

Kunstwerk over de Sluiskiltunnel

Afstudeeronderzoek naar het constructief mogelijk maken
van de kruising tussen het spoor en de Sluiskiltunnel

Student:	Nigel Wiesemann
Studentnummer:	00078163
Onderwijsinstelling:	HZ University of Applied Sciences
Opleiding:	Civiele Techniek
Datum:	17-6-2022
Versie:	1.0
Status:	Definitief

Afstudeeronderzoek

Kunstwerk over de Sluiskiltunnel

Stageperiode: 7 februari 2022 – 1 juli 2022

Plaats van uitgave: Vlissingen, Nederland

Publicatiedatum: 17 juni 2022

Opgesteld door:

Naam: N. (Nigel) Wieseemann
Studentnummer: 00078163
E-mail: wies0005@hz.nl

Stagebedrijf:

Naam: Sweco Nederland B.V. (Middelburg)
Adres: Buitenruststraat 225, 4337ER Middelburg
Telefoonnummer: +31 (0) 88 811 6600
Website: www.sweco.nl
Stagebegeleiders: J. Gillissen
T. de Grootte

Onderwijsinstelling:

Naam: HZ University of Applied Sciences
Adres: Het Groene Woud 1-3, 4331 NB Middelburg
Telefoonnummer: 0118 - 489890
Website: www.hz.nl
Opleiding: Civiele Techniek
Begeleidend docent: A. Repko
2^{de} examinerator: P.J.M. Hopmans



Voorwoord

Voor u ligt mijn onderzoeksrapport naar het ontwerp voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel. Dit onderzoek is uitgevoerd als afstudeeronderzoek ter afronding van de opleiding Civiele Techniek aan de HZ University of Applied Sciences. Dit onderzoek is uitgevoerd in de periode van februari 2022 tot juli 2022.

Het onderzoek heb ik uit kunnen voeren bij het stagebedrijf Sweco Nederland en in opdracht van North Sea Port. Dit onderzoek is uitgevoerd naar een onderdeel binnen het project Rail Ghent-Terneuzen als vervolg op het vooronderzoek en ter voorbereiding op de plan-uitwerkingsfase van het project.

Allereerst wil ik Sweco bedanken voor het bieden van de stageplaats en het mogelijk maken van dit afstudeeronderzoek. In het bijzonder wil ik Joren Gillissen en Tim de Groote bedanken voor de inhoudelijke begeleiding vanuit Sweco gedurende het onderzoek. Door hun kennis en ervaring heb ik het onderzoek goed op kunnen starten waar ik de gehele periode profijt van heb gehad. De expertise van Joren op het gebied van onderzoek en het schrijven van het onderzoeksrapport, samen met de constructieve begeleiding van Tim bij het maken van de constructieve berekeningen, hebben bijgedragen aan een succesvol afstudeeronderzoek.

Daarnaast wil ik Hans de Meij van North Sea Port bedanken voor zijn bijdrage aan het onderzoek als opdrachtgever. Doordat er de mogelijkheid was de input van een opdrachtgever mee te nemen heb ik een beter onderzoek kunnen uitvoeren. Ik hoop daarmee ook dat dit onderzoek op een manier een toevoeging is voor de verdere uitwerking van het project Rail Ghent-Terneuzen. Ook wil ik Dennis Vlassenrood van de Westerscheldetunnel bedanken voor het ter beschikking stellen van de documenten van de Sluiskiltunnel die nodig waren om het onderzoek uit te kunnen voeren.

Verder wil ik mijn stagebegeleider vanuit de HZ University of Applied Sciences bedanken. Albert Repko heeft met zijn kritische feedback, oplossingen en aanvullingen het onderzoek in de juiste richting geleid en meer diepgang gegeven. En mij met zijn enthousiasme gemotiveerd er een beter onderzoek van te maken.

Tot slot wil ik de collega's van de teams Urban Projects en Bouw bedanken voor de leerzame maar bovendien leuke periode. Tot slot wil ik alle andere collega's die een bijdrage hebben geleverd aan het onderzoek ook bedanken.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Nigel Wiesemann

Vlissingen, 17 juni 2022

Abstract

North Sea Port heeft samen met een groot aantal stakeholders in de regio het project Rail Ghent-Terneuzen in gang gezet. Een onderdeel binnen het project is de Zuidoostboog nabij de Sluiskilbrug. De nieuw aan te leggen spoorboog kruist het tracé van de Sluiskiltunnel, uit vooronderzoek blijkt dat de tunnelconstructie niet in staat is de belasting van een extra spoor en baanlichaam af te dragen, daarom wil men een kunstwerk over de Sluiskiltunnel realiseren. In dit afstudeeronderzoek is gekeken naar de uitwerking van de meest geschikte variant voor de bovenbouw van dit spoorkunstwerk. Dit is gedaan in opdracht van North Sea Port en bij advies- en ingenieursbureau Sweco.

Het doel van het onderzoek is het selecteren van het meest geschikte ontwerp voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel. Dit wordt gedaan aan de hand van de volgende hoofdvraag:

‘Wat is het meest geschikte ontwerp voor de bovenbouw van het kunstwerk over de Sluiskiltunnel in het infra-element de Zuidoostboog wat het kruisen van het spoortracé en de Sluiskiltunnel constructief mogelijk maakt?’

Er is een voorstudie gedaan waarin de randvoorwaarden, beperkingen en het programma van eisen zijn vastgesteld. Tot slot zijn er twee potentiële varianten geselecteerd voor verdere uitwerking. Dit is gedaan op basis van literatuuronderzoek en in overleg met experts. De geselecteerde varianten voor het kunstwerk zijn een trogbrug en staal-betonbrug.

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn de twee varianten verder uitgewerkt. Allereerst is er een globaal ontwerp samengesteld aan de hand van de eisen en voorschriften. Dit ontwerp is op globaal niveau constructief uitgewerkt en getoetst volgens de Eurocode. Vervolgens is in een variantenstudie aan de hand van een multicriteria-analyse de meest geschikte variant geselecteerd. Dit is gedaan op basis van bouw-kosten, duurzaamheid en de uitvoerbaarheid. Uit de variantenstudie blijkt dat de kosten voor de staal-betonbrug het hoogst zijn. Daarentegen is de milieu-impact van de trogbrug hoger dan bij staal-beton. Tot slot is de uitvoerbaarheid vastgesteld, daaruit volgt dat de uitvoeringstijd en kwaliteit bij de prefab staal-betonbrug gunstiger is dan bij de in het werk gestorte trogbrug. Uit de multicriteria-analyse volgt op basis van afweging van de criteria dat de staal-betonbrug de hoogste score behaalt, waarmee tevens de hoofdvraag wordt beantwoord. Deze definitieve variant is vervolgens uitgewerkt op een constructieve tekening.

In dit onderzoek is enkel het scenario beschouwd waarin de Sluiskiltunnel niet belast kan worden, een globale berekening heeft indicatief aangegeven dat dit niet mogelijk is. Aanbevolen wordt dan ook om de mogelijkheid tot het belasten van de tunnel uitgebreid en volledig te onderzoeken. Verder wordt aanbevolen naast de drie beschouwde criteria ook andere relevante criteria zoals veiligheid en onderhoud mee te nemen.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Abstract.....	4
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond van het project	7
1.2 Probleemanalyse	8
1.3 Probleemstelling	10
1.4 Onderzoekskader	10
1.5 Onderzoeksdoelstelling	10
1.6 Onderzoeksvragen	11
1.7 Leeswijzer	11
2 Theoretisch kader	12
2.1 Algemene beschrijving situatie	12
2.2 Stakeholdersanalyse	14
2.2.1 Analyse	14
2.2.2 Matrix	15
2.2.3 Overzicht stakeholders	16
2.3 Randvoorwaarden & beperkingen	18
2.3.1 Vooronderzoek	18
2.3.2 Tracé Zuidoostboog	18
2.3.3 Sluiskiltunnel.....	19
2.3.4 Spoorbrug.....	20
2.3.5 Ondergrondgegevens.....	20
2.3.6 Normen en richtlijnen	22
2.4 Programma van eisen	22
2.4.1 Functionele eisen	22
2.4.2 Technische eisen	24
2.5 Ontwerpvarianten	25
3 Methodologie	27
3.1 Onderzoeksmethode	27
3.2 Dataverzameling.....	27
3.3 Onderzoeksinstrumenten	28
3.4 Onderzoeksstrategie	28
3.4.1 Beantwoorde deelvragen	28
3.4.2 Nog te beantwoorden deelvragen	29
4 Resultaten	34
4.1 Inleiding	34
4.2 Aanvulling programma van eisen	35
4.3 Eerste ontwerp	36
4.4 Constructieve toetsing	40
4.4.1 Uitgangspunten	40
4.4.2 Belastingen en belastingcombinaties	40
4.4.3 Trogbrug.....	42
4.4.4 Staal-betonbrug.....	45
4.5 Bouwkosten, duurzaamheid & uitvoerbaarheid.....	47
4.5.1 Hoeveelheden	47
4.5.2 Bouwkosten	47
4.5.3 Duurzaamheid	49

4.5.4	Uitvoerbaarheid	50
4.6	Multicriteria-analyse.....	53
5	Discussie	56
6	Conclusie	58
7	Aanbeveling.....	59
8	Bibliografie.....	60
9	Appendix.....	63
	Bijlage A: Tekeningen.....	63
	Bijlage B: Grondgegevens	64
	Bijlage C: Literatuurstudie varianten.....	68
	Bijlage D: Globale berekening Sluiskiltunnel.....	78
	Bijlage E: Besprekingsverslagen	79
	Bijlage F: Aanvulling programma van Eisen.....	80
	Bijlage G: Globale berekening trogbrug	85
	Bijlage H: Globale berekening staal-betonbrug.....	86
	Bijlage I: Hoeveelheden.....	87
	Bijlage J: Kostenramingen	88
	Bijlage K: DuboCalc duurzaamheidsberekening	89
	Bijlage L: Excel spreadsheets	92

1 Inleiding

1.1 Achtergrond van het project

De fusie tussen Havenbedrijf Gent en Zeeland Seaports tot North Sea Port was op 1 januari 2018 officieel. Het havengebied Gent-Terneuzen was nu een grensoverschrijdend havengebied, met de derde plaats van de Europese havens op basis van de toegevoegde waarde. Met als potentie het ontwikkelen van het gebied Gent-Terneuzen tot een economische regio. De diverse ontwikkelingen in het havengebied zijn al in volle gang, zoals de aanleg van het nieuwe sluisencomplex bij Terneuzen, de verbreding van de Tractaatweg en uitgifte van nieuwe bedrijfslocaties. Daarnaast het bundelen van de havens Gent en Terneuzen, wat schaalvoordelen met zich meebrengt (Rail Ghent-Terneuzen, sd).

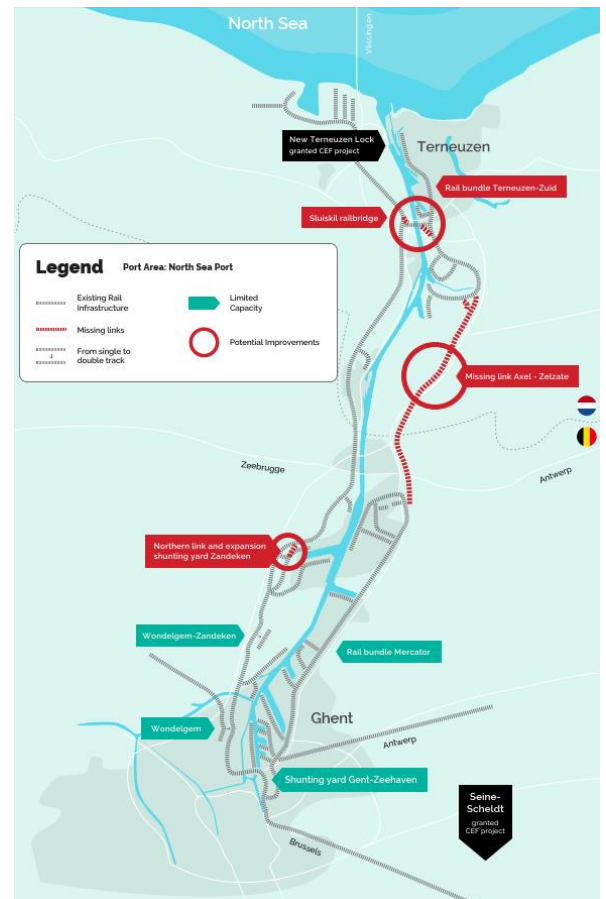
Deze ontwikkelingen en de groei van het havengebied leidt tot meer goederenoverslag en -verkeer in de haven. Hierdoor ontstaat een grotere belasting op de huidige railinfrastructuur. Echter is het spoornetwerk niet voorbereid op het groeiende verkeer. De capaciteit van het spoor is in de huidige situatie beperkt, niet efficiënt en onbetrouwbaar. Indien het havengebied zich wil ontwikkelen als één grensoverschrijdende economische regio is een goede spoorinfrastructuur een must (Arcadis, 2019).

North Sea Port heeft samen met een groot aantal stakeholders in de regio, provinciale en landelijke overheid van Nederland en België de handen ineengeslagen om te gaan werken aan de verbetering van de spoorinfrastructuur. Samen met financiering van Europa is het project 'Rail Ghent-Terneuzen' (RGT) opgezet om te investeren in het huidige spoornetwerk, de knelpunten weg te nemen en het netwerk volwaardig en robuust te maken voor de lange termijn. In Figuur 1 is een overzicht van de knelpunten en mogelijke verbeteringen weergegeven die zijn opgenomen in het project RGT (Rail Ghent-Terneuzen, sd).

In februari 2021 is een intentieovereenkomst ondertekend tussen alle betrokken stakeholders van het project. Dit betekent de afronding van de eerste fase van het project en de start van de project ontwikkelingsfase. In deze fase worden de volgende infra-elementen verder uitgewerkt:

- Zuidoostboog nabij Sluiskilbrug
- Noordelijke aansluiting Zandeken
- Spoorverbinding Axel – Zelzate

Naar deze infra-elementen is door Arcadis een vooronderzoek uitgevoerd. Het doel van deze studies was het bepalen van de haalbaarheid, de effecten en de risico's van deze infra-elementen. Het bepalen van het meest optimale ontwerp was niet het doel van deze studies. Er zijn uitgangspunten en schetsontwerpen vastgesteld om de haalbaarheid te toetsen. Echter moest er ruimte overblijven ter optimalisatie tijdens de project ontwikkelingsfase.



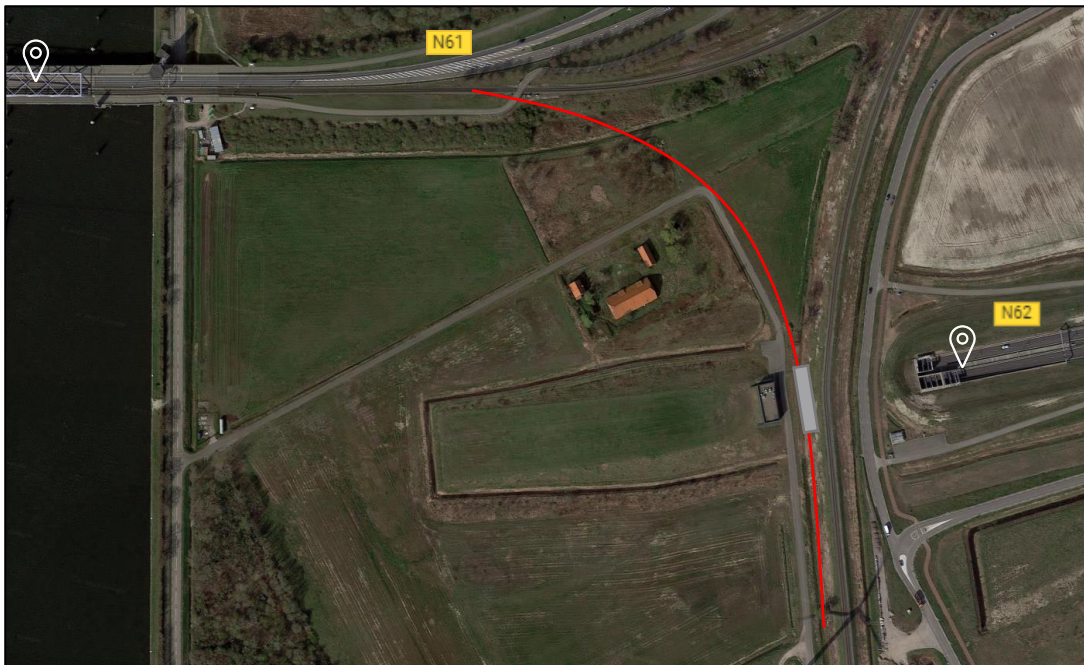
Figuur 1: Overzicht spoornetwerk Gent-Terneuzen met beoogde infrastructuur projecten in het rood. (Rail Ghent-Terneuzen, sd)

In dit onderzoek wordt gekeken naar de volgende fase van het infra-element de Zuidoostboog. Er wordt een ontwerp voor het kunstwerk in het infra-element vastgesteld. Het doel van het infra-element is het zorgen voor een directe verbinding tussen de Sluiskilbrug en de Axelse Vlake. In de huidige situatie moeten goederentreinen eerst omkeren in Terneuzen, wanneer ze van en naar de Axelse Vlake willen. Daarnaast is de Axelse Vlake niet rechtstreeks te bereiken vanaf de westzijde van het kanaal. De aanleg van de Zuidoostboog moet dit knelpunt oplossen (Arcadis, 2019).

1.2 Probleemanalyse

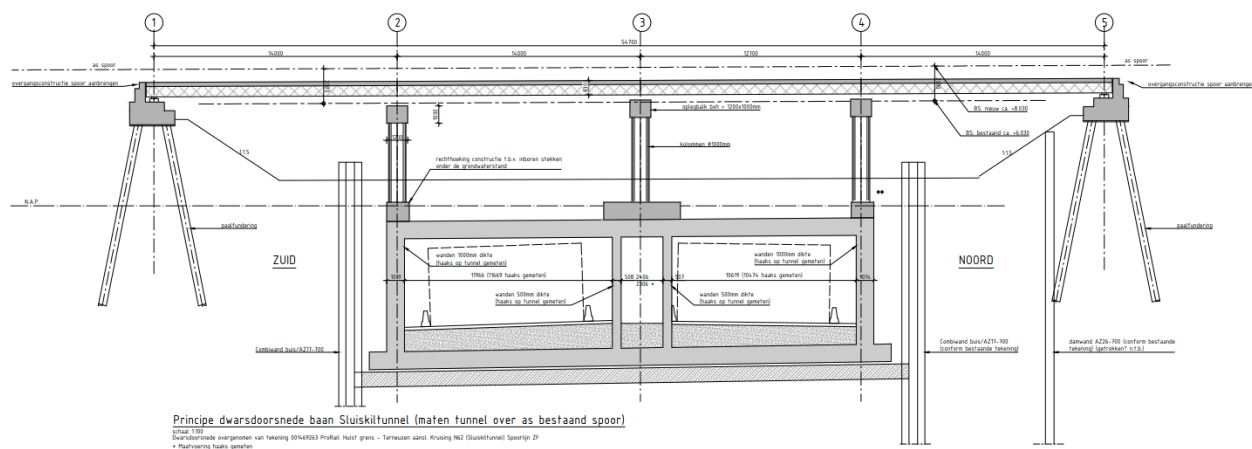
De projectlocatie is gelegen in het buitengebied tussen Terneuzen en Sluiskil. In Figuur 2 is een bovenaanzicht van de projectlocatie weergegeven. Links-boven in de figuur is een deel van de Sluiskilbrug te zien die over het kanaal Gent-Terneuzen gaat. Het bestaande spoor, wat zorgt voor de verbinding tussen de twee havengebieden aan de noord- en zuidzijde, loopt evenwijdig langs de weg aan de rechterzijde. De aansluiting op de Sluiskilbrug vanuit het noorden loopt aan de onderzijde van de N61.

In Figuur 2 is met de rode lijn het tracé van de nieuw aan te leggen spoorboog illustratief weergegeven. Dit tracé is reeds bepaald in het vooronderzoek. Het tracé van de nieuw aan te leggen spoorboog kruist de Oost-ingang van de Sluiskiltunnel die ten zuiden ligt van het tracé van de hoofdweg N61. De Oost-ingang van de tunnel is te zien aan de rechterzijde van de figuur, waar de N62 onder maaiveld verdwijnt. De locatie van het aan te leggen kunstwerk is door middel van het grijze vlak aangegeven (Google, sd).

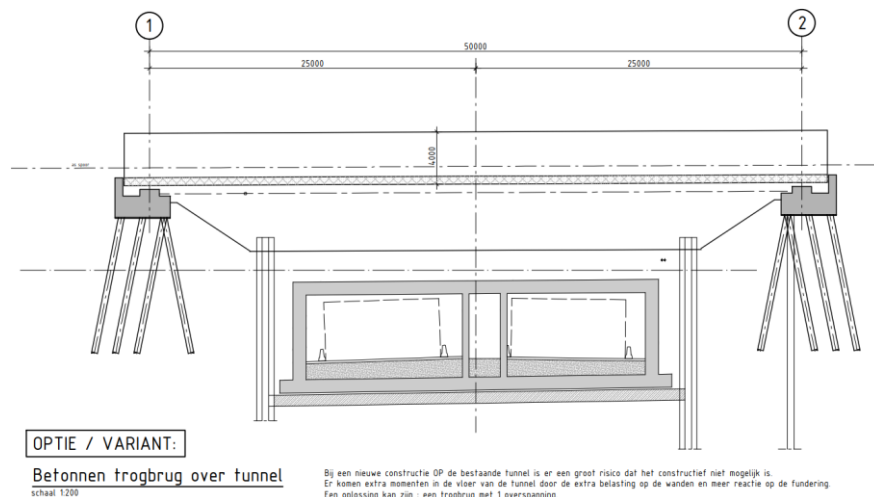


Figuur 2: Huidige situatie project gebied. (Google, 2020)

In het vooronderzoek is als uitgangspunt aangenomen dat de Sluiskiltunnel niet is ontworpen op de belasting van een extra spoor en baanlichaam, dus zonder nieuw kunstwerk. Om deze kruising constructief mogelijk te maken, is het infra-element voorzien op een kunstwerk over de Sluiskiltunnel. Van dit kunstwerk zijn in het vooronderzoek twee concepten opgesteld. Eén waarbij het kunstwerk door middel van steunpunten afdraagt op de Sluiskiltunnel en een variant waarbij de brug vrij over de Sluiskiltunnel gaat en de tunnel niet extra belast. Deze ontwerpen zijn in Figuur 3 en Figuur 4 weergegeven. Verder onderzoek moet uitwijzen of de tunnel en onderliggende fundering geschikt is als tussensteunpunt (Arcadis, 2019).



Figuur 3: Schetsontwerp langsdoorsnede spoorbrug met steunpunten op de Sluiskiltunnel. (Bos, 2018)



Figuur 4: Schetsontwerp langsdoorsnede spoorbrug over de Sluiskiltunnel. (Bos, 2018)

In opdracht van North Sea Port is dit onderzoek naar een technische oplossing voor het kunstwerk in het infra-element de Zuidoostboog uitgevoerd. Dit onderzoek is bij- en in samenwerking met advies- en ingenieursbureau Sweco uitgevoerd. De input van North Sea Port en het vooronderzoek (uitgevoerd door Arcadis) zijn meegenomen.

1.3 Probleemstelling

De probleemstelling is als volgt: De Sluiskiltunnel maakt het onmogelijk om de nodige kruising van aan te leggen spoorweginfra-element met een baanlichaam te kunnen realiseren.

Het spoorweginfra-element de Zuidoostboog kruist het tracé van de Sluiskiltunnel. Uit vooronderzoek blijkt dat de tunnelconstructie niet in staat is de belasting van een extra spoor en baanlichaam af te dragen, daarom wil men een kunstwerk over de Sluiskiltunnel realiseren. In opdracht van North Sea Port is er reeds onderzoek gedaan naar twee varianten van een brugconstructie. Echter zijn er nog onvoldoende onderzoeksresultaten om tot een definitief ontwerp te komen.

1.4 Onderzoekskader

In het vooronderzoek van Arcadis wordt gesteld dat de Sluiskiltunnel wellicht als tussensteunpunt kan dienen voor het kunstwerk. Echter dient de bestaande constructie hier eerst op getoetst te worden. In het vooronderzoek van Arcadis bestaat twijfel over de haalbaarheid, wellicht is er versterking van de tunnel nodig. In dit onderzoek is een globale berekening gemaakt voor de fundering van de tunnel, deze is terug te vinden in Bijlage D: Globale berekening Sluiskiltunnel. Deze berekening geeft indicatief aan dat het afsteunen op de tunnel waarschijnlijk niet haalbaar is. Een uitgebreide constructieve toetsing is nodig om echte conclusies te kunnen trekken. Daarnaast is hoogstwaarschijnlijk het aanbrengen van versterking nodig, om het afsteunen mogelijk te maken. Echter gezien de hoeveelheid werk en de beperkte tijd valt dit buiten de scope van het onderzoek. Daarom is de tunnel niet als tussensteunpunt meegenomen.

Daarnaast wordt de uitwerking van de varianten beperkt tot enkel de bovenbouw van het kunstwerk. Dit is gezien de complexiteit in combinatie met de beschikbare tijd realistisch om uit te werken. De landhoofden en de fundering van het kunstwerk valt buiten de scope van het onderzoek.

Vanuit de onderwijsinstelling is er een richtlijn voor de lengte van het onderzoek van ongeveer 60 pagina's.

1.5 Onderzoeksdoelstelling

Het doel van het onderzoek is het uitwerken van het meest geschikte ontwerp voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel. Het doel van deze kunstwerken is een veilige kruising tussen het spoortracé en de Sluiskiltunnel creëren. Dit wordt bereikt door eerst de uitgangspunten voor het ontwerp van het kunstwerk vast te stellen. Vervolgens worden verschillende varianten voor het kunstwerk beschouwd. Hiervan worden de twee met de meeste potentie geselecteerd. Deze varianten worden vervolgens verder uitgewerkt. Tot slot wordt op basis van kwantitatief onderzoek het meest geschikte ontwerp voor het kunstwerk gekozen.

1.6 Onderzoeksvragen

In het onderzoek staat de volgende hoofdvraag centraal:

‘Wat is het meest geschikte ontwerp voor de bovenbouw van het kunstwerk over de Sluiskiltunnel in het infra-element de Zuidoostboog wat het kruisen van het spoortracé en de Sluiskiltunnel constructief mogelijk maakt?’

Het meest geschikte ontwerp voor de bovenbouw wordt geselecteerd op basis van drie criteria: kosten, duurzaamheid en uitvoerbaarheid.

De volgende deelvragen worden gebruikt om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden en/of verduidelijken:

- Hoe ziet de huidige situatie eruit?
- Wie zijn de stakeholders van het project?
- Met welke randvoorwaarden en beperkingen moet rekening gehouden worden?
- Aan welke functionele en technische eisen moeten de ontwerpvarianten voldoen?
- Welke wet- en regelgeving is van toepassing?
- Welke oplossingen zijn er voor het kunstwerk volgens voorbeelden uit de praktijk?
- Welke varianten hebben potentie voor verdere uitwerking?
- Hoe ziet de variantenafweging eruit?
- Welke variant is het meest geschikt?
- Hoe ziet de definitieve en het meest geschikte ontwerp voor de bovenbouw van het kunstwerk eruit?

1.7 Leeswijzer

In dit onderzoeksrapport wordt allereerst het theoretisch kader toegelicht. Hierin zijn de huidige situatie, stakeholdersanalyse, randvoorwaarden en beperkingen, het programma van eisen en de geselecteerde ontwerpvarianten beschreven. Dit hoofdstuk geeft daarmee reeds antwoord op de eerste zeven deelvragen.

Het derde hoofdstuk biedt een beschrijving van de methodologie en geeft antwoord op de achtste deelvraag. De methode geeft toelichting op de onderzoeksmethode, wijze van dataverzameling, toegepaste onderzoeks-instrumenten en tot slot de onderzoeksstrategie. In de onderzoeksstrategie wordt een onderscheid gemaakt tussen de reeds beantwoorde deelvragen en nog te beantwoorden deelvragen.

De onderzoeksresultaten worden besproken in hoofdstuk vier, resultaten. Gevolgd door de discussie van de onderzoeksresultaten in hoofdstuk vijf. Vervolgens wordt in hoofdstuk zes, conclusie, de hoofdvraag van het onderzoek beantwoord. Het zevende en laatste hoofdstuk biedt een aanbeveling voor eventueel toekomstig onderzoek. Tot slot worden in de bijlagen de aanvullende en overige onderzoeken en documenten met betrekking tot dit onderzoek opgenomen.

2 Theoretisch kader

2.1 Algemene beschrijving situatie

In deze paragraaf wordt een beschrijving gegeven van de projectlocatie en de huidige situatie met betrekking tot het vooronderzoek. In het vorige hoofdstuk is bij de achtergrond van het project en de probleemanalyse al kort ingegaan op deze punten. In dit hoofdstuk wordt verdere toelichting gegeven.

Allereerst is er de Sluiskiltunnel, waarvan de oostzijde zich binnen het projectgebied bevindt. Het geboorde deel van de tunnel loopt vanuit westelijke richting van onder het kanaal Gent-Terneuzen tot aan het technisch gebouw van de tunnel. Het geboorde deel van de tunnel gaat ter plaatse van het gebouw over in de ingangsconstructie van de tunnel, dit deel wordt ook wel de tunnelbak genoemd (H. de Meij, persoonlijke communicatie, 16 februari 2022).

Over de het dak van de tunnelbak loopt een bestaande spoorrails. Deze was al aanwezig voor de aanleg van de tunnel en moest behouden blijven in de nieuwe situatie over de tunnel. Tijdens het ontwerp van de tunnel is rekening gehouden met deze spoorlijn. Het baanlichaam en het spoor liggen hier wel zonder kunstwerk rechtstreeks op het dak van de tunnelbak. Het dak is ter plaatse zwaarder uitgevoerd om deze extra belasting op te kunnen nemen. Daarnaast is onder de tunnelbak ook een fundering aanwezig. In Figuur 5 is een foto weergegeven van de realisatie van de tunnelbak aan de oostzijde van de tunnel. Hierop zijn de bestaande spoorlijn en fundering van het technisch gebouw te zien (H. de Meij, persoonlijke communicatie, 16 februari 2022 & (Google, sd).

Het technisch gebouw van de tunnel bevindt zich op het overgangspunt van de tunnelbak naar het geboorde deel van de tunnel. Het gebouw is zo'n 28 meter lang en 11-14 meter breed. Tussen het technisch gebouw en de bestaande spoorlijn loopt de Lange Blikstraat. In Figuur 6 is van links naar rechts het technisch gebouw, de Blikstraat en de bestaande spoordijk weergegeven. Het te realiseren kunstwerk komt aan de linkerzijde van het bestaande spoor te liggen, dus tussen de weg en de spoordijk in. De ruimte tussen deze twee objecten is in de huidige situatie maximaal 25,5 meter en minimaal 23,5 meter, hierin is de vrije ruimte langs het spoor en de weg niet meegenomen (Google, sd).

Gedurende het vooronderzoek is een technische studie gedaan naar de verschillende infra-elementen. Dit onderzoek is inmiddels afgerond en het project gaat naar de plan- uitwerkingsfase. In deze fase wordt naar de uitwerking van de infra-elementen gekeken (Rail Ghent Terneuzen, sd).

In het vooronderzoek is een afweging gemaakt voor het ontwerp van het tracé van de spoorboog. Er zijn twee varianten ontwikkeld voor het kruisen van de spoorboog met de Sluiskiltunnel. Een variant voorlangs het technisch gebouw



Figuur 5: Aanleg tunnelbak oost-ingang van de Sluiskiltunnel. Te zien is het bestaande spoor over de tunnel in de tijdelijke situatie en aan de onderzijde de betonnen fundering van het technisch gebouw. (Bijl, 2013)



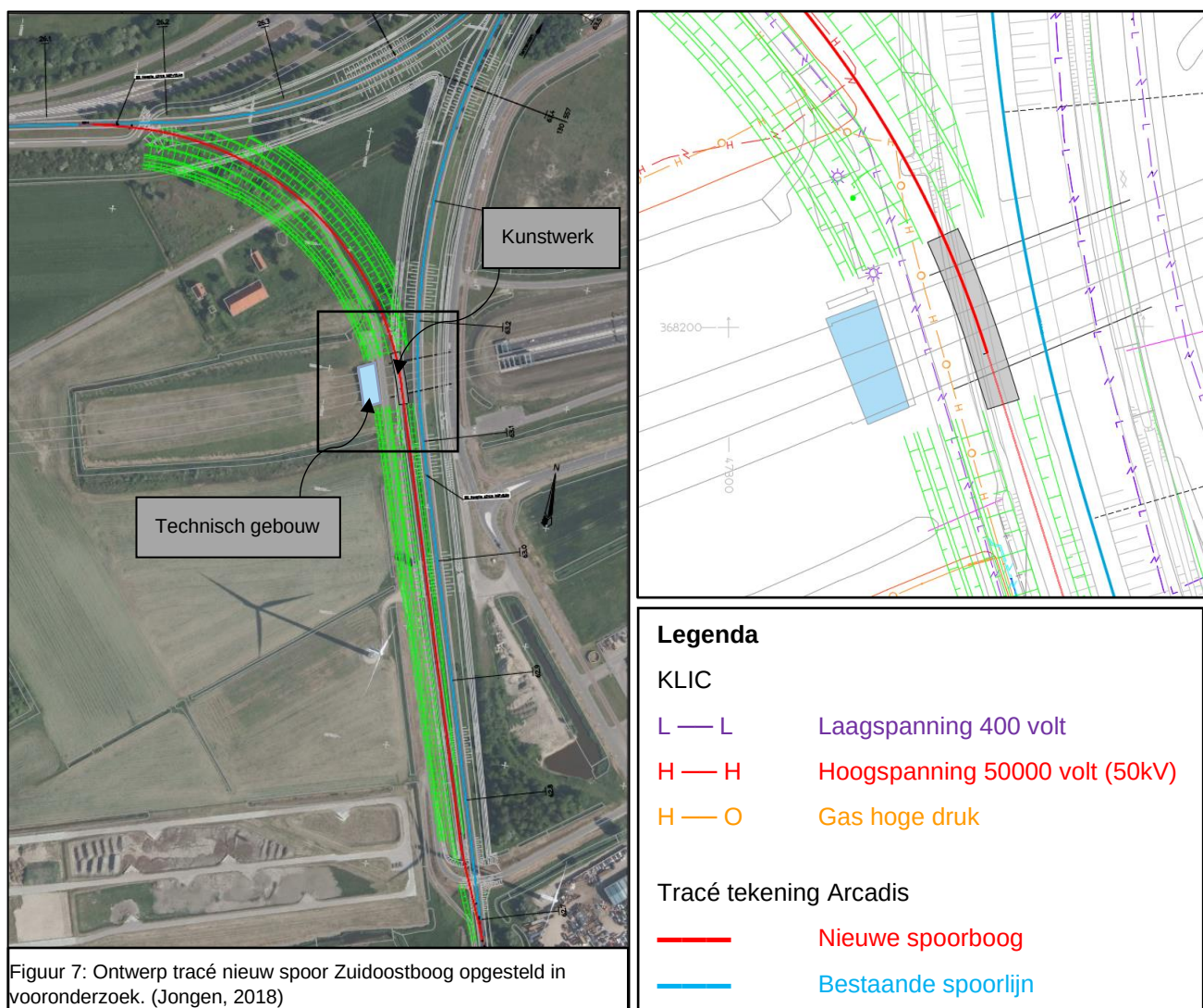
Figuur 6: Locatie technisch gebouw, Lange blikstraat en bestaande spoordijk. (Google, 2021)

van de Sluiskiltunnel en achterlangs. De voorkeursvariant was voorlangs het gebouw. Er bleek voldoende ruimte tussen de bestaande spoorlijn en het technisch gebouw. Er is dus besloten het tracé daar neer te leggen.

Een overzicht van dit tracé is weergegeven in Figuur 7. Dit is een deel van tekening RGT-3bA3, opgesteld tijdens het vooronderzoek. De volledige tekening is in Bijlage A: Tekeningen terug te vinden (Arcadis, 2019).

Verder is in het vooronderzoek geconstateerd dat de Sluiskiltunnel niet is voorbereid op een extra belasting van een spoor en baanlichaam. Om deze reden is voorzien een kunstwerk te realiseren over de Sluiskiltunnel (Arcadis, 2019).

In het gebied zijn diverse kabels en leidingen aanwezig. Door middel van een KLIC zijn deze geïdentificeerd. Voorlangs het technisch gebouw loopt een 50 kV kabel. Deze komt tussen het gebouw en het kunstwerk te liggen en vormt geen hinder voor de realisatie van het kunstwerk. De kabel loopt verder door naar het noorden en kruist daar het spoor en baanlichaam. Deze kabel dient verlegd of beschermd te worden. Verder is er ook een hogedruk gasleiding in het gebied aanwezig, deze dient extra beschermd te worden (Arcadis, 2019).



2.2 Stakeholdersanalyse

De stakeholders zijn de mensen en/of instanties die een aandeel en/of belang hebben in het project. Dit zijn partijen die direct of indirect te maken hebben met het project Rail Ghent-Terneuzen en daarmee ook de aanleg van het kunstwerk over de Sluiskiltunnel. De mensen of instanties die gevolgen ondervinden van de werkzaamheden en het resultaat van het project vallen ook onder de stakeholders.

De stakeholders zijn voor het project van groot belang, aangezien ze nauw betrokken zijn of willen zijn bij het project. Er is echter een verschil tussen de mate van invloed die een stakeholder op het project kan uitvoeren. In de stakeholdersanalyse is aangegeven welke partijen betrokken zijn bij de uitvoering van het project en welke invloed de verschillende stakeholders daarop hebben.

2.2.1 Analyse

Een overzicht van de stakeholders van het project Rail Ghent-Terneuzen is in Tabel 1 weergegeven. Hierin zijn de stakeholders opgenomen die tot nu toe bekend zijn als betrokken bij het project. Voor de verschillende stakeholders is de mate van interesse aangegeven, de mate van invloed die ze hebben op het project en of ze tevreden (+), neutraal (o) of ontevreden (-) zijn opgesteld ten aanzien van het kunstwerk over de Sluiskiltunnel. De punten zijn toegekend op basis van de stakeholder omschrijving in paragraaf 2.2.3.

Deze analyse is gericht op het kunstwerk over de Sluiskiltunnel en niet het project Rail Ghent-Terneuzen in zijn geheel. Sommige stakeholders kunnen een grote interesse hebben in het project Rail Ghent-Terneuzen echter een kleinere interesse in het kunstwerk over de Sluiskiltunnel.

Tabel 1: Overzicht van de stakeholders met hun interesse en invloed.

