	23				€ 0,00	€0,00
2045	24				€ 0,00	€0,00
2046	25				€ 0,00	€0,00
2047	26				€ 0,00	€0,00
2048	27				€ 0,00	€0,00
2049	28				€ 0,00	€0,00
2050	29				€ 0,00	€0,00
2051	30				€ 0,00	€0,00
2052	31				€ 0,00	€0,00
2053	32				€ 0,00	€0,00
2054	33				€ 0,00	€0,00
2055	34				€ 0,00	€0,00
2056	35				€ 0,00	€0,00
2057	36				€ 0,00	€0,00
2058	37				€ 0,00	€0,00
2059	38				€ 0,00	€0,00
2060	39				€ 0,00	€0,00
2061	40				€ 0,00	€0,00
2062	41				€ 0,00	€0,00
2063	42				€ 0,00	€0,00
2064	43				€ 0,00	€0,00
2065	44				€ 0,00	€0,00
2066	45				€ 0,00	€0,00
2067	46				€ 0,00	€0,00
2068	47				€ 0,00	€0,00
2069	48				€ 0,00	€0,00
2070	49				€ 0,00	€0,00
2071	50				€ 0,00	€0,00

2072	51				€ 0,00	€0,00
2073	52				€ 0,00	€0,00
2074	53				€ 0,00	€0,00
2075	54				€ 0,00	€0,00
2076	55				€ 0,00	€0,00
2077	56	€ -2.300.000,00			€ -2.300.000,00	-€149.667,36
2078	57				€ 0,00	€0,00
2079	58				€ 0,00	€0,00
2080	59				€ 0,00	€0,00
2081	60				€ 0,00	€0,00
2082	61				€ 0,00	€0,00
2083	62				€ 0,00	€0,00
2084	63				€ 0,00	€0,00
2085	64				€ 0,00	€0,00
2086	65				€ 0,00	€0,00
2087	66				€ 0,00	€0,00
2088	67				€ 0,00	€0,00
2089	68				€ 0,00	€0,00
2090	69				€ 0,00	€0,00
2091	70				€ 0,00	€0,00
2092	71				€ 0,00	€0,00
2093	72				€ 0,00	€0,00
2094	73				€ 0,00	€0,00
2095	74				€ 0,00	€0,00
2096	75				€ 0,00	€0,00
2097	76				€ 0,00	€0,00
2098	77				€ 0,00	€0,00
2099	78				€ 0,00	€0,00
2100	79				€ 0,00	€0,00
2101	80				€ 0,00	€0,00
2102	81				€ 0,00	€0,00
2103	82				€ 0,00	€0,00
2104	83				€ 0,00	€0,00
2105	84				€ 0,00	€0,00
2106	85				€ 0,00	€0,00
2107	86				€ 0,00	€0,00
2108	87				€ 0,00	€0,00
2109	88				€ 0,00	€0,00
2110	89				€ 0,00	€0,00
2111	90				€ 0,00	€0,00
2112	91				€ 0,00	€0,00
2113	92				€ 0,00	€0,00
2114	93				€ 0,00	€0,00
2115	94				€ 0,00	€0,00
2116	95				€ 0,00	€0,00
2117	96				€ 0,00	€0,00
2118	97				€ 0,00	€0,00
2119	98				€ 0,00	€0,00
2120	99				€ 0,00	€0,00
2121	100				€ 0,00	€0,00
2122	101				€ 0,00	€0,00
	NPV				€ -1.870.292,25	
	EAC				€ -94.231,19	