Stakeholders:	Belang (groot/klein)	Invloed (groot/klein)	Houding
<i>Projectpartners:</i>			
North Sea Port	Groot	Groot	+
Gemeente Terneuzen	Groot	Groot	+
Stad Gent	Klein	Klein	+
Provincie Zeeland	Groot	Groot	+
Provincie Oost-Vlaanderen	Klein	Klein	+
<i>Overheden:</i>			
Nederlandse Ministerie Infrastructuur en Waterstaat	Klein	Groot	+
Federale Overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer	Klein	Klein	+
Vlaamse departement Mobiliteit en Openbare werken	Klein	Klein	+

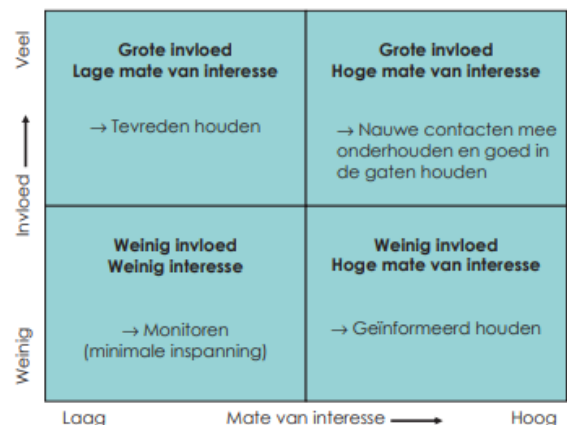
<i>Spoorwegen:</i>			
ProRail	Groot	Groot	+
Infrabel	Klein	Klein	0
<i>Omgeving:</i>			
Waterschap Scheldestromen	Klein	Groot	0
(Haven)bedrijven in de regio	Groot	Klein	+
N.V. Westerscheldetunnel	Groot	Klein	0
Zeeuwse Milieufederatie	Groot	Klein	+
Netbeheerders	Groot	Klein	0

Bron: (Rail Ghent Terneuzen, sd) & (Rail Ghent-Terneuzen, sd).

2.2.2 Matrix

In Tabel 1 is een overzicht gemaakt van de betrokken stakeholders van het project. Per stakeholder is het belang en de invloed die ze hebben aangegeven. De mate waarin ze een belang en invloed hebben bepaald de benadering die voor deze stakeholders van toepassing is. Om inzichtelijk te krijgen welke benadering voor welke stakeholder van toepassing is, zijn de stakeholders in vier categorieën verdeeld. Dit is gedaan aan de hand van een stakeholdersmatrix, een voorbeeld hiervan is weergegeven in Figuur 8. De stakeholders worden op de mate van het belang en invloed ingedeeld, de houding van de stakeholder heeft hier geen verdere invloed op:

- Groot belang en grote invloed → Rechtsboven
- Groot belang en kleine invloed → Rechtsonder
- Klein belang en grote invloed → Linksboven
- Klein belang en kleine invloed → Linksonder



Figuur 8: Voorbeeld stakeholdersmatrix. (van Gils, 2011)

De stakeholdersmatrix voor dit project is weergegeven in Tabel 2. Hieronder wordt verdere toelichting gegeven bij de vier categorieën. Voor de resultaten en toepassing van Tabel 2 in het vervolgonderzoek wordt verwezen naar paragraaf 2.2.3.

In de categorie rechtsboven bevinden zich de belangrijkste stakeholders. Met deze stakeholders moet nauw contact worden onderhouden en het monitoren van deze stakeholders is belangrijk. Deze stakeholders hebben namelijk een groot belang en kunnen ook veel invloed uitoefenen. Dit zijn dan ook vaak de sleutelfiguren van het project, ze kunnen eisen stellen en invloed hebben op beslissingen of deze juist zelf maken.

Dan zijn er nog de stakeholders die geïnformeerd gehouden moeten worden. Dit zijn stakeholders die veel belang hebben bij het project, echter hebben ze niet veel invloed. Door deze stakeholders goed te informeren blijven ze betrokken en op de hoogte. Dit voorkomt conflicten en zo blijven ze betrokken.

De stakeholders met veel invloed en weinig interesse vallen in het vak linksboven. Het is belangrijk deze groep tevreden te houden, zodat ze niet een groter belang krijgen bij het project.

De laatste categorie zijn de stakeholders met weinig invloed en belang. Met deze partijen moet relatief weinig rekening gehouden worden. Doordat ze een klein belang hebben en weinig invloed hebben is het continu informeren niet nodig. Het monitoren van deze stakeholders is voldoende.

Tabel 2: Stakeholdersmatrix

↑ Veel Invloed ↓ Weinig	<u>Stakeholders die tevreden gehouden moeten worden:</u> - NL Ministerie Infrastructuur en Waterstaat - Waterschap Scheldestromen	<u>Stakeholders waarmee contact moet worden onderhouden:</u> - North Sea Port - Gemeente Terneuzen - Provincie Zeeland - ProRail
	<u>Stakeholders die gemonitord moeten worden:</u> - Stad Gent - Provincie Oost-Vlaanderen - FOD Mobiliteit en Vervoer - Vlaamse dep. Mobiliteit en Openbare werken - Infrabel	<u>Stakeholders die geïnformeerd moeten worden:</u> - (Haven)bedrijven in de regio - N.V. Westerscheldetunnel - Zeeuwse Milieufederatie - Netbeheerders
	Weinig Belang → Veel	

2.2.3 Overzicht stakeholders

In deze paragraaf wordt per stakeholder of per categorie stakeholders een verdere toelichting gegeven waarom ze betrokken zijn bij het project. Daarnaast is ook aangegeven op welke manier er met deze stakeholders contact en waar rekening mee gehouden moet worden. De vier categorieën zoals toegepast in Tabel 2 zijn aangehouden.

Stakeholders waarmee contact moet worden onderhouden

North Sea Port, de Gemeente Terneuzen en de Provincie Zeeland zijn onderdeel van de projectpartners aan Nederlandse zijde. Vanzelfsprekend hebben ze dus een groot belang en invloed bij de realisatie van het project.

North Sea Port is het grensoverschrijdende havenbedrijf en is de 'sponsor' van het project, aangezien ze als havengebied en de havenbedrijven daarbinnen groot belang hebben bij de uitvoering van het project. Samen met ProRail en Infrabel wordt een externe projectorganisatie gevormd voor de uitvoering van het project. De realisatie van het kunstwerk in de zuidoostboog is op Nederlandse bodem. ProRail is de spoorwegbeheerder van Nederland. Zij worden de beheerder van het kustwerk en stellen aanvullende eisen aan de constructie. ProRail is daarmee ook de voornaamste opdrachtgever van het project. ProRail is in tegenstelling tot Infrabel die in België verantwoordelijk is voor de spoorwegen dus een zeer belangrijke stakeholder waarmee goed contact gehouden moet worden.

De realisatie van het kunstwerk vindt plaats in de gemeente Terneuzen. En de gemeente heeft ook belangen bij de ontwikkeling van het havengebied dat voor een groot deel in de gemeente ligt. Hetzelfde geldt voor de provincie Zeeland. Tevens is de provincie Zeeland ook de eigenaar van de Sluiskiltunnel waar het kunstwerk mee kruist.

Stakeholders die tevreden gehouden moeten worden

Het Nederlandse Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W) is mede ondertekenaar van de intentie verklaring. Ze staan positief tegenover de aanpak en oplossingsrichting voor de problematiek met betrekking tot de verbetering van het spoornetwerk in de grensoverschrijdende regio. Ze stellen daarom ook geld beschikbaar voor de verdere uitwerking van de infra-elementen. Het Ministerie van I&W kan als landelijke overheid veel invloed hebben op het project. Echter is mede door het landelijk opereren het belang minder groot. Om deze reden is het tevreden houden van deze stakeholders het uitgangspunt.

Het Waterschap Scheldestromen gaat over het beheer van de polders en (water)wegen en verzorgt de waterhuishouding in het gebied. Het Waterschap is de eigenaar en beheerder van de Lange Blikstraat. Daarnaast is bij de aanleg van de Zuidoostboog de grondwaterstand een belangrijke factor. Bij de aanleg van de fundering van het kunstwerk kan het nodig zijn dat de grondwaterstand beïnvloed wordt. Het Waterschap Scheldestromen is de partij die goedkeuring moet geven door het verstrekken van de watervergunning. Er moet aan de eisen van het waterschap voldaan worden en de stakeholder moet tevreden gehouden worden om te vergunning te krijgen.

Stakeholders die geïnformeerd moeten worden

De (Haven)bedrijven in de regio zijn de voornaamste gebruikers van de spoorwegen. Ze hebben veel belang bij de verbetering van het spoornetwerk en het wegnemen van knelpunten. Daarnaast moeten deze bedrijven zich richten op verduurzaming. Een betere spoorverbinding biedt meer mogelijkheden wat betreft de modal shift. Modal shift is de verplaatsing van goederenvervoer over de weg naar het spoor of per schip (Rijkswaterstaat, sd). De (haven)bedrijven hebben individueel niet veel invloed op het project. Het informeren en op de hoogte brengen van deze stakeholders zodat ze betrokken blijven is voldoende.

De N.V. Westerscheldetunnel is de (weg)beheerder van de de Sluiskiltunnel en het tracé van de toegangswegen naar de Sluiskiltunnel. Het te realiseren kunstwerk is gericht op het mogelijk maken van de kruising van het spoor met de Sluiskiltunnel. De N.V. Westerschelde tunnel heeft een belang bij het project omdat een object in hun eigendom onderdeel is van het project. Echter hebben ze niet veel invloed hebben op de uiteindelijke realisatie. Het informeren en uitwisselen van informatie met deze stakeholder is wel van groot belang. De mogelijkheden met het kruisen van de tunnel moeten besproken en overlegd worden.

De Zeeuwse Milieufederatie (ZMF) maakt zich sterk voor een mooi en duurzaam nederland. Het ZMF heeft uitgesproken dat het verbeteren van het spoor een belangrijks uitgangspunt is voor de toekomst. "Verbetering van de verbindingen per spoor zijn nodig om de doelstellingen op het gebied van modal shift te realiseren." (Zeeuwse Milieufederatie, 2019) in Duurzaamheid Ambitie 2030. Ze staan dus ook positief tegenover de realisatie van het project. En dienen hierover geïnformeerd te worden.

De netbeheerders voorzien het transport van energie, denk aan elektriciteit en gas. In het projectgebied loopt een 50kV electriciteitskabel en een hogedruk gasleiding. Met deze objecten moet rekening gehouden worden tijdens de uitvoering. Deze kabels en leidingen zijn in het beheer van DNWG Infra en Stedin. Deze partijen hebben hier dus een belang bij. Het is belangrijk hierover te informeren. Bijvoorbeeld het mogelijk verleggen van de electriciteitskabel. Verder heeft Air Products Gent een stikstofleiding die de boog doorkruist.

Stakeholders die gemonitord moeten worden

Het Belgische deel van de projectpartners zijn de Stad Gent, de Provincie Oost-Vlaanderen, Federale overheidsdienst Mobiliteit en Vervoer en het Vlaamse departement Mobiliteit en Openbare werken. Deze stakeholders hebben een groot belang bij het project RGT en hebben hier ook zeker invloed op. Echter voor het kunstwerk in de Zuidoostboog wordt de interesse en invloed lager ingeschat. De realisatie vindt in Nederland plaats en valt onder de regels en eisen van ProRail. Verder is de Zuidoostboog wel een belangrijke aansluiting van de oostzijde naar de westzijde van het kanaal.

Zoals eerder aangegeven wordt ProRail de beheerder van het kustwerk. Het kunstwerk wordt daarom volgens de aanvullende eisen van ProRail ontworpen. De beheerder van de Belgische spoorwegen, Infrabel, heeft hier geen invloed op. Het monitoren en informeren van Infrabel is daarom voldoende.

2.3 Randvoorwaarden & beperkingen

In deze paragraaf worden alle randvoorwaarden en beperkingen benoemd, waar bij de uitvoering van dit project rekening mee gehouden moet worden. De randvoorwaarden en beperkingen zijn opgesteld aan de hand van uitkomsten uit het vooronderzoek, persoonlijke communicatie met de opdrachtgever North Sea Port en de beheerder van de Sluiskiltunnel, de N.V. Westerscheldetunnel. De besprekingsverslagen van de communicatie met de stakeholders zijn terug te vinden in Bijlage E: Besprekingsverslagen.

2.3.1 Vooronderzoek

In het vooronderzoek zijn verschillende studies uitgevoerd door Arcadis met betrekking tot de infra-elementen binnen het project RGT. De resultaten en conclusies uit deze studies, die voor dit onderzoek relevant zijn, worden als uitgangspunt aangehouden. Met name de technische studies 3 t/m 6 zijn voor dit onderzoek relevant. Hierin is gekeken naar de haalbaarheid, effecten en risico's van de infra-elementen. In de volgende paragrafen wordt aangegeven wanneer een uitgangspunt/randvoorwaarde op basis van dit onderzoek is aangenomen.

2.3.2 Tracé Zuidoostboog

- Het voorkeurstacé van de spoorboog, zoals bepaald in het vooronderzoek (Arcadis, 2019), wordt in dit onderzoek aangehouden.
 - Een overzichtstekening van het tracé is uitgewerkt op tekening RGT-3bA3 en is terug te vinden in Bijlage A: Tekeningen.
- De ligging van het tracé leidt tot een boog die doorloopt tot halverwege het kunstwerk. Dit betekent dat er een gebogen kunstwerk aangelegd

moet worden. In overleg met de opdrachtgever is besloten dat er een wijziging in het tracé kan worden gemaakt, zodat de boog pas na het kunstwerk begint. Het ontwerp van het kunstwerk kan hierdoor recht worden uitgevoerd. (H. de Meij, persoonlijke communicatie, 14 april 2022 & Bijlage E besprekingsverslagen).

- De spoorboog heeft een straal van 250 meter.
- Het tracé gaat voorlangs het technisch gebouw van de Sluiskiltunnel en langs de Lange Blikstraat.
- Het te realiseren kunstwerk komt tussen het gebouw en de bestaande spoorlijn te liggen. Uit het vooronderzoek blijkt dat hier voldoende ruimte is voor een kunstwerk.
- Eventuele grond kerende voorzieningen die getroffen moeten worden voor de overgang van het grondlichaam van het kunstwerk naar de Lange Blikstraat zijn buiten beschouwing gelaten.
- De bermsloot wordt door realisatie van het kunstwerk onderbroken, het aanbrengen van een voorziening/duiker is buiten beschouwing gelaten.

2.3.3 Sluiskiltunnel

- De Sluiskiltunnel is niet in staat de belasting van een extra spoor en baanlichaam direct af te dragen naar de ondergrond zonder kunstwerk.
- Het afsteunen van het kunstwerk op de Sluiskiltunnel is niet mogelijk. Dit blijkt uit de indicatieve berekening naar de extra verticale belasting op de fundering van de Sluiskiltunnel in Bijlage D.
- Er loopt een bestaand grondlichaam en spoor over de Sluiskiltunnel.
 - In de ontwerpfase is hier rekening mee gehouden, het dak van de tunnel is op die locatie zwaarder uitgevoerd.
- Met een extra tweede spoor is geen rekening gehouden, vandaar de keuze voor een nieuw kunstwerk.
- De kruising tussen het spoor en de Sluiskiltunnel vindt plaats buiten het geboorde deel van de tunnel. Het spoor kruist de tunnelbak van de oost-ingang van de Sluiskiltunnel.
- Onder de tunnelbak bij de oost-ingang is een fundering aangebracht
- Langs de tunnelbak is een combiwand en damwand conform bestaande tekeningen aangebracht. Zie tekening RGT-3g01-03, Bijlage A: Tekeningen. Uit communicatie met de N.V. Westerscheldetunnel volgt dat deze niet verwijderd zijn. Deze zijn boven het maaiveld afgebrand en niet getrokken/verwijderd na realisatie van de tunnel. (D. Vlassenrood, persoonlijke communicatie, 17 maart 2022 & Bijlage E Besprekingsverslagen).
 - Langs de tunnelbak zijn aan beide zijden combiwanden buis/AZ17-700 aangebracht tijdens de uitvoering.
 - Aan de noordzijde van de tunnelbak is een damwand AZ26-700 aangebracht tijdens de uitvoering.
- Eigenaar/beheer van de Sluiskiltunnel:
 - De Provincie Zeeland is eigenaar van de Sluiskiltunnel.
 - Het beheer en onderhoud wordt uitgevoerd door de N.V. Westerscheldetunnel.

2.3.4 Spoorbrug

- De te realiseren spoorbrug moet de kruising van een enkel spoor met de Sluiskiltunnel mogelijk maken.
- De overspanning bij een brug over de Sluiskiltunnel is in het vooronderzoek vastgesteld op 50 meter.
- Het nieuwe tracé ter plaatse van het kunstwerk komt 2 meter boven het bestaande spoor te liggen.
 - Het bestaande spoor ligt op +6,030 meter NAP.
- ProRail wordt eigenaar en beheerder van het kunstwerk.
- Onder het kunstwerk vinden niet direct (verkeers)bewegingen plaats enkel onder maaiveld door de tunnel.
- De maximale snelheid in de huidige situatie is 40 km/h (Esri Nederland, ProRail, sd).

2.3.5 Ondergrondgegevens

De ondergrondgegevens ter plaatse van de projectlocatie zijn indicatief vastgesteld omdat er geen specifiek grondonderzoek beschikbaar is. Voor verdere uitwerking van het project moet project specifiek grondonderzoek worden uitgevoerd. Hierbij dient de norm NEN9997-1 geotechnisch ontwerp van constructies in acht te worden genomen. Waarbij de gemiddelde onderlinge afstand van de onderzoekspunten kleiner is dan 25 meter en er per proef een oppervlakte van maximaal 25 x 25 meter wordt bestreken.

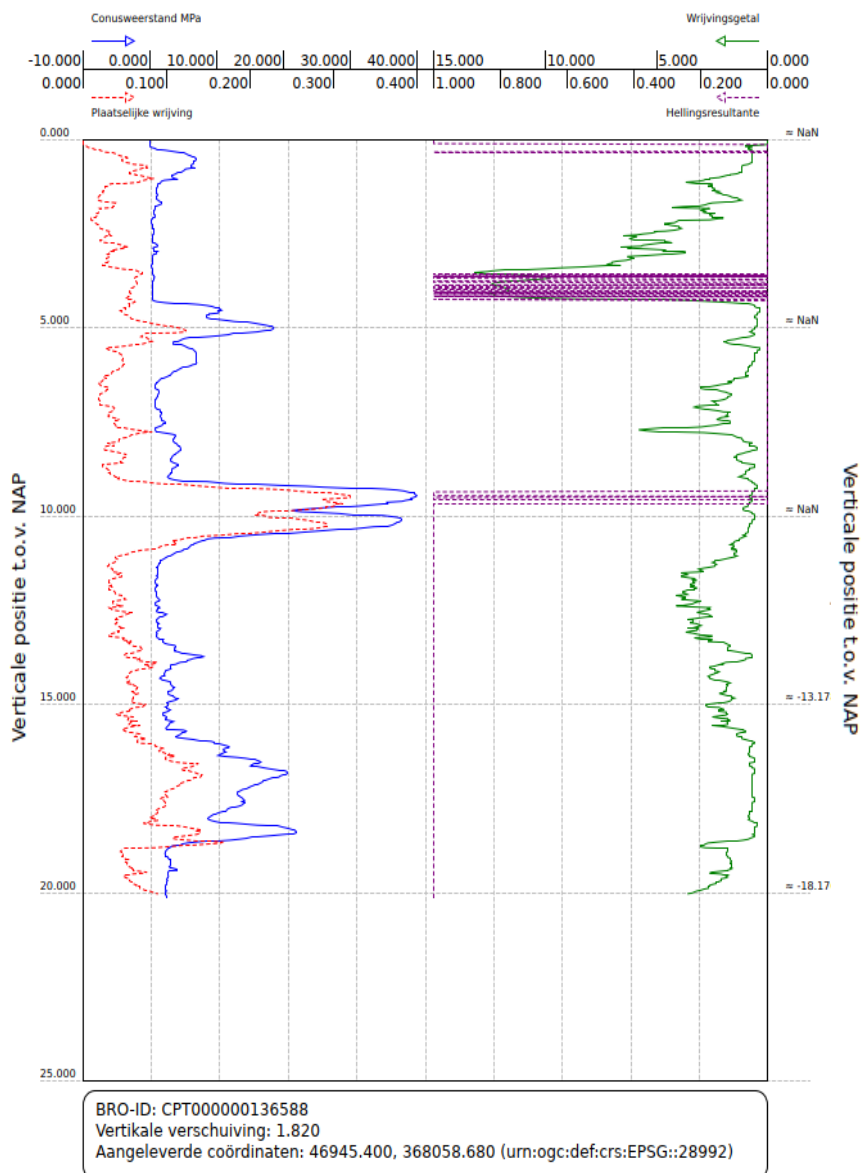
Op basis van beschikbare ondergrondgegevens uit het DINOlaket is een aanname gedaan voor de bodemopbouw. In Tabel 3 is een overzicht weergegeven van de aangenomen grondlagen. Deze gegevens zijn aan de hand van twee boringen en sondering CPT136588 (weergegeven in Figuur 9) in de buurt van de projectlocatie bepaald. Dit geeft een globale indicatie van de ondergrondgegevens op de projectlocatie. De volledige bepaling van de ondergrond op basis van de beschikbare boormonsters en sondering is terug te vinden in Bijlage B: Grondgegevens.

Tabel 3: Indicatie ondergrondgegevens op basis van bestaand onderzoek (DINOlaket, sd).

Grondsoort	Diepte t.o.v. NAP (m)
Zand, los	0,0 – 1,0
Klei, slap	1,0 – 2,5
Veen	2,5 – 4,0
Zand, los	4,0 – 5,0
Klei, slap	5,0 – 9,0
Zand, vast	9,0 – 10,5
Klei, slap	10,5 – 16
Zand, los	16,0 – 18,5
Klei, slap	18,5 – 20,0

Aan de hand van Tabel 3 kan worden geconcludeerd dat de grondopbouw tot op een diepte van -20 meter t.o.v. NAP bestaat uit zwakke grondlagen. Waaronder klei, wat erg zettingsgevoelig is, en losse zandlagen. Er is een grote kans dat de funderingspalen op een diepte lager dan -20 meter t.o.v. NAP moeten worden aangebracht om een voldoende draagkrachtige laag te bereiken. Wanneer uit specifiek grondonderzoek een vergelijkbare grondslag volgt als nu geschetst is.

Daarnaast is de zettingsgevoelige klei een nadeel omdat dit leidt tot extra belasting op de paalfundering en negatieve kleeft. Een andere mogelijkheid is dat er meer funderingspalen nodig zijn om voldoende draagkracht te krijgen. Echter wordt in dit onderzoek enkel de bovenbouw van het kunstwerk bekeken en uitgewerkt. De ondergrondgegevens hebben geen directe invloed op het constructieve ontwerp van de bovenbouw van het kunstwerk.



Figuur 9: Toegepaste sondeergrafiek bepaling ondergrondgegevens.

2.3.6 Normen en richtlijnen

Nederlandse normen:

<i>Documentnummer</i>	<i>Titel</i>
NEN-EN 1990+A1	Eurocode 0 – Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991	Eurocode 1 – Belastingen op constructies
NEN-EN 1991-2	Eurocode 1 – Belastingen op constructies – deel 2: Verkeersbelasting op bruggen
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 1997	Eurocode 7 – Geotechnisch ontwerp van constructies
Elke eurocode moet gelezen worden met de bijbehorende nationale bijlage	

Richtlijnen van ProRail:

ProRail stelt aanvullende eisen aan spoorkunstenwerken naast de Eurocode. Het kunstwerk moet voldoen aan de aanvullende ontwerpvoorschriften ProRail (OVS) die voor dit kunstwerk van toepassing zijn.

2.4 Programma van eisen

In deze paragraaf wordt het programma van eisen beschreven. Hierin zijn de eisen opgenomen waaraan de ontwerpplannen voor het kunstwerk over de Sluiskilbrug moeten voldoen. Deze eisen zijn opgesteld aan de hand van de eisen en wensen van de opdrachtgever en stakeholders. De totstandkoming van deze specifieke eisen wordt verder toegelicht. De bijbehorende besprekingsverslagen zijn terug te vinden in Bijlage E. Verder zijn de eisen afgeleid uit de randvoorwaarden en beperkingen zoals opgesteld in paragraaf 2.3.

Door het programma van eisen op voorhand vast te stellen kan de verdere uitvoering van het project efficiënt worden uitgevoerd. Het toevoegen van extra eisen kan tot gevolg hebben dat de ontwerpplannen aangepast moeten worden. Het is daarom ook wenselijk dat de eisen gedurende het vooronderzoek vastgesteld worden en tijdens de volgende fase niet veranderen.

Allereerst worden de functionele eisen worden beschreven behorende bij dit project. Vervolgens wordt er een overzicht worden gegeven van de bijbehorende technische eisen.

2.4.1 Functionele eisen

Kunstwerk:

- De functie van het te realiseren kunstwerk betreft een spoorbrug.
- De spoorbrug moet zorgen voor een constructief veilige en bruikbare kruising tussen het spoor en de Sluiskiltunnel doormiddel van het volledig overspannen van de Sluiskiltunnel.
- De spoorbrug moet geschikt zijn voor goederentreinen.
- De spoorbrug moet geschikt zijn voor een enkel spoor.

- De spoorbrug moet in beide richtingen gebruikt kunnen worden.
- De spoorbrug moet ontworpen zijn voor een baanvaksnelheid van 40 km/h.
 - In het vooronderzoek van Arcadis wordt een baansnelheid van 40km/h aangehouden. Echter in de studie personenvervoer wordt een hogere baansnelheid van 80-100km/h benoemd. Na afstemming met de opdrachtgever North Sea Port is een baanvaksnelheid van 40km/h vastgesteld (Bijlage E besprekingsverslag 08-03-22).
- De spoorweginfrastructuur dient afgestemd te zijn op beladingsklasse D4 (H. de Meij, persoonlijke communicatie (Bijlage E besprekingsverslag 14-4-2022))
- De spoorbrug dient een starre brug te zijn.
- Het ontwerp moet voldoen aan de normen en richtlijnen zoals omschreven in paragraaf 2.3.6.
- Conform de NEN-EN 1990 Tabel NB.11 – 2.1 moet de spoorbrug een ontwerplevensduur hebben van 100 jaar.
- Conform de NEN-EN 1990 Tabel NB.24 – B1 dient voor spoorbruggen gevolgklasse CC3 te worden aangehouden.
- De spoorbrug moet alle belastingen en invloeden, die kunnen optreden tijdens de uitvoering en het gebruik, kunnen weerstaan en moet bestand zijn tegen de weersinvloeden (NEN-EN 1990 2.1, 2019).
- De constructie moet zijn ontworpen en berekend om voldoende: constructieve weerstand, bruikbaarheid en duurzaamheid te bezitten. (NEN-EN 1990 2.1, 2019).
- De vervormingen en trillingen in het kunstwerk moeten binnen de vervormings- en trillingsgrenzen vallen. Conform de toetsingen beschreven in NEN-EN 1990 A2.4.4.1 2019 + nationale bijlage.

Bovenbouw spoorbrug

- Het brugdek moet geschikt zijn voor het aanbrengen van een enkel spoor en de benodigde vrije ruimte voor een enkel spoor.
- Het brugdek moet de Sluiskiltunnel in de breedte richting volledig overspannen.

Algemeen

- De Lange Blikstraat die voorlangs het technisch gebouw van de Sluiskiltunnel loopt dient bereikbaar te blijven.
 - Tijdens het gesprek met de beheerder van de Sluiskiltunnel is naar voren gekomen dat de Lange Blikstraat de toegang tot het technisch gebouw voorziet. De eis is dat het gebouw via deze weg bereikbaar blijft (Bijlage E besprekingsverslag 17-03-22).
- Esthetische eisen
 - North Sea Port stelt geen specifieke eisen aan de esthetische waarde. Wel dient het kunstwerk niet af te leiden bij de ingang van de tunnel en moet de gemeente Terneuzen akkoord gaan met het ontwerp (Bijlage E besprekingsverslag 08-03-2022).

- Gemeente Terneuzen heeft als vormgeving gekozen voor strakke taluds binnen de structuurvisie van de gemeente (J. Everaert, persoonlijke communicatie, 11 maart 2022)

2.4.2 Technische eisen

Kunstwerk:

- De Sluiskiltunnel kan niet extra worden belast.
- De constructie onderdelen moeten de ontwerpbelasting van een (goederen)trein kunnen opnemen en afdragen.
- Gedurende het ontwerp wordt gerekend met een ontwerpwaarde voor de baanvaksnelheid van 40 km/h.
- In de berekening dient een belastingmodel te worden toegepast die ten minste voldoet aan de Eurocode normen en de vastgestelde beladingsklasse D4 bestaand uit een as-last van 22,5 ton.
- Het kunstwerk is een vast object en heeft geen bewegende delen.
- De toegepaste materialen dienen bestand te zijn tegen de weersinvloeden.
- De onderdelen van de brug worden getoetst op belastingen afkomstig van de weersinvloeden.
- De constructie moet bestand zijn tegen de bewegingen door passerende treinen, (wind)belastingen en de trillingen in het kunstwerk moeten beperkt blijven.

Bovenbouw spoorbrug:

- De breedte van het aan te brengen spoor is 1,435 meter (OVS00056, 3.2.2).
- Het brugdek moet ontworpen zijn conform het van toepassing zijnde profiel van vrije ruimte beschreven in de OVS00026.
- Het brugdek heeft een overspanning van 50 meter.
 - Deze breedte bestaat uit de breedte van de tunnel van 30,2 meter en een extra ruimte van 9,9 meter aan weerszijden. De extra ruimte is benodigd voor de plaatsing van de landhoofden en fundering. Bij toepassing van schoorpalen is er namelijk extra ruimte benodigd om kruising met de combiwanden langs de tunnel te voorkomen.

2.5 Ontwerpvarianten

In deze paragraaf wordt toegelicht welke twee ontwerpvarianten van het kunstwerk verder uitgewerkt gaan worden tijdens het onderzoek. De selectie van de potentiële varianten is gemaakt op basis van een literatuurstudie en voorbeelden uit de praktijk. In deze paragraaf wordt een korte toelichting van deze analyse gegeven. De gedetailleerde analyse naar de potentiële ontwerpvarianten is terug te vinden in Bijlage C: Literatuurstudie varianten.

In Bijlage C zijn de volgende brugtypen geanalyseerd:

- Prefab ligger/kokerbrug
- Trogbrug
- Boogbrug
- Vakwerkbrug
- Staal-betonbrug
- Hangbrug
- Tuibrug

Door de toepassingsgebieden, geometrie en de voor- en nadelen van deze brugtypen te onderzoeken is in beeld gebracht welke twee brugtypen de meeste potentie hebben voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel. Dat deze varianten zijn gekozen wil niet zeggen dat dit de enige oplossingen zijn, echter hebben deze varianten op basis van het onderzoek de meeste potentie. Aan de hand van deze analyse zijn de trogbrug en staal-betonbrug geselecteerd voor verdere uitwerking in het onderzoek. In Figuur 11 en Figuur 10 zijn twee afbeeldingen van beide brugtypen illustratief weergegeven.

Variant 1 trogbrug



Figuur 11: Trogbrug Mallardviaduct (Google, sd).

Variant 2 staal-betonbrug



Figuur 10: Staal-betonbrug Oosterbeek (Touw, 2005).

Allereerst is gekozen voor een betonnen trogbrug als eerste variant. Trogbruggen worden voor spoorbruggen veelvuldig toegepast omdat het ontwerp van een trogbrug gunstig is door de lage constructiehoogte (Galjaard, 2013). Daarnaast zijn overspanningen van groter dan 50 meter een mogelijkheid en reeds gerealiseerd (Ossendrijver, 2004).

Een eenvoudiger principe van een betonnen spoorbrug is een prefab ligger- of kokerbrug. Dit zou een alternatief kunnen zijn op de trogbrug. Echter valt dit brugtype in dit onderzoek af. Aangezien de haalbaarheid van een overspanning van 50 meter samen met een spoorbelasting uiterst onzeker is (H. Herder, persoonlijke communicatie, 15 maart 2022).

Als tweede variant is gekozen voor een staal-betonbrug. Waarbij de brug bestaat uit een stalen onderflens, in dit geval een vakwerkligger, en een betonnen brugdek als bovenflens.

Staal-betonbruggen worden in Nederland steeds vaker toegepast. Met name in het buitenland wordt dit al veel gedaan. Hierbij zijn overspanningen van 40 tot 80 meter haalbaar voor standaardwegverkeer. Staal-betonbruggen worden steeds vaker toegepast omdat er vroeger vaak voor één materiaalsoort werd gekozen bij het maken van een ontwerp. Tegenwoordig wordt er meer gezocht naar optimalisatie en het efficiënter maken van het ontwerp. Daarbij hoort ook het kiezen van het materiaal op basis van de eigenschappen zodat die het beste tot zijn recht komt. De combinatie van staal en beton komt daarom steeds vaker voor (Galjaard, 2013).

Het kiezen van een staal-betonbrug naast de trogbrug is interessant omdat er een groot verschil is in het eigengewicht van de brug. Een staalconstructie is relatief licht ten opzichte van een betonconstructie. De trogbrug bestaat uit een groot volume aan beton en heeft daarom een zeer groot eigengewicht. Dit is ook één van de redenen dat een trogbrug vanaf 55 meter overspanning minder interessant wordt. De betondoorsnede wordt door de toenemende krachten en benodigde voorspanning steeds groter terwijl de toename in stijfheid beperkt toeneemt. Het stalenvakwerk van de staal-betonbrug kan daarom een gunstige oplossing zijn omdat het eigengewicht relatief klein is.

Andere in beschouwing genomen staalconstructies zijn boog- en vakwerkbruggen. Deze brugtypen worden veelal toegepast bij grote overspanningen vanaf 50 tot meer dan 100 meter. Tegenwoordig worden boogbruggen vaker toegepast in tegenstelling tot traditionele vakwerkbruggen. Deze zijn minder interessant vanwege het arbeidsintensieve ontwerp. Boogbruggen komen in Nederland voornamelijk voor bij grote overspanningen van meer dan 100 meter en op locaties waar hoge esthetische eisen worden gesteld (Romijn, 2002).

De voorkeur voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel ligt bij staal-beton ten opzichte van een boogbrug en traditionele vakwerkbrug. Allereerst omdat de overspanning te klein is om een boogbrug interessant te maken. Daarnaast is een vakwerk tegenwoordig interessanter in een combinatie van staal en beton. Met een toepassingsgebied van 40 tot 80 meter overspanning is staal-beton ook een realistische oplossing (Galjaard, 2013).

Tot slot vallen hang- en tuibruggen snel af aangezien deze pas bij overspanningen vanaf 100 meter een oplossing is die het overwegen waard kan zijn. Tevens worden hangbruggen in Nederland nagenoeg niet toegepast (Galjaard, 2013).

Boog- hang en tuibruggen zijn zoals benoemd pas vaak bij grote overspanningen interessant. Dit komt doordat bogen, tuien en draagkabels verstijvingen zijn ten opzichte van een eenvoudige plaat- of kokerligger en een vakwerk. Het concept van een boog- hang en tuibrug is dus het verhogen van de stijfheid van een eenvoudiger ontwerp (Romijn, 2002). Allereerst is het toepassen van deze brugtypen pas bij grote overspanningen noodzakelijk. Wat er ook toe leidt dat het pas bij grotere overspanningen economisch wordt.

3 Methodologie

3.1 Onderzoeksmethode

In dit onderzoek wordt een kwantitatieve onderzoeksmethode toegepast. Zo wordt er een kwantitatieve analyse gemaakt van de twee gekozen varianten. De dimensies worden bepaald op basis van vuistregels, ervaring en ontwerp-berekeningen. Vervolgens wordt er een analyse gemaakt om de constructie te toetsen. Met behulp van handmatige berekeningen en computermodellen op basis van de eindige elementen methode zoals Technosoft.

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden en de meest geschikte variant te bepalen wordt een variantenstudie gedaan. Binnen de variantenstudie wordt er op kwantitatieve criteria getoetst. Dit zijn de criteria: bouwkosten, duurzaamheid en uitvoerbaarheid. De criteria worden in getallen uitgedrukt en in een multicriteria-analyse afgewogen. Verdere toelichting over de variantenstudie wordt gegeven in paragraaf 3.4.

Verder bestaat de geraadpleegde literatuur uit normen en aanvullende voorschriften. Hierin staan de eisen en berekeningen waaraan het ontwerp moet voldoen. Deze literatuur kan als kwantitatief worden beschouwd aangezien deze voor een groot deel uit numerieke data bestaat zoals berekeningen, grafieken en tabellen. En daarnaast vastgestelde eisen en voorwaarden waar geen eigen interpretatie aan gegeven kan worden.

Naast de kwantitatieve onderzoeksmethode wordt er ook gebruik gemaakt van semigestructureerde interviews. Tijdens het ontwerpproces wordt gesproken met experts van de afdeling bouw en kunstwerken binnen Sweco om vragen te beantwoorden en hun expertise te gebruiken tijdens het onderzoek. Dit is een vorm van kwalitatief onderzoek.

3.2 Dataverzameling

Voor het literatuuronderzoek zijn de actuele normen en voorschriften geraadpleegd. Deze normen en voorschriften bestaan uit de Eurocodes en de aanvullende ontwerpvoorschriften ProRail (OVS). De Eurocodes zijn de Europees vastgestelde normen en richtlijnen voor het toetsen van de constructieve veiligheid van constructies. Aanvullend op de normen wordt de Nederlandse nationale bijlage geraadpleegd waarin afwijkingen of aanvullingen zijn opgenomen specifiek voor Nederland. De OVS is opgesteld door de spoor-beheerder ProRail en beschrijven de aanvullende voorschriften voor het ontwerp en de bouw van kunstwerken die in het beheer komen bij ProRail. De Eurocodes zijn online beschikbaar via de NEN Connect portal en de ProRail eisen zijn door afdeling kunstwerken beschikbaar gesteld.

Aanvullend op de literatuur wordt er gebruik gemaakt van de kennis en ervaring van experts. Gedurende het ontwerpproces worden er interviews afgenomen met experts van afdelingen bouw en kunstwerken. Met als doel het beantwoorden van vragen gedurende het onderzoek en het verkrijgen en toepassen van kennis en ervaring met betrekking tot het ontwerp van een kunstwerk.

3.3 Onderzoeksinstrumenten

Ter ondersteuning van de handberekeningen wordt gebruik gemaakt van rekensoftware. Er wordt gebruikgemaakt van rekensoftware van Technosoft. Technosoft biedt een divers softwarepakket waarin efficiënt constructieve berekeningen kunnen worden uitgevoerd. Deze zijn in 2D en worden toegepast bij de globale ontwerpberkeningen. Daarnaast wordt ook software gebruikt voor het uitwerken van het definitieve ontwerp op tekening. Deze technische tekeningen worden opgesteld met de tekensoftware Autocad 2022.

Verder wordt voor de duurzaamheidsberekening gebruik gemaakt van versie 6.0 van de softwaretool DuboCalc. DuboCalc is ontwikkeld door Rijkswaterstaat met als doel het berekenen en vergelijken van duurzaamheid en milieukosten van aanbestedingen. Met deze tool kunnen eenvoudig de effecten van het materiaal- en energieverbruik worden berekend. De uitkomst zijn de milieu-kosten uitgedrukt in Euro's (MKI). Doordat de duurzaamheid uitgedrukt wordt in een MKI-waarde worden de milieueffecten concreet en meetbaar. In het onderzoek wordt deze tool gebruikt om van beide varianten de MKI-waarde te bepalen en met elkaar te vergelijken (DuboCalc, sd). Voor verdere toelichting naar de werking en toepassing van DuboCalc wordt verwezen naar Bijlage K.

Milieu Kosten Indicator (MKI)

De MKI is een indicator die alle relevante milieueffecten van een project of product in één score aangeeft. Deze score wordt uitgedrukt in euro's en geeft daarmee de schaduwkosten weer. Een lagere score is dus beter dan een hogere score. De MKI score is opgebouwd uit de milieu-impact over de hele toeleveringsketen, van productie tot sloop en hergebruik van het materiaal. De waarde voor de MKI wordt berekend aan de hand van een levenscyclus-analyse (LCA). Waarbij gebruik gemaakt wordt van de emissiegegevens uit de Nationale Milieudatabase. De verschillende emissies worden verdeeld in impact categorieën volgens de EN15804 voor LCA's. Deze categorieën hebben een verschillende weging door het afwegen en samenvoegen van deze scores kan vervolgens de MKI-waarde worden berekend (Ecochain, sd).

3.4 Onderzoeksstrategie

In deze paragraaf is de methode beschreven die zijn toegepast om de deelvragen te kunnen beantwoorden. Aan de hand van deze deelvragen wordt het eindproduct gerealiseerd die bijdraagt aan het beantwoorden van de hoofdvraag die centraal staat in het onderzoek. Een aantal van de deelvragen zijn reeds beantwoord in het vooronderzoek, deze worden kort toegelicht. De nog te beantwoorden deelvragen in het onderzoek worden verder toegelicht.

3.4.1 Beantwoorde deelvragen

De volgende deelvragen zijn reeds in het onderzoek beantwoord:

'Hoe ziet de huidige situatie eruit?'

De huidige situatie van het project is kort beschreven in de inleiding en verder toegelicht in het theoretisch kader in paragraaf 2.1. De huidige situatie is vastgesteld door middel van literatuuronderzoek waarin voornamelijk het vooronderzoek is bestudeerd. Daarnaast is een observatie op de projectlocatie uitgevoerd.

‘Wie zijn de stakeholders van het project?’

Door de stakeholders van het project in een vroeg stadium mee te nemen konden ze in het onderzoek meegenomen worden. De stakeholders zijn verzameld uit de intentieverklaring van het project Rail Ghent-Terneuzen aangezien het project door de partijen in het gebied breed gedragen wordt. De ontbrekende stakeholders zijn hieraan toegevoegd. De stakeholdersanalyse is terug te vinden in paragraaf 2.2.

‘Met welke randvoorwaarden en beperkingen moet rekening gehouden worden?’

De randvoorwaarden en beperkingen zijn opgesteld in paragraaf 2.3 van het theoretisch kader. In het literatuuronderzoek is huidige situatie en zij de bevindingen in het vooronderzoek geanalyseerd. Daarnaast zijn er interviews gehouden met stakeholders. Hieruit zijn de randvoorwaarden en beperkingen waarmee rekening gehouden moet worden tijdens de uitvoering van het onderzoek afgeleid.

‘Welke wet- en regelgeving is van toepassing?’

Het te realiseren kunstwerk moet voldoen aan de wet- en regelgeving. In de literatuurstudie is informatie verzameld naar de normen en aanvullende voorschriften waaraan het kunstwerk moet voldoen. Deze zijn opgenomen onder de randvoorwaarden en beperkingen in paragraaf 2.3.

‘Welke oplossingen zijn er voor het kunstwerk volgens voorbeelden uit de praktijk?’

Er is een voorstudie naar de mogelijke varianten voor het kunstwerk gedaan. In dit onderzoek is op basis van literatuuronderzoek en een interview met een expert een analyse gemaakt van de brugtypen en materialen die mogelijk zijn voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel. Deze voorstudie is terug te vinden in Bijlage C: Literatuurstudie varianten.

‘Welke varianten hebben potentie voor verdere uitwerking?’

Op basis van de uitkomst van de voorstudie naar de potentiële varianten samen met de opgestelde uitgangspunten in het onderzoeksvoorstel volgt dat de varianten trogbrug en staal-betonbrug de meeste potentie hebben en verder worden uitgewerkt in het onderzoek.

3.4.2 Nog te beantwoorden deelvragen

De volgende deelvragen worden tijdens het onderzoek beantwoord:

‘Aan welke functionele en technische eisen moeten de ontwerpvarianten voldoen?’

De functionele en technische eisen waaraan de ontwerpen moeten voldoen worden op basis van een literatuuronderzoek vastgesteld. Dit literatuuronderzoek bestaat uit het analyseren van de normen en voorschriften beschreven in paragraaf 2.3.6. Daarnaast worden interviews afgenomen met de opdrachtgever en stakeholders om de aanvullende eisen en wensen op te nemen.

De eisen en wensen van de stakeholders zijn in het vooronderzoek al opgenomen. De bijbehorende besprekingsverslagen met de stakeholders Westerscheldetunnel en North Sea Port zijn terug te vinden in Bijlage E: Besprekingsverslagen. Het vaststellen van de technische eisen is de eerste stap in het onderzoek. Hierbij wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van de door ProRail opgestelde voorschriften.

‘Hoe ziet de variantenafweging eruit?’

Om het meest geschikte ontwerp voor het kunstwerk te bepalen worden de twee varianten met elkaar vergeleken. Dit wordt gedaan aan de hand van een multicriteria-analyse (MCA). Hierbij gebruikt men verschillende criteria om tussen de verschillende varianten de ‘beste’ keuze te kunnen maken.

Selectie criteria

Voor een (spoor)brug kan men diverse criteria kiezen waarop de varianten afgewogen kunnen worden. In dit onderzoek is gekozen voor de volgende criteria in de MCA:

- Bouwkosten
- Duurzaamheid
- Uitvoerbaarheid

Allereerst zijn de bouwkosten als criteria opgenomen. Deze criteria is gekozen omdat bij de uitvoering van een project de kosten één van de belangrijkste factoren zijn of een project uitgevoerd kan gaan worden. Daarnaast kunnen de kosten uitgedrukt in euro's concreet met elkaar worden afgewogen.

De tweede criteria is de duurzaamheid van het ontwerp. Duurzaamheid wordt een steeds belangrijker begrip en kan tegenwoordig niet meer ontbreken in het ontwerp van een project. Verder wordt de duurzaamheid tegenwoordig een vast onderdeel van aanbestedingen. Waarbij een duurzamer ontwerp een beter resultaat behaalt in een EMVI-aanbesteding met een grotere kans op de gunning van een project. Een EMVI is in het kort een type aanbesteding waar niet enkel naar de kosten maar bijvoorbeeld ook naar de kwaliteit, planning en dus ook duurzaamheid gekeken wordt (DuboCalc, sd).

De duurzaamheidsberekening wordt uitgevoerd met behulp van DuboCalc, wat voor aanbestedingen van Rijkswaterstaat tegenwoordig al verplicht is. Daarnaast is DuboCalc de softwaretool behorend bij het samenwerkingsverband Aanpak Duurzaam GWW. Met deze tool kan de duurzaamheid concreet worden weergegeven, uitgedrukt in euro's. Dit maakt een afweging in een MCA goed mogelijk (DuboCalc, sd).

Als laatste criteria is gekozen voor de uitvoerbaarheid van de ontwerpvarianten als criteria. Deze criteria is gekozen in overleg met de opdrachtgever North Sea Port. Eerst was gekozen voor de criteria esthetische waarde. Echter voegt deze voor de opdrachtgever niet veel toe aan de variantenafweging omdat er niet zozeer esthetische eisen zijn voor dit kunstwerk. (H. de Meij, persoonlijke communicatie, 14 april 2022 & Bijlage E).

Op basis van uitvoerbaarheid kan er meer onderscheid gemaakt worden. Beide varianten bestaan deels uit verschillende materialen en kunnen met behulp van verschillende productiemethoden worden gerealiseerd. Het is voor North Sea Port een toevoeging meer te weten over de hinder, kwaliteit en transport van de twee varianten gedurende de uitvoering in plaats van de esthetische waarde.

Naast de gekozen criteria zijn ook andere criteria wellicht interessant om nader te bekijken. Bijvoorbeeld esthetische waarde en veiligheid. De esthetische waarde is zoals hierboven aangegeven niet van belang voor dit kunstwerk. De omgeving en ligging van het kunstwerk boven de tunnelingang vraagt niet om hoge esthetische eisen. Voor dit project voegt het daarom niet veel toe om deze criteria mee te nemen in de MCA. Deze criteria zou namelijk een lage en verwaarloosbare weging krijgen. In andere situaties waarbij een kunstwerk over een snelweg of waterweg gerealiseerd wordt kan de esthetische waarde belangrijker of zelfs leidend zijn in het ontwerp.

Verder is veiligheid niet in de MCA meegenomen omdat het een moeilijk te toetsen begrip is. Verder worden beide varianten getoetst volgens de Eurocode en de andere geldende voorschriften. Beide varianten moeten per definitie dus veilig zijn, daarom is het in beide gevallen niet relevant om op basis van veiligheid af te wegen.

Gekozen criteria

Hieronder wordt voor de drie gekozen criteria verdere toelichting gegeven hoe deze criteria voor beide ontwerp varianten uitgewerkt worden.

Bouwkosten

Om de bouwkosten met elkaar te kunnen vergelijken wordt voor beide ontwerp-varianten wordt een kostenraming gemaakt. Eerst wordt een inventarisatie gemaakt van alle materialen in de twee varianten met de bijbehorende hoeveelheden. Dit zijn de materialen voor enkel de bovenbouw van het kunstwerk. De fundering en landhoofden worden niet in de kostenramingen meegenomen. Aan deze materialen wordt een eenheidsprijs gegeven. Door de hoeveelheid met de prijs te vermenigvuldigen wordt een totaalprijs berekend. De uitvoeringskosten die hieruit volgen kunnen met elkaar vergeleken worden in de MCA.

Aan de hand van een interview met een kostenexpert binnen Sweco wordt vastgesteld welke methode van begroten het meest geschikt is voor de opgestelde ontwerpen. Daarnaast worden de actuele prijzen voor de materialen ook met de kostenexpert vastgesteld.

Duurzaamheid

De duurzaamheid van de ontwerpvarianten wordt op basis van een MKI-waarde met elkaar vergeleken in de MCA. Deze waarde geeft het milieueffect wat een ontwerpvariant met zich mee brengt weer in Euro's indien deze effecten gecompenseerd zouden worden.

In DuboCalc is de Nationale Milieudatabase opgenomen, hierin staan een grote hoeveelheid bouwmaterialen met een vastgestelde MKI-waarde. De hoeveelheden die zijn verzameld voor de kostenramingen worden in de softwaretool DuboCalc ingevoerd. DuboCalc kan vervolgens voor alle materialen in een ontwerpvariant een totale MKI-waarde berekenen. Het resultaat is twee getallen in euro's die met elkaar vergeleken kunnen worden in de MCA.

Uitvoerbaarheid

Om de uitvoerbaarheid te kunnen vergelijken wordt gekeken naar een aantal onderdelen. Dat is de bouwtijd (op het werk), kwaliteitsbeheersing en transport. Dit kan samen niet op kwantitatieve wijze worden uitgedrukt zoals bij de bouwkosten en duurzaamheid is gedaan. Aan de hand van een beoordelings-schaal wordt een score toegekend aan de uitvoerbaarheid van de varianten. Deze schaal bestaat uit de volgende vijf punten:

- Uitstekend (++)
- Goed (+)
- Voldoende (+-)
- Matig (-)
- Onvoldoende (--)

Bij standaardisatie van de getallen in de MCA worden de getallen op een schaal van 0 tot 1 uitgedrukt. Voor de bovenstaande beoordeling wordt dit als volgt gedaan:

- | | | |
|---------------|------|------|
| • Uitstekend | (++) | 1,00 |
| • Goed | (+) | 0,75 |
| • Voldoende | (+-) | 0,50 |
| • Matig | (-) | 0,25 |
| • Onvoldoende | (--) | 0,00 |

Wegingsfactor

Niet alle criteria krijgen een gelijke weging in de MCA. De belangrijkste criteria met de hoogste weging zijn de bouwkosten. De twee varianten hebben dezelfde functie en doel, het mogelijk maken van de kruising tussen de tunnel en het nieuwe spoor. De kosten zijn uiteindelijk de belangrijkste afweging tussen deze varianten aangezien ze voor hetzelfde doel en functie zijn ontworpen. Deze criteria heeft daarom een weging gekregen van 50%. Uit overleg met North Sea Port volgt ook dat de kosten nog steeds de hoogste weging hebben.

Naast de kosten is de duurzaamheid tegenwoordig van groot belang. Het project draagt bij aan de duurzaamheidsambitie van de opdrachtgever door middel van het inzetten op meer goederenvervoer over het spoor. De duurzaamheid wordt daarom meegenomen in de variantenafweging. Aan deze criteria is een weging van 30% toegekend.

De uitvoerbaarheid krijgt het resterende deel van 20%. De uitvoerbaarheid is belangrijk omdat het ontwerp uitvoerbaar moet zijn. Dat wil zeggen dat de overlast op de omgeving beperkt blijft door bijvoorbeeld een kortere bouwtijd en minder transport. Maar ook dat de kwaliteit van de constructie voldoende hoog is en of er een grote afhankelijkheid is van omgevingsfactoren. Om de uitvoerbaarheid niet dubbel te laten wegen is het lagere percentage gekozen. De uitvoerbaarheid is namelijk al deels in de kosten verwerkt. In de kostenramingen wordt een aandeel meegenomen voor de uitvoeringskosten naast de materiaalkosten.

Een overzicht van de criteria en wegingsfactoren is weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Lijst met criteria en bijbehorende wegingsfactoren.

Criteria	Wegingsfactor
Bouwkosten	50%
Duurzaamheid	30%
Uitvoerbaarheid	20%
Totaal	100%

‘Welke variant is het meest geschikt?’

De meest geschikte variant volgt uit de multicriteria-analyse die binnen de variantenstudie wordt uitgevoerd. Hierbij wordt op de zoals hierboven beschreven criteria getoetst. Deze gekozen variant wordt vervolgens constructief en op tekening verder uitgewerkt.

‘Hoe ziet de definitieve en het meest geschikte ontwerp voor de bovenbouw van het kunstwerk eruit?’

Het definitieve ontwerp wordt bepaald na de keuze van de definitieve variant. Eerst wordt het ontwerp voor beide varianten globaal bepaald. De dimensies worden bepaald op basis van vuistregels, ervaring en ontwerpberekeningen. Vervolgens wordt in een analyse de constructie getoetst. Dit wordt gedaan aan de hand van handmatige berekeningen en met computermodellen in Technosoft. Aanvullend wordt met experts gesproken om hun kennis en ervaring toe te passen in het ontwerpproces.

De constructieve berekeningen bestaan uit de volgende onderdelen:

- Gewichtsberekening
- Opstellen mechanicamodellen
 - Langsrichting
 - Dwarsrichting
- Verdere modellering van de elementen
- Toetsen van de constructie:
 - Vervorming
 - (Beton)spanning
 - Momentweerstand
 - Dwarskracht
 - Normaalkracht (knik-toetsing)
- Detail berekening

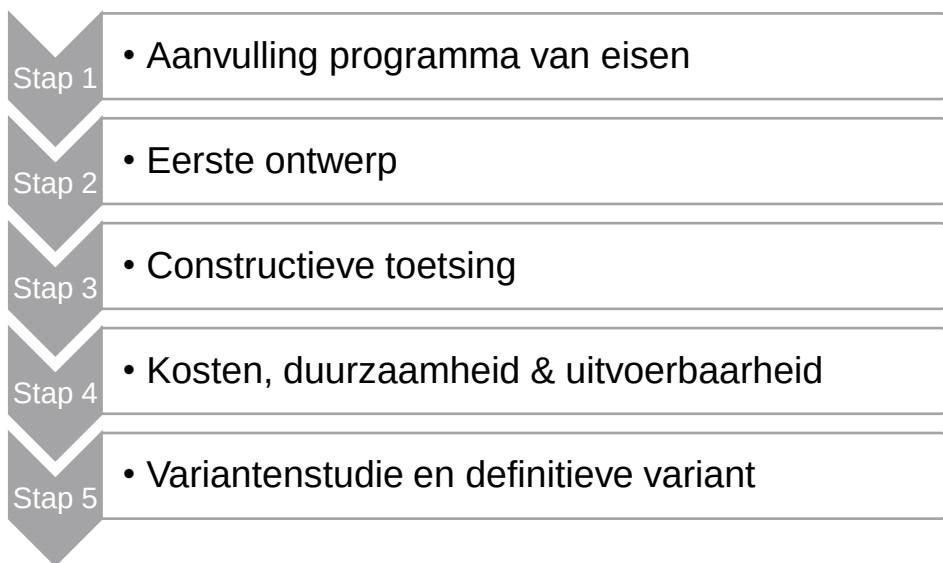
De laatste stap voor de verdere uitwerking van de definitieve variant is het maken van een constructieve tekening. Deze tekeningen bestaat uit de volgende onderdelen:

- Aanzichten
- (Dwars)doorsneden
- Detailtekeningen

4 Resultaten

4.1 Inleiding

Het doel van het onderzoek is het selecteren van het meest geschikte ontwerp voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel. Voordat tot dit ontwerp gekomen kan worden moeten beide varianten eerst globaal uitgewerkt worden alvorens ze op basis van de varianten studie, zoals beschreven in hoofdstuk 3.4, afgewogen worden. Dit is gedaan volgens de stappen zoals deze zijn weergegeven in Figuur 12. Dit resultatenhoofdstuk is tevens op basis van deze stappen volgorde opgebouwd.



Figuur 12: Stappen uitwerking en opbouw resultaten.

In hoofdstuk 3 Methodologie is een onderscheid gemaakt tussen reeds beantwoorde deelvragen in het vooronderzoek, en nog te beantwoorden deelvragen gedurende het onderzoek. De volgende deelvragen zijn nog niet beantwoord:

- Aan welke functionele en technische eisen moeten de ontwerpvarianten voldoen?
- Welke variant is het meest geschikt?
- Hoe ziet de definitieve en het meest geschikte ontwerp voor de bovenbouw van het kunstwerk eruit?

Op de bovenstaande deelvragen wordt in dit resultaten hoofdstuk antwoord gegeven. Met als doel het beantwoorden van de hoofdvraag van dit onderzoek.

4.2 Aanvulling programma van eisen

Alvorens een eerste ontwerp op te kunnen stellen voor beide kunstwerken is een overzicht worden gemaakt van de eisen die van toepassing zijn. In het vooronderzoek, in hoofdstuk 2.4 Programma van eisen, is een overzicht gemaakt van de functionele en technische eisen. Deze eisen zijn opgesteld op basis van de eisen en wensen van de stakeholders en de randvoorwaarden en beperkingen.

Voor het ontwerp van railinfra heeft ProRail ontwerpvoorschriften, oftewel een OVS. Aan deze voorschriften moet men zich bij het ontwerp van een rail-kunstwerk houden en kunnen dus gezien worden als eisen. Daarom is tijdens het onderzoek een aanvulling gemaakt op het PvE op basis van de volgende ProRail OVS'en genoemd in Tabel 5.

Tabel 5: Toegepaste ProRail OVS kunstwerk over de Sluiskiltunnel.

<i>Documentnummer</i>	<i>Titel</i>
OVS00026-V006	Profiel van Vrije Ruimte en Rode Meetgebied
OVS00030-0-V001	Kunstwerken – deel 0 – Algemeen
OVS00030-1-V004	Kunstwerken – deel 1 – Kunstwerken voor spoorverkeer
OVS00030-6-V004	Aanvullingen en wijzigingen op NEN-EN normen
OVS00056-4.1-V003	Baan en bovenbouw – deel 4.1 – Alignement
OVS00056-4.2-V004	Baan en bovenbouw – deel 4.2 – Sporen dwarsprofiel
OVS00056-5.1-V012	Baan en bovenbouw – deel 5.1 – Spoor in ballast
OVS00056-7.3-V004	Terrein- en wegverhardingen

ProRail heeft een groot aantal extra OVS'en dan in Tabel 5 is genoemd. Echter zijn deze niet allemaal van toepassing voor het kunstwerk. Het overgrote deel is bestemd voor het ontwerp van alignementen en dwarsprofielen van baan-lichamen, elektrificatie van het spoor en de interactie van niet spoorinfra objecten met spoorinfra etc. Voor het ontwerp van de spoorbaan op het kunstwerk is hoofdzakelijk de OVS-30 Kunstwerken en OVS-26 Profiel van vrije ruimte van toepassing gebleken. Uit de andere genoemde voorschriften zijn een aantal artikelen overgenomen.

Het overzicht van de ProRail eisen ter aanvulling op het PvE dat van toepassing is op de twee varianten, trogbrug en staal-betonbrug, zijn terug te vinden in Bijlage F: Aanvulling programma van Eisen. Hieronder worden een aantal opmerkingen en keuzes toegelicht met betrekking tot de voorschriften.

Profiel van vrije ruimte

Allereerst is het profiel van vrije ruimte (PVR) dat van toepassing is voor het spoornetwerk Gent-Terneuzen en daarmee ook het kunstwerk vastgesteld op basis van de OVS00026 versie 6. Voor nieuw aan te leggen spoorlijnen is het PVR-GC van toepassing. Het PVR-GC is gebaseerd op basis van het grootste beladingprofiel voor goederenvervoer gebaseerd op de NEN-EN15273.

Bovenop het PVR kan er sprake zijn van toepassing van het rode meetgebied (RM). Het RM is een niet wettelijke extra ruimtereservering van het profiel van vrije ruimte, ten behoeve van het vervoeren van lading buiten het PVR.

Bijlage 4d van de OVS-26 bevat een Nederlandse spoorkaart met daarop de trajecten in rood waar aantasting van het RM niet gewenst is. Deze spoorkaart is tevens bijgevoegd in Bijlage F. Het spoornetwerk Terneuzen tot de Belgische grens valt op basis van deze kaart niet onder de trajecten waar het RM van toepassing is.

Het wel of niet toepassen van het rode meetgebied is met North Sea Port overlegd. North Sea Port heeft aangegeven dat het toepassen van het rode meetgebied wel gewenst is. Zo kunnen mogelijke knelpunten in de spoorverbinding in de toekomst voorkomen worden. In de ontwerpen is dus wel rekening gehouden met de extra vrije ruimte als gevolg van het rode meetgebied. (H. de Meij, persoonlijke communicatie, 14 april 2022 & Bijlage E besprekingsverslagen).

Aanvullingen en wijzigingen op de NEN-EN normen

Uit de OVS-30-6 Aanvullingen en wijzigingen op NEN-EN normen zijn geen artikelen overgenomen in het PvE. Echter is deze OVS toegevoegd aan de normen en richtlijnen genoemd in 2.3.6. Bij het uitvoeren van de constructieve toetsingen dient de OVS-30-6 samen met de nationale bijlage te worden gelezen, aanvullend op de Eurocode. Het ProRail voorschrift is een aanvullend document, daarmee kan worden gesteld dat deze altijd strenger moet zijn dan de Eurocode aangezien het kunstwerk ten allen tijde aan de Eurocode moet voldoen.

4.3 Eerste ontwerp

Voordat er een constructieve toetsing uitgevoerd kan worden is er een eerste ontwerp van de bovenbouw van het kunstwerk opgesteld. Dit is het ontwerp dat vervolgens in de volgende stap constructief getoetst is. Tijdens het toetsen van de varianten zijn de constructieve onderdelen verder gedimensioneerd. Voor de dwarsprofielen van het eerste ontwerp wordt verwezen naar tekening ZOB-TK-001 in Bijlage A: Tekeningen.

Deze eerste ontwerpen zijn op basis van het programma van eisen en vuistregels opgesteld. Allereerst is de indeling van het dwarsprofiel voor de spoorbaan bepaald. Voor dit ontwerp zijn de voorschriften van ProRail gehanteerd (PvE). Het dwarsprofiel van het spoor is voor dit ontwerp definitief vastgesteld wanneer deze aan de voorgeschreven eisen voldoet. De indeling van de spoorbaan is ook getoetst en besproken met een expert van de afdeling kunstwerken in railinfra bij Sweco. Voor het bijbehorend besprekingsverslag zie Bijlage E: Besprekingsverslagen. Voor deze ontwerpen zijn de dwarsprofielen op. Hieronder wordt voor beide varianten de totstandkoming van het ontwerp verder toegelicht.

Vuistregels

Rondom de definitief gedimensioneerde spoorbaan zijn de constructieve elementen gedimensioneerd. Deze dimensies zijn bepaald met behulp van vuistregels. Deze vuistregels geven een indicatie van de benodigde constructiegrootte voor de constructieve elementen van het kunstwerk. De benodigde constructiehoogte staat in relatie met de overspanning van het kunstwerk. Dit is ook terug te zien in de vuistregels waar een bepaalde verhouding van de overspanning als hoogte wordt ingeschat.

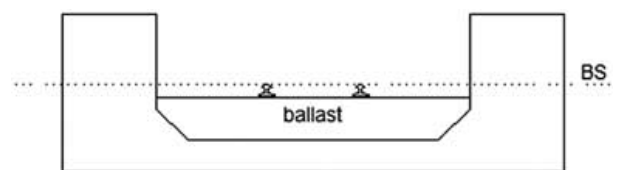
In overleg met constructeurs bij Sweco zijn voor de twee varianten de volgende inschattingen en vuistregels opgesteld:

- Trogbrug: 1/15 L
- Staal-betonbrug: 1/20 L

Voor de trogbrug is een strengere vuistregel opgesteld wat resulteert in een grotere hoogte in het eerste ontwerp dan voor de staal-betonbrug. Dit uitgangspunt is genomen omdat het eigengewicht van de betonnen trogbrug aanzienlijk groter is dan voor de staal-betonbrug. De verwachting is dat er meer constructiehoogte benodigd is om aan de vervormings- en sterkte eisen te kunnen voldoen.

Eerste ontwerp trogbrug

Voor het ontwerp van de trogbrug is als uitgangspunt een relatief eenvoudige doorsnede met rechte zijden genomen zoals weergegeven in Figuur 13. De doorsnede bestaat uit twee hoofdliggers (trogbalken) die overspannen in langsrichting met daartussen de trogvloer die overspant in dwarsrichting.



Figuur 13: Schematisch ontwerp trogbrug (van der Horst, 2004)

Voor de afmetingen van de trogbalken zijn de volgende afmetingen ingeschat:

- Hoogte trogbalk: $1/15l = 1/15 \times 50000 = +3333 = 3300$ millimeter
- Breedte trogbalk: $0,5h = 0,5 \times 3300 = 1650$ millimeter
- Dikte trogvloer: 550 millimeter (van der Horst, 2004)

Voor de breedte van de trogbalk is een halve hoogte van de trogbalk aangenomen. Dit is relatief breed, echter is er veel ruimte nodig om de voorspanankers in te verwerken.

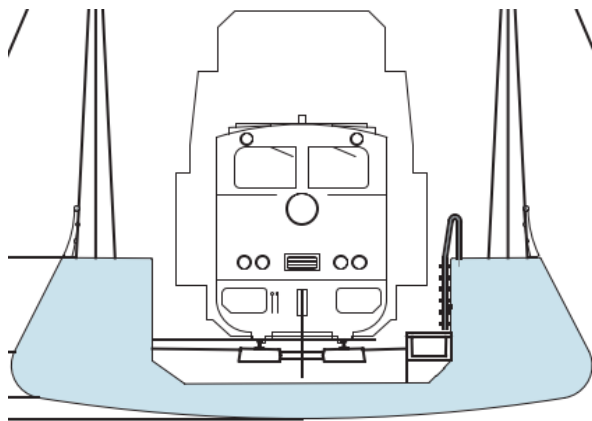
Voor de dikte van de trogvloer is een gemiddelde dikte voor trogbruggen aangehouden zoals beschreven in het rapport Trogbruggen, Specifieke ontwerpaspecten (van der Horst, 2004).

Voor de afstand tussen de trogbalken is de indeling van de spoorbaan leidend. Er zijn uiteindelijk twee mogelijke opties voor deze indeling opgesteld. Deze twee opties zijn weergegeven in Figuur 15. Bij de linker en eerste optie is tussen de trogbalken het dwarsprofiel van het spoor aangebracht met aan één zijde een passeer- en inspectiepad dat zich buiten het profiel van vrije ruimte bevindt. Het nadeel van deze variant is dat het dwarsprofiel niet symmetrisch is en het passeerpad langs het spoor resulteert in een bredere vloer met dus een grotere overspanning.

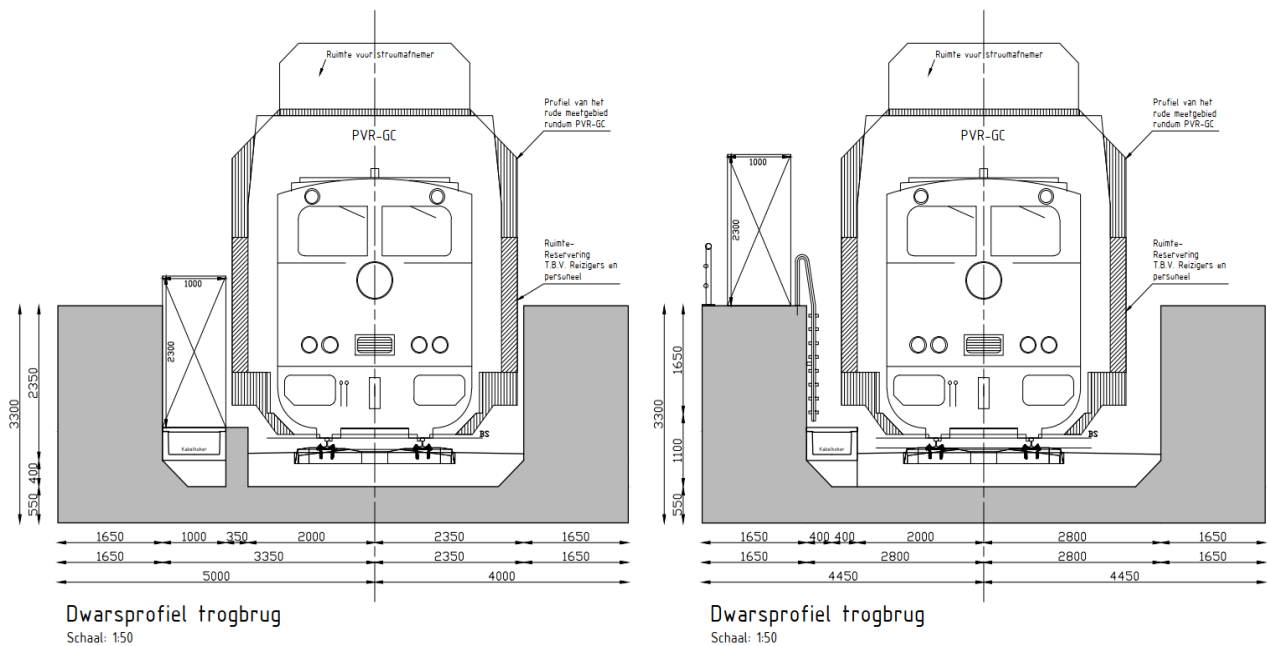
Op basis van een voorbeeld trogbrug is de tweede en uiteindelijk gekozen optie opgesteld. Dit voorbeeld is de Hangtrogbrug Terneuzen weergegeven in Figuur 14 en beschreven in een artikel van Cement Online (van Belkum, Beertsen, Ossendrijver, Reijgersberg, & Roest, 2002).

Bij de tweede optie is het passeerpad bovenop één trogbalk aangebracht. Dit pad voorziet alle functies voor een passeerpad volgens de OVS00030-1 en moet daarom een breedte hebben van minimaal 1000 millimeter. Daarnaast is een inspectiepad direct langs het spoor aangebracht. Het voordeel is dat dit pad smaller mag zijn volgens de OVS00056-4.2 omdat de baanvaksnelheid lager is

dan 40 km/h en het geen functie heeft als passeerpad op een kunstwerk. Dit inspectiepad bevindt zich wel binnen het PVR. Er moeten vluchttrappen worden aangebracht om veilig naar het passeerpad te kunnen bij een naderende trein. Het resultaat van het plaatsen van het passeerpad op een trogbalk is een symmetrische doorsnede en daarnaast een minder breed brugdek. Dit is constructief en voor de constructiegrootte gunstig. De tweede optie is daarom ook gekozen voor constructieve uitwerking. De varianten zijn tevens ook getoetst met North Sea Port. Ook daaruit volgt de tweede optie met één passeerpad op de trogbalk als voorkeursvariant. (H. de Meij, persoonlijke communicatie, 14 april 2022 & Bijlage E besprekingsverslagen).



Figuur 14: Hangtrogbrug Terneuzen (van Belkum, Beertsen, Ossendrijver, Reijgersberg, & Roest, 2002).



Figuur 15: Dwarsprofiel eerst ontwerp trogbrug, twee variaties (ZOB-TK Dwarsprofielen eerste ontwerp).

Eerste ontwerp staal-betonbrug

Bij het opstellen van het eerste ontwerp voor de staalbetonbrug is gebruik gemaakt van een voorbeeld staal-betonbrug in Nederland. Dit is de spoorbrug over de Rijn in Oosterbeek. Een artikel van de Bruggenstichting over het ontwerp van deze spoorbrug is als bron gebruikt (Touw, 2005).



Figuur 16: Aanzicht staal-betonbrug Oosterbeek (Touw, 2005).

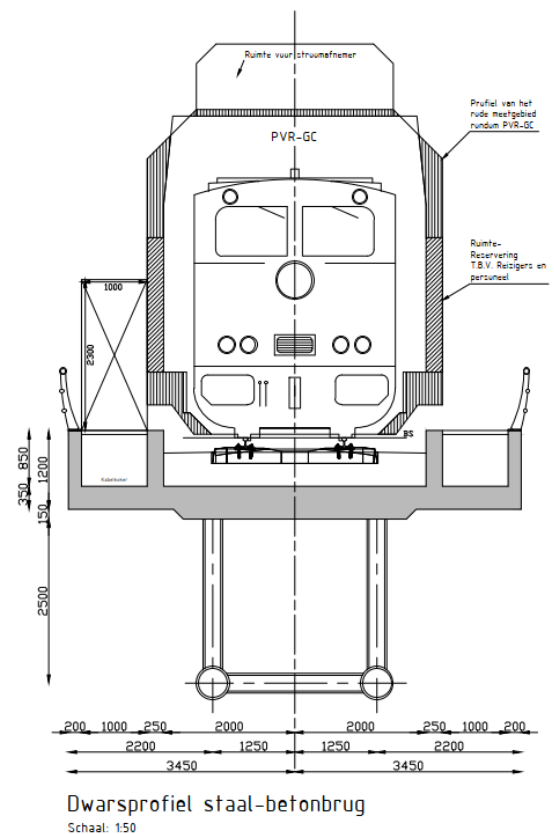
Net als in het voorbeeld is gekozen voor een staal-betoncombinatie bestaand uit een betonnen brugdek als bovenflens met een stalenvakwerk als onderflens.

De afmetingen van het vakwerk in dwarsrichting zijn met behulp van de opgestelde vuistregel bepaald:

- Hoogte vakwerk: $1/20l = 1/20 \times 50000 = 2500$ millimeter
- Breedte vakwerk: $1/20l = 1/20 \times 50000 = 2500$ millimeter

De breedte van het dwarsprofiel van het brugdek is zo minimaal mogelijk gemaakt door de indeling efficiënt in te delen. Voor de breedte van het ballastbed is gemeten vanaf hart spoor tot buitenzijde ballastkering de maximale waarde van 2,0 meter aangehouden. Vervolgens is een betonnen opstort met een breedte van 250 millimeter voorzien die als ballastkering werkt. De buitenzijde van deze opstort is gelijk met de buitenrand van het PvR. Het passeerpad langs het spoor kan daarom direct langs de opstort worden aangebracht met een breedte van 1,0 meter wat de minimum breedte voor een passeerpad betreft. Langs het passeerpad is een tweede opstort voorzien als afwerking en om de brugleuning op te kunnen bevestigen. Deze draagt constructief minder belasting dan de ballastkering en heeft daarom een breedte van 200 millimeter. Tot slot is er ruimte onder het passeerpad voor de kabelkoker.

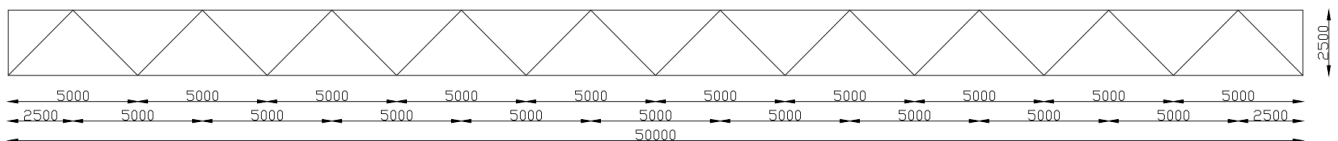
Met de bovenstaande afmetingen van het vakwerk en het brugdek komt men tot het dwarsprofiel zoals weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17: Dwarsprofiel eerste ontwerp staal-betonbrug. (ZOB-TK Dwarsprofielen eerste ontwerp).

Voor het ontwerp van de twee vakwerkliggers in langsrichting is een vrijwel gelijk type vakwerk als in Figuur 16 aangehouden. Het ontwerp van de langsdoorsnede van het vakwerk wordt hieronder verder toegelicht.

Allereerst is er gekozen enkel diagonalen en geen verticale staanders toe te passen in het vakwerk. Behalve een verticale staander aan beide uiteinden van de vakwerkligger. In totaal zijn 20 diagonalen toegepast in het vakwerk. De hart op hart afstand tussen de knopen van het vakwerk is dan 5,0 meter. Verder is gekozen het vakwerk te construeren met stalenbuisprofielen. Voor de bovenregel is het brugdek het constructieve element. Het vakwerk in de langsdoorsnede komt er dan zoals in Figuur 18 is weergegeven uit te zien. De twee vakwerkliggers worden bovenin verbonden door het brugdek en aan de onderzijde door in totaal elf dwarsstaven, aangebracht ter plaatse van de knopen waar de diagonalen samenkomen, verbonden. De stabiliteit in dwarsrichting wordt voorzien door een kruis/vakwerk aan te brengen op het uiteinde van het raamwerk.