LCC VARIANT 2 STAALPRIJS 10 EURO

	YEAR	CAPEX	OPEX	RESTWAARDE	TOTAAL	BIJDRAGE AAN NPV
2021	0					
2022	1		€ -50.000,00		€ -50.000,00	-€47.619,05
2023	2	€ -700.000,00			€ -700.000,00	-€634.920,63
2024	3				€ 0,00	€0,00
2025	4				€ 0,00	€0,00
2026	5				€ 0,00	€0,00
2027	6				€ 0,00	€0,00
2028	7				€ 0,00	€0,00
2029	8				€ 0,00	€0,00
2030	9				€ 0,00	€0,00
2031	10				€ 0,00	€0,00
2032	11		€ -5.000,00		€ -5.000,00	-€2.923,40
2033	12				€ 0,00	€0,00
2034	13				€ 0,00	€0,00
2035	14				€ 0,00	€0,00
2036	15				€ 0,00	€0,00
2037	16				€ 0,00	€0,00
2038	17				€ 0,00	€0,00
2039	18				€ 0,00	€0,00
2040	19				€ 0,00	€0,00
2041	20				€ 0,00	€0,00
2042	21		€ -50.000,00		€ -50.000,00	-€17.947,12
2043	22				€ 0,00	€0,00
2044	23				€ 0,00	€0,00
2045	24				€ 0,00	€0,00
2046	25				€ 0,00	€0,00
2047	26				€ 0,00	€0,00
2048	27	€ -700.000,00	€ -5.000,00		€ -705.000,00	-€188.833,06
2049	28				€ 0,00	€0,00
2050	29				€ 0,00	€0,00
2051	30				€ 0,00	€0,00
2052	31				€ 0,00	€0,00
2053	32				€ 0,00	€0,00
2054	33				€ 0,00	€0,00
2055	34				€ 0,00	€0,00
2056	35				€ 0,00	€0,00
2057	36				€ 0,00	€0,00
2058	37				€ 0,00	€0,00
2059	38				€ 0,00	€0,00
2060	39				€ 0,00	€0,00
2061	40				€ 0,00	€0,00
2062	41		€ -55.000,00		€ -55.000,00	-€7.440,49
2063	42				€ 0,00	€0,00
2064	43				€ 0,00	€0,00
2065	44				€ 0,00	€0,00
2066	45				€ 0,00	€0,00
2067	46				€ 0,00	€0,00
2068	47				€ 0,00	€0,00
2069	48				€ 0,00	€0,00
2070	49				€ 0,00	€0,00
2071	50				€ 0,00	€0,00

2072	51				€ 0,00	€0,00
2073	52	€ -700.000,00			€ -700.000,00	-€55.367,45
2074	53				€ 0,00	€0,00
2075	54				€ 0,00	€0,00
2076	55				€ 0,00	€0,00
2077	56		€ -5.000,00		€ -5.000,00	-€325,36
2078	57				€ 0,00	€0,00
2079	58				€ 0,00	€0,00
2080	59				€ 0,00	€0,00
2081	60				€ 0,00	€0,00
2082	61		€ -50.000,00		€ -50.000,00	-€2.549,31
2083	62				€ 0,00	€0,00
2084	63				€ 0,00	€0,00
2085	64				€ 0,00	€0,00
2086	65				€ 0,00	€0,00
2087	66				€ 0,00	€0,00
2088	67				€ 0,00	€0,00
2089	68				€ 0,00	€0,00
2090	69				€ 0,00	€0,00
2091	70				€ 0,00	€0,00
2092	71		€ -5.000,00		€ -5.000,00	-€156,51
2093	72				€ 0,00	€0,00
2094	73				€ 0,00	€0,00
2095	74				€ 0,00	€0,00
2096	75				€ 0,00	€0,00
2097	76				€ 0,00	€0,00
2098	77	€ -700.000,00			€ -700.000,00	-€16.350,16
2099	78				€ 0,00	€0,00
2100	79				€ 0,00	€0,00
2101	80				€ 0,00	€0,00
2102	81		€ -50.000,00		€ -50.000,00	-€960,81
2103	82				€ 0,00	€0,00
2104	83				€ 0,00	€0,00
2105	84				€ 0,00	€0,00
2106	85				€ 0,00	€0,00
2107	86		€ -5.000,00		€ -5.000,00	-€75,28
2108	87				€ 0,00	€0,00
2109	88				€ 0,00	€0,00
2110	89				€ 0,00	€0,00
2111	90				€ 0,00	€0,00
2112	91				€ 0,00	€0,00
2113	92				€ 0,00	€0,00
2114	93				€ 0,00	€0,00
2115	94				€ 0,00	€0,00
2116	95				€ 0,00	€0,00
2117	96				€ 0,00	€0,00
2118	97				€ 0,00	€0,00
2119	98				€ 0,00	€0,00
2120	99				€ 0,00	€0,00
2121	100				€ 0,00	€0,00
2122	101		€ -5.000,00		€ -5.000,00	-€36,21
		NPV			€ -975.504,84	
		EAC			€ -49.148,99	