Figuur 18: Langsdoorsnede vakwerk eerste ontwerp.

4.4 Constructieve toetsing

De bovenbouw van de trogbrug en staal-betonbrug zijn op globaal (VO) niveau constructief uitgewerkt. In dit hoofdstuk worden de resultaten van deze constructieve berekeningen toegelicht. Voor de volledige ontwerprapporten behorend bij deze constructieve toetsingen wordt verwezen naar Bijlage G: Globale berekening trogbrug en Bijlage H: Globale berekening staal-betonbrug.

4.4.1 Uitgangspunten

De uitgangspunten zijn voor beide varianten grotendeels gelijk. Deze uitgangspunten zijn gebaseerd op de hoofdstukken 2.3 randvoorwaarden en beperkingen en 2.4 programma van eisen.

De belangrijkste uitgangspunten zijn:

- Berekeningen uitgevoerd conform Eurocode + nationale bijlage
- Ontwerplevensduur van 100 jaar
- Gevolg en betrouwbaarheidsklasse 3
- Geometrie volgens eerste ontwerp (ZOB-TK-001)

4.4.2 Belastingen en belastingcombinaties

De belastingen waarop de ontwerpen zijn getoetst zijn uitgebreid beschreven in hoofdstuk 3 van de ontwerprapporten. Hieronder zijn de belastingen genoemd waarop beide varianten zijn getoetst:

Permanent:

- Eigengewicht
- Ballast/bovenbouw
- Kabels, leidingen & leuningen

Variabel:

- Verticale spoorbelasting spoorwegverkeer
 - Lastmodel 71 (LM71)
 - Belastingmodel SW/2
- Optredende horizontale krachten spoorverkeer
- Belasting op inspectiepad
- Windbelasting

Volgens de Eurocode 0 grondslagen hoeft er bij spoorbruggen niet op sneeuwbelasting te worden getoetst. Deze belasting is daarom niet meegenomen.

Verder is de thermische belasting niet als maatgevend beschouwd omdat de brug als een vrij opgelegde ligger op twee steunpunten gezien kan worden. De krimp en uitzetting van het beton kan optreden zonder extra spanningen in het beton te introduceren. Dit belastinggeval is daarom ook niet meegenomen.

De optredende horizontale belastingen van spoorwegverkeer bestaan uit: centrifugaal krachten, zijdelingse stootbelasting en rem- en aanzetkrachten. In deze berekening is enkel de zijdelingse stootbelasting meegenomen. Het betreft in dit geval een rechte brug, centrifugaal krachten treden enkel op in bochten en is hier dus gelijk aan 0. Verder worden de rem- en aanzetkrachten opgenomen in het landhoofd en de fundering. Voor deze fase van het ontwerp zijn deze krachten daarom niet als maatgevend beschouwd en zijn in deze berekening daarom niet meegenomen.

Aangezien het een voorlopig ontwerp betreft zijn de toetsingen voor kruip, vermoeiing, brand en trillingen in de berekeningen buiten beschouwing gelaten.

Belastingcombinaties

De belastingcombinaties zijn opgesteld volgens de voorschriften en voorgeschreven belastinggroepen uit de Eurocode. Daarin is gebruik gemaakt van de vergelijkingen 6.10a en 6.10b voor blijvend en tijdelijke ontwerpsituaties en de karakteristieke en frequentie combinaties. Met de bijbehorende belastingfactoren en momentaanfactoren.

In de modellen voor de langsdoorsnede is enkel de verticale spoorbelasting gemodelleerd. Hier is dus enkel een combinatie van de permanente belasting met lastmodel 71 (LM71) of SW/2 gecombineerd. In deze situaties is gebleken dat het LM71 voor een spoorbrug met een overspanning van 50 meter maatgevend is.

Voor het model in de dwarsrichting is de verticale spoorbelasting, horizontale spoorbelasting en de andere variabele belastingen berekend. De belastingcombinaties die gelden zijn bepaald met de belastinggroepen zoals beschreven in de Eurocode 1 tabel 6.11. Deze tabel beschrijft dat de verticale en horizontale belastingen moeten worden gecombineerd waarbij LM71 en SW/2 eenmaal als overheersende belasting moet worden genomen. En de zijdelingse

stoot belasting enkel in combinatie met LM71 als overheersend moet worden beschouwd.

Verder zijn deze combinaties altijd gecombineerd met de belasting op het passeerpad en de windbelasting. Behalve voor belastingmodel SW/2 daarbij hoeft niet met een combinatie van windbelasting te worden gerekend. De combinatie van overheersende belasting LM71 in combinatie met de andere variabele belastingen is ook in de dwarsdoorsnede maatgevend.

4.4.3 Trogbrug

In deze paragraaf worden de resultaten specifiek voor het ontwerp van de trogbrug benoemd.

Modellering

Allereerst zijn de doorsnede gegevens van de trogbrug bepaald. Om deze doorsnede gegevens te bepalen is een Excel spreadsheet gemaakt. Voor deze spreadsheet en toegepaste formules wordt verwezen naar hoofdstuk 5 van Bijlage G: Globale berekening trogbrug en Bijlage L: Excel spreadsheets. Tijdens het ontwerpproces zijn de doorsnede gegevens een aantal keer veranderd om een constructie te krijgen die aan de eisen voldoet. In Tabel 6 is een overzicht weergegeven van de doorsnede gegevens van het definitieve en getoetste ontwerp van de trogbrug.

Tabel 6: Doorsnede gegevens trogbrug.

Doorsnede gegevens trogbrug			
Oppervlakte	A_{beton}	15,07	m ²
Traagheidsmoment y-y	I_y	17,52	m ⁴
Traagheidsmoment z-z	I_z	165,50	m ⁴
Uiterste onderste vezel tot n.l.	y_{onder}	1,42	m
Uiterste bovenste vezel tot n.l.	y_{boven}	2,08	m
Weerstandsmoment boven	W_{boven}	8,40	m ³
Weerstandsmoment onder	W_{onder}	12,37	m ³

In Technosoft Raamwerken zijn twee verschillende modellen gemaakt voor de trogbrug. Eén voor de langsdoorsnede waarbij de trogbrug is gemodelleerd als een ligger op twee steunpunten. Waarbij de gehele doorsnede door middel van de gegevens in Tabel 6 is ingevoerd. Het resultaat van dit model is een uitvoer met daarin de vervorming en krachten van de gehele trogbrug in langsrichting voor de verschillende belastinggevallen. Deze uitvoer is bijgevoegd in het ontwerpproject in Bijlage G: Globale berekening trogbrug.

Daarnaast is er een model gemaakt van de dwarsdoorsnede van de trogbrug. Dit model is gemodelleerd met twee rolopleggingen en een berekende veerwaarde ter plaatse van het veldmidden. Het betreft daarom ook een model ter plaatse van het veldmidden. Het resultaat van dit model is een uitvoer waaruit de vervormingen en krachten in de trogvloer gehaald kunnen worden. Ook deze uitvoer is bijgevoegd in het ontwerpproject.

Voorspanning

Aanvullend op de reeds vastgestelde belastingen moet voor de trogbrug de voorspanbelasting worden bepaald. De voorspanning wordt als belastingmodel ingevoerd in het model, want voorspannen is in feite het belasten én vervormen van de constructie.

De benodigde hoeveelheid voorspanning is bepaald aan de hand van de betonspanningen, het doel was voldoende voorspanning toepassen zodat er geen trekspanning optreedt onderin de doorsnede, in de bruikbaarheids-grenstoestand (BGT). Daarnaast moet de doorbuiging onder de maximale vervorming blijven. Dit is een iteratiefproces: eerst wordt een voorspanstelsel gekozen, vervolgens zijn de voorspanbelastingen berekend, deze worden ingevoerd in het model en op basis van de krachten en vervormingen is bepaald of er voldoende of te veel voorspanning is toegepast.

Voor het bepalen van de voorspanbelastingen is een Excel spreadsheet gemaakt. Deze Excel sheet is terug te vinden in Bijlage L: Excel spreadsheets. En is toegepast in Bijlage 1 van Bijlage G: Globale berekening trogbrug.

Uit de Excel berekeningen volgt voor de het totaal van de voorspanbelasting van het definitief gekozen voorspanstelsel de volgende belastingen:

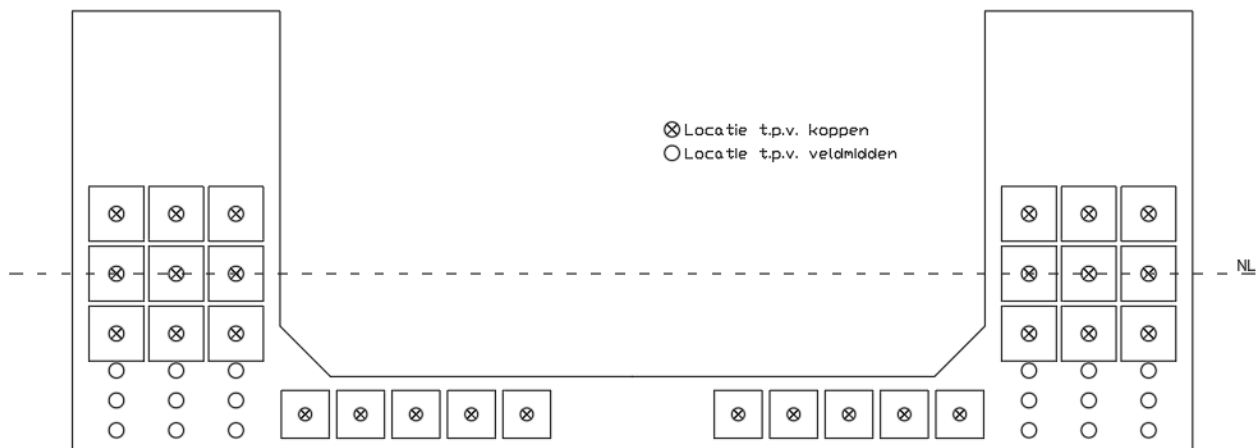
Tabel 7: Voorspanbelasting definitief systeem (Excel voorspanning).

Belasting	Waarde bij werk-voorspanning	Waarde bij aanvangs-voorspanning	Eenheid
Krommingsdruk	238	302	kN/m
Normaalkracht kop	106.229	134.557	kN
Verticaalkracht kop	5.960	7.550	kN
Moment	33.394	42.299	kNm

Uit het ontwerpproces voor het bepalen van de benodigde voorspanning volgen een aantal bevindingen. Allereerst dat de benodigde hoeveelheid voorspanning voor deze trogbrug niet enkel in de trogbalken kan worden toegepast. Er is dus ook voorspanning in de trogvloer nodig. Wat tevens een gunstig effect heeft op het inleiden van de voorspankracht in de gehele doorsnede. De voorspankracht wil zich door de gehele doorsnede verspreiden. Door de voorspanning meer verdeeld over de doorsnede toe te passen in bijvoorbeeld de trogbalken en de vloer en niet te concentreren enkel in de trogbalken is er minder wapening benodigd ten behoeve van het inleiden van de krachten.

Verder is het aanbrengen van de voorspankoppels in de zwaartelij van de trogbrug is het meest gunstig gebleken. Zo worden er geen kopmomenten geïntroduceerd door de voorspanning. Er is geprobeerd minder voorspanning aan te brengen in de trogbalken, door in plaats van negen symmetrische koppels slechts zeven koppels niet symmetrisch en excentrisch aan te brengen boven de normaallijn. Hierdoor wordt de afstand tussen de voorspankabel ter plaatse van de kop en het veldmidden groter wat leidt tot een hogere opwaartse krommingsdruk. Echter wordt dit positieve effect te niet gedaan door de ongunstige kopmomenten die geïntroduceerd worden door de excentriciteit van de voorspanning. Daarom is gekozen om het zwaartepunt van de voorspanning in de trogbalken op de zwaartelij van de trog aan te brengen. Excentriciteit bij de voorspanning in de vloer kan uiteraard niet voorkomen worden.

De gekozen voorspanning in langsrichting bestaat uit in totaal 28 kabels gelegen in de trogbalken en de vloer van de trogbrug. In beide trogbalken liggen 9 voorspankabels van 27 strengen Ø 15,7 mm. In de trogvloer liggen 10 recht gelegen voorspankabels van 19 strengen Ø 15,7 mm. De ligging van de voorspankabels is weergegeven in Figuur 19.



Figuur 19: Ligging gekozen voorspanstelsysteem in langsrichting van de trogbrug.

Berekeningsresultaten

Uit de constructieve berekening volgt dat de maximale vervorming van de trogbrug maatgevend is ten opzichte van de decompressie eis en de controle voor de momentweerstand:

- Spanning in de BGT van 1,16 N/mm² druk → geen trek dus akkoord
- Vervorming van 57 millimeter ≤ 62,5 millimeter = eis U_{max}
- Momentweerstand $M_{Rd} = 258932 \geq 141154$ = optredend moment M_{Ed}

De benodigde voorspanning is reeds toegelicht. De berekende betonwapening is als volgt: In langsrichting is de restcapaciteit in het voorspanstaal voldoende om het moment op te kunnen nemen. De langswapening is daarom meer praktisch en bestaat uit Ø16-100 in zowel de trogbalk en de trogvloer.

De wapening in de trogvloer in dwarsrichting bestaat uit Ø25-200 met bijlegwapening Ø20-200. In de trogvloer is geen dwarskrachtwapening benodigd.

Om aan de toetsingen te kunnen voldoen is naast de berekende wapening en voorspanning ook een wijziging van de geometrie nodig. Ten opzichte van het eerste ontwerp zoals beschreven in 4.3 zijn de volgende wijzigingen gemaakt:

- Hoogte trogbalken 3300 millimeter → 3500 millimeter
- Dikte trogvloer 550 millimeter → 600 millimeter

4.4.4 Staal-betonbrug

In deze paragraaf worden de resultaten specifiek voor het ontwerp van de staal-betonbrug benoemd.

Modellering

Bij de staal-betonbrug is het brugdek onderdeel van het vakwerk, namelijk de bovenregel. Om deze in het Technosoft model in te kunnen voeren moeten de doorsnede gegevens bepaald worden. Dit is gedaan met een opgestelde Excel spreadsheet vergelijkbaar met de sheet voor de trogbrug. Voor deze spreadsheet en toegepaste formules wordt verwezen naar hoofdstuk 5 van het ontwerprapport in Bijlage H: Globale berekening staal-betonbrug en Bijlage L: Excel spreadsheets. In Tabel 8 is een overzicht weergegeven van de doorsnede gegevens van het definitieve ontwerp van het brugdek.

Tabel 8: Doorsnede gegevens brugdek staal-betonbrug.

Doorsnede gegevens brugdek staal-betonbrug			
Oppervlakte	A_{beton}	3,023	m ²
Traagheidsmoment y-y	I_y	0,057	m ⁴
Uiterste onderste vezel tot n.l.	y_{onder}	0,275	m
Uiterste bovenste vezel tot n.l.	y_{boven}	0,225	m
Weerstandsmoment boven	W_{boven}	0,255	m ³
Weerstandsmoment onder	W_{onder}	0,209	m ³

De krachten in het vakwerk en de toetsing van de staalprofielen zijn bepaald en uitgevoerd met behulp van een Technosoft Raamwerken model. Er is een model gemaakt in langsdoorsnede van een enkele vakwerkligger. Het brugdek ligt symmetrisch op het vakwerk, voor een enkele vakwerkligger moet dus een half brugdek worden gemodelleerd. De invoer van de doorsnedegegevens van het brugdek zijn daarom de gehalveerde waarden vanuit Tabel 8. Het resultaat is een uitvoer met daarin de optredende krachten in de staven van het vakwerk en een gehalveerde waarde van de krachten in langsrichting in het brugdek. En de totale vervorming van de staalbetonbrug in langsdoorsnede.

Het brugdek is gemodelleerd als een ligger op twee steunpunten met aan weerszijden een uitkraging in een separaat raamwerken model. Het raamwerk onder het brugdek is in dit model niet meegenomen. Het resultaat is een uitvoer met daarin de vervormingen en krachten in het brugdek in dwarsrichting. De uitvoer van deze modellen is bijgevoegd in het ontwerprapport in Bijlage H: Globale berekening staal-betonbrug.

Berekeningsresultaten

De berekening van de staal-betonbrug is in het ontwerprapport uitgebreid uitgewerkt. Hieronder worden kort de resultaten van deze constructieve berekeningen toegelicht.

De staalprofielen in het vakwerk zijn met Technosoft raamwerken geselecteerd en getoetst. Het resultaat is een staaluitvoer met daarin de berekende buisprofielen en de unity checks van de knik- en kiptoetsen. Deze toetsing is tevens met een handberekening voor de zwaarst belaste diagonaal gecontroleerd.

Uit de constructieve berekeningen volgt dat de vervorming maatgevend is. Om over dimensionering van de profielen op basis van vervorming ten opzichte van sterkte te voorkomen en de hoogte van het vakwerk te beperken is een zeeg toegepast. Deze zeeg heeft een hoogte van zo'n 75 millimeter waardoor de doorbuiging onder het eigengewicht genivelleerd wordt. De vervormingstoets is vervolgens uitgevoerd op enkel de bijkomende doorbuiging als gevolg van de verticale spoorbelasting.

Voor de onderregel van het vakwerk is een buisprofiel B559/30 met staalkwaliteit S355 berekend op basis van de vervormingseis. Voor de diagonalen is de knikstabiliteit maatgevend en is buisprofiel B323.9/30 van staalkwaliteit S235 gekozen. De verticale wandregels en dwarsverbinding tussen de vakwerk liggers zijn niet maatgevend. Echter om praktische reden gelijk gehouden aan de diagonalen met een buisprofiel B323.9/30 met staalkwaliteit S235.

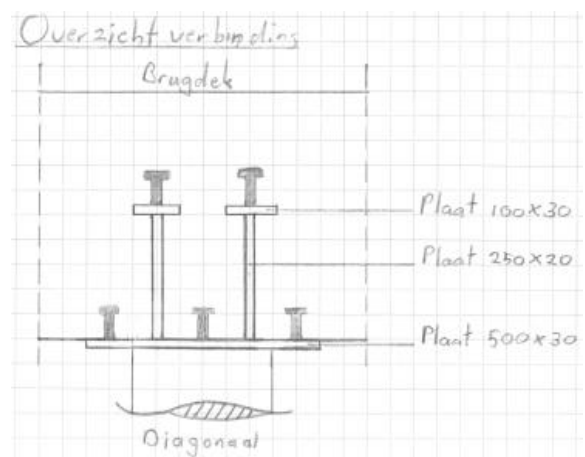
De wapening van het brugdek is met een Excel spreadsheet voor betonwapening gecontroleerd. Deze sheet controleert op basis van de opgegeven krachten en ingevoerde wapening op alle uit te voeren toetsen. In langsrichting van het brugdek is boven en onder wapening $\varnothing 12$ -100 toegepast om het buigend moment op te kunnen nemen. De wapening in het brugdek in dwarsrichting bestaat uit $\varnothing 16$ -100. Deze wapening is gekozen op basis van dwarskracht en scheurvorming, voor de momentweerstand kan worden volstaan met minder wapening. In het brugdek is in langs- en dwarsrichting geen dwarskrachtwapening benodigd.

Om de normaalkrachten vanuit de diagonalen in het brugdek in te kunnen leiden is voorzien op een staal-betonverbinding bestaand uit een staalprofiel met deuvels. In inleidingsgebied wordt de normaalkracht in het beton over gebracht door 5 deuvels in een doorsnede met een hart op hart afstand van 125 mm. De staal-betonverbinding is in

Als gevolg van het inleiden van de normaalkrachten in het beton treden in dwarsrichting trekkrachten op. Om het splijten van het beton te voorkomen wordt boven en onder spleijwapening $\varnothing 16$ -125 in dwarsrichting toegepast.

De vuistregel voor de hoogte van het vakwerk is geen accurate inschatting geweest. Door de strenge vervormingseis was een aanzienlijk grotere hoogte nodig. Daarnaast is ook de breedte van het vakwerk geoptimaliseerd voor een gunstigere krachtswerking in het brugdek. De volgende aanpassingen ten opzichte van het eerste ontwerp zijn gemaakt:

- Onderzijde vakwerk tot hart brugdek: 3750 millimeter
- Breedte vakwerk (h.o.h): 2500 millimeter → 3000 millimeter
- Breedte uitkragingen brugdek: 2200 millimeter → 1950 millimeter



Figuur 20: Overzicht staal-betonverbinding.

4.5 Bouwkosten, duurzaamheid & uitvoerbaarheid

De twee varianten worden afgewogen in een multicriteria-analyse op basis van drie criteria. Dat zijn: bouwkosten, duurzaamheid en uitvoerbaarheid. Hiervoor moeten kostenramingen, duurzaamheidsberekeningen en een beschrijving van de uitvoering worden gemaakt. De resultaten behorend bij de uitwerking van deze criteria, worden in dit hoofdstuk toegelicht.

4.5.1 Hoeveelheden

De kostenramingen en duurzaamheidsberekeningen zijn op basis van (materiaal)hoeveelheden gemaakt. Allereerst is een overzicht gemaakt van alle elementen en bijbehorende hoeveelheden van de twee varianten. Dit is gedaan op basis van het voorlopig ontwerp vastgesteld na uitvoering van de constructieve berekeningen. Voor een overzicht van de hoeveelheden van beide varianten wordt verwezen naar Bijlage I: Hoeveelheden.

De hoeveelheden zijn afhankelijk van de invoer in de kostenraming of duurzaamheidsberekening omgerekend naar benodigde eenheid. De gegevens om de hoeveelheden te kunnen berekenen zijn verzameld uit de constructieve berekeningen, Technosoft modellen en een tabellenboek.

Voor het bepalen van de hoeveelheid betonstaal in kilogrammen is een aanvullende handberekening gemaakt. Deze is ook terug te vinden in Bijlage I: Hoeveelheden. Omdat niet alle wapening van de trogbrug is berekend in de globale ontwerpberekening is er een inschatting gemaakt van deze wapening. Deze inschatting is gemaakt op basis van een uitvoeringsgereed ontwerp van een trogbrug van HSL-infrarail (van den Elsen, 2002).

Tevens is een omrekening van de buisprofielen bijgevoegd in Bijlage I. In de milieudatabase van DuboCalc, waarmee de duurzaamheidsberekening wordt uitgevoerd, is namelijk geen MKI-waarde van constructiestaal per kilogram opgenomen. Voor de MKI-waarde van constructiestaal zijn de volgende profielen beschikbaar:

- Klein, IPE 140
- Middelgroot, IPE 300
- Groot, IPE 600

Om een eerlijke afweging te kunnen maken is daarom een omrekening van de hoeveelheid buisprofielen in m1 naar een equivalente lengte IPE 600 profiel gemaakt op basis van doorsnede grootte van de staalprofielen.

4.5.2 Bouwkosten

Voor de kostenramingen van de twee varianten wordt verwezen naar Bijlage J: Kostenramingen. Aan de hoeveelheden en elementen zijn eenheidsprijzen gegeven. Deze eenheidsprijzen zijn opgevraagd bij een kostenexpert binnen afdeling kunstwerken bij Sweco. Door de hoeveelheden te vermenigvuldigen met de eenheidsprijs komt men tot een totaal bedrag voor de bouwkosten van de bovenbouw van het kunstwerk.

Bovenop de bouwkosten wordt een percentage meegenomen voor de uitvoeringskosten. Dit percentage is voor de trogbrug op 10% aangenomen en voor de staal-betonbrug op 5%. De trogbrug constructie wordt namelijk buiten in het werk aangebracht. De omstandigheden zijn dus niet controleerbaar en er

moet gewerkt worden op locatie langs het bestaande spoor. Daarnaast moet er een grote tafelbekisting worden aangebracht als tijdelijke ondersteuning.

In tegenstelling tot de vakwerkligger die prefab in een hal gemonteerd kan worden. In een hal zijn de omstandigheden gunstig: geen weersomstandigheden, materieel op locatie beschikbaar, goed verlicht etc. De transportkosten voor het vakwerk zijn eenmalig hoog, echter is er gedurende het storten van de trogbrug over een langere periode sprake van transportkosten. Na optelling van deze uitvoeringskosten komt men tot een totaalbedrag voor de directe kosten.

Naast de directe kosten zijn er ook indirecte kosten in beschouwing genomen. Deze indirecte kosten betreffen: winst en risico, algemene (bouwplaats)kosten en verzekering. De directe kosten worden vermenigvuldigd met een percentage, deze zijn gebaseerd op procenten de doorgaans worden aangehouden bij VO-kostenramingen binnen Sweco.

De totale kosten betreffen de som van de directe en indirecte kosten. Een overzicht van de berekende kosten voor beide varianten is in Tabel 9 weergegeven. In de tabel is te zien dat de totale kosten voor de staal-betonbrug hoger zijn dan de trogbrug. Het grootste verschil zit daarbij in de directe kosten. Een aandachtspunt hierbij is dat de kosten voor de spoorconstructie niet in de kostenramingen is opgenomen. De kosten betreffen enkel de aanleg van de constructieve elementen van de bovenbouwconstructie van beide kunstwerken inclusief de aan te brengen balustrades en trappen.

Tabel 9: Overzicht berekende kosten.

Variant	Directe kosten	Indirecte kosten	Totale kosten
Trogbrug	€654.000	€141.000	€795.000
Staal-betonbrug	€756.000	€164.000	€920.000

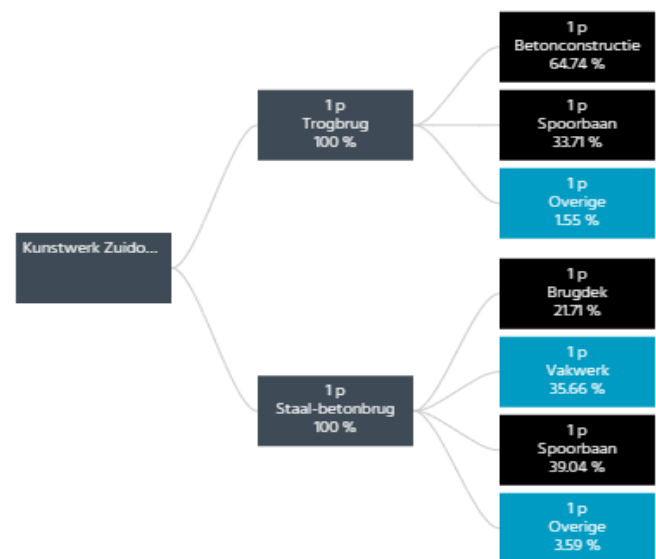
Het verschil in de kosten tussen de twee varianten is te verklaren door het verschil in gebruik van beton en staal. Beton is namelijk een goedkoper materiaal dan staal. Dit is in de ramingen voor de trogbrug goed terug te zien. De trogbrug bestaat hoofdzakelijk uit beton, echter is het overgrote deel van de kosten opgebouwd uit de posten wapeningsstaal en voorspanstaal.

De staal-betonbrug bestaat uit de grootste hoeveelheid staal, wat hoofdzakelijk voort komt uit de vakwerkconstructie. De directe bouwkosten van de staal-betonbrug komen hierdoor hoger te liggen dan voor de trogbrug. Daarnaast wordt het staal in de trogbrug beschermd door het beton. Het vakwerk moet gedurende de levensduur onderhouden worden met een natlaksysteem wat extra kosten met zich meebrengt. De vaste percentages voor de indirecte bouwkosten laten het prijsverschil vervolgens nog verder uiteenlopen.

4.5.3 Duurzaamheid

De duurzaamheidsberekening is uitgevoerd met behulp van DuboCalc. In DuboCalc is een project aangemaakt met daarin twee varianten, de trogbrug en de staal-betonbrug. Aan deze varianten kunnen vervolgens elementen worden toegevoegd. De opbouw van de twee varianten en toegekende elementen is weergegeven in Figuur 21. De percentages geven het aandeel van de totale MKI-waarde weer. Aan deze elementen zijn deel-elementen toegevoegd. Voor een overzicht van de gehele elementen en deel-elementen opbouw wordt verwezen naar Bijlage K: DuboCalc duurzaamheidsberekening.

Tot slot zijn onder de deel-elementen de verschillende materialen en hoeveelheden toegevoegd zoals deze zijn berekend in Bijlage I. De materialen die aan de varianten zijn toegevoegd komen uit de Nationale Milieudatabase die is opgenomen in DuboCalc. Per materiaal is voor de vastgestelde eenheid een milieu kosten indicatie (MKI) toegekend. Deze MKI-waarde is opgebouwd uit diverse onderdelen van het productieproces tot het aanbrengen en de daarbij behorende milieu impact. Op basis van onderzoeken is deze milieu impact berekend en toegekend aan het element in de vorm van een MKI-waarde.



Figuur 21: DuboCalc opbouw elementen (DuboCalc versie 6.0).

Voor deze berekening is gebruikgemaakt van de data tot en met 9 mei 2022. Voor beide varianten zijn de materialen en bepaalde hoeveelheden ingevoerd in DuboCalc.

Daarnaast is er de mogelijkheid om de levensduur van element in te voeren. Voor de constructieve onderdelen is dit gelijk aan de ontwerp levensduur van 100 jaar. Echter voor de spoorstaven wordt bijvoorbeeld een levensduur van 45 jaar aangehouden. Deze levensduur wordt in DuboCalc ook aangegeven. Bij deze elementen is de levensduur aangepast van 100 jaar naar de betreffende levensduur voor dat element. DuboCalc neemt dan automatisch de vervanging van deze elementen mee voor een totale levensduur van 100 jaar.

Voor een totaal overzicht van de invoer in DuboCalc wordt verwezen naar Bijlage K: DuboCalc duurzaamheidsberekening.

Op basis van alle ingevoerde materialen, hoeveelheden en de levensduur is door DuboCalc een totale MKI-waarde berekend. Deze MKI is een fictieve prijs die gemaakt zou moeten worden om de negatieve impact op het milieu als gevolg van de constructie te compenseren. Kortom hoe hoger de waarde hoe slechter dat deze is. De totale MKI-waarde per variant is in Figuur 22 weergegeven. De kleuren geven de elementen weer waarvan de MKI-waarde in Tabel 10 is weergegeven. Hieruit volgt dat de MKI-waarde van de trogbrug het hoogste is. De trogbrug heeft dus een grotere impact op het milieu dan de staal-betonbrug.

De verwachting is dat het verschil in de resultaten voor beide varianten wordt veroorzaakt door een hogere MKI-waarde voor beton. In Figuur 22 is dit ook terug te zien door het grote aandeel dat de betonconstructie op zich neemt bij de trogbrug, in vergelijking met het vakwerk bij de staal-betonbrug. Belangrijk is dat in het getal voor de betonconstructie ook het wapening- en voorspanstaal is opgenomen. Echter zoals in de elementen verdeling in Bijlage K te zien is heeft het beton hier het grootste aandeel in.



Tabel 10: MKI-waarde per element (DuboCalc).

Trogbrug			Staal-betonbrug	
	Betonconstructie	49.553	Brugdek	13.801
	Spoorbaan	25.798	Vakwerk	22.666
	Overig	1.186	Spoorbaan	24.816
			Overige	2.281
	Totaal	76.537	Totaal	63.564

Figuur 22: Vergelijking MKI-waarden varianten (DuboCalc).

4.5.4 Uitvoerbaarheid

De uitvoerbaarheid wordt niet op kwantitatieve wijze uitgedrukt. Zoals bij de bouwkosten en duurzaamheid is gedaan. De uitvoerbaarheid wordt beoordeeld op basis van een beoordelingsschaal. De uitvoerbaarheid van de twee varianten is met elkaar vergeleken op basis van Bouwtijd (op het werk), kwaliteitsbeheersing en transport.

Het grootste verschil tussen de twee varianten is de bouwmethode. De betonnen trogbrug wordt volledig in het werk gestort en gerealiseerd. De staal-betonbrug kan deels geprefabriceerd worden. Het stalenvakwerk wordt in een staalfabriek geproduceerd en naar de bouwlocatie getransporteerd. Het betonnen brugdek kan vervolgens in het werk op het stalenvakwerk worden gestort.

Bouwtijd

Wat betreft de bouwtijd wordt gekeken naar de bouwtijd op het werk. Bouwtijd in een productiehal wordt niet als een nadeel gezien omdat er gedurende deze tijd geen hinder plaatsvindt. Daarnaast kan er gelijktijdig op het werk worden gestart met andere werkzaamheden naast de bovenbouw wat resulteert in een kortere doorlooptijd voor het gehele werk. De bouwtijd is bij de staal-betonbrug daarom korter ingeschat. Aangezien een groot deel van de brug in een productiehal kan worden gerealiseerd. Daarnaast zijn de omstandigheden in

een productiehal controleerbaar. Er zijn geen weersomstandigheden, materieel op locatie aanwezig en altijd verlicht. Dit komt ten goede van de bouwtijd. Bij realisatie van de trogbrug kan vertraging optreden door bijvoorbeeld weersomstandigheden.

Daarnaast is er voor beide varianten een groot verschil in het benodigde bekistingswerk. Voor de trogbrug is een grote tafelbekisting nodig en de brug moet tijdens het storten tot het aanspannen van de voorspanning worden ondersteund. Zoals ook gedaan is bij een eerder aangehaald voorbeeld: de Hangtrogbrug Terneuzen zoals weergegeven in Figuur 23. Een extra uitdaging bij de brug over de Sluiskiltunnel is dat de ondersteuning indirect op het dak van de tunnel wordt aangebracht. Hierbij moet rekening gehouden worden met de maximaal toelaatbare belasting van de tunnel, wat mogelijk extra voorzieningen vereist.



Figuur 23: Bekisting en ondersteuning bouw hangtrogbrug Terneuzen.
(Swart, Bouw hangtrogbrug Terneuzen, 2001)

De betondoorsnede van het brugdek van de staal-betonbrug is kleiner dan voor de trogbrug, daarom is er relatief minder bekistingwerk nodig. Daarnaast kan het onderliggende vakwerk als bekistingsondersteuning worden gebruikt. Zoals dat ook gedaan is bij de staal-betonbrug Oosterbeek. “Voor de bekisting-ondersteuning van de zij-uitkragingen van de betonnen bovenflens is de onderrand van het stalen vakwerk gebruikt.” (Touw, 2005).

Kwaliteitsbeheersing

De geprefabriceerde vakwerkconstructie wordt geproduceerd in een gecontroleerde en gereguleerde fabrieksomgeving. De kwaliteit van het object kan hierdoor beter beheerst worden en wordt niet beïnvloed door omgevingsfactoren. Alle componenten van het vakwerk hebben daardoor een gelijkwaardige kwaliteit.

De trogbrug en het brugdek van de staal-betonbrug (echter in een kleiner volume) worden in het werk gestort en geproduceerd. Het nadeel ten opzichte van prefab is dat er minder controle is op het productie proces. De omstandigheden waarin het beton wordt gestort en uithard is niet controleerbaar. Hierdoor kunnen kwaliteitsverschillen ontstaan. Kortom prefab constructies hebben doorgaans een productieproces waarbij de kwaliteit beter beheersbaar is. Wat resulteert in een hoge kwaliteit van het product.

Transport

Het nadeel van een geprefabriceerde constructie is dat deze in zijn geheel getransporteerd moet worden van de productielocatie naar de bouwplaats. De afstand tussen deze locaties en de wijze van transport zegt wat over de uitvoerbaarheid. In overleg met North Sea Port is Aelterman als mogelijke locatie aangewezen om het vakwerk te produceren (H. de Meij, persoonlijke communicatie, 14 april 2022).

Aelterman is een metaalconstructiebedrijf gelegen aan het kanaal Gent-Terneuzen en heeft ervaring met het produceren van prefab staalbruggen (van Damme, 2019). Indien het vakwerk bij Aelterman geproduceerd kan worden, is het een mogelijkheid het vakwerk door het kanaal Gent-Terneuzen naar de projectlocatie te vervoeren. Deze afstand over het water is slechts 15 kilometer zoals te zien in Figuur 24).

De laatste 500 meter moeten over land naar de projectlocatie worden getransporteerd. Hierbij wordt grotendeels onbebouwde landbouwgrond doorkruist zonder bijzondere obstakels. Dit transport kan worden gerealiseerd met speciale voertuigen voor het vervoeren van zware lasten. Kortom het transport van prefab constructies is een grote opgave. Echter is er in dit geval de mogelijkheid de productie en het transport dichtbij de bouwlocatie te realiseren wat gunstig is voor de uitvoerbaarheid.

Bij de trogbrug is er geen sprake van eenmalig groot transport. Echter vindt er gedurende de doorlooptijd van het project veel transport over de weg plaats. Het eerst het betonstaal en vervolgens het beton moet over de weg naar de bouwlocatie worden vervoerd. In totaal leidt dit tot een groot aantal transportbewegingen in het gebied.

De puntentoekenning voor de uitvoerbaarheid wordt gedaan op basis van een vijfpuntsschaal. Bestaand uit de volgende vijf beoordelingen:

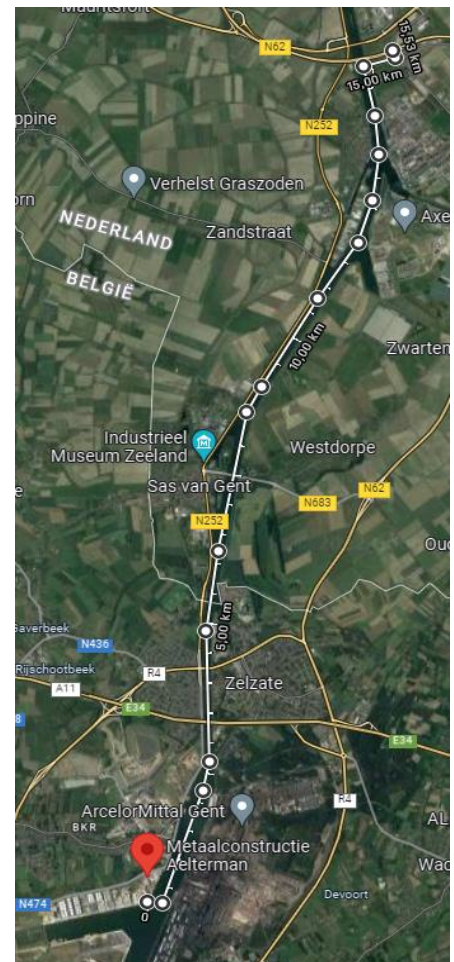
- Uitstekend (++)
- Goed (+)
- Voldoende (+-)
- Matig (-)
- Onvoldoende (--)

De volgende beoordelingen zijn aan beide varianten gegeven:

- Staal-betonbrug: (++)
- Trogbrug: (+-)

De staal-betonbrug heeft de 'beste' uitvoerbaarheid en krijgt de beoordeling uitstekend. Allereerst is de verwachte bouwtijd het kortst. Daarnaast is het kwaliteitsniveau van een prefab constructie hoger. Tot slot is het transport voor een prefab constructie een uitdaging. Echter is het in dit geval mogelijk de fabricage dichtbij uit te voeren met een relatief korte transportafstand tot gevolg.