LCC VARIANT 3 STAALPRIJS 10 EURO

YEAR	CAPEX	OPEX	RESTWAARDE	TOTAAL	BIJDRAGE AAN NPV
0					
1				€ 0,00	€0,00
2	€ -1.400.000,00			€ -1.400.000,00	-€1.269.841,27
3				€ 0,00	€0,00
4				€ 0,00	€0,00
5				€ 0,00	€0,00
6				€ 0,00	€0,00
7				€ 0,00	€0,00
8				€ 0,00	€0,00
9				€ 0,00	€0,00
10				€ 0,00	€0,00
11				€ 0,00	€0,00
12				€ 0,00	€0,00
13				€ 0,00	€0,00
14				€ 0,00	€0,00
15				€ 0,00	€0,00
16				€ 0,00	€0,00
17				€ 0,00	€0,00
18				€ 0,00	€0,00
19				€ 0,00	€0,00
20				€ 0,00	€0,00
21				€ 0,00	€0,00
22				€ 0,00	€0,00
23				€ 0,00	€0,00
24				€ 0,00	€0,00
25				€ 0,00	€0,00
26				€ 0,00	€0,00
27	€ -1.400.000,00			€ -1.400.000,00	-€374.987,65
28				€ 0,00	€0,00
29				€ 0,00	€0,00
30				€ 0,00	€0,00
31				€ 0,00	€0,00
32				€ 0,00	€0,00
33				€ 0,00	€0,00
34				€ 0,00	€0,00
35				€ 0,00	€0,00
36				€ 0,00	€0,00
37				€ 0,00	€0,00
38				€ 0,00	€0,00
39				€ 0,00	€0,00
40				€ 0,00	€0,00
41				€ 0,00	€0,00
42				€ 0,00	€0,00
43				€ 0,00	€0,00
44				€ 0,00	€0,00
45				€ 0,00	€0,00
46				€ 0,00	€0,00
47				€ 0,00	€0,00
48				€ 0,00	€0,00
49				€ 0,00	€0,00
50				€ 0,00	€0,00

51				€ 0,00	€0,00
52	€ -1.400.000,00			€ -1.400.000,00	-€110.734,89
53				€ 0,00	€0,00
54				€ 0,00	€0,00
55				€ 0,00	€0,00
56				€ 0,00	€0,00
57				€ 0,00	€0,00
58				€ 0,00	€0,00
59				€ 0,00	€0,00
60				€ 0,00	€0,00
61				€ 0,00	€0,00
62				€ 0,00	€0,00
63				€ 0,00	€0,00
64				€ 0,00	€0,00
65				€ 0,00	€0,00
66				€ 0,00	€0,00
67				€ 0,00	€0,00
68				€ 0,00	€0,00
69				€ 0,00	€0,00
70				€ 0,00	€0,00
71				€ 0,00	€0,00
72				€ 0,00	€0,00
73				€ 0,00	€0,00
74				€ 0,00	€0,00
75				€ 0,00	€0,00
76				€ 0,00	€0,00
77	€ -1.400.000,00			€ -1.400.000,00	-€32.700,32
78				€ 0,00	€0,00
79				€ 0,00	€0,00
80				€ 0,00	€0,00
81				€ 0,00	€0,00
82				€ 0,00	€0,00
83				€ 0,00	€0,00
84				€ 0,00	€0,00
85				€ 0,00	€0,00
86				€ 0,00	€0,00
87				€ 0,00	€0,00
88				€ 0,00	€0,00
89				€ 0,00	€0,00
90				€ 0,00	€0,00
91				€ 0,00	€0,00
92				€ 0,00	€0,00
93				€ 0,00	€0,00
94				€ 0,00	€0,00
95				€ 0,00	€0,00
96				€ 0,00	€0,00
97				€ 0,00	€0,00
98				€ 0,00	€0,00
99				€ 0,00	€0,00
100				€ 0,00	€0,00
101				€ 0,00	€0,00
NPV				€ -1.788.264,13	
EAC				€ -90.098,36	

Bijlage XXXII : Variantenstudie

Deze bijlage geeft aanvullende uitleg over de elke gegeven score.