De trogbrug krijgt de beoordeling voldoende. Er is veel ervaring met het realiseren van betonconstructies op de locatie. De uitvoeringstijd is weliswaar langer en er zijn veel transportbewegingen. Echter op de locatie is er geen tot beperkte hinder, doordat er nagenoeg geen verkeersstromen worden gestremd.



Figuur 24: Transport route. (Google, sd)

Er gaat geen direct verkeer onder de brug door en het gebied is relatief afgelegen. De bestaande spoorlijn heeft een lage intensiteit en wordt bij beide varianten verhinderd. Daarom is het niet noodzakelijk een score matig of onvoldoende toe te kennen.

4.6 Multicriteria-analyse

In deze paragraaf wordt een beschrijving gegeven van de resultaten van de multicriteria-analyse, oftewel MCA. De varianten zijn afgewogen op basis van de resultaten voor de bouwkosten, duurzaamheid en uitvoerbaarheid zoals beschreven in paragraaf 4.5.

Eerst is een overzicht gemaakt van de criteria en de bijbehorende resultaten per variant in een effectentabel. Deze tabel is weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11: Effectentabel varianten kunstwerk.

	Eenheid	Trogbrug	Staal-betonbrug
Kosten	€	795.000	920.000
Duurzaamheid	MKI-waarde	76.540	63.560
Uitvoerbaarheid	++/--	+-	++

De volgende stap is het standaardiseren van de bovenstaande resultaten op een schaal van 0 tot 1. De wijze waarop deze standaardisatie en scores zijn berekend is in paragraaf 3.4 van de methode toegelicht. De tabel met gestandaardiseerde waarden is weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12: Gestandaardiseerde effectentabel varianten kunstwerk.

	Weging	Trogbrug	Staal-betonbrug
Kosten	50%	0,14	0,00
Duurzaamheid	30%	0,00	0,17
Uitvoerbaarheid	20%	0,50	1,00
Totaal score	100%	0,17	0,25

Het resultaat van de MCA is tevens weergegeven in Tabel 12. De variant trogbrug krijgt een totaalscore van 0,17 punten en de staal-betonbrug een totaalscore van 0,25 punten. De staal-betonbrug heeft dus ondanks de hogere kosten, die het zwaarst wegen in de MCA, de hoogste score behaald. Dit komt doordat de staal-betonbrug voor de andere twee criteria de hoogste score heeft gekregen.

Gevoeligheidsanalyse

Om te achterhalen of de resultaten van de variantenafweging betrouwbaar zijn wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Door de weging van de criteria en de invoer te veranderen wordt onderzocht of de uitkomst van de MCA betrouwbaar is. Als de uitkomst van de MCA niet veranderd, kan worden gesteld dat de uitkomst robuust is. Indien de uitkomst van de MCA veranderd blijkt de variantenafweging afhankelijk te zijn van de input en dus gevoelig.

Eerst wordt de weging van een criteria aangepast in de MCA. Er is gekozen de weging van de criteria kosten aan te passen. In de methode wordt namelijk vastgesteld dat de kosten de belangrijkste criteria is voor het project. Wellicht is

50% weging voor de kosten daarom te laag en zijn de kosten van groter belang. Echter wordt in de methode ook gesteld dat de duurzaamheid tegenwoordig steeds belangrijker wordt. Wellicht even belangrijk als de kosten. Voor beide situaties wordt de MCA opnieuw ingevuld, met de volgende aanpassingen:

- Weging kosten: 50% → 60% en weging duurzaamheid 30% → 20%
- Weging kosten: 50% → 40% en weging duurzaamheid 30% → 40%

Tabel 13: Gevoeligheidsanalyse verhoging weging kosten.

	Weging	Trogbrug	Staal-betonbrug
Kosten	60%	0,14	0,00
Duurzaamheid	20%	0,00	0,17
Uitvoerbaarheid	20%	0,50	1,00
Totaal score	100%	0,18	0,23

Tabel 14: Gevoeligheidsanalyse verlaging weging kosten.

	Weging	Trogbrug	Staal-betonbrug
Kosten	40%	0,14	0,00
Duurzaamheid	20%	0,00	0,17
Uitvoerbaarheid	20%	0,50	1,00
Totaal score	100%	0,15	0,27

In beide situaties, weergegeven in Tabel 13 en

Tabel 14, blijft de staal-betonbrug de winnende variant met de hoogste totaal score in de MCA. Een verandering van de weging voor de criteria kosten heeft geen andere uitkomst van de variantenafweging tot gevolg. Ondanks de hogere kosten voor de staal-betonbrug ten opzichte van de trogbrug.

Naast de weging van een criteria kan er ook een risico zitten in de input van de MCA. Bijvoorbeeld een verandering in de prijs van een materiaal heeft direct effect op de bouwkosten en daarmee de score van een variant. Dit kan een andere uitkomst van de MCA tot gevolg hebben.

Er is gekozen de input van de kostenramingen aan te passen. In de duurzaamheidsberekening zit weinig gevoeligheid, omdat de input is overgenomen uit de nationale milieudatabase, wat een betrouwbare bron is. Daarnaast is er een kleine kans op verandering in de emissie van materialen. In de kostenramingen zit echter meer risico. Doordat onvoorziene kosten zijn meegenomen is dit risico deels afgedekt. Echter fluctueren de prijzen van materialen met de markt. Op moment van schrijven is de staalprijs index ten opzichte van een jaar eerder met zo'n 50% gestegen volgend op een eerdere stijging in 2021 zoals weergegeven in Figuur 25 (Brink Staalbouw, 2022).

Ondanks dat er een daling in de index is te zien en een snellere prijsdaling wordt verwacht (Brink Staalbouw, 2022). Is er door de huidige economische onzekerheid een risico op het doorzetten van de stijging van de staalprijs. Om verdere stijging van de staalprijs mee te nemen wordt in de



Figuur 25: Staalprijsindex (Brink Staalbouw, 2022)

kostenramingen voor beide varianten de staalprijs met een extra 50% verhoogd. Er is gekozen voor een verdere stijging van 'slechts' 50% omdat de staalprijs ten opzichte van het basisjaar 2016 al verdrievoudigd zijn en er reeds een daling is ingezet. Nogmaals een verdubbeling van de prijs wordt niet als realistisch ingeschat.

Dit komt neer op de volgende veranderingen in de kostenramingen:

- Wapeningsstaal: $1,80 \times 150\% = 2,70 \text{ €/kg}$
- Voorspanstaal: $4,50 \times 150\% = 6,75 \text{ €/kg}$
- Constructiestaal: $4500 \times 150\% = 6750 \text{ €/ton}$

Na aanpassen van de staalprijs in beide kostenramingen zijn de nieuwe totale kosten als volgt:

	Eenheid	Trogbrug	Staal-betonbrug
50% stijging	€	1.015.545	1.285.235

Opnieuw invullen van de MCA geeft:

	Weging	Trogbrug	Staal-betonbrug
Kosten	50%	0,21	0,00
Duurzaamheid	30%	0,00	0,17
Uitvoerbaarheid	20%	0,50	1,00
Totaal score	100%	0,20	0,25

Wederom blijft de uitkomst van de MCA gelijk. De staalbetonbrug heeft met een score van 0,25 een hogere score dan de trogbrug met 0,20. Een stijging van de staalprijs met 50% laat de uitkomst dichterbij elkaar komen. Belangrijk is op te merken dat een stijging van de staalprijs hoogstwaarschijnlijk samen gaat met de prijsstijging van andere bouwmaterialen. Het uiteindelijke verschil tussen beide varianten kan hierdoor kleiner zijn.

5 Discussie

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van de Eurocode normen, eisen en ontwerpvoorschriften om tot een voorlopig ontwerp te komen voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel. Deze ontwerpen en constructieve uitwerkingen zijn vervolgens in overleg met experts op het gebied van constructies, rail en kosten afgestemd en getoetst. Op basis hiervan kan worden gesteld dat de resultaten van het onderzoek valide zijn.

Uit de kostenberekening volgt dat de staal-betonbrug duurder is dan de trogbrug. Dit resultaat is in overeenstemming met de verwachting dat een betonconstructie goedkoper is dan een staalconstructie. Het tegenovergestelde geldt voor de duurzaamheid, waarbij de trogbrug minder goed scoort dan de staal-betonbrug. De verwachting was dat het productieproces van staal meer negatieve milieueffecten zou hebben dan beton en dat de staal-betonbrug door de grotere hoeveelheid staal lager zou scoren. Een mogelijke verklaring is dat er bij staal meer de mogelijkheid toe is om materiaal te hergebruiken dan bij beton. Wat vervolgens in de MKI-waarde is verwerkt en resulteert in een lagere score voor het staal ten opzichte van beton. De uitvoerbaarheid is bij de prefab staalconstructie gunstiger. Dit is in lijn met de verwachting dat de omstandigheden in een productiehal gunstiger zijn, met een kortere bouwtijd en betere kwaliteit tot gevolg.

Het resultaat van de variantenafweging is dat de staal-betonbrug de hoogste score krijgt in de MCA. Op basis van de beschouwde criteria is de staal-betonbrug dus de voorkeursvariant voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel. Dit komt niet overeen met de verwachting dat de staal-betonbrug het duurst is, lager scoort op basis van duurzaamheid en daarom niet als meest geschikte variant uit de MCA volgt.

Een mogelijke verklaring is wat Galjaard (2013) en Van der Horst (2004) al schreven. Dat trogbruggen gebruikelijk maar tot een overspanning van circa 55 meter worden toegepast. Een overspanning van 50 meter zit aan het einde van het toepassingsgebied en wordt daardoor wellicht minder interessant. In tegenstelling tot staal-betonbruggen die volgens Galjaard (2013) bij overspanningen van 40 tot 80 meter interessant zijn. Waar de 50 meter overspanning dus ruim binnen het toepassingsgebied valt.

Aan het resultaat ligt mogelijk ten grondslag dat het eigengewicht van de trogbrug bij een grote overspanning dusdanig hoog wordt dat het ontwerp ongunstig wordt. Een toenemende overspanning leidt tot een sterk toenemende betondoorsnede met relatief weinig extra stijfheid tot gevolg. In tegenstelling tot de staalconstructie van de staal-betonbrug die een relatief laag eigengewicht heeft. Waardoor grotere overspanningen interessanter zijn om (deels) in staal uit te voeren.

Aan de hand van een gevoeligheidsanalyse is gecontroleerd of de MCA robuust is of afhankelijk van de input. Door het aanpassen van de weging en input van de criteria kosten is gecontroleerd of de uitkomst veranderd. Dit was niet het geval. Er zou kunnen worden geconstateerd dat de MCA robuust is. Daarnaast zijn er echter maar drie criteria. Waarbij de winnende variant op twee criteria, behalve de zwaarstwegende criteria kosten, de hoogste score behaalt. Er moet daarom een erg grote verandering of dusdanig hoge weging worden gegeven aan de kosten om de uitkomst van de MCA op basis van de input te kunnen veranderen.

Hierbij moet wel rekening gehouden worden dat er voor dit onderzoek twee mogelijke scenario's zijn. Allereerst het scenario dat in dit onderzoek is uitgevoerd, waarbij het kunstwerk over de Sluiskiltunnel gaat en de tunnel geen tussensteunpunt is. Een ander scenario is waar de tunnel wel als tussensteunpunt gebruikt kan worden. In het vooronderzoek is indicatief aangetoond dat de tunnel niet als steunpunt kan worden gebruikt. De betrouwbaarheid van deze berekening is niet volledig zeker aangezien er op globaal niveau getoetst is. Daarnaast is de optie om versterking van de tunnel aan te brengen buiten beschouwing gelaten. Indien de tunnel wel als tussensteunpunt gebruikt wordt kan dit een totaal andere uitkomst van het onderzoek tot gevolg hebben. Alhoewel zijn beide scenario's voor de opdrachtgever het onderzoeken waard. Vanwege de grote overspanning is nu een zeer robuust kunstwerk nodig. Met een extra steunpunt had een kleiner kunstwerk kunnen volstaan.

Daarnaast zijn de constructieve toetsingen voor de bovenbouw van het kunstwerk enkel op globaal niveau uitgewerkt. Met de volgende zaken en berekeningen is bijvoorbeeld geen rekening gehouden:

- Buitengewone belastingen
- Trillings- en stabiliteitsberekeningen
- Kruip en vermoeiing
- Aanzet- en remkrachten van het spoorverkeer

De verwachting is dat bij uitvoering van de ontbrekende toetsingen er geen grote veranderingen gemaakt moeten worden in het ontwerp. Aan de hand van een interview met een ervaren constructeur bij Sweco is deze verwachting bediscussieerd. Het volledige interview is bijgevoegd in Bijlage E.

Uit het interview volgt dat er inderdaad geen fundamentele veranderingen verwacht zijn wanneer men van een voorlopig ontwerp naar een definitief- of uitvoeringsontwerp gaat. Echter is er meer kans op verandering van het ontwerp van de staal-betonbrug dan de trogbrug. Door het hoge eigengewicht van de trogbrug is er weinig kans op problemen met betrekking tot stabiliteit en trillingen. De lichte staal-betonbrug is hier gevoeliger voor. Verder is kruip voor trogbruggen van deze grootte doorgaans ook geen probleem. Voorspanstaal doorgaat weinig spanningswisselingen en is dus niet gevoelig voor vermoeiing. Daarnaast is de drukzone van het beton dusdanig groot dat vermoeiing daar waarschijnlijk ook niet maatgevend is. In tegenstelling tot het vakwerk van de staal-betonbrug waar met name de lasverbindingen en de profielen afhankelijk van de plaatdikte gevoelig kunnen zijn voor vermoeiing. Kortom zijn er geen grote veranderingen verwacht wanneer de niet uitgevoerde toetsingen worden gedaan. Echter is er meer risico op verandering in het ontwerp van de staal-betonbrug.

Het advies voor vervolgonderzoek is dan ook om een volledig constructieve uitwerking te maken voor deze ontwerpen. En daarnaast een volwaardig onderzoek uit te voeren om te achterhalen of de Sluiskiltunnel, wellicht met versterking, als tussensteunpunt voor het kunstwerk kan worden gebruikt.

6 Conclusie

In dit onderzoek is beoogd een antwoord te geven op de volgende hoofdvraag: 'Wat is het meest geschikte ontwerp voor de bovenbouw van het kunstwerk over de Sluiskiltunnel in het infra-element de Zuidoostboog wat het kruisen van het spoortracé en de Sluiskiltunnel constructief mogelijk maakt?' Hiervoor zijn twee potentiële varianten geselecteerd en constructief uitgewerkt. Vervolgens is op basis van de criteria bouwkosten, duurzaamheid en uitvoerbaarheid een variantenafweging gemaakt.

Uit de resultaten van de variantenafweging is gebleken dat de bouwkosten voor de bovenbouw van het kunstwerk voor de trogbrug het laagst zijn. Waarbij de hogere kosten voor de staal-betonbrug hoofdzakelijk worden veroorzaakt door de hogere kosten voor staal ten opzichte van beton.

De staal-betonconstructie draagt bij aan minder milieueffecten dan de trogbrug. Zoals op basis van de duurzaamheidsberekening kan worden geconcludeerd. Het beton heeft een hogere MKI-waarde dan staal. De trogbrug bestaat hoofdzakelijk uit een groter aandeel beton wat leidt tot meer negatieve milieueffecten met een hogere MKI-waarde tot gevolg.

Ook bij de uitvoerbaarheid haalt de staal-betonbrug een hogere score. De uitvoeringsomstandigheden zijn tevens gunstiger. Het prefab produceren van een deel van de constructie leidt tot een kortere bouwtijd op het werk en een hogere kwaliteit van het eindproduct. Daarnaast is het transport naar de projectlocatie in deze situatie niet zeer complex.

De resultaten van de multicriteria-analyse hebben tot slot uitgewezen dat de staal-betonbrug een score van 0,25 een hogere totale eindscore heeft behaald dan de trogbrug met een score van 0,17. Op basis van de criteria: bouwkosten, duurzaamheid en uitvoerbaarheid. Het ontwerp van de definitieve variant is weergegeven op een constructieve tekening.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat voor spoorbruggen met een overspanning van circa 50 meter zonder steunpunten een zware constructie vereist is. Hierin is een brugtype van staal/staal-beton, afhankelijk van de situatie, een betere keuze van omwille het eigengewicht van de constructie wat gunstig is ten opzichte van een betonconstructie.

Uit dit onderzoek is gebleken dat de staal-betonbrug de meest geschikte variant is voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel waardoor de kruising tussen het spoortracé en de Sluiskiltunnel constructief mogelijk gemaakt wordt.

7 Aanbeveling

In het onderzoek zijn niet alle scenario's en zaken opgenomen. Dit zijn zaken die relevant zijn voor het onderzoek en de verdere uitwerking van het project, maar niet binnen de scope van dit onderzoek vallen. In dit hoofdstuk worden aanbevelingen gedaan waar in toekomstig onderzoek en bij verdere uitwerking van het project rekening mee gehouden kan worden, om tot een beter resultaat en ontwerp te komen.

Het scenario waarbij de Sluiskiltunnel niet belast kan worden is in dit onderzoek beschouwd. Een globale toetsing heeft aangegeven dat de Sluiskiltunnel niet als tussensteunpunt kan worden gebruikt. Echter betreft het een globale toetsing van enkel de funderingsconstructie. Daarom wordt aanbevolen een volledig onderzoek te doen naar het mogelijk belasten van de Sluiskiltunnel met steunpunt(en) van het kunstwerk.

In de varianten afweging zijn voor dit onderzoek drie criteria beschouwd. Dat zijn de bouwkosten, duurzaamheid en uitvoerbaarheid. Dit zijn essentiële criteria gebleken om bij een afweging van een kunstwerk mee te nemen. Aanbevolen wordt deze criteria te behouden en aan te vullen met andere relevante criteria om een beter gegronde keuze te kunnen maken. Aanbevolen wordt onderhoud en veiligheid in de uitvoeringsfase in toekomstig onderzoek op te nemen. Met name op het gebied van onderhoud is er een verschil tussen staal en beton wat betreft onderhoud gedurende de gehele levensduur, wat in dit onderzoek niet uitvoerig is meegenomen. Beton is relatief onderhoudsarm en staal moet intensiever onderhouden worden. Dit weegt door in de kosten en duurzaamheid van de varianten wat mogelijk leidt tot andere conclusies.

Wanneer in het algemeen gekeken wordt naar spoorbruggen is gebleken dat bij een overspanning van circa 50 meter een zware brugconstructie benodigd is. In het onderzoek is een uitwerking gemaakt voor de varianten trogbrug en een staal-betonbrug. Hiermee is in feite een vergelijking gemaakt tussen beton en staal. Staal-beton bleek bij een overspanning van 50 meter een efficiënt ontwerp. Een betonconstructie, in dit geval de trogbrug, is daarentegen bij een overspanning van 50 meter een zeer zwaar en grof kunstwerk. Daarom wordt ook aanbevolen bij grote overspanningen voor spoorbruggen vanaf zo'n 40 tot 45 meter. Een staal-betonontwerp te overwegen omdat het een efficiënt en reëel ontwerp is gebleken bij relatief grote overspanningen waarbij beide materialen goed tot zijn recht komen.

8 Bibliografie

- @Bennie91. (2015). Spoorbrug Kethel. *Spoorbrug Kethel 3 - met fietsbrug*. Schiedam. Opgeroepen op Februari 10, 2022, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:Spoorbrug_Kethel_3_-_met_fietsbrug.jpg
- Arcadis. (2019, Februari 1). *Ontwerprapportage Rail Ghent Terneuzen*. Opgeroepen op Februari 21, 2022, van Rail Ghent Terneuzen: <https://railghentterneuzen.eu/sites/default/files/management-samenvatting-arcadis-rapport.pdf>
- Bijl, H. (2013). Integrale aanpak leidt tot slimme oplossingen. *Slimmigheden in de sluiskiltunnel*. Opgeroepen op Februari 28, 2022, van <https://www.cob.nl/magazines-brochures-en-nieuws/verdieping/verdieping-sept2013/zo-doen-we-dat/slimmigheden-in-de-sluiskiltunnel/>
- Bos, M. (2018). Studie 3-6 RGT Bijlage F RGT-3g01-03_vA - Element A3 KW over Sluiskiltunnel. *Infra-element A3: Kunstwerken Schetsontwerp*. Arcadis. Opgeroepen op Februari 28, 2022
- Brink Staalbouw. (2022, mei 16). *Staalprijsindex*. Opgeroepen op juni 15, 2022, van Brink Staalbouw: <https://brinkstaalbouw.nl/staalprijsindex>
- DINOloket. (sd). *Ondergrondgegevens*. Opgeroepen op Februari 23, 2022, van DINOloket: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- DINOloket. (sd). *Ondergrondmodellen*. Opgeroepen op Februari 23, 2022, van DINOloket: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>
- DuboCalc. (sd). *Wat is DuboCalc?* Opgehaald van DuboCalc: <https://www.dubocalc.nl/wat-is-dubocalc/>
- Ecochain. (sd). *Milieukostenindicator (MKI) – Overzicht*. Opgeroepen op juni 8, 2022, van Ecochain: <https://ecochain.com/nl/knowledge-nl/milieukosten-indicator-mki/>
- Esri Nederland, ProRail. (sd). *GeoWeb viewer*. Opgehaald van GeoWeb: <http://nlamsas047.sweco.se/WebViewer55/index.html?viewer=Rail.Rail>
- Galjaard, H. (2013). *Materiaalkeuze van bruggen en viaducten*. Opgeroepen op Maart 15, 2022, van Bruggen Stichting: <https://www.bruggenstichting.nl/images/bruggen2013/Materiaalkeuze.pdf>
- Google. (2020). *Google Earth luchtfoto projectlocatie*. Opgeroepen op Februari 28, 2022, van Google Earth: <https://earth.google.com/web/@51.29262175,3.84026971,0.69851242a,933.13562014d,35y,-12.49926281h,0.16247728t,-Or>
- Google. (2021). *Google Maps Streetview afrit A2 knooppunt Deil*. Opgeroepen op Februari 11, 2022, van <https://www.google.com/maps/@51.8583251,5.2283888,779m/data=!3m1!1e3>
- Google. (2021, Maart). *Google Maps Streetview Lange Blikstraat 2 Sluiskil*. Opgeroepen op Februari 28, 2022, van <https://www.google.com/maps/@51.29251,3.8439155,3a,75y,339.51h,84.55t/data=!3m6!1e1!3m4!1swnpvRbZthNZkGVblzn5zuw!2e0!7i16384!8i8192>
- Google. (2021, Mei). *Google Maps Streetview Vakwerkbrug Kelpen*. Opgeroepen op Februari 10, 2022, van <https://www.google.com/maps/@51.2422913,5.7911361,3a,75y,320.18h,94.45t/data=!3m6!1e1!3m4!1sniGDeenWuPyDaAF59eWDtw!2e0!7i16384!8i8192>

- Google. (sd). *Google Earth*. Opgeroepen op Februari 28, 2022, van Google Earth: <https://earth.google.com/web>
- Google. (sd). *Google Maps*. Opgeroepen op Februari 9, 2022, van Google Maps: <https://www.google.com/maps>
- Haitsma beton. (sd). *Bruggen en viaducten*. Opgeroepen op Maart 16, 2022, van Haitsma beton: <https://www.haitsma.nl/bruggen-viaducten/algemeen/>
- Jongen, S. (2018). Studie 3-6 RGT Bijlage D RGT-3bA3_vA - Infra-element A3: Zuid-oost-boog bij de brug Sluiskil. *Infra-element A3: Zuid-oost-boog bij de brug Sluiskil*. Arcadis. Opgeroepen op Februari 28, 2022
- K, L. (2022). *Maastricht, gezicht vanaf Noorderbrug op Spoorbrug*. Maastricht. Opgeroepen op Maart 15, 2022, van https://nl.wikipedia.org/wiki/Spoorbrug_Maastricht#/media/Bestand:2021_Maastricht,_gezicht_vanaf_Noorderbrug_op_Spoorbrug.jpg
- Nederlandse bruggenstichting. (sd). *Hangbrug*. Opgeroepen op Maart 15, 2022, van Bruggenstichting: <https://bruggenstichting.nl/hangbrug>
- Nederlandse Bruggenstichting. (sd). *Vakwerkbrug*. Opgeroepen op Maart 15, 2022, van Bruggenstichting: <https://bruggenstichting.nl/vakwerkbrug>
- Ortageo Noordoost. (2019). *Geotechnisch bodemonderzoek*. Geotechnisch bodemonderzoek. Opgeroepen op Maart 17, 2022, van https://simcms.heuvelrug.nl/_flysystem/media/n_-geotechnische_bodemonderzoek.pdf
- Ossendrijver, M. (2004). *Hangtrogbrug Terneuzen toont: beton en staal gaan goed samen*. Opgeroepen op Maart 15, 2022, van Bruggenstichting: <https://www.bruggenstichting.nl/images/bruggen2004/mrt-Terneuzen.pdf>
- Project 3: Brugconstructies*. (sd). Opgeroepen op Maart 15, 2022, van Bruggenbouwen: <https://sites.google.com/site/bruggenbouwenbbhum/?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>
- Rail Ghent Terneuzen. (sd). *Rail Ghent Terneuzen*. Opgeroepen op Februari 21, 2022, van Rail Ghent-Terneuzen: <https://railghentterneuzen.eu/nl>
- Rail Ghent-Terneuzen. (sd). *Groei grensoverschrijdende regio North Sea Port district vereist investeringen in spoornetwerk*. Opgeroepen op Februari 28, 2022, van https://railghentterneuzen.eu/sites/default/files/07-06rgt_folder_a5_0.pdf
- Rail Ghent-Terneuzen. (sd). *Intentieverklaring Rail Ghent-Terneuzen*. Opgeroepen op Maart 4, 2022, van Rail Ghent-Terneuzen: https://railghentterneuzen.eu/sites/default/files/intentieverklaring_rail_ghent_terneuzen_definitief.pdf
- Rijkswaterstaat. (sd). *Bruggen*. Opgeroepen op Februari 16, 2022, van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/bruggen>
- Rijkswaterstaat. (sd). *Modal Shift*. Opgeroepen op Maart 23, 2022, van Rijkswaterstaat: <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/verkeersmanagement/modal-shift>
- Romijn, A. (2002). *Boogbruggen, hoofdtraagsystemen en constructief gedrag*. Opgeroepen op Maart 15, 2022, van Bruggenstichting: <https://www.bruggenstichting.nl/images/bruggen2002/jun-Boogbruggen.pdf>
- Swart, S. (2001). *Bouw hangtrogbrug Terneuzen*. Terneuzen. Opgehaald van <https://beeldbank.cultureelerfgoed.nl/rce-mediabank/detail/19fde6ee-937b-bdd7-29fe-a8f716f0744b>

- Swart, S. (2006). Terneuzen. Opgeroepen op Februari 14, 2022, van <https://beeldbank.cultureelerfgoed.nl/rce-mediabank/detail/bad64a3d-5fe1-70f9-8365-e002b3918b04>
- Touw, G. (2005). *Staal-beton bij de brug over de Rijn in Oosterbeek*. Opgeroepen op Mei 2, 2022, van <https://www.bruggenstichting.nl/images/bruggen2005/sep-oosterbeek.pdf>
- van Belkum, J., Beertsen, H., Ossendrijver, M., Reijgersberg, A., & Roest, M. (2002). Inventieve oplossing voor een spoorwegkruising. *Cement Online*. Opgehaald van <https://www.cementonline.nl/artikel/inventieve-oplossing-voor-een-spoorwegkruising>
- van Damme, S. (2019, maart 27). Giga-transport in Gentse haven: Aelterman bouwt mee aan Antwerpse Kioldrechtsluis. *PZC*. Opgeroepen op 5 26, 2022, van <https://www.pzc.nl/gent/giga-transport-in-gentse-haven-aelterman-bouwt-mee-aan-antwerpse-kioldrechtsluis-br-br~aeee9468/>
- van den Elsen, H. (2002). *Ontwerpnota bovenbouw enkelsporige trogbruggen Bd-Zwl v.v.* Breda: Bouwcombinatie HSL InfraRail. Opgeroepen op april 2022
- van der Horst, C. (2004, Maart). *Trogbruggen, Specifieke ontwerpaspecten*. Opgeroepen op Februari 16, 2022, van Bruggenstichting: <https://www.bruggenstichting.nl/tijdschrift/ouder/45-bruggen-2004/488-trogbruggen-specifieke-ontwerpaspecten>
- van der Meulen, H. (2019). *Goilberdingerdijk: Kuilenburgse Spoorbrug*. Culemborg. Opgeroepen op Februari 14, 2022, van <https://irada.com/2019/08/29/goilberdingerdijk-21/>
- van Gils, V. (2011). Voorbeeld stakeholdermatrix. *Meer grip op de groep*. Opgeroepen op Maart 2, 2022, van <https://www.vinca.nl/wp-content/uploads/2013/06/Werkvorm-Stakeholderanalyse-uit-boek-Meer-grip-op-de-groep.pdf>
- Zeeuwse Milieufederatie. (2019). *Duurzaamheid Ambitie 2030*. Opgeroepen op Februari 28, 2022, van <https://www.northseaport.com/file/download/17396/0C2AB6AADFD247395FF7FF2BA21240AE>

9 Appendix

Bijlage A: Tekeningen

De volgende tekeningen zijn vanaf volgende pagina bijgevoegd:

Tabel 15: Tekeningen

Tekening	Kenmerk	Datum	Auteur
Infra-element A3: Zuid-oost-boog bij de brug Sluiskil 1:1000 schetsontwerp	RGT-3bA3	16 november 2018	Arcadis
Infra-element A3: Kunstwerken Schetsontwerp Kunstwerk over de Sluiskiltunnel	RGT-3g01-03	26 november 2018	Arcadis
Dwarsprofielen eerste ontwerp kunstwerk over de Sluiskiltunnel	ZOB-TK-001	13 april 2022	Nigel Wiesemann
Constructieve tekening definitieve variant	ZOB-TK-002	17 juni 2022	Nigel Wiesemann



Legenda

Bestaand spoor

Op te breken spoor

Nieuw spoor

Ruimte reservering toekomstig spoor

Nieuw spoor variant

Nieuwe weg

K&L strook o.b.v. klc project Tractaatweg

Bestaand wissel

Op te breken wissel

Nieuw wissel

Versie	Omschrijving	Datum	Get.	Con.	Vrij.
Versie A	Omschrijving	Datum: 16-11-2018	Get.: S. Jansen	Con.: A.B. Oosterhout	Vrij.: C. Verheve

Opdrachtgever

RAIL GHENT TERNEUZEN

North Sea Port

Medegefinancierd door de Europese Unie

De financieringsfaciliteit voor Europese verbindingen

Advies- en Ingenieursorganisatie

ARCADIS

Project

Rail Ghent Terneuzen

Projectnummer : 00211100276

Fase : Schetsontwerp

Onderwerp

Infra-element A3 : Zuid-oost-boog bij de brug Sluiskil

Geocode : 130 / 131

Km van : 62.7 / 25.7

Km tot : 63.4 / 26.3

Schaal : 1:1000

Bladformaat: A0

Status : Concept

Contractnummer:

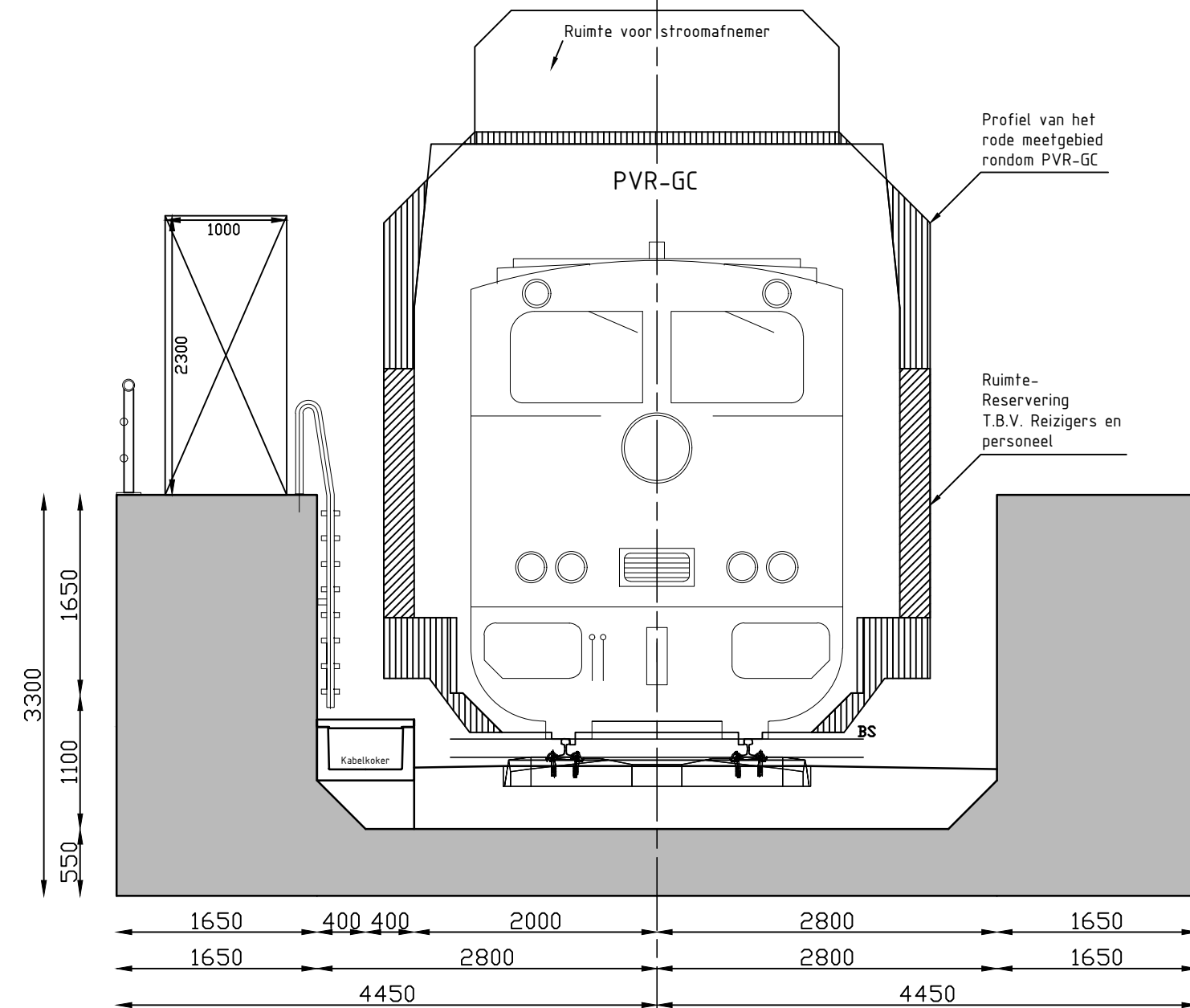
Bladnummer : 1 van 1

Tekeningnummer:

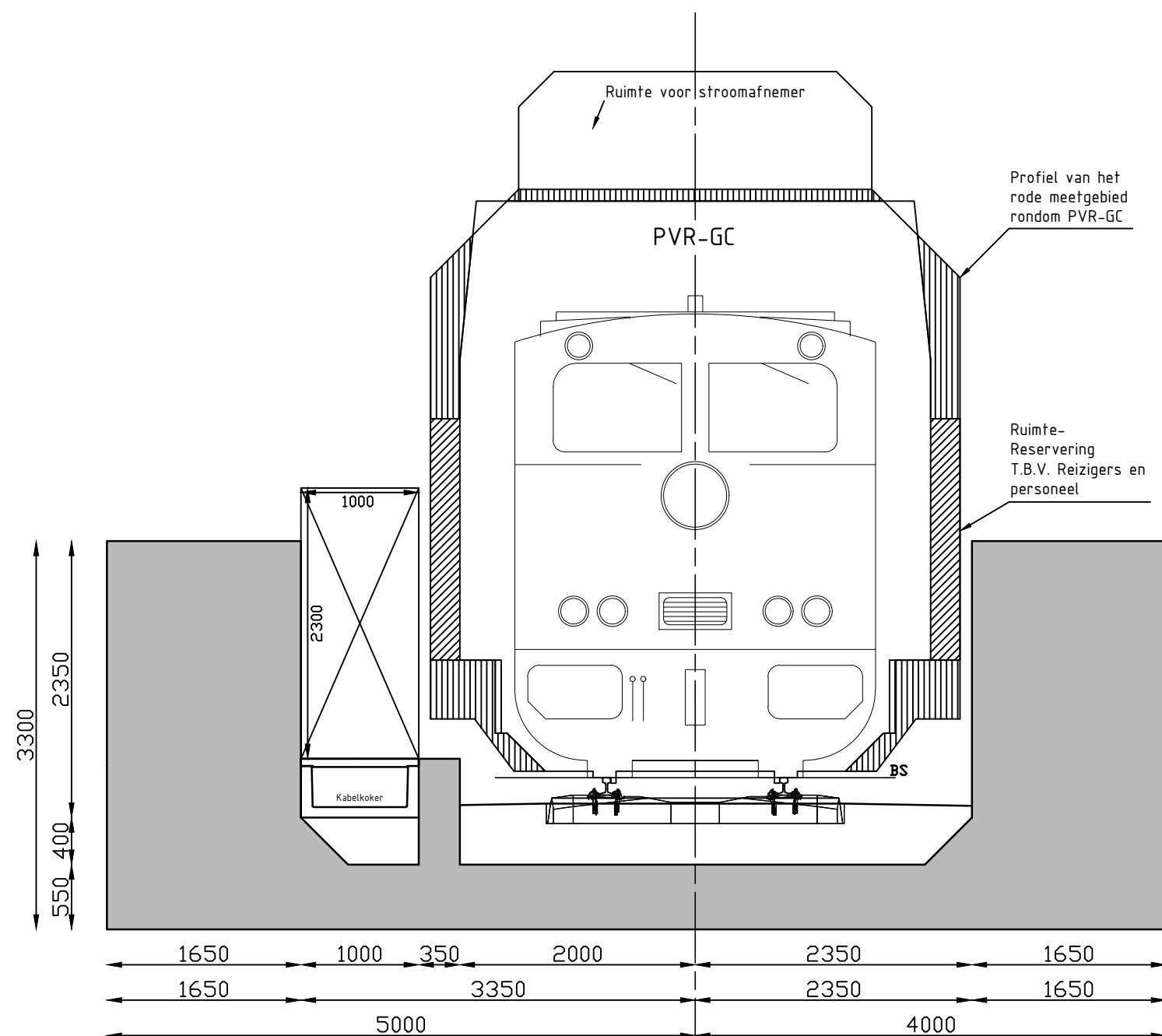
RGT-3bA3

Versie:

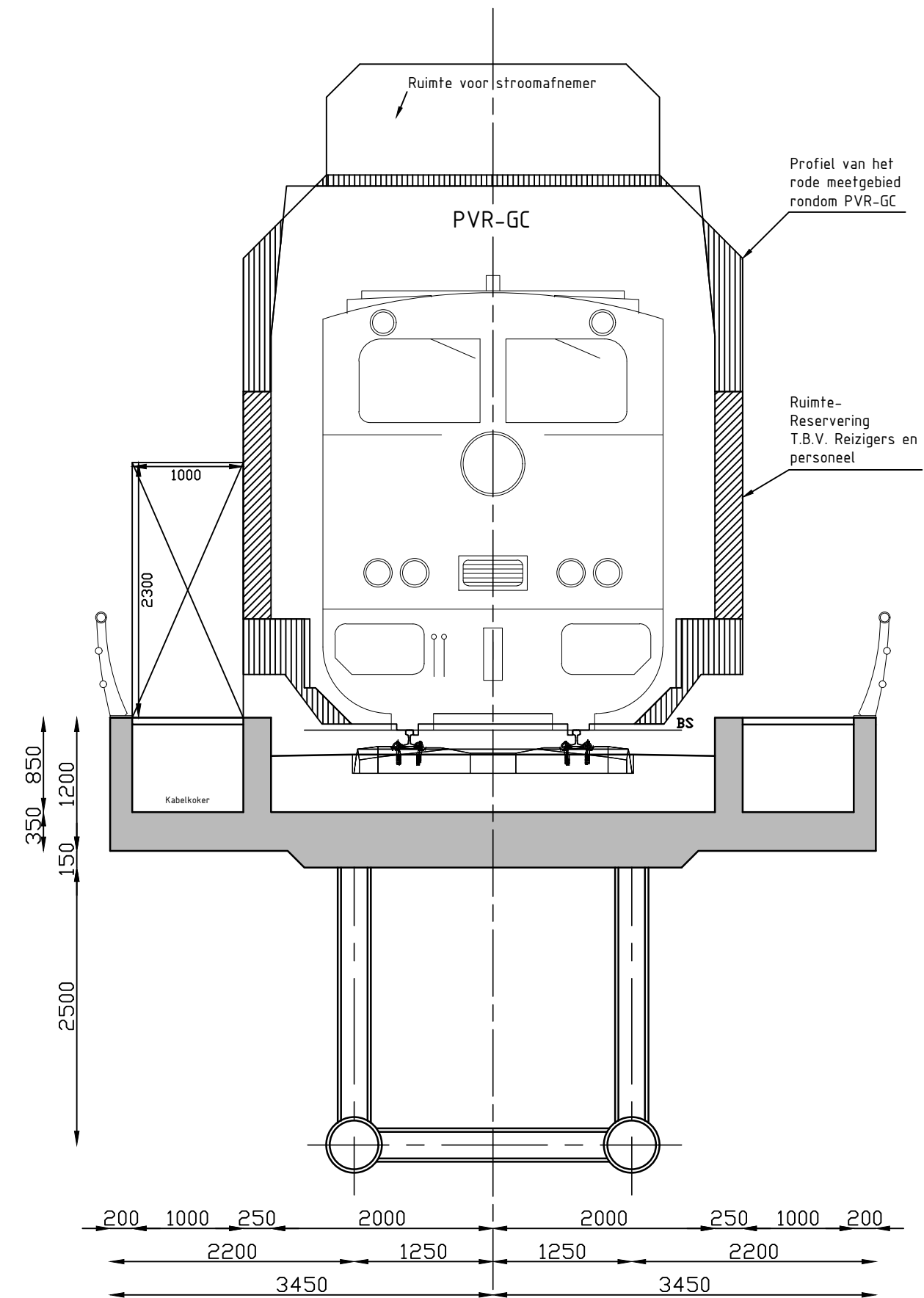
A



Dwarsprofiel trogbrug
Schaal: 1:50



Dwarsprofiel trogbrug
Schaal: 1:50



Dwarsprofiel staal-betonbrug
Schaal: 1:50

0 0.5 1.0 1.5 2.0m
Schaal 1:50

Maten in millimeters, tenzij anders aangegeven
Materialen in millimeters
Hoogtematen in meters t.o.v. N.A.P.

Opdrachtgever

North Sea Port

Project

Kunstwerk over de Sluiskiltunnel

Onderdeel

Dwarsprofielen eerste ontwerp

Projectnummer	Tekeningnummer	Versie	Datum van uitgave	Ontwerpfase	Contractnummer		
-	ZOB-TK-001	1.0	13-4-2022	VO	.		
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kantoor	Get.	Gez.	Acc.
1	1	1:50	A2-L (ISO)	Middelburg	NW	.	.

www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO

BOVENAANZICHT

Doorsnede A-A

ZIJ AANZICHT

DOORSNEDE B-B

DETAIL 1 VERBINDING

VAKWERK MET BRUGDEK

PRINCIPEDETAIL

VOETPLAAT LEUNING

AANZICHT

REINVOOI

CONSTRUCTIESTAAL

Constructieve eisen en rekenmethode : - NEN-EN 1993

Staalwalsen: NEN-EN 10025 - NEN-EN 10207 / NEN-EN 10210

LSP: 400 MPa, f_{yk} = profielen 523/25
 buisprofielen wapenstaal 535/22
 buisprofielen wapenstaal 535/22
 hoedprofielen 535/22

Stralren: Zweeds standaard S 15: 05590-7961 / A50
 S 12: 05510-7961

Buitwulst: 8.8 I-groet Thermisch verzinkt
 Akerwulst: 4.6 Thermisch verzinkt
 Lussen min Thermisch verzinkt
 Thermisch verzinkte dopnoren in buitwulst
 in geaccuseerde aker

Conservering volgens betekenisomschrijving

- = normale verbinding
 - = de opeenvolgende staven in geen zaalconstructie
 - = de samenkomende staven in een zaalconstructie
 - = de samenkomende staven van de stabiliteit van de constructie tijdens de bouw

N.B.
 Staven zijn gedimensioneerd op maximale draagkrachten.
 Optimalisatie dient in een later stadium plaats te vinden.

GEWAPENED BETON			Cement:		
Constructieve essen en rekenmethode	NEN-EN 1992		- Soort	(EM II/B 42.5 N-Li-HR)	
Uitvoering	NEN-EN 12670				
Technologie	NEN-EN 1261-1				
	NEN 8005				
Wapening	NEN-EN 10080				
	NEN 8008				
Las- en verankeringstechnieken	NEN-EN 1992				

BRUGGEN		
Sterkteleklasse	C15/25	
Mikroalstaal	AKA, XD3, XF4	
Uitwerpeindsnelheid	100 jaar	
Sterkteleklasse		
Mikroalstaal		
Uitwerpeindsnelheid	jaar	
Sterkteleklasse		
Mikroalstaal		
Uitwerpeindsnelheid	jaar	
Sterkteleklasse		
Mikroalstaal		
Uitwerpeindsnelheid	jaar	

WAPENINGENSTAALEN		
ee	B500B	
ee	bestaat van 2 staven	
ee	bestaat van 3 staven	
Werkvoet	Dikte = mm	Sterkteleklasse =

- Prefab beton Bekering - tekeningen volgens leverancier in te dienen bij de directie

	BOVENSTAAF: ALS DE STAAF BIJ CONSTRUCTIEHOOGTE (h) 250mm < (h) s 600mm BOVEN DE ONDERSTE 250mm LIGT; OVERIGE STAVEN ZIJN ALGEMENE STAVEN
	BOVENSTAAF: ALS DE STAAF BIJ CONSTRUCTIEHOOGTE (h) > 600mm IN BOVENSTE 300mm LIGT; OVERIGE STAVEN ZIJN ALGEMENE STAVEN

OVERLAPPLINGSLENGTE C45/55										
Straafdiameter	Ø6	Ø8	Ø10	Ø12	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32	Ø40	OVERSLAPPLINGSLASSEN VERSPANNEND AANBRENGEN
Goede aanhechtingson- standigheden	240	310	390	460	620	770	910	1230	1670	HET PERCENTAGE OVERSLAPPLING STAVEN MET PEES DAK SOO
Slechte aanhechtingson- standigheden (bovenstaaf)	340	450	550	660	880	1090	1370	1750	2380	VOOR EEN OPNAME DOORNAME

Maten in roeters, tenzij anders aangegeven
Materialen in millimeters
Hoofdmaten in meters (o.v. N.A.B.)

Opdrachtgever
NORTH SEA PORT
Project
ZUIDOOSTBOOG

Onderdeel
STAAL-BETONBRUG
CONSTRUCTIEOVERZICHT

Projectnummer -		Teekeningnummer ZOB-TK-002		Versie 1.0	Datum van uitgave 17-06-2022	Ordeverglas VO	Contactnummer AFSTUDEREN		
Blad	Van	Schaal	Formaat	Kansel			Get.	Get.	Aus.
1	1	1:50	A0-L (841x1680)	Middelburg			NWI	TGR	-

www.sweco.nl
© Sweco Nederland B.V. Alle rechten voorbehouden

SWECO 

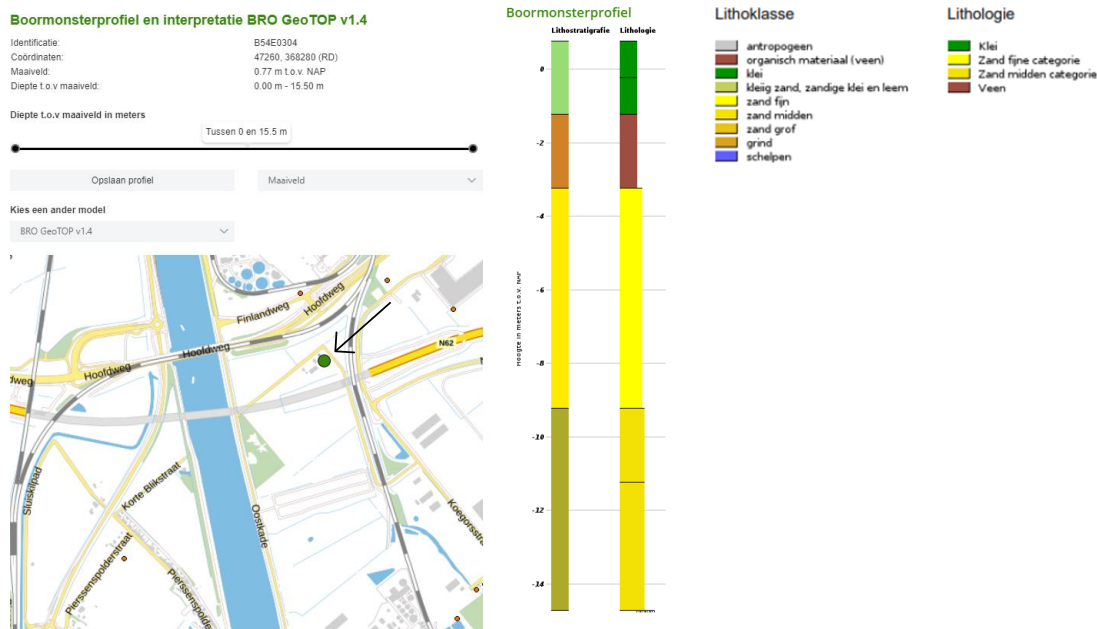
DEFINITIEF

Bijlage B: Grondgegevens

Uit de gegevens van het vooronderzoek blijkt dat er op de projectlocatie zettingsgevoelige ondergrond aanwezig is. Op tekening RGT-3g01-03 staat bij de uitgangspunten genoteerd dat er grote zettingen worden verwacht. Ten gevolge van klei in de ondergrond. Tekening RGT-3g01-03 is terug te vinden in Bijlage A: Tekeningen.

Grondonderzoeken geregistreerd in het DINOloket geven een indicatie van de grondslag. De bodemopbouw varieert sterk tussen de 3 grondonderzoeken. Daarnaast is de grondslag in boring 2 erg globaal bepaald. Daarom is een indicatie van de bodemopbouw bepaald aan de hand van boring 1 en sondering 1. Echter dient voor realisatie van het project een specifiek onderzoek te worden uitgevoerd met nauwkeurige gegevens op de exacte projectlocatie.

Boormonster B54E0304 (1)



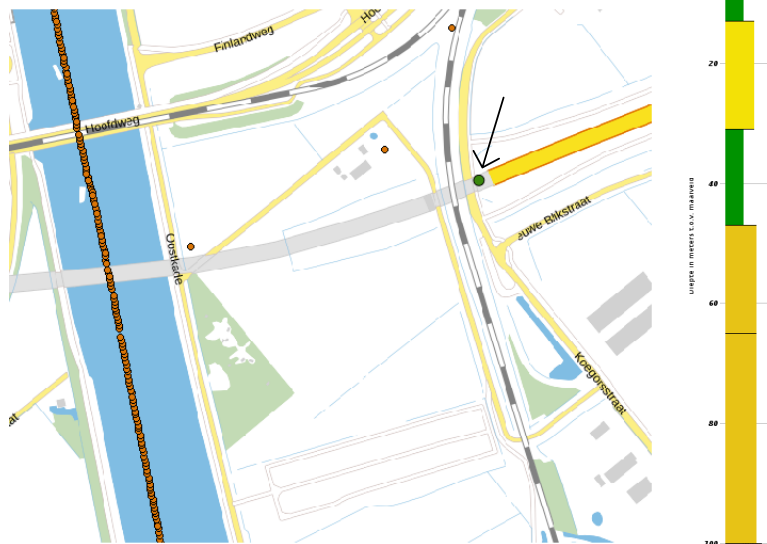
Figuur 26: Uitkomsten boormonster B54E0304. (DINOloket, sd)

Het boormonster B54E0304, weergegeven in Figuur 26, is gemaakt op 03-11-1981 en gaat tot een diepte van zo'n 15,50 meter t.o.v. maaiveld. Te zien is dat de eerste 2 meter bestaat uit klei gevolgd door 2 meter veen. De eerste 4 meter is volgens deze informatie dus erg zettingsgevoelig. De laag van 4-10 meter bestaat uit zeer fijn zand. Van 10-15,5 meter bestaat de ondergrond hoofdzakelijk uit matig fijn zand. De lagen dieper dan 4 meter zouden dus uit minder zettingsgevoelige zandlagen moeten bestaan. Er is onzekerheid of tussen de zandlagen mogelijk nog zwakke klei lagen vermengd zijn. Het is een oude meting, er is een grote kans dat deze onnauwkeurig is (DINOloket, sd).

Boormonster B54E1801 (2)

Geologisch booronderzoek

Identificatie B54E1801



Identificatie : B54E1801
 Coördinaten : 47415 , 368230 (RD)
 Maaiveld: 0.80 m t.o.v. NAP
 Beschikbare informatie: Digitale opnamegegevens
 Beschrijfmethode: NEN 5104

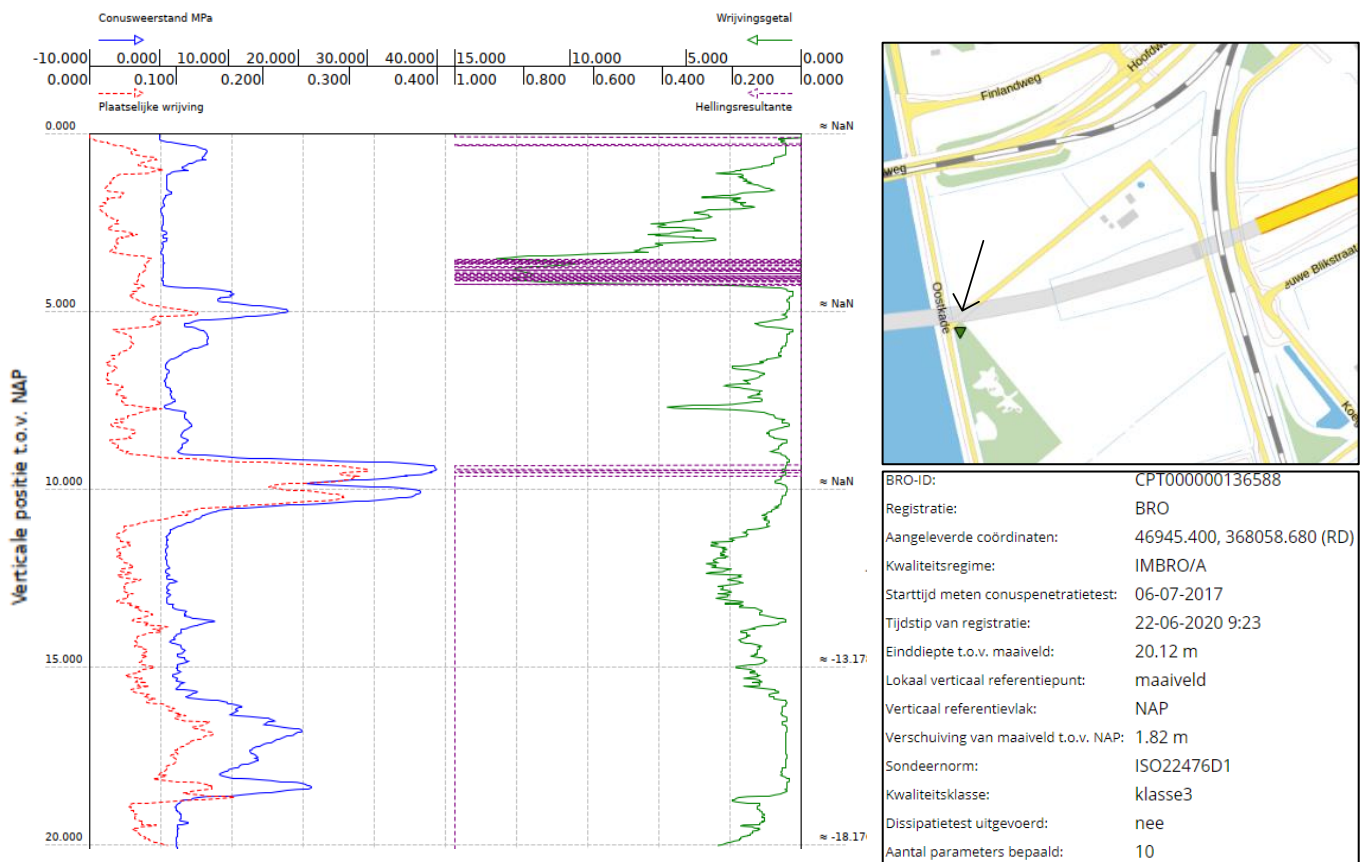
Lithologie
 Klei
 Zand midden categorie
 Zand grove categorie

Figuur 27: Uitkomsten boormonster B54E1801. (DINOloket, sd)

In Figuur 27 is het boormonster B54E1801 weergegeven. Het boormonster is gemaakt op 14 maart 2011 en gaat tot een diepte van 100 meter. Uit de data blijkt dat de eerste 13 meter bestaat uit klei, zwak zandig. De volgende 18 meter tot een diepte van 31 meter bestaat uit zand, matig grof, kleiig. Daarop volgt weer een kleilaag van 31 tot 47 meter diepte, bestaande uit klei, matig zandig. De volgende 53 meter bestaat uit een grove zandlaag (DINOloket, sd).

De boringen geven een indicatief beeld van de ondergrondgegevens. Echter zijn de exacte parameters en rekenwaarden lastig te bepalen. Door middel van een sondering kunnen deze parameters nauwkeurig worden bepaald. In het gebied zijn 2 sonderingen terug te vinden in de buurt van de projectlocatie. Beide zijn op zo'n 450 meter afstand van de projectlocatie. De dichtstbijzijnde sondering wordt verder toegelicht.

Sondeeronderzoek CPT0136588 (1)



Figuur 28: Geotechnisch sondeeronderzoek CPT000000136588. (DINOloket, sd)

De bovenstaande sondering is gemaakt op 6 juli 2017 langs het kanaal Gent-Terneuzen. Hemelsbreed ligt deze sondering 436 meter van de locatie van het te realiseren kunstwerk. De gegevens in de sondeergrafiek bieden nauwkeurigere gegevens dan de twee boringen wat leidt tot kwalitatief betere en nauwkeurigere berekeningen. Daarom wordt deze ook als uitgangspunt aangehouden om een nauwkeurigere berekening te maken.

De grondopbouw is hoofdzakelijk bepaald op basis van de sondering in Figuur 28 samen met boring 1. Op basis van het wrijvingsgetal samen met de conusweerstand, die zijn terug te vinden in de sonderingsgrafiek, kan het type grond worden bepaald. De verschillende grondsoorten hebben een andere verhouding tussen deze twee waarden. De uitgangspunten voor de conusweerstand en wrijvingsgetal per grondtype is weergegeven in Tabel 16. Door deze getallen naast de sondering te houden kan een inschatting voor de grondgegevens worden gemaakt. De vastgestelde grondopbouw is weergegeven in Tabel 17.

Tabel 16: Indicatieve waarden grondsoorten. (Ortageo Noordoost, 2019) & (NEN-EN 1997-1 NB tabel 2.b, 2019)

Grondsoort	Conusweerstand (MPa)	Wrijvingsgetal (%)
Grind	> 10	0,2 – 0,6
Zand, vast	> 10	0,4 – 0,6
Zand, los	> 5	0,6 – 1,2
Klei, vast	0 – 8	3,0 – 5,0
Klei, slap	0 – 2	5,0 – 7,0
Veen	0 – 4	5,0 – 10,0

Tabel 17: Indicatie ondergrondgegevens op basis van bestaand onderzoek. (DINOloket, sd)

Grondsoort	Diepte t.o.v. NAP (m)	Conusweerstand (MPa)
Zand, los	0,0 – 1,0	6
Klei, slap	1,0 – 2,5	1
Veen	2,5 – 4,0	1
Los zand	4,0 – 5,0	15
Klei, slap	5,0 – 9,0	2
Zand, vast	9,0 – 10,5	30
Klei, slap	10,5 – 16	3
Los zand	16,0 – 18,5	15
Klei, slap	18,5 – 20,0	3

Bijlage C: Literatuurstudie varianten

Om een beeld te krijgen van de mogelijkheden voor de spoorbrugconstructie wordt er naar bestaande vaste brugconstructies gekeken. Door deze oplossingen te verkennen kan er in beeld worden gebracht welke brugtypen potentiële oplossingen kunnen zijn voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel.

Gebruiksdoel en randvoorwaarden

Het type brug dat wordt gekozen is sterk afhankelijk van de situatie en het gebruiksdoel van de brug. De keuze voor het type brug is afhankelijk van het type verkeer op de brug. Trogbruggen worden in Nederland tegenwoordig voor wegverkeer nog nauwelijks toegepast. Echter bieden ze voor spoorverkeer vaak een oplossing. Verder zijn de geometrische randvoorwaarden van belang. Met name de overspanning die behaald moet worden is daarin sterk van invloed. Niet alle brugtypen kunnen namelijk dezelfde overspanningen halen. Voor spoorbruggen zijn er aanvullend specifieke eisen, zoals een grote stijfheid en een kleine constructiehoogte (Galjaard, 2013).

Daarnaast is er nog een mogelijk belangrijke esthetische waarde. Men zou kunnen stellen dat een stalen boogbrug een hogere esthetische waarde heeft dan een eenvoudige betonnen liggerbrug. Verder zijn de locatie specifieke randvoorwaarden ook van invloed. De hinder die de bouwfase met zich meebrengt kan daarin een belangrijke factor zijn. Indien een brug over een bestaande snelweg gaat kan de voorkeur bij prefab liggen, aangezien dit tijdens de uitvoering minder en kortere hinder met zich mee brengt (Galjaard, 2013).

Naast de keuze in brugtype is ook de materiaalkeuze afhankelijk van de situatie en randvoorwaarden. Bij overspanningen korter dan 60 meter wordt vaak voor een betonnen brug gekozen. Echter verandert dit als de brug beweegbaar moet zijn, beweegbare bruggen zijn namelijk altijd uitgevoerd in staal. Daarnaast is een combinatie van staal en beton ook een mogelijkheid. Ook is hier de esthetische waarde van belang. De keuze voor een betonnen of stalen brug kan gemaakt worden opdat deze beter in het landschap past (Rijkswaterstaat, sd).

Uitgangspunten kunstwerk Sluiskiltunnel

De keuze voor het ontwerp van de potentieel mogelijke varianten wordt gebaseerd op basis van de volgende uitgangspunten voor het kunstwerk:

- Gebruiksdoel kunstwerk: spoorbrug
- Aantal sporen: enkelspoor
- Overspanning: 50-55 meter
- Hinder uitvoering: Aanleg langs bestaand spoor hinder verwacht
- Esthetische eis: Strakke taluds, kunstwerken in de omgeving

Brugtypen

De volgende brugtypen voor vaste bruggen worden in het algemeen toegepast (Galjaard, 2013):

- Prefab ligger/kokerbrug
- Trogbrug
- Boogbrug
- Vakwerkbrug
- Staal-betonbrug

- Hangbrug
- Tuibrug

De zes bovenstaande brugtypen worden verder toegelicht. De voor- en nadelen van het brugtype en de situaties waarin deze doorgaans het meest van toepassing is worden benoemd. Daarnaast wordt er ook een voorbeeld gegeven van een bestaande spoorbrug van dit type. Door uiteindelijk de brugtypen af te wegen kan er bepaald worden welke twee brugtypen de meeste potentie hebben voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel.

Prefab ligger/kokerbrug

Kunstwerken van prefabbeton worden tegenwoordig steeds vaker toegepast. Dit komt voornamelijk doordat prefab veel voordelen met zich meebrengt. Zo is de kwaliteit in een fabrieksomgeving goed te controleren. Verder zijn er zijn logistieke voordelen. De mogelijkheid om het kunstwerk in zijn geheel of delen te kunnen transporteren en te plaatsen bespaart tijd tijdens de bouw en verkeershinder bij de aanleg (Haitsma beton, sd). Daarnaast is er ook een relatief grote overspanning mogelijk. Bij gewone wegbelasting is er een overspanning haalbaar tot circa 65 meter. Hierbij dient ook rekening gehouden te worden met het transport van de liggers (Galjaard, 2013).

Haitsma beton is één van de leveranciers en producenten van prefab liggers. Binnen de prefab liggerliggers zijn er een aantal types beschikbaar. Afhankelijk van de toepassing en benodigde overspanning kan er een keuze worden gemaakt. Bij Haitsma beton zijn globaal de volgende types beschikbaar (Haitsma beton, sd):

- Volstortliggers
- Railliggers
- Kokerliggers

Volstortliggers worden het meest toegepast en kunnen een overspanning tot zo'n 20 meter mogelijk maken. Indien er een grotere overspanning benodigd is, kan er gekozen worden voor railliggers. Deze liggers hebben een grotere hoogte en kunnen overspanningen tot wel 40 meter behalen. De prefab elementen die veruit de grootste overspanning kunnen halen zijn kokerliggers. Deze kunnen een overspanning tot 70 meter behalen (Haitsma beton, sd).

Bovenstaande overspanningen zijn voor een standaard verkeersbelasting conform de ROK. Bij het kunstwerk over de Sluiskiltunnel is er sprake van een aanzienlijk hogere spoorbelasting. De haalbare overspanningen zijn hierdoor bij spoorbruggen hoogstwaarschijnlijk lager of er zijn grotere profielen benodigd.

Bovenstaand vraagstuk is met Haitsma beton besproken. De vraag of de prefab liggers ook bij spoorbruggen worden toegepast is gesteld. Met als vervolgvraag wat hierin de mogelijke overspanningen zijn en of de 50-55 meter overspanning haalbaar is. Het antwoord van Haitsma beton was als volgt: De prefab liggers worden ook toegepast voor spoorbruggen. Echter is een overspanning van 55 meter vrij groot en daarom indien mogelijk enkel haalbaar met de kokerliggers. De koker-profielen krijgen dan extra hoogte ten opzichte van de profielen in de standaard belastinggrafieken. De verwachting is dat dit zo rond de 300 millimeter extra hoogte is. (H. Herder, persoonlijke communicatie, 15 maart 2022)

Het wordt een speciaal project binnen Haitsma beton aangezien de overspanning in combinatie met spoorbelasting niet binnen de standaard elementen valt. Er moet door Haitsma aan gerekend worden om de haalbaarheid te controleren en het ontwerp te maken.

De haalbaarheid voor toepassen van een prefab koker-ligger bij het kunstwerk over de Sluiskiltunnel is nog vrij onzeker. Daarom is het toepassen van prefab liggers bij spoorkunstwerken ook voorgelegd bij een consultant van afdeling kunstwerken binnen Sweco, die vaak met railkunstwerken heeft gewerkt. Deze consultant geeft aan dat ze in de praktijk niet veel gebruik gemaakt hebben van prefab liggers of kokers. Dit omdat er in de praktijk voornamelijk zo kort mogelijke hinder mag plaatsvinden. Bij een brug bestaande uit losse elementen is er relatief veel afwerking nodig en dit kost simpelweg te veel tijd. Wat betreft de haalbaarheid is het wellicht mogelijk maar hij kon niet zeggen of het al gedaan is. Bij een overspanning van 50-55 meter moet de constructie volledig uitgenut worden. Voorkeur is om prefab liggers/kokers voor sporen toe te passen bij kortere overspanningen.

Een voorbeeld van een liggerbrug uit de praktijk is te vinden in het knooppunt Deil. Daar kruist een spoorlijn het knooppunt en gaat daar over een afslag van de A2. In Figuur 29 is een aanzicht en de onderzijde van de brug weergegeven. Aan de onderzijde is te zien dat het kunstwerk bestaat uit losse elementen. Welk type elementen dit zijn is niet exact te zeggen. De maximale overspanning is zo'n 16 meter. Hier is waarschijnlijk een volstortligger of railbalk systeem toegepast aangezien deze geschikt zijn voor deze overspanning.



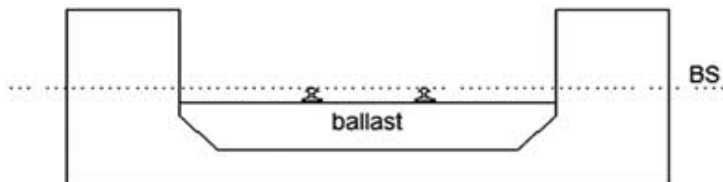
Figuur 29: Betonnen liggerbrug afrit A2 noordwesten knooppunt Deil. (Google, 2021)

Trogbrug

De trogbruggen die in Nederland gebouwd worden zijn nagenoeg allemaal spoorbruggen. Voor wegverkeer worden trogbruggen nauwelijks toegepast. Trogbruggen zijn relatief smal en hebben een kleine constructiehoogte (van der Horst, 2004). Treinen hebben genoeg aan een klein profiel van vrijruimte en overbruggen moeilijker hoogtes, dit maakt trogbruggen daarom geschikt als spoorbrug (Galjaard, 2013).

Een trogbrug bestaat uit grote betonnen hoofdliggers waartussen een relatief dunne betonvloer is aangebracht. De hoofdliggers zijn voorgespannen liggers en voorzien de overspanning tussen de steunpunten. De vloer is onafhankelijk

van de hoofdliggers en zorgt enkel voor de overspanning tussen de hoofdliggers en het afdragen van de verkeersbelasting naar de hoofdliggers. De relatief grote hoogte van de hoofdliggers maakt grote overspanningen mogelijk. In het algemeen wordt voor trogbruggen gekozen voor een overspanning tot 55 meter. Trogbruggen kunnen prefab worden geproduceerd of in het werk worden gestort. (van der Horst, 2004). Een schematische doorsnede van een trogbrug is weergegeven in Figuur 30.



Figuur 30: Schematische doorsnede trogbrug voor spoorverkeer. (van der Horst, 2004)

Een voorbeeld van een hangbrug is de hangtrogbrug Terneuzen. Deze spoorbrug is een combinatie van een trogbrug en een hangbrug. De trogelementen zijn opgehangen in stalen portalen doormiddel van staalkabels. De brug heeft een totale lengte van 124 meter en is voorzien van twee tussensteunpunten. Door het toepassen van de hangportalen kon de overspanning gereduceerd worden van 65 meter tot 52,4 meter. Een overspanning die dus aangetoond haalbaar is (Ossendrijver, 2004).



Figuur 31: Hangtrogbrug Terneuzen. (Swart, 2006)

De brug bestaat uit een combinatie van staal en beton. De hangportalen zijn een opvallend element in het gebied. Daarom is gekozen voor een slanke uitvoering in staal in plaats van massieve betonnen portalen. De betonnen trog heeft een afgeronde vorm gekregen om in de afgeronde afwerking van de portalen te blijven en zodat het element een losstaande uitstraling krijgt (Ossendrijver, 2004).

Boogbrug

In Nederland worden boogbruggen frequent toegepast. In de uitvoering zijn ze efficiënt en daarnaast hebben ze doorgaans esthetisch een hoge waarde. Vrijwel de meeste boogbruggen worden in staal uitgevoerd, met name de boog zelf wordt in staal uitgevoerd. Het brugdek kan in staal worden uitgevoerd maar wordt tegenwoordig ook in een staalbeton combinatie uitgevoerd. (Romijn, 2002).

Boogbruggen worden veelal toegepast bij overspanningen groter dan 50 meter. Het ontwerp maakt overspanningen tot 500 meter mogelijk. Bij spoorbruggen ligt dit een stuk lager, namelijk op 250 meter (Romijn, 2002).

Voor boogbruggen zijn verschillende draagsystemen mogelijk:

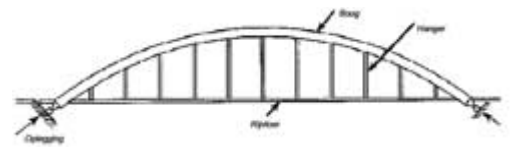
- Zuivere boogbrug
- Boogbrug met trekband
- Verstijfde staafboogbrug

Bij een zuivere boogbrug is de boog voor de belastingafdracht het hoofdonderdeel. De boog wordt belast op een positief moment en een drukkracht. De spatkracht wordt door de boog afgedragen naar de fundering. Dit leidt tot grote horizontale krachten in de landhoofden en fundering. In Nederland wordt een zuivere boogbrug om deze reden niet vaak toegepast. De Nederlandse ondergrond is niet geschikt om deze belastingen op te kunnen nemen (Romijn, 2002).

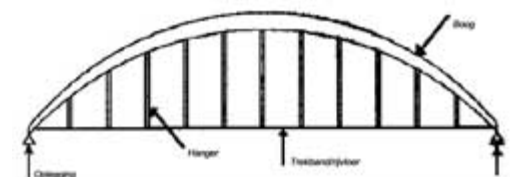
Een boogbrug met trekband is in Nederland een vaker gekozen draagsysteem. Er is een grote overeenkomst met een zuivere boogbrug. Echter worden de spatkrachten in dit geval opgenomen door een trekband die ter plaatse van de rijvloer wordt aangebracht (Romijn, 2002).

Bij de derde mogelijkheid, de verstijfde staafboogbrug, is de horizontale ligger het hoofdelement. De spatkrachten worden door de trekband opgenomen, in dit geval de verstijfde ligger. De boog functioneert hier als versterking van de ligger en neemt voornamelijk drukkrachten op en is hierdoor vaak slanker uitgevoerd. De grote stijfheid in de ligger maakt dit ontwerp zeer geschikt voor spoorbruggen. Nagenoeg alle boogbrug spoorbruggen in Nederlands zijn daarom ook van dit type (Romijn, 2002).

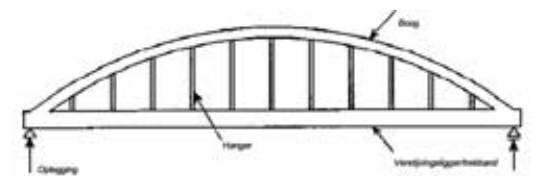
Het grootste deel van de boogbruggen voor het spoor in Nederland hebben een relatief grote overspanning. Waaronder de Kuilenburgse spoorbrug zoals weergegeven in Figuur 36. De hoofdoverspanning van de brug bestaat uit een stalenboog met een maximale overspanning van 154 meter. Over de brug gaat een dubbelspoor voor beide richtingen. Een voorbeeld van een kleinere boogbrug is de spoorbrug Maastricht. Met een overspanning van 66 meter en een enkel spoor. De spoorbrug is weergegeven in Figuur 35.



Figuur 32: Zuivere boogbrug. (Romijn, 2002)



Figuur 33: Boogbrug met trekband. (Romijn, 2002)



Figuur 34: Verstijfde staafboogbrug. (Romijn, 2002)



Figuur 36: Kuilenburgse spoorbrug (van der Meulen, 2019)

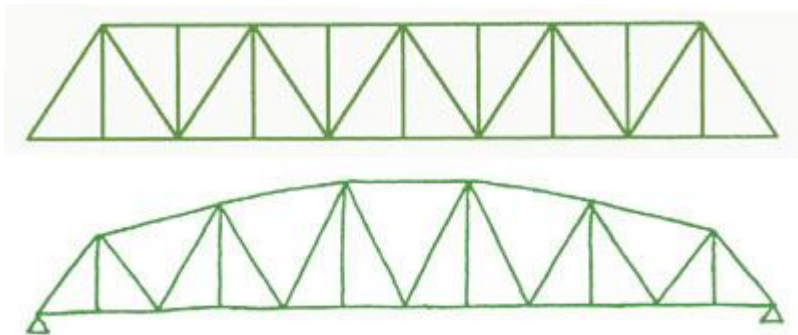


Figuur 35: Spoorbrug Maastricht. (K, 2022)

Vakwerkbrug

Een vakwerkbrug haalt zijn stijfheid uit een hoofdligger opgebouwd uit vormvaste driehoeken. Doordat de driehoeken maar één vorm kunnen aannemen ontstaat er een vormvaste constructie. Het vakwerk kan in veel verschillende vormen worden opgebouwd aangezien elke driehoek vormvast is. Door deze flexibiliteit kunnen vakwerkbruggen voor relatief korte overspanningen vanaf 50 meter worden toegepast tot overspanningen groter dan 100 meter. Tegenwoordig worden vakwerken minder vaak toegepast dan vroeger. Veel bestaande vakwerken zijn in de vorige eeuw gebouwd. Een vakwerk is een arbeidsintensief kunstwerk. Tegenwoordig zijn de loonkosten hoger dan vroeger en materiaal kosten lager. Een vakwerkbrug is daarom tegenwoordig vaak minder interessant (Nederlandse Bruggenstichting, sd).

In onderstaande schema's zijn een aantal voorbeelden gegeven van mogelijke ontwerpen voor een vakwerkbrug. In het bovenste schema is een eenvoudig rechthoekig vakwerk weergegeven. Bestaand uit een boven- en onderrand met diagonale staven in beide richtingen en verticale staven. Vaak worden de staven in de bovenhoeken bij vakwerken weggelaten, zoals hier ook te zien is. Het onderste schema geeft eenzelfde vakwerk aan echter heeft deze een gebogen/geknikte bovenrand.



Figuur 37: Schetsvoorbeelden mogelijke vakwerkbrug ontwerpen. (Nederlandse Bruggenstichting, sd)

De spoorbrug bij Kethel is een voorbeeld van het bovenste schema. Een rechthoekig stalenvakwerk met diagonale staven in beide richtingen en verticale staven. Deze vakwerkbrug heeft een overspanning van 52 meter en draagt een dubbelspoor. De spoorbrug bij Kethel is weergegeven in Figuur 38.