De scores gaan van 1 tot 5, waarbij 1 het slechtste scoort onder die criteria en 5 het beste. De totale score uit zich ook van 1 tot 5. De winnende variant heeft de hoogste score.

Criteria	Weging	Variant 1	Variant 2	Variant 3
Levensduurverlenging	10%	3	1	1
Kosten	70 %	2	1	4
Hinder	30 %	3	3	2
Duurzaamheid	10 %	1	3	5
Totale score:		2,7 / 5	2,0 / 5	4,0 / 5

Kosten

Deze scores uit deze criteria sluiten aan op de uitkomst van de LCC. In de LCC kwam variant 1a op de duurste score uit, waarbij variant 1 daarna en variant 2 het goedkoopste. De goedkoopste variant scoort dus het beste. Daarom heeft variant 2 de beste score.

Levensduurverlenging

Deze criteria gaat over de levensduur van de variant. Des te langer de levensduurverlenging des te hoger de score. De eis vanuit de Provincie geldt dat de variant mee gaat voor de komende 25 jaar. Dus de variant zal minimaal aan een levensduur van 25 jaar moeten voldoen. Wanneer precies aan deze eis wordt voldaan scoort de variant de slechtste score. Wanneer de variant een aantal jaar langer door gaat krijgt deze variant een score van 2. Als de levensduur tientallen jaren hoger is krijgt de variant de beste score. Variant 1 heeft dus de beste score, in tegendeel tot variant 1a en variant 2 met de slechtste score, zie onderstaande tabel.

Variant 1	Variant 2	Variant 3
50 jaar	25 jaar	25 jaar

Hinder

Voor deze criteria is op basis van de uitvoering onderzocht hoeveel hinder er zal plaatsvinden per variant. Hiervoor is uitgelegd in globale lijnen hoe de uitvoering plaats gaat vinden en hoe de hinder in de uitvoeringsplanning gereduceerd is. Iedere variant heeft zijn eigen voor- en nadelen.

Variant 1: Twee dagen hinder volledige afsluiting

Bij de uitvoering van variant 1 wordt het nieuwe brugdek geprefabriceerd, waardoor de hinderduur ter plekke is gereduceerd. De locatie en aannemer is nog onbekend, maar het is aangeraden dit niet te ver van Middelburg te doen. Daarnaast zal het nieuwe brugdek te water worden getransporteerd, dus zal de locatie dicht bij water plaatsvinden. Dit kan bijvoorbeeld bij aannemersbedrijven rond Rotterdam, Gent en Antwerpen.

Het installeren, inspecteren en testen van het brugdek gaat 2 dagen duren, waardoor hinder ontstaat voor zowel zeevaart als motorvoertuigen. Ten eerste wordt het huidige brugdek ontkoppelt ter plaatse van de zes draaipunten, namelijk: het draaipunt bij de hangstang, het draaipunt bij de heugelstang en het draaipunt tussen de val en aanbrug. Voor het ontkoppelen zullen de twee balansen

op zijn plaats worden gehouden door twee kranen, waardoor evenwicht ontstaat om het brugdek los te koppelen. Het brugdek wordt afgevoerd door een ponton en gehesen door middel van een drijvend bok, met een vermogen rond de 140 ton, zie evenwichtsvergelijking in Bijlage XXIX. Het ontkoppelen zal 6 uur duren, waarbij 2 uur hijswerk.

Het aansluiten van het nieuwe brugdek wordt op dezelfde manier gedaan als het afsluiten. Een tweede ponton voert het nieuwe brugdek aan, waarbij hetzelfde drijvende bok het brugdek op zijn plaats hijst. Dit duurt dan ook ongeveer 8 uur.

In ditzelfde tijdsbestek worden de ballasten verzwaard en aangepast. Wanneer het brugdek is geïnstalleerd en de ballasten zijn aangepast kan het brugdek worden geïnspecteerd en getest. Dit zal ook ongeveer 8 uur duren.

In totaal is dit dus een hinder van 24 uur. Om hinder te voorkomen wordt dag en nacht gewerkt.