Een voorbeeld van het onderste schema is weergegeven in Figuur 39. De vakwerkbrug bij Kelpen heeft een gebogen bovenrand en een overspanning van zo'n 75 meter.



Figuur 38: Spoorbrug Kethel. (@Bennie91, 2015)



Figuur 39: Stalen vakwerkbrug Kelpen. (Google, 2021)

Staal-betonbrug

In Nederland worden staal-betonbruggen nog niet veel toegepast. De reden hiervoor ligt deels bij de marktpartijen. Vaak zijn aannemers hoofdzakelijk beton- of staalbouwers, en zijn hierin gespecialiseerd. Het snel en economisch bouwen van staal-betonbruggen is hierdoor een uitdaging. Dit brengt hogere kosten met zich mee omdat vaak een onderaannemer moet worden ingeschakeld (Galjaard, 2013).

Staal-betonconstructies zijn in situaties waar een beperkt gewicht is gevraagd erg geschikt. De staalconstructie is relatief licht van gewicht en het betonnen dek kan later in situ worden aangebracht. In het buitenland, met name Frankrijk, worden staal-betonbruggen vaker toegepast. Overspanningen tussen de 40 en 80 meter zijn hier doorgaans mogelijk bij standaard wegverkeer. In Nederland zijn prefab liggers/kokers dominant voor overspanningen tot 65 meter. De keuze voor een staal-betonbrug wordt vanaf 65 meter mogelijk pas aantrekkelijk (Galjaard, 2013).

Voor andere brugtypen in Nederland worden staal-betonconstructies vaker toegepast. Het brugdek bij boogbruggen wordt steeds vaker in een staal-betonconstructie uitgevoerd. Ook bij tuibruggen is een combinatie van staal en beton vaak te vinden. Een voordeel van staal-betonbruggen voor spoorbruggen is dat er minder geluid wordt geproduceerd dan spoorbruggen die volledig uit staal bestaan. Daarnaast kunnen staal-betonbruggen bij sporen Een voorbeeld van een staal-betonbrug in Nederland is weergegeven in Figuur 40.

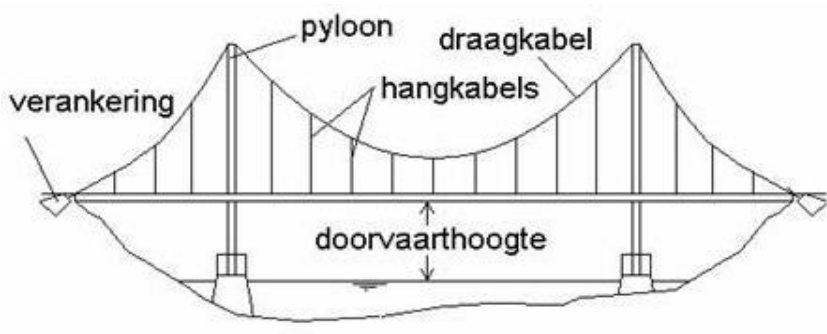


Figuur 40: Staal-betonconstructie spoorbrug Oosterbeek. (Galjaard, 2013)

Hangbrug

In Nederland zijn hangbruggen voor weg- of spoorverkeer nog niet gebouwd. Bij een hangbrug wordt het brugdek opgehangen in hangkabels. Deze hangkabels brengen de belasting over naar de draagkabel. Deze draagkabel is opgehangen tussen twee pylonen en zijn verankerd ter plaatse van de landhoofden. Met name de krachten in de landhoofden vormen in Nederland een probleem. De enorme trekkrachten kunnen moeilijk in de Nederlandse bodem met relatief

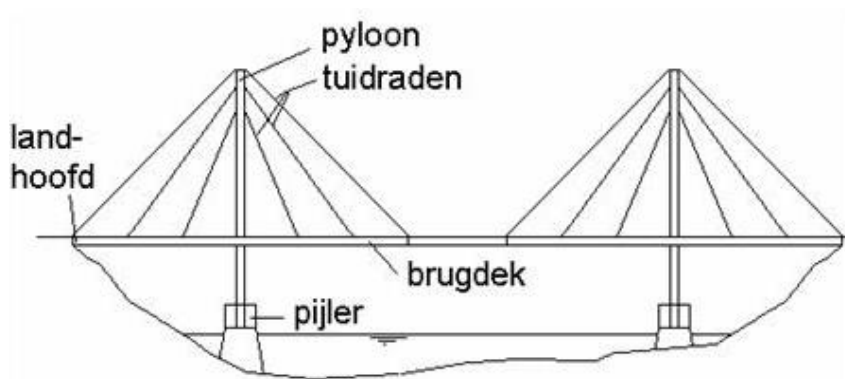
weinig draagkracht worden opgenomen. Dit maakt een hangbrug pas bij enorme overspanningen realistisch. In het buitenland worden hangbruggen vaker toegepast, echter zijn ook dan hangbruggen pas bij grote overspanningen gebruikelijk (Nederlandse bruggenstichting, sd). In de onderstaande figuur is het principe van een hangbrug schematisch weergegeven.



Figuur 41: Schematische weergave hangbrug. (Project 3: Brugconstructies, sd)

Tuibrug

Een tuibrug lijkt in het eerste opzicht op een hangbrug, echter is er een wezenlijk verschil. Een tuibrug bestaat uit één of meerdere pylonen waaraan het brugdek rechtstreeks is opgehangen met tuidraden. In tegenstelling tot een hangbrug is er geen draagkabel waarvandaan de tuidraden met het brugdek worden verbonden.



Figuur 42: Schematische weergave tuibrug. (Project 3: Brugconstructies, sd)

Tuibruggen worden voornamelijk toegepast bij grote overspanningen vanaf 120 meter. Over de grote rivieren waarbij grote overspanningen nodig zijn worden ze in Nederland nog wel eens toegepast. Een bekende is de Erasmusbrug in Rotterdam. Verdergaand op dit voorbeeld heeft een tuibrug vaak een esthetische functie. De opvallende pylonen in het landschap met de tuidraden zorgen vaak voor een imposant kustwerk (Galjaard, 2013).

Voor spoorverkeer is een tuibrug niet altijd geschikt. Zoals bij de randvoorwaarden is aangegeven vraagt een spoorbrug om een grote stijfheid. Bij een tuibrug is dit niet altijd het geval en zou dus enkel kunnen worden toegepast wanneer voor het brugdek een voldoende stijve ligger wordt toegepast (Galjaard, 2013).

Resultaten en conclusie

Ieder brugtype kent zijn eigen toepassingsgebied waarin deze wel of niet een geschikte keuze is. Voor de zeven verschillende brugtypen is toegelicht in welke situaties deze geschikt zijn en wat de voor- en nadelen zijn van dat type. Op basis van de vastgestelde uitgangspunten voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel kan een inschatting worden gemaakt welke brugtypen potentieel een oplossing zijn voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel.

Allereerst zijn betonnen prefab oplossingen een veel toegepaste oplossing. Ze zijn tot een overspanning van zo'n 60-65 meter gebruikelijk in Nederland. Echter is dit voor standaard autoverkeer, bij spoorbruggen ligt de belasting veel hoger en zijn kleinere overspanningen maar mogelijk. De overspanning van 55 meter voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel blijkt uit overleg met een leverancier en producent van de elementen en een consultant kunstwerken niet onmogelijk. Echter zijn er niet veel voorbeelden uit de praktijk en is de haalbaarheid onzeker. Het toepassen van prefab elementen is voor de Sluiskiltunnel voor de grote overspanning over de tunnel daarom onrealistisch. Indien er gekozen wordt voor steunpunten op de tunnel worden deze overspanningen aanzienlijk korter, dan is deze mogelijkheid wellicht het overwegen waard.

Een veel toegepast oplossing voor spoorbruggen binnen Nederland zijn trogbruggen. Mede door de snelle uitvoeringstijd zijn ze een veel gemaakte keuze. Overspanningen tot zo'n 55 meter vallen onder de mogelijkheden. Deze zijn in de praktijk ook al gerealiseerd, een bewezen ontwerp dus. De vele ervaring met trogbruggen in Nederland en de haalbaarheid van dit brugtype maakt het een potentieel goede optie voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel.

Boog- en vakwerkbruggen worden in tegenstelling tot de zojuist beschreven varianten voornamelijk in staal uitgevoerd. Staal wordt in Nederland voornamelijk bij grote overspanningen toegepast. Tot 65 meter heeft beton vaak de voorkeur, vanaf 65 meter is er meer stijfheid nodig. Er wordt dan gezocht naar bogen, vakwerken of kabels, een materiaal zoals staal wordt in deze gevallen toegepast. Bij het kunstwerk over de Sluiskiltunnel valt de overspanning dus vrij laag binnen de bandbreedte voor deze brugtypen. Echter kan het wel een alternatief zijn op een betonnen brugtype. Een vakwerkbrug heeft hier de voorkeur omdat deze volgens het uitgangspunt beter in de omgeving past en aan de esthetische eis voldoet.

Staal-betonbruggen zijn in Nederland nog niet veel te vinden. Echter worden ze in het buitenland veelal toegepast. Binnen Nederland is dit voornamelijk bij grotere overspanningen of bij boogbruggen waarbij het dek in een staal-betonconstructie wordt uitgevoerd. De mogelijke overspanningen vallen zo tussen de 40 en 80 meter. Zoals eerder aangegeven heeft in Nederland tot 65 meter beton de voorkeur. Een overspanning van 65 meter tot 80 blijft dan over. Voor de spoorbrug over de Sluiskiltunnel is dit een potentiële oplossing. Een vakwerkconstructie onder een betonnen brugdek zoals weergegeven in Figuur 40 kan deze overspanning haalbaar maken.

De laatste twee brugtype zijn tui- en hangbruggen. Deze brugtypen zijn pas bij enorme overspanningen geschikt. Hierbij moet uitgegaan worden van overspanning groter dan 100 meter tot enkele honderden meter. Hieruit volgt ook dat een tui- of hangbrug voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel niet realistisch is.

Hieruit is geconcludeerd dat de potentiële varianten voor het kunstwerk over de Sluiskiltunnel beperkt kunnen worden tot een trogbrug, vakwerkbrug of een staalbeton-brug. Een prefab ligger/kokerbrug is een valide optie indien gekozen wordt voor steunpunten op de Sluiskiltunnel. Het uitgangspunt van het onderzoek is dat de tunnel niet belast mag worden, de prefab ligger/kokerbrug valt daarom af. Vakwerkbruggen worden tegenwoordig niet veel meer toegepast. Echter in een staal-betoncombinatie is het een goed alternatief. In het onderzoek wordt de trogbrug en staal-betonbrug gekozen voor verdere uitwerking.

Bijlage D: Globale berekening Sluiskiltunnel

Het volgende document is vanaf volgende pagina bijgevoegd:

Document	Kenmerk	Datum	Auteur
Globale berekening Sluiskiltunnel	ZOB-001	4 april 2022	Nigel Wiesemann

Indicatieve berekening fundering Sluiskiltunnel

Verantwoording

Titel: Indicatieve berekening Sluiskiltunnel
Onderwerp: Mogelijkheid extra belasten fundering
Projectnummer: -
Klant: North Sea Port
Referentienummer: ZOB001
Versie: 1.0

Datum: 04-04-2022

Auteur: Nigel Wiesemann
E-mailadres: nigel.wiesemann@sweco.nl

Gecontroleerd door: Tim de Groote
Paraaf gecontroleerd:

Vrijgegeven door: Joren Gillissen
Paraaf vrijgegeven:

Document referentie: [https://swecogroup-my.sharepoint.com/personal/nigel_wiesemann_sweco_nl/documents/5\)onderzoek/onderzoeksvoorstel/berekeningfundering sluiskiltunnel.docx](https://swecogroup-my.sharepoint.com/personal/nigel_wiesemann_sweco_nl/documents/5)onderzoek/onderzoeksvoorstel/berekeningfundering%20sluiskiltunnel.docx)

Inhoudsopgave

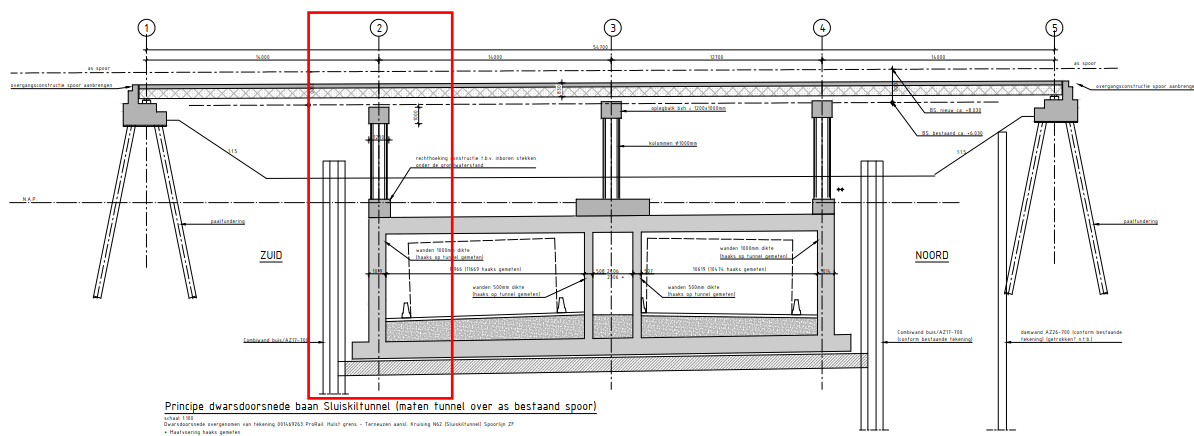
1	Inleiding	4
2	Uitgangspunten	5
2.1	Documenten	5
2.1.1	Normen en voorschriften	5
2.1.2	Referenties	5
2.2	Geometrie	5
3	Belasting	6
3.1.1	Eigengewicht	6
3.1.2	Spoorbelasting	6
3.1.3	Overige belastingen	6
3.1.4	Belastingfactoren	7
3.1.5	Belastingcombinaties	8
3.1.6	Momentaanfactoren	8
3.1.7	Gewichtsberekening	8
3.1.8	Belastingcombinatie UGT	9
4	Fundering	10
4.1	Spreadingsbreedte	10
4.2	Funderingspalen	10
5	Resultaten	11
6	Conclusie	11

1 Inleiding

In het onderzoek naar het kunstwerk over de Sluiskiltunnel zijn varianten beschouwd die de tunnel niet extra belasten. Het uitgangspunt in het onderzoek is dat de tunnel geen tussensteunpunt is. Echter wordt in het vooronderzoek gesteld dat de tunnel wellicht als tussensteunpunt kan dienen voor het kunstwerk. De bestaande tunnel constructie dient hierop getoetst te worden. In het vooronderzoek bestaat twijfel over de haalbaarheid, mogelijk is er versterking van de tunnel nodig. Dit valt buiten de scope van het onderzoek en wordt dus niet beschouwd.

Voor de opdrachtgever, North Sea Port, is de variant met steunpunten op de tunnel wel interessant. Het afsteunen op de tunnel leidt tot kortere overspanningen met een lichtere constructie tot gevolg. Ter onderbouwing van het uitgangspunt en om een eerste indicatie te kunnen geven voor het vervolgonderzoek wordt een globale berekening gemaakt.

In dit rapport wordt een indicatieve berekening uitgevoerd naar de toename van de belasting op de fundering onder de tunnelbak. Deze berekening geeft een eerste indicatie voor de mogelijkheid van het belasten van de tunnel. Hierbij wordt het opgestelde principe ontwerp vanuit het vooronderzoek aangehouden. Dit ontwerp is weergegeven in Figuur 1. De extra belasting vanuit as-2 op de fundering onder de wand van de tunnel wordt in deze berekening bekeken.



Figuur 1: Dwarsdoorsnede variant met steunpunten op de Sluiskiltunnel. [R1]

2 Uitgangspunten

2.1 Documenten

2.1.1 Normen en voorschriften

Documentnummer	Titel
NEN-EN 1990+A1	Eurocode 0 – Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991	Eurocode 1 – Belastingen op constructies
NEN-EN 1991-2	Eurocode 1 – Belastingen op constructies – deel 2: Verkeersbelasting op bruggen
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 1997	Eurocode 7 – Geotechnisch ontwerp van constructies
Elke eurocode moet gelezen worden met de bijbehorende nationale bijlage	

2.1.2 Referenties

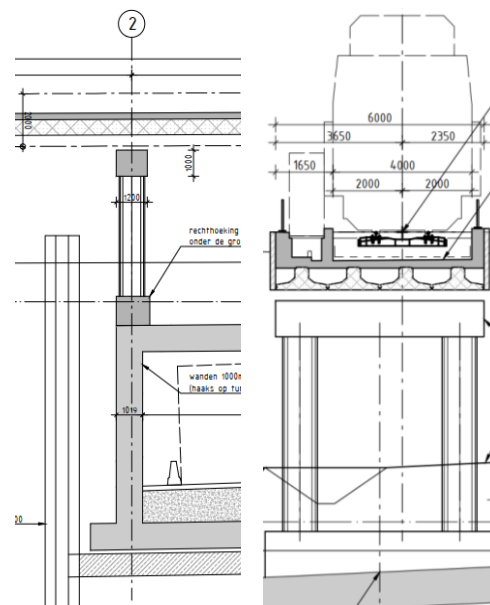
ID	Referentie
[R1]	Tekening - RGT-3g01-03_vA - Element A3 KW over Sluiskiltunnel, Arcadis, 2018
[R2]	Vormtekening – Vloer moot O2 – SKT-UO-S1130-TEK-6BVO-4201-E-8, BAM TBI, 2015
[R3]	Overzichtstekening – Spoordijk ZF As-built – SKT-UO-S1230-TEK-2GRO-0001 – BAM TBI, 2015
[R4]	Gewichtsberekening moot O2 – SKT-UO-S1130-BER-6GEW-0002, BAM TBI, 2012

2.2 Geometrie

Voor de geometrie van het kunstwerk wordt het schetsontwerp uit het vooronderzoek van Arcadis geraadpleegd [R1]. Het steunpunt op de tunnel in as-2 wordt in deze berekening beschouwd. Het steunpunt in as-2 is weergegeven in Figuur 2. Op dit steunpunt rusten twee delen van het brugdek met een overspanning van 14 meter. Voor de breedte van het brugdek wordt een inschatting gemaakt op basis van de ProRail voorschriften. Het profiel van vrije ruimte (PVR-GC) vraagt om 4,0 meter breedte. Daarbij hoort een passeerpad van te minste 1,0 meter te worden aangebracht. Verder wordt 1,0 meter extra breedte voor de balustrades aangehouden. In totaal is de breedte van het brugdek 6,0 meter. Verder wordt het brugdek vereenvoudigd tot een massieve plaat met een hoogte van 0,7 meter. Voor het ballastbed onder het spoor wordt een dikte van 0,35 m aangehouden.

De geometrie van het steunpunt ziet er als volgt uit:

- Oplegbalk: 1,2m. x 1,0m. x breedte brugdek
- Kolom: 1,0m. x 1,0m. x 5,5 m.



Figuur 2: Steunpunt op de tunnel in as-2. [R1]

3 Belasting

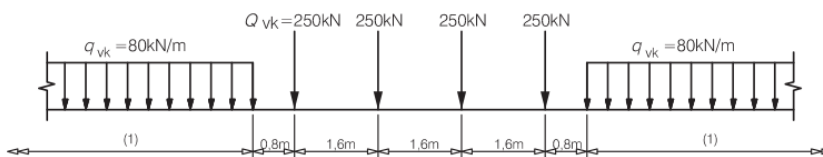
3.1.1 Eigengewicht

Tabel 1: Volumieke massa

Beton	25,0	kN/m ³
Ballast	22,0	kN/m ³

3.1.2 Spoorbelasting

De NEN-EN 1991-2 beschrijft verschillende belastingmodellen voor spoorwegverkeer. Voor dit kunstwerk is belastingmodel 71 van toepassing voor normaal spoorwegverkeer. Daarnaast dient voor alle spoorlijnen belastingmodel SW/2 te zijn toegepast voor zwaar goederenverkeer (NEN-EN 1991 + NB).

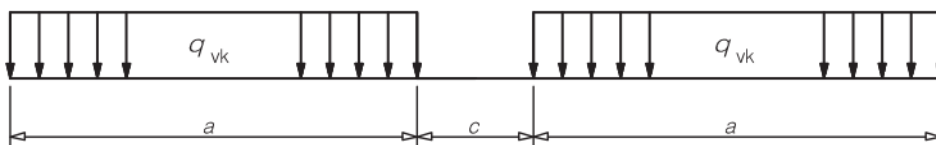


Legenda

(1) geen beperking

Figuur 3: Belastingmodel 71 voor normaal spoorwegverkeer. (NEN-EN 1991-2 6.3.2)

In Figuur 3 is het belastingmodel 71 weergegeven. De karakteristieke waarden voor de belasting aangegeven in de figuur dienen met een factor- α te worden vermenigvuldigd indien er op de spoorlijn ook spoorverkeer rijdt dat zwaarder is dan normaal spoorwegverkeer. Wat in dit geval van toepassing is. Voor de factor- α moet 1,21 aangehouden worden.



Figuur 4: Belastingmodellen SW/0 en SW/2 (NEN-EN 1991-2 6.3.3 Figuur 6.2)

In Figuur 4 is het belastingmodel voor SW/0 en SW/2 weergegeven. De bijbehorende belastingen en afmeting zijn weergegeven in Tabel 2. De nationale bijlage beschrijft dat belastinggeval SW/2 dient te worden toegepast.

Tabel 2: Karakteristiek waarden belastingen belastingmodellen SW/0 en SW/2. (NEN-EN 1991-2 6.3.3 Tabel 6,1)

Belastingmodel	q_{vk} (kN/m)	a (m)	c (m)
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

3.1.3 Overige belastingen

De overige belastingen zoals temperatuur, wind en dynamische krachten worden in deze indicatieve berekening buiten beschouwing gelaten.

3.1.4 Belastingfactoren

Tabel 3: Belastingfactoren voor spoorwegverkeersbruggen (NEN-EN 1990 Tabel NB.17 - A2.4 (B))

Belasting	γ	Waarde		Waarde	
		CC2		CC3	
		6.10.a	6.10.b	6.10.a	6.10.b
Eigen gewicht van de constructieve en niet-constructieve elementen zoals ballast, grond, grondwater en vrij water en wegneembaar belastingen enz.	$\gamma_{G,sup}$	1,3	1,2	1,4	1,25
	$\gamma_{G,inf}$	0,9	0,9	0,9	0,9
Gunstige veranderlijke belastingen	γ_Q	0	0	0	0
Spoorwegverkeersbelastingen, door de belastingsgroepen 11 tot en met 31 (uitgezonderd 16, 17, 26 en 27), belastingmodellen LM71, SW/0 en HSLM en werkelijke treinen indien beschouwd als afzonderlijke hoofdverkeersbelastingen	γ_Q	1,45	1,45	1,50	1,50
Spoorwegverkeersbelastingen door de belastingsgroepen 26 en 27 op afzonderlijke componenten van verkeersbelastingen als die te maken hebben met SW/2	γ_Q	1,20	1,20	1,25	1,25
Spoorwegverkeersbelastingen door de belastingsgroepen 26 en 27 op afzonderlijke componenten van verkeersbelastingen als die te maken hebben met de belastingmodellen LM71, SW/0 en HSLM enz.	γ_Q	1,45	1,45	1,50	1,50
Spoorwegverkeersbelastingen door de belastingsgroepen 16 en 17 en SW/2	γ_Q	1,20	1,20	1,25	1,25
Andere verkeersbelastingen en andere veranderlijke belastingen zoals veranderlijke horizontale gronddruk door grond, grondwater, vrij water en ballast, gronddruk door bovenbelasting door verkeer, aerodynamische belastingen door verkeer en wind- en thermische belasting	γ_Q	1,50	1,50	1,65	1,65
Voorspanning	γ_p	Voorgeschreven waarde vastgelegd in het relevante Eurocodedeel			
Bij een lineair elastische berekening voor ontwerpsituaties waar belastingen ten gevolge van ongelijke zettingen ongunstige effecten kunnen hebben	γ_{Gset}	1,20	1,2	1,2	1,2
Bij een niet-lineaire berekening voor ontwerpsituaties waar belastingen ten gevolge van ongelijke zettingen ongunstige effecten kunnen hebben	γ_{Gset}	1,35	1,35	1,35	1,35
OPMERKING De factor K_{Fi} volgens B 3.3 is in de waarden van γ verwerkt; voor de zettingsberekening blijft de betrouwbaarheidsdifferentiatie achterwege.					

3.1.5 Belastingcombinaties

Tabel 4: Rekenwaarden voor de belastingen (NEN-EN 1990 Tabel NB.15 - A2.4(B))

Blijvend en tijdelijke ontwerpsituaties	Blijvende belastingen		Voorspanning	Overheersende veranderlijke belasting	Tegelijkertijd optredende veranderlijke belastingen ^a	
	Ongunstig	Gunstig			Belangrijkste	Andere
Vgl. 6.10a	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
Vgl. 6.10b	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$ Met $\xi=0,89$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
^a Veranderlijke belastingen zijn die, die zijn beschouwd in tabellen NB.12 – A2.1, NB 13 – A2.2 en A2.3						

3.1.6 Momentaanfactoren

In deze berekening wordt enkel gekeken naar de verticale kracht van een afzonderlijke component van de verkeersbelasting. De belastingsgroepen (NEN-EN 1990 Tabel A2.3) worden niet beschouwd. De momentaanfactoren voor de afzonderlijke verkeersbelastingen (Tabel 5) worden toegepast.

Tabel 5: Momentaanfactoren (NEN-EN 1990, Tabel A2.3)

Belastingen		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Afzonderlijke componenten van verkeersbelastingen	LM 71	0,80	1)	0
	SW/0	0,80	1)	0
	SW/2	0	1,00	0
	Onbeladen wagens	1,00	-	-
	HSLM	1,00	1,00	0
1) 0,8 indien slechts 1 spoor is belast; 0,7 indien 2 sporen gelijktijdig zijn belast; 0,6 indien 3 of meer sporen gelijktijdig zijn belast.				

3.1.7 Gewichtsberekening

Om de extra belasting op de fundering te kunnen bepalen dient eerst de verticale belasting die op de wand afgedragen wordt berekend te worden. Deze verticale puntlast wordt in onderstaande handberekening bepaald.

BG1 Eigengewicht

Brugdek	25 kN/m ³ x 14,0 m x 6,0 m x 0,7 m	= 1470 kN
Kolommen	25 kN/m ³ x 5,5 m x 1,0 m x 1,0 m	= 137,5 x 2 = 275 kN
Oplegbalk	25 kN/m ³ x 6,0 m x 1,2 m x 1,0 m	= 180 x 2 = 360 kN
Ballast	22 kN/m ³ x 14,0 m x 4,0 m x 0,35 m	= <u>432 kN</u> +
Totaal		= 2537 kN

BG2 Spoorbelasting

a) Belastinggeval 71

$$250 \text{ kN} \times 4 \times 1,21 = 1210 \text{ kN}$$

$$80 \text{ kN/m} \times (14 - (3 \times 1,6 \text{ m} + 2 \times 0,8 \text{ m})) \times 1,21 = \underline{736 \text{ kN}} +$$

$$\text{Totaal} = 1946 \text{ kN}$$

b) Belastinggeval SW/2

$$150 \text{ kN/m}^* \times 14 \text{ m} = 2100 \text{ kN}$$

*Er wordt gerekend met belastingmodel SW/2. Vermenigvuldigen met α factor niet van toepassing.

3.1.8 Belastingcombinatie UGT

Vergelijking 6.10a

$$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$$

BG 71:

$$1,40 \times 2537 \text{ kN} + 1,50 \times 0,8 \times 1946 \text{ kN} = 5887 \text{ kN}$$

BG SW/2:

$$1,40 \times 2537 \text{ kN} + 1,25 \times 0 \times 2100 \text{ kN} = 3552 \text{ kN}$$

Vergelijking 6.10b:

$$\xi \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup} + \gamma_{Q,i} Q_{k,i}$$

BG71:

$$1,25 \times 2537 \text{ kN} + 1,50 \times 1946 \text{ kN} = 6090 \text{ kN} \rightarrow \text{Maatgevend}$$

BG SW/2:

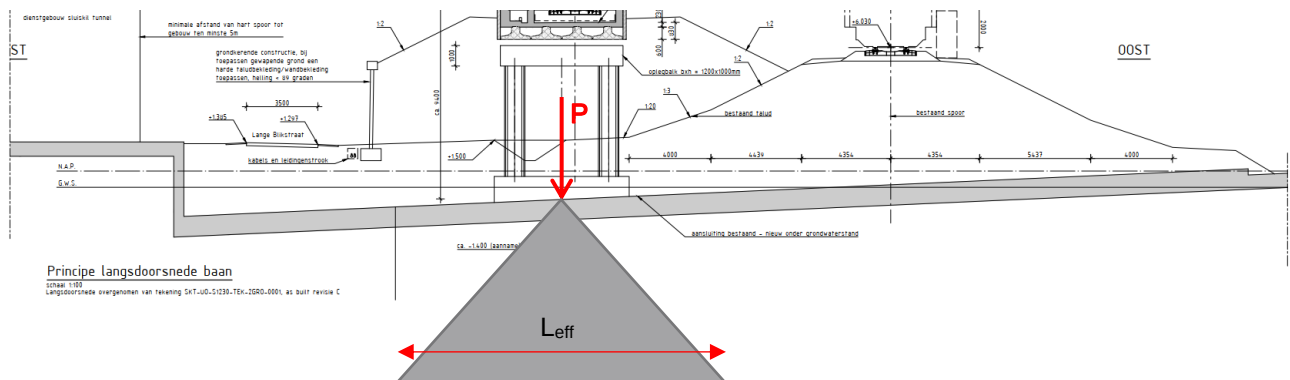
$$1,25 \times 2537 \text{ kN} + 1,25 \times 2100 \text{ kN} = 5796 \text{ kN}$$

Vergelijking 6.10b bij belastinggeval 71 is maatgevend. De belasting vanuit het steunpunt op de tunnelwand is dus 6090 kN.

4 Fundering

4.1 Spreidingsbreedte

Het steunpunt in as-2 is recht boven de buitenwand van de Sluiskiltunnel aangebracht. De verticale belasting zoals berekend in paragraaf 3.1.8 wordt door de wand van de tunnel overgedragen naar de onderliggende fundering. Om het aantal palen te bepalen waarover de belasting verdeeld wordt is uitgegaan van een spreiding in de wand. Deze spreiding is weergegeven in Figuur 5.



Figuur 5: Spreiding punt-last steunpunt in de tunnelwand. [R1]

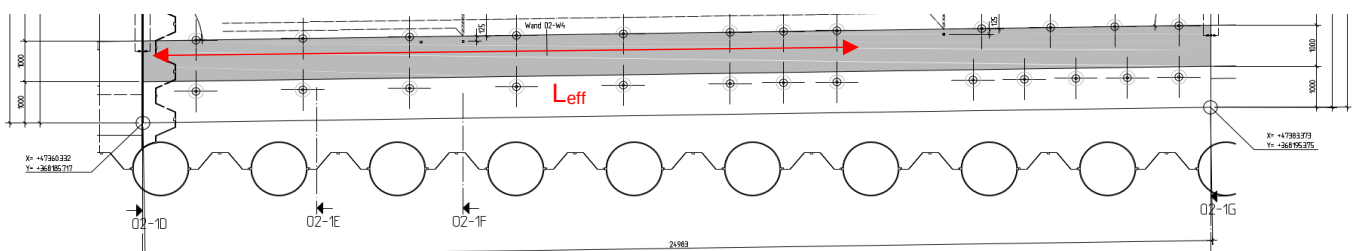
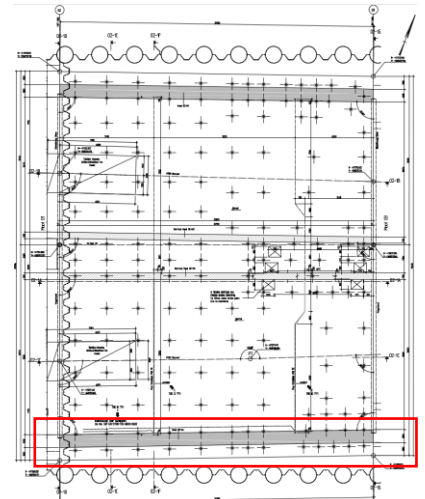
Voor de spreiding in de wand wordt een hoek van 45° aangehouden. De hoogte van de wand is 8,23 meter. L_{eff} kan als volgt worden berekend:

$$L_{eff} = 2 \cdot \tan(45^\circ) \cdot 8,23m. = 16,46m.$$

De afstand vanaf het hart van het steunpunt tot de dilatatie van moot O2 is ongeveer 8,5 meter, zoals gemeten op tekening [R3]. Indien de dilatatie verdere spreiding in de wand verhinderd is dat niet van invloed aangezien de L_{eff} niet kruist met de dilatatie.

4.2 Funderingspalen

In Figuur 6 is een bovenaanzicht van de vloer van moot 2 van de tunnel weergegeven. Het rode vak geeft het gebied aan waar de buitenwand zich bevindt waarop het steunpunt in as-2 van het kunstwerk op afsteund. Het aangegeven gebied is onderaan Figuur 6 vergroot weergegeven. Daarop zijn ook de onderliggende funderingspalen weergegeven. De spreidingsbreedte L_{eff} is met de rode pijl weergegeven. Binnen dit gebied kan de hoeveelheid palen die extra belast wordt door het steunpunt bepaald worden. Na afmeten op tekening blijkt dat er in totaal 16 funderingspalen zich onder het deel van de wand binnen L_{eff} bevinden.



Figuur 6: Bovenaanzicht vloer moot 2 en funderingspalen onder buitenwand Sluiskiltunnel. [R2]

5 Resultaten

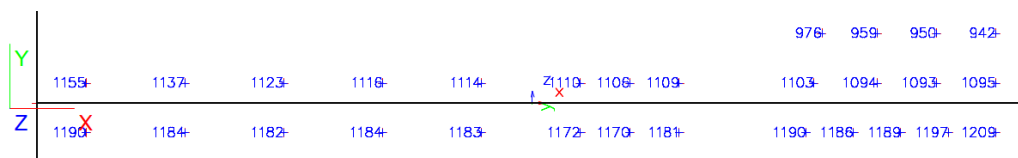
De puntlast P vanuit het steunpunt is in UGT 6177kN. De extra verticale belasting (F) per paal kan als volgt worden berekend:

$$F_{extra,paal} = \frac{P}{n_{palen}} = \frac{6090}{16} = 381kN$$

In Figuur 7 zijn de reactiekrachten op de funderingspalen in het betreffende deel onder de wand weergegeven. De resultaten volgen uit de gewichtsberekening van de Sluiskiltunnel [R4]. De 16 funderingspalen dragen in de huidige situatie, dus zonder kunstwerk, een belasting van maximaal 1190kN. Hier komt een extra belasting van 386kN bij. Wat leidt tot een overschrijding van de reactiekracht in UGT met 32% ten opzichte van de huidige situatie.

$$F_{paal} = 1190 + 381 = 1571kN$$

$$\frac{1571 - 1190}{1190} \cdot 100 = 32\%$$



Figuur 7: Reactiekracht funderingspalen in UGT. [R4]

De draagkracht van de funderingspalen is onbekend, de overcapaciteit van de palen kan dus niet exact worden bepaald.

6 Conclusie

Uit de indicatieve berekening volgt dat een extra verticale kracht, die globaal is vastgesteld op 6090kN, vanuit het steunpunt in as-2 op de buitenwand van de tunnel komt te staan. Deze verticale kracht wordt door spreiding in de wand afgedragen op 16 funderingspalen. Per funderingspaal komt de extra verticale belasting op 381kN. Dat is een overschrijding van 32% ten opzichte van de reactiekracht in de huidige situatie zonder kunstwerk.

De berekende draagkracht van de funderingspalen is onbekend. De exacte overcapaciteit kan dus niet worden vastgesteld. Echter is het onwaarschijnlijk dat de funderingspalen zo zijn ontworpen dat er overcapaciteit is om een overschrijding van 32% te kunnen opnemen.

Deze uitkomst onderbouwd het uitgangspunt dat in het onderzoek is aangenomen. Namelijk dat het belasten van de Sluiskiltunnel door het aanbrengen van een steunpunt onzeker is en mogelijk vraagt om versterking van de Sluiskiltunnel.

Bijlage E: Besprekingsverslagen

De volgende documenten zijn vanaf volgende pagina bijgevoegd:

Document	Datum
Besprekingsverslag NSP H. de Meij	8 maart 2022
Besprekingsverslag WST D. Vlassenrood	17 maart 2022
Besprekingsverslag stagebezoek A. Repko	25 maart 2022
Besprekingsverslag expert rail E. Bakker	8 april 2022
Besprekingsverslag NSP H. de Meij	14 april 2022
Interview constructeur Jos van der Ploeg	14 juni 2022

Besprekingsverslag

Auteur: Nigel Wiesemann

Plaats:	Microsoft Teams Vergadering		
Datum:	2022-03-08	Tijd: 11:00	12:00
Aanwezig:	Hans de Meij	North Sea Port	-
	Joren Gillissen	Sweco	-
	Nigel Wiesemann	Sweco	-
Kopie aan:	-	-	-

Onderwerp van de vergadering: Kennismaking en inhoud afstuderen

Agenda

1. Opening
2. Kennismaking
3. Project Rail Ghent-Terneuzen
4. Afstudeeronderzoek
5. Vragen
6. Sluiting

Agendapunten

1. Opening

De vergadering wordt om 11:00 uur geopend en vindt online plaats in een Teams vergadering.

2. Kennismaking

Kennismaking Nigel met Hans en Hans met Nigel. Korte toelichting over afstuderen 4^e jaar CT en de HZ. Terechtgekomen bij Sweco. Hans vertelt wat over zijn achtergrond en wat hij gedaan heeft. En wat nu zijn werkzaamheden zijn bij NSP. Ze werken binnen een team met 5 projectleiders, Hans is de richting rail/spoor. Daarom ook projectleider van het project RGT als opdrachtgever.

3. Project Rail Ghent-Terneuzen

Het project in de huidige situatie. Projectteam opzetten met ProRail en Infrabel. Echter duurt dit nog vrij lang, Hans ziet dit graag sneller gebeuren. Tekort aan mensen bij de andere partijen. Nog veel stappen te zetten voordat er naar de uitwerkingsfase kan worden gegaan.