Door de hinder voor motorvoertuigen zal er een verkeersomleiding nodig zijn. De bussen, fietser en voetganger kunnen zich verplaatsen over de Stationsbrug. Motorvoertuigen zullen om moeten rijden door middel van het Dampoort Aquaduct of de Sloebrug. Op de uitgetrokken datum wordt verwacht een lage verkeersintensiteit te hebben, zodat zo min mogelijk verkeer verhinderd zal worden.

Variant 3: Twee dagen hinder volledige afsluiting

Voor de uitvoering van variant 3 wordt ongeveer evenveel hinder veroorzaakt als voor variant 1. De nieuwe troggen en dekplaat worden namelijk ook geprefabriceerd zodat de hinder ter plekke zo min mogelijk is. Eerst worden de lassen verbroken om daarna de nieuwe troggen en dekplaat weer vast te lassen. De totale lengte van alle lassen zijn minder dan variant 2, waardoor een volledige afsluiting van twee dagen genoeg is om de variant te realiseren.

Variant 2: Drie faseringen van drie weken, met daarnaast meerdere volledige afsluitingen in de nacht.

Voor variant 2 is ook redelijk wat hinder, echter kan dit door verschillende acties worden gereduceerd.

Het uitvoeren van de dekplaat kan in drie faseringen gedaan worden, waardoor de brug niet afgesloten hoeft te worden. Het wordt aangeraden dit samen te doen met het vervangen van de slijtlaag, wat ook eerder in drie faseringen is voltooid in 2014, zie Bijlage VII. Het toevoegen van de extra plaat heeft de grootste invloed op de vermoeiingslevensduurverlenging volgens de toetsingen. Daarom wordt dit als eerste uitgevoerd. Daarbij zal de aanbrug ook een stukje hoger moeten. De plaatbreedtes en lengtes moeten worden gekozen op basis van deze fasering.

Vervolgonderzoek is nodig voor de verbinding tussen de huidige dekplaat en nieuwe dekplaat.

Hierna wordt de hoeklas vervangen door een stompe las. Voor een stompe las is eerst staalbewerking nodig, ter plaatse waar de stompe las hoort te zitten. Lassen vanaf onder het wegdek is in uitvoering amper te doen en gaat ten koste van de kwaliteit van de las, wat erg belangrijk is voor orthotrope wegdekken. Daarom zal de brug open moeten zijn om de lassen te vervangen. Om de hinder zo weinig mogelijk te houden, wordt dit alleen in de nacht gedaan, wanneer er weinig verkeer is rondom de brug. Met meerdere lassers wordt zo efficiënt mogelijk omgegaan met de beschikbare tijd.

Er moet zo'n 1075 meter aan las vervangen worden. Stel dat er 5 lassers zijn en er 5 meter gelast kan worden per uur. Dan moet er 43 uur gelast worden door de 5 lassers. Dit zijn 9 nachten van 5 uur

werktijd. Om alle lassen te vervangen. Door de hinder die hierdoor ontstaat is de score van deze variant even groot als de andere twee varianten.

Vervolgonderzoek is aanbevolen om de hinder te vermindering tijdens uitvoering. Ook kan nog gekeken worden naar andere oplossingen, beschreven in Hoofdstuk 2.2.1.

Duurzaamheid

Deze criteria wordt uitgedrukt in het hoeveelheid materiaal er moet worden gebruikt tijdens de aanschaffing en levenscyclus. Ook is er bij minder materiaalafval een betere score. Variant 1 maakt een geheel nieuw brugdek, waarbij het oude brugdek wordt weggehaald. De score is het slechtst bij deze variant.

Variant 1a heeft een gedeeltelijk nieuw brugdek, terwijl geen gebruik wordt gemaakt van het staal de troggen en dekplaat. Er wordt wel gebruik gemaakt van de dwarsdragers en hoofdliggers. Echter is er ook een tijdelijke brug nodig. De slechtste score is daarom gegeven voor deze criteria.

Variant 2 maakt heeft effectiefst gebruik van de bestaande brug. Het minste afval ontstaat en het minste materiaal wordt gebuikt. Daarom krijgt deze variant de beste score onder deze criteria.

Vervolgonderzoek kan gedaan worden om de duurzaamheid rondom alle varianten te verbeteren.