4. Afstudeeronderzoek

Toelichting afstuderen. Uitleg gegeven over indeling en wat de opzet van het onderzoek is. Nu vaststellen uitgangspunten en varianten kiezen. Nigel licht toe dat het belasten van de tunnel als uitgangspunt niet mogelijk wordt beschouwd. Dit omdat naar aanleiding van overleg met begeleider Tim van afdeling bouw is geconcludeerd dat dit veel tijd zal vragen om concrete antwoorden te kunnen

Sweco	Postbus 7060	Sweco Nederland B.V.
Nigel Wiesemann	NL 4330 GB Middelburg	Handelsregister 30129769
stagiair	Netherlands	Statutair gevestigd te: De Bilt
nigel.wiesemann@sweco.nl	T +31 (0) 88 811 6600	
M +31 6 45687256	www.sweco.nl	

geven. Daarnaast dat de gegevens van de Sluiskiltunnel nog niet verkregen zijn. Hans zegt dat hij deze oplossing wel als potentieel kansrijk ziet. En hoe Nigel daar tegenaan kijkt. Joren springt bij en licht toe dat binnen het kader van het onderzoek geen tijd is om dit uitvoerig te behandelen.

Hans vraagt over er bij Nigel teleurstelling is om dit niet mee te nemen. Nigel zegt dat hij de potentie van deze oplossing ook ziet en hem graag mee had willen nemen. Echter het belang van zijn onderzoek is er ook.

Hans ziet zeker ook het belang in van het onderzoeken van de gehele overspanning. En gaat dit ook in het verdere onderzoek moeten beschouwen. En de resultaten van het onderzoek zullen daarom ook zeker van enige waarde zijn met betrekking tot deze varianten. Wel geeft hij aan dat het belangrijk is deze optie wel te beschouwen en mee te nemen in het onderzoek. Ook als onderbouwing van de keuze. Joren geeft aan dat het indicatief kijken naar de unit checks (extra capaciteit in de constructie) hier een onderbouwing voor kan zijn. Hans is het hier mee eens. Besloten is om bij de Sluiskiltunnel wel te vragen naar hun visie m.b.t. tot het belasten van de tunnel. Vervolgens het analyseren van de indicatieve overcapaciteit in de constructie elementen. Zodat in het onderzoek is onderbouwd waarom deze keuze gemaakt is en er al een indicatieve richtlijn ligt voor NSP voor het vervolgonderzoek naar het belasten van de tunnel.

5. Vragen

Er wordt overgegaan op de vragen van Nigel aan Hans.

- Vraag 1) Kan de volledige ontwerprapportage van het vooronderzoek "Studie 3 t/m 6: Technische Studie elementen railinfra" beschikbaar worden gesteld?

Dat is mogelijk. Hans zal deze na de vergadering opzoek en via de mail delen.

- Vraag 2) In de huidige situatie is de baanvaksnelheid begrensd tot 30 km/u in het spoornetwerk in Zeeuws-Vlaanderen. Wat wordt de ontwerpsnelheid?
 - Studie personenvervoer → 80-100 km/h
 - Vervoers- en capaciteitsanalyse → 40 km/h

Hans geeft aan dat dit zeker is opgenomen in vooronderzoek. Het zou dus moeten staan in het document wat gedeeld zal worden. Zover hij weet betreft de baansnelheid/ontwerpsnelheid voor de Zuidoostboog 40km/h.

Vraag 3) Esthetische waarde van het kunstwerk

Gesprek volgt. Hans haalt de hangtrogbrug bij Terneuzen erbij. Wellicht als uitgangspunt. Echter is er nu geen sprake van een kruising met weg, waar een brug als esthetisch belangrijk wordt gevonden. Er is nu sprake van een kruising met een tunnel. Er gaat niet direct een weg onderdoor. Kans is groot dat de esthetische waarde minder van belang is. Wellicht moet de brug juist niet afleiden bij de ingang van de tunnel. Ook haalt Hans de omgeving aan, buitengebied, industrie. Maar ook de Sluiskilbrug, deze stijl kan wellicht doorgetrokken worden? De gemeente Terneuzen gaat ook over deze keuze. Aangezien ze de bestemmingsvergunning moeten verlenen. Contact opnemen met de gemeente of ze over deze vraag al hebben nagedacht is zeker een goed idee. Hans zal de gegevens van een contactpersoon bij de gemeente delen met Nigel. Zodat hij deze vraag ook bij de gemeente kan stellen.

6. Sluiting

De Teams vergadering wordt afgesloten om 11:55

Besprekingsverslag

Auteur: Nigel Wiesemann

Plaats:	Kantoorgebouw Westerscheldetunnel Zuid		
Datum:	2022-03-17	Tijd: 10:00	11:00
Aanwezig:	Nigel Wiesemann	Sweco	-
	Dennis Vlassenrood	Westerscheldetunnel	-
Kopie aan:	-	-	-

Onderwerp van de vergadering: Stukken Sluiskiltunnel

Agenda

1. Opening
2. Stukken* Sluiskiltunnel
3. Uitgangspunten onderzoek:
4. Vooronderzoek en toetsing met WST
5. Verzamelen stukken* Sluiskiltunnel
6. Vragen
 - 6.1. Zijn de combiwand en damwand langs de tunnelbak nog aanwezig?
 - 6.2. Heien langs de tunnelbak, trillingsvrij noodzakelijk?
 - 6.3. Mag er grond worden afgegraven boven de tunnel om de belasting op de onderliggende constructie delen te reduceren?
7. Sluiting

*Het gaat om de volgende stukken:

- Ontwerpnota
- Overzichtstekening met doorsneden en hoogtes in NAP
- Vormtekeningen
- Wapeningstekeningen
- Funderingsadvies
- Palenplan

Agendapunten

1. Opening

Nigel en Dennis maken kennis en bespreken het afstuderen van Nigel.
Om 10:10 wordt de vergadering geopend.

2. Stukken Sluiskiltunnel

Dennis had al naar de stukken van de Sluiskiltunnel gekeken en al wat documenten klaargezet, deze zijn doorgenomen. Er zit een groot document bij met de berekeningen van moot 2. Het document wordt doorgelopen en lijkt een aantal van de gevraagde gegevens te bevatten: ontwerpnota, funderingsadvies en palenplan.

Sweco

Nigel Wiesemann
stagiair
nigel.wiesemann@sweco.nl
M +31 6 45687256

Postbus 7060
NL 4330 GB Middelburg
Netherlands
T +31 (0) 88 811 6600
www.sweco.nl

Sweco Nederland B.V.
Handelsregister 30129769
Statutair gevestigd te: De Bilt

3. Uitgangspunten onderzoek

Nigel licht toe dat er binnen het onderzoek als uitgangspunt is aangenomen dat de Sluiskiltunnel niet extra kan worden belast. Hier is voor gekozen omdat er onvoldoende tijd zou zijn om binnen het afstuderen deze berekening volledig te kunnen maken naast de varianten uitwerking. Wel wordt er indicatief een berekening gemaakt om dit uitgangspunt te onderbouwen. Het ontwerp met steunpunten op de tunnel uit het vooronderzoek zal dus niet onderzocht worden. Dennis vraagt naar het ontwerp uit het vooronderzoek, deze hadden ze bij de WST nog niet gezien.

4. Vooronderzoek en toetsing met WST

De schetsontwerpen van het kunstwerk uit het vooronderzoek en het vooronderzoek zelf worden doorgenomen met Dennis. Er is destijds inderdaad kort getoetst met de WST over het belasten van de tunnel. Echter is er niet aan gerekend.

5. Verzamelen stukken Sluiskiltunnel

Na kort de ontwerpen te hebben doorgenomen en het vooronderzoek wordt er verder gekeken naar de benodigde stukken van de Sluiskiltunnel. De berekeningen die door Dennis zijn opgezocht zijn voor moot 2. Moot 2 is een onderdeel van de tunnelbak aan de tunnelingang aan de oostzijde. Over dit deel loopt het bestaande spoor. Dennis vult aan dat hier het dak dikker en zwaarder is uitgevoerd en daarnaast ook grotere of langere funderingspalen zijn toegepast. Dit zou in het document berekend en toegelicht zijn en zal worden gedeeld. Nigel vraagt of de fundering onder de gehele tunnelbak aanwezig is. Dit is volgens Dennis inderdaad het geval.

5.1. Locatie moot 2 tunnel

De berekeningen die beschikbaar gesteld zijn zoals eerder besproken voor moot 2. Nigel vraagt tot waar deze moot precies loopt, aangezien hij wil weten waar het kunstwerk komt te liggen: in moot 2 of moot 1? Dennis gaat opzoek naar een overzichtstekening waarin de moten zijn aangegeven. Er wordt een tekening gevonden echter biedt deze niet gelijk duidelijkheid. Er is gedacht dat waar het dienstgebouw begint de moot eindigt. Uit maps worden afmetingen gehaald om de locatie van de moten naast de berekening te kunnen leggen. Echter lijkt dit niet overeen te komen, de moot eindigt eerder dan ter plaatse van het dienstgebouw. Na een tijdje zoeken wordt geconcludeerd dat moot 1 begint waar het dienstgebouw begint, net waar de tunnel overgaat naar het geboorde deel. De moot loopt 28 meter door en gaat zo'n 10 meter door voorbij het dienstgebouw. De overgang van moot 1 naar 2 ligt tussen het dienstgebouw en het bestaande spoor en is zo'n 2 meter rechts naast de bestaande Lange blikstraat. Het kunstwerk ligt hier nog iets rechts van. Het kunstwerk ligt dus nog binnen moot 2. De gegevens van moot 1 zijn dus niet nodig.

Tijdens het zoeken naar een overzichtstekening met een overzicht van de moten wordt een extra geologisch rapport gevonden m.b.t. moot 1, 2 en 3. Deze zal Dennis ook bijvoegen bij de te delen stukken.

6. Vragen

Zijn de combiwand en damwand langs de tunnelbak nog aanwezig?

Ook zou er een combiwand langs de tunnelbak zijn aangebracht zegt Nigel. En vraagt of deze nog aanwezig is. Dennis zegt dat deze niet zijn verwijderd en op maaiveld zijn afgebrand.

Heien langs de tunnelbak, trillingsvrij noodzakelijk?

Nigel vraagt of er langs de tunnel geheid mag worden. Dennis zegt dat dit waarschijnlijk trillingsvrij moet gebeuren. De dilatatievoegen zijn kwetsbaar voor de trillingen.

Mag er grond worden afgegraven boven de tunnel om de belasting op de onderliggende constructiedelen te reduceren?

Nigel stelt het verwijderen van de grond boven de tunnel voor bij Dennis. Dennis kon hier zo snel geen volledig antwoord op geven. De winst in het afgraven zag Dennis niet gelijk. Uitgangspunt was ongeroerd laten van de grond om het niet te ingewikkeld te maken. Nigel ligt toe dat indien er bijvoorbeeld een laag afgegraven kan worden de fundering minder belast zal worden. Afgraven was wellicht toch wel een optie, als het daadwerkelijk wat oplevert volgens Dennis. Een minimale dekking is dan wel vereist. Dennis vraagt om minimaal een meter dekking, ter bescherming van de tunnel. Het grondpakket is gemeten op de tekening daar zo'n 3 meter. Er zou dus ongeveer 2 meter afgegraven kunnen worden, uitgaand van het behouden van een meter dekking.

Toegangsweg en K&L

Dennis vult aan dat er een toegangsweg is naar het technisch gebouw. Bij het eventueel afgraven is het belangrijk dat de weg toegankelijk blijft. Verder voegt Dennis ook toe dat er naar kabels en leidingen gekeken zal moeten worden.

7. Sluiting

Dennis zal de benodigde gegevens bij elkaar verzamelen en op een usb-stick zetten. Er wordt contact opgenomen wanneer deze usb-stick door Nigel opgehaald kan worden.

De vergadering wordt om 11:25 gesloten.

Besprekingsverslag

Auteur: Nigel Wiesemann

Plaats:	Sweco Middelburg		
Datum:	2022-03-25	Tijd: 09:00 – 10:00	
Aanwezig:	Albert Repko	HZ University of Applied Sciences	Afstudeerdocent
	Joren Gillissen	Sweco	Afstudeerbegeleider
	Nigel Wiesemann	Sweco	Student

Onderwerp van de vergadering: Bedrijfsbezoek en bespreken onderzoeksvoorstel en voortgang

Agenda

1. Opening
2. Ervaring en voortgang tot nu toe
3. Planning
4. Onderzoeksvoorstel
 - 4.1. Bespreken uitgangspunten (onderzoekskader)
 - 4.2. Gekozen varianten
5. Volgende stappen in het onderzoek
 - 5.1. Afstemmen uitwerking varianten
 - 5.2. Varianten afweging
6. Evaluatieformulier
7. Sluiting

Agendapunten

1. Opening

De vergadering wordt geopend om 09:00 en vind plaats in het gebouw van Sweco Middelburg. Er wordt kennisgemaakt en kort gesproken over een aantal onderwerpen los van het afstuderen die aan bod kwamen. Nigel heeft een agenda opgesteld en het eerste punt wordt geïntroduceerd.

2. Ervaring en voortgang tot nu toe

Nigel vertelt dat de ervaring tot nu toe bij Sweco erg positief is en dat de begeleiding vanuit het bedrijf goed is geregeld. Joren vult hierbij aan dat hij de begeleiding in het algemeen voorziet. Waarbij voornamelijk wordt gericht op het onderzoek en opbouw van het verslag. Dit doet hij vanuit afdeling Techniek. De begeleiding met betrekking tot de constructie(berekeningen) wordt gedaan door Tim van afdeling bouw.

3. Planning

Het onderzoek is door Albert kort doorgelezen en hij vraagt of er ook een planning is gemaakt. Nigel geeft aan dat deze in de bijlage van het rapport staat. Echter is er een nieuwe en uitgebreide planning van de onderzoeksfase gemaakt, deze wordt erbij gepakt. De planning wordt kort toegelicht en besproken. Albert geeft aan dat deze haalbaar is indien er juiste keuzes worden

gemaakt bij het uitwerken. Het is belangrijk dat er bij de kern gebleven wordt en er niet te breed gegaan wordt. Dit kan altijd nog wanneer er tijd over is.

4. Onderzoeksvoorstel

Het onderzoeksvoorstel wordt geopend, deze wordt globaal doorgenomen. Eerst wordt de inleiding van het onderzoek besproken. De achtergrond van het onderzoek verwijst naar het vooronderzoek dat is uitgevoerd. Albert geeft aan dat hier context mist wat er in dit onderzoek is gedaan. Nu wordt niet duidelijk wat dit nieuwe onderzoek daaraan toevoegt. Verder mist hij de schets-tekeningen van het kunstwerk in de inleiding. Dit zou zorgen voor meer duidelijkheid bij een lezer die niet met het onderzoek bekend is. Nigel geeft aan meer uitleg te geven over het vooronderzoek en de tekeningen toe te voegen. De probleemstelling is verder goed en helder.

4.1. Bespreken uitgangspunten (onderzoekskader)

Het onderzoekskader begint met een uitgangspunt dat het belasten van de Sluiskiltunnel niet binnen de scope valt. Albert geeft aan dat deze aanname vrij rigoureus is zonder goede onderbouwing waarom deze keuze gemaakt is. Joren vult aan dat de gegevens van de tunnel pas deze week beschikbaar waren. Tijdens het gesprek met de opdrachtgever is het uitgangspunt niet belasten ook besproken. En toen is aangegeven dat het nu niet haalbaar is om deze optie te onderzoeken. Daarom is besloten een onderzoek aan te leveren met de resultaten naar de optie waarbij het kunstwerk over de tunnel gaat. Albert begrijpt de beslissing aan de hand van deze toelichting. Hij ziet deze toelichting en korte verslagen van de overleggen ook graag terug in het verslag. Wel vindt hij dat er een korte globale berekening moet worden toegevoegd zodat dit uitgangspunt kan worden onderbouwd en ter verdediging van het onderzoek. Met name een 2^e examiner kan hier vragen over stellen. Nigel besluit +- 2 dagen te gebruiken voor deze berekening ter onderbouwing van het uitgangspunt en tevens ook omdat het van waarde is voor de opdrachtgever.

Het onderzoekskader waarbinnen enkel de bovenbouw van de constructie wordt beschouwd vindt Albert een goede beslissing. Dit uitgangspunt blijft dus ook staan.

4.2. Gekozen varianten

De gekozen varianten de trogbrug en staal-betonbrug zijn prima en mooie oplossingen. Echter ontbreekt de toelichting voor deze keuze in het verslag. Nigel geeft aan dat dit in de bijlage uitgebreid onderzocht is. In de bijlage staat een goede analyse, echter moet er een koppeling gemaakt worden naar dit onderzoek in het rapport. Nigel zal in het theoretisch kader een extra onderdeel toevoegen om dit duidelijker te maken.

4.3. Overige deel verslag

Fijn dat de stakeholdersanalyse uitgebreid is, echter mist er de link naar de eisen die hieruit zijn afgeleid. Verder geeft Albert aan dat de algemene eisen naar de bijlage kunnen. In het verslag kunnen belangrijke en afwijkende eisen worden uitgelicht die uit de gesprekken met stakeholders volgden. Vervolgens verwijzen naar de verslagen van deze gesprekken in de bijlagen. Het laten zien van wat je gedaan hebt 'show off' hoort ook bij het onderzoek.

Eisen zoals de overspanning moeten verder zijn uitgelegd door aan te geven hoe je hierop gekomen bent.

De kabels en leidingen aangeven bij de achtergrond van het project aangezien ze voor het kunstwerk niet relevant zijn. Wel noemen dat deze het traject kruisen (buiten de scope maar wel goed om te noemen voor de lezer).

Verder bij de grondgegevens de sondering in het verslag zetten en de conusweerstand uit de tabel weg laten. En de belangrijke info zoals het uitvoeren van specifiek grondonderzoek bij realisatie niet enkel in de bijlage zetten maar bovenaan bij de grondgegevens in het verslag. Als waarschuwing weergegeven met de bijbehorende norm die hiervoor geldt. Deze belangrijke informatie moet niet zijn weggelaten in de bijlage.

5. Volgende stappen in het onderzoek

5.1. Afstemmen uitwerking varianten

Nigel vraagt wat voor het uitwerken van de varianten de beste methode is: Het maken van globale berekeningen en vervolgens het uitvoeren van de variantenstudie en daarna het verder uitwerken van de definitieve variant. Bijvoorbeeld door het maken van detailberekeningen. Of gelijk beide varianten in meer detail uitwerken. Albert geeft aan dat de eerste strategie het verstandigst is en ook het meest haalbaar. Eerst het maken van globale berekeningen voor het ontwerp. Vervolgens het bepalen van de aantallen en hier een globale raming van maken. Plaatsen met relatief veel wapening krijgen dan een hogere prijs dan andere onderdelen. Het specifiek uitwerken van deze wapening is dan nog niet nodig. Na de keuze van de variant kan het ontwerp verder worden uitgewerkt. Door het maken van uitgebreidere berekeningen en detail berekeningen zoals verbindingen.

5.2. Varianten afweging

Nigel verteld dat hij de varianten afweging op basis van kosten, duurzaamheid (in de vorm van een CO2 berekening) en esthetische waarde wil maken. Albert vindt dit geen verkeerde manier van afwegen. En herhaald dat het dan globaal gedaan kan worden (zoals beschreven in 5.1) omdat de ontwerpen ook nog niet in detail gemaakt zijn.

6. Evaluatieformulier

Albert vraagt of het evaluatieformulier ingevuld kan worden. Joren geeft aan dat dit al gebeurd is. En dat hij Nigel als belangrijkste feedback geeft gegeven dat Nigel naast de inhoud ook meer moet investeren in het kennismaken met het bedrijf en collegiale relaties. Albert is het hier mee eens en vind het een goede opmerking.

7. Sluiting

De vergadering wordt afgesloten om 10:25.

Actielijst

Nr.	Onderwerp	Omschrijving	Wie	Wanneer
1	Onderzoeksvoorstel	Verwerken feedback en opmerkingen onderzoeksvoorstel.	Student	Medio week 13
2	Berekening tunnel	Maken indicatieve/globale berekening belastingen Sluiskiltunnel	Student	Medio week 13

Besprekingsverslag

Plaats:	Microsoft Teams vergadering		
Datum:	2022-04-08	Tijd:	11:15
Aanwezig:	Edwin Bakker	Sweco (Kunstwerken)	-
	Nigel Wieseemann	Sweco (Urban Projects)	-
Kopie aan:	-	-	-

Onderwerp van de vergadering:

Toetsing varianten door rail expert Sweco

Besproken onderdelen trogbrug conform ProRail voorschriften:

1. Opening

De Teams vergadering wordt om 10:45 geopend.

2. Hart spoor ballastkering

Bij de trogbrug met passeerpad op de trogbalk is aan één zijde de afstand hart spoor tot ballastkering 2800 millimeter om de symmetrie te behouden. Volgens de voorschriften mag dit maximaal 2150 millimeter zijn. Nigel vraagt of het aanbrengen van een opstort of andere voorziening kan worden aangebracht om aan de eis te voldoen.

Edwin geeft aan dat het inderdaad mogelijk is een voorziening aan te brengen. Echter is dit voor een voorlopig ontwerp niet echt een lastig punt. Edwin raad aan het voor nu zo te laten. Daarnaast zou de vloer zelfs nog wat smaller kunnen echter is er dan geen symmetrie meer en het lijkt hem wel praktisch het symmetrisch te houden.

3. Passeerpad binnen PVR

Nigel geeft aan dat hij op basis van een voorbeeld trogbrug twee varianten voor de trogbrug heeft opgesteld. Een variant met het passeerpad tussen de trogbalken en een variant waarbij het pad boven op de trogbalk is gekozen met een extra pad voor de inspectie van het spoor. Echter bevindt het extra pad zich in het profiel van vrije ruimte (PVR). Nigel neemt aan dat dit mogelijk is omdat in het voorbeeld het ook zo is uitgevoerd en er een tweede pad buiten het PVR is gerealiseerd.

Volgens Edwin mag dit inderdaad. Wanneer er trappen naar het bovenliggende passeerpad worden aangebracht. De hart of hart afstand tussen de trappen is dan maximaal zo'n 15 meter.

Nigel vraagt aanvullend of het klopt dat de breedte van het pad hier 800 millimeter mag zijn. Volgens Edwin mag dit omdat er een passeerpad met een breedte van 1000 millimeter is die wel aan de eisen voldoet. Binnen het PVR mag alleen inspectiewerk worden gedaan en daar is 800 millimeter bij een lage snelheid voldoende.

Sweco

Nigel Wieseemann
stagiair
nigel.wieseemann@sweco.nl
M +31 6 45687256

Postbus 7060
NL 4330 GB Middelburg
Netherlands
T +31 (0) 88 811 6600
www.sweco.nl

Sweco Nederland B.V.
Handelsregister 30129769
Statutair gevestigd te: De Bilt

4. Breedte ballastkering

Nigel heeft nog een vraag over de breedte van de betonnen ballastkeringen. De volgende breedtes zijn nu aangehouden.

Ballastkering trogbrug:	300 millimeter
Ballastkering staal-beton:	250 millimeter binnenzijde 200 millimeter buitenzijde (geen ballastkering)

Wat Edwin betreft zijn de breedtes goed, 250 millimeter is aan de lage/minimale kant. Maar is voor een voorlopig ontwerp prima. Aan de buitenzijde komt er nauwelijks kracht op de opstort te staan dus volstaat 200 millimeter.

5. Ballasthoogte

Volgens de voorschriften moet een ballasthoogte van 0,35 meter worden aangehouden onder de dwarsliggers. In het voorbeeld wat Nigel gezien heeft is de hoogte hoger gekozen. Nigel vraagt zich af of 0,35 meter dan wel voldoende is.

Edwin: 0,35 meter onder de dwarsbalken is goed.

6. Niveau passeerpaden

Het valt Edwin op dat in het ontwerp van de staalbetonbrug er over de ballastkering gestapt moet worden naar een lager liggend passeerpad. Edwin vraagt aan Nigel wat hem veiliger lijkt: Ergens opstappen of ergens overheen stappen. Nigel geeft aan dat bij over een object stappen er waarschijnlijk meer struikelgevaar is. Bij het maken van een ontwerp moet je niet enkel naar de regels kijken maar soms ook gewoon logisch nadenken voegt Edwin toe. Edwin raad aan de ligging van de passeerpaden aan te passen zodat deze gelijk zijn met de bovenkant van de ballastkering.

7. Sluiting

De Teams vergadering wordt gesloten om 11:15.

Besprekingsverslag

Auteur: Nigel Wiesemann

Plaats:	Sweco Middelburg		
Datum:	2022-04-14	Tijd: 09:00	10:00
Aanwezig:	Hans de Meij	North Sea Port	-
	Joren Gillissen	Sweco	-
	Nigel Wiesemann	Sweco	-
Kopie aan:	-	-	-

Onderwerp van de vergadering: Zuidoostboog

Agenda

1. Opening
2. Onderzoeksvoorstel
3. Variantenafweging
4. Vragen
5. Sluiting

Agendapunten

1. Opening

De vergadering wordt om 10:00 uur geopend en vindt plaats in het Sweco kantoor in Middelburg. Op voorhand heeft Nigel de volgende stukken met Hans gedeeld: onderzoeksvoorstel en de globale berekening Sluiskiltunnel. Deze stukken worden besproken.

2. Onderzoeksvoorstel

Hans geeft aan dat hij het voorstel heeft doorgelezen. Iets wat hem opviel was de structuur van de methode, met name de beantwoording van de deelvragen. Deze zijn gesplitst in beantwoord en onbeantwoord. Hij vraagt op deze wijze expliciet gekozen is of niet. Nigel geeft aan dat deze manier gekozen is omdat een aantal van de deelvragen in het theoretisch kader al beantwoord is. Hans geeft aan dat het wellicht handig is om dit in de leeswijzer aan te geven. Zodat het als lezer duidelijk is.

Verder missen in de stakeholdersanalyse het Waterschap Scheldestromen. Deze moeten de watervergunning verlenen en zijn daarmee een belangrijke partij. Voor de kabels en leidingen is Stedin aangewezen, Hans vraagt zich af of dit wel de enige partij is. Joren geeft aan dat de KLIC-melding die gedaan is hier uitsluitend over kan geven. Tevens wordt North Sea Port als 'voornaamste opdrachtgever' aangemerkt. Hans geeft aan dat dat niet zo zeer het geval is. ProRail wordt eigenaar van het kunstwerk en voert het ook uit en is dus meer opdrachtgever. North Sea Port fungeert als sponsor voor het project aangezien ze het meeste baat hebben bij de uitvoering ervan. En het ministerie I&W stelt het geld voor het project ter beschikking.

Sweco
Nigel Wiesemann
stagiair
nigel.wiesemann@sweco.nl
M +31 6 45687256

Postbus 7060
NL 4330 GB Middelburg
Netherlands
T +31 (0) 88 811 6600
www.sweco.nl

Sweco Nederland B.V.
Handelsregister 30129769
Statutair gevestigd te: De Bilt

Nigel geeft aan dat de opdrachtgever voor het onderzoek North Sea Port is. Voor de project realisatie is dit inderdaad niet zo. Dit wordt verwerkt in het verslag zodat deze verschillen duidelijk zijn.

In het programma van Eisen mist de belastingcategorie geeft Hans aan. Hij voegt toe dat belastingcategorie D4 hier van toepassing is. En dat het een aslast van 224kN betreft. Nigel geeft aan deze belastingcategorieën niet te kennen. In de berekeningen wordt gewerkt met de belastingmodellen 71 en SW/2. Nigel zal kijken of D4 hier binnenvalt maar vermoed dat wel.

3. Variantenafweging

Hans geeft aan dat hij de geselecteerde varianten mooie oplossingen vindt. Echter heeft hij een opmerking over de varianten afweging. Hij kan zich vinden in de kosten en duurzaamheid. Echter ziet hij de meerwaarde van de esthetische waarde niet zo. Ook wil hij weten hoe de duurzaamheid precies getoetst gaat worden.

Nigel verteld dat de duurzaamheid door middel van een CO2 berekening inzichtelijk gemaakt wordt. Dit zal zijn op basis van aantallen die uit de globale ontwerpen komen. Deze berekening zal dus niet op een hoog detail niveau zijn. Een globale input geeft namelijk een globale output.

Hans vraagt of Nigel wel kijkt naar duurzame vormen van materialen of dat het standaard beton en staal wordt. Volgens Nigel wordt er naar traditionele (standaard) materialen gekeken zal worden in de vergelijking.

Wat betreft de esthetische waarde is Nigel het wel eens met Hans. De esthetische eis is niet zo zeer aanwezig en voegt qua verschil in varianten niet veel toe. Hans vraagt of het een idee is om naar de uitvoerbaarheid te kijken. Bijvoorbeeld naar prefab of in het werk gestort en de hinder die daarbij komt kijken. Zo is meer onderscheid te maken tussen de betonnen brug die in het werk gestort of prefab wordt uitgevoerd? En de stalenbrug die waarschijnlijk prefab is. Nigel voegt toe dat de trogbrug in het werk gestort zal zijn. En dat deze dus extra ondersteund dient te worden. Dit kan bovenop de tunnel een uitdaging zijn, dat is er bijvoorbeeld bij het stalenvakwerk niet. Dit is precies wat Hans bedoelde, op basis van uitvoerbaarheid is er meer verschil tussen de varianten dan op basis van esthetische waarde. Nigel zal kijken hoe hij de uitvoerbaarheid in de varianten afweging kan meenemen.

Nigel haalt bij de ontwerpen aan dat er voor het profiel van vrije ruimte voor het spoor het PVR-GC is toegepast. Het rode meetgebied is hier niet van toepassing volgens de voorschriften. Hans is niet bekend met de term rode meetgebied en vraagt wat het precies inhoud. Nigel geeft aan dat dit voor bepaalde trajecten een extra ruimte is bovenop het PVR voor speciale lading. Echter dat deze hier niet van toepassing is. Hans vraagt of het mogelijk is het rode meetgebied wel toe te passen. Als het in de toekomst wel noodzakelijk blijkt te zijn is het kunstwerk hierop voorbereid en ontstaan er geen extra knelpunten. Nigel geeft aan dat dit een verstandige keuze is en dat hij er rekening mee zal houden in het ontwerp.

4. Vragen

Joren haalt aan over het knelpunt dat het kunstwerk deels in een boog ligt. De boog met een straal van 250 meter loopt namelijk deels door in het kunstwerk. Nigel laat de tekening zien van het tracé. Hans ziet het probleem. Nigel vraagt in hoeverre het tracé vast ligt en of er wellicht veranderingen aangebracht kunnen worden om het kunstwerk recht uit te kunnen voeren. Het tracé ligt zeker nog niet vast zegt hij, wellicht is het met een boogstraal van 200 meter mogelijk. Binnen het havengebied zijn ook sporen met een straal van 180 meter, echter zijn deze binnen beheer van NSP maar het kan dus wel. Daarnaast is de baansnelheid 40km/h echter wordt er effectief maar 20km/h gereden. Hans raad aan het kunstwerk voor het onderzoek recht te beschouwen en een oplossing te zoeken in het tracé.

5. Sluiting

De vergadering wordt afgesloten om 10:10

Interview validatie scriptie

Plaats	Sweco Middelburg		
Datum	14-6-2022	Tijd	14:00
Aanwezig	Jos van der Ploeg Nigel Wiesemann	Sr. Constructeur Sweco Afstudeerder Sweco	Geïnterviewde Interviewer

Onderwerp interview: Validatie scriptie, verandering t.o.v. vo-ontwerp

Vragen Nigel Wiesemann:

1. In het onderzoek zijn de varianten op globaal (vo) niveau constructief uitgewerkt. Hierin zijn de volgende onderdelen niet meegenomen:
 - a. Buitengewone belastingen
 - b. Trillings- en stabiliteitsberekeningen
 - c. Kruip en vermoeiing
 - d. Aanzet- en remkrachten van spoorverkeer
 - e. Thermische belasting

In hoeverre heeft de uitwerking van deze onderdelen invloed op het ontwerp van de varianten en daarmee de uitkomst van de variantenafweging en is hierin een verschil tussen de twee varianten te verwachten?

2. Enkel de bovenbouw van het kunstwerk is in het onderzoek beschouwd. Wanneer ook gekeken wordt naar de landhoofden en fundering, kan er dan een andere uitkomst verwacht worden? (Op basis van dezelfde/vergelijkbare criteria)
3. Zijn er nog andere zaken die bediscussieerd kunnen worden of waar rekening mee gehouden moet worden als er van een vo naar een do of uo uitwerking gegaan wordt?

Antwoorden Jos van der Ploeg:

1. a) De buitengewone belastingen voor spoorverkeer zijn de aanrijdkrachten en ontsporingsbelastingen. Deze hebben doorgaans nauwelijks invloed op het ontwerp van het kunstwerk. Aanrijd belastingen van onderdoor gaand verkeer kunnen wel een groter gevolg hebben echter is daar bij dit kunstwerk geen sprake van.

b) Trilling- en stabiliteit kan van invloed zijn op de staal-betonbrug. De trogbrug zal door zijn grootte en eigengewicht daar niet gevoelig voor zijn. Voor het vakwerk kan het zijn dat de brug stijver moet worden. Dit kan door het zwaarder te maken of het vakwerk hoger. Denk aan 10cm extra dikte bij het brugdek bijvoorbeeld.

c) Allereerst de trogbrug: Kruip kan optreden maar is bij een voorgespannen trogbrug geen probleem. De extra doorbuiging kan

worden weggenomen in een toeg. Vermoeiing in het voorspanstaal heeft ook geen invloed. In voorspanstaal treden namelijk weinig spanningsverschillen op en er is altijd druk in de doorsnede. De vermoeiing van de betondrukzone zal door de grootte waarschijnlijk niet maatgevend zijn.

De staal-betonbrug kan eerder maatgevend zijn dan de trogbrug op vermoeiing. In de verbindingen kan of de plaatdikte van de profielen of de lassen maatgevend zijn. Nu is de plaatdikte 30mm de lassen zijn dan eerder maatgevend. Stel dat een volledige las van 30mm nodig is leidt dit tot forse kosten voor de verbindingen. Een afweging is dan grotere profielen met een kleine plaatdikte kiezen om voordeliger te zijn. Maar dat is niet iets wat in een vo beschouwd hoeft te worden.

Kuip bij de staal-betonbrug is niet van toepassing.

d) Voor het ontwerp van het brugdek zijn de rem- en aanzet krachten niet maatgevend. Worden opgenomen in het landhoofd. Bij deze grote krachten worden geen rubberen oplegblokken toegepast maar sferische opleggingen die deze grote krachten makkelijk kunnen afdragen.

Doorvragen Nigel: Wat betekent dit voor de fundering?

Tussen beide varianten is er een verschil in de fundering. De staal-betonbrug is lichter. Hierdoor zijn minder palen nodig, maar let wel op of er geen trek optreedt in de palen. De palen moeten dan wellicht langer zijn. Bij de trogbrug zijn er meer palen nodig maar deze kunnen wellicht korter zijn omdat het gewicht trek zal voorkomen. De trogbrug is dan als fundering de duurdere variant.

e) Zoals in het onderzoek is aangenomen zijn de thermische krachten bij een ligger op twee steunpunten niet maatgevend.

Over het algemeen heeft een vo-ontwerp een 10% afwijking van een do-ontwerp. De verschillen zijn vaak niet fundamenteel, bij een grotere afwijking is het vo-ontwerp namelijk niet goed uitgevoerd.

2. -Beantwoord bij doorvragen vraag 1d-
3. Geen aanvullende discussiepunten. Wel maakt Jos de opmerking of er een vergelijking is gemaakt met praktijkvoorbeelden. Om het ontwerp te verifiëren. Een troghoogte van 3,5 meter klinkt realistisch echter kan dit met een praktijkvoorbeeld hard gemaakt worden met een voorbeeld. Hetzelfde geldt voor de staal-betonbrug.

Bijlage F: Aanvulling programma van Eisen

1.1 Toegepaste voorschriften ProRail (OVS)

Documentnummer	Titel
OVS00026-V006	Profiel van Vrije Ruimte en Rode Meetgebied
OVS00030-0-V001	Kunstwerken – deel 0 – Algemeen
OVS00030-1-V004	Kunstwerken – deel 1 – Kunstwerken voor spoorverkeer
OVS00030-6-V004	Aanvullingen en wijzigingen op NEN-EN normen
OVS00056-4.1-V003	Baan en bovenbouw – deel 4.1 – Alignement
OVS00056-4.2-V004	Baan en bovenbouw – deel 4.2 – Sporen dwarsprofiel
OVS00056-5.1-V012	Baan en bovenbouw – deel 5.1 – Spoor in ballast
OVS00056-7.3-V004	Terrein- en wegverhardingen

1.2 Algemene eisen

- Ontwerplevensduur van 100 jaar (OVS00030 art. 2.5).
- Het kunstwerk valt onder gevolgklasse 3 (CC3) (OVS00030 art. A2.1).

1.3 Eisen aan ruimte reserveringen

1.3.1 Profiel van vrije ruimte

Het profiel van vrije ruimte (PVR) is de ruimte boven en naast een spoor die vrij gehouden moet worden. Binnen het profiel mogen zich geen vaste of tijdelijke objecten bevinden die het vervoer op het spoor in gevaar kan brengen en hinderen.

- Het PVR-GC dient te worden toegepast aangezien het kunstwerk zich in een nieuw aan te leggen lijnen bevindt (OVS00026 art. 3.1).
 - Het rode meetgebied moet niet worden toegepast bovenop het PVR. Het traject bevindt zich buiten de trajecten voor buitengewoon vervoer (OVS00026 art 3.4).
 - Besloten is het rode meetgebied wel toe te passen om mogelijk knelpunten in de toekomst te voorkomen (H. de Meij, persoonlijke communicatie, 14 april 2022)
- Er hoeft geen vermeerdering van het PVR te worden toegepast ten gevolge van verkanting bij een de boogstraal van 250 meter (OVS00026 art. 4.2).

1.3.2 Passeerpaden

- Bij enkelsporige kunstwerken dient aan één zijde een passeerpad aanwezig te zijn buiten het PVR (OVS00030-1 art. 3.3.1).
 - Hoogte verschil moet beperkt zijn tot 0,40 meter + bovenkant spoorstaaf (BS) en 0,15 meter - BS.
 - Breedte passeerpad minimaal 1000 mm.
 - Minimaal toelaatbare afstand van spoorzijde passeerpad tot hart naastliggend spoor is 2250 mm bij een ontwerpsnelheid van 0 t/m 140 km/h.

- Er dient een doorgaande loop-/vluchtroute aanwezig te zijn langs de buitenste sporen van een baanvak (schouwpad) of emplacement (looppad) conform OVS00056-4.2 (OVS00056-7.3 art. 4.1).
- Het pad dient geschikt te zijn voor het maatgevend ontwerpvoertuig met de kenmerken (OVS00056-7.3 art. 4.1):
 - Een gelijkmatig verdeelde karakteristieke belasting van 2,5 kN/m²
 - Een geconcentreerde last van 10 kN op 1m²
 - Bovenstaande belastingen treden niet gelijktijdig op
 - Boven de paden moet een 'vrije hoogte zonder obstakels' conform OVS00056-4.2 aanwezig zijn

1.4 Veiligheidsvoorzieningen

1.4.1 Geleidingen

- Een ontspoorde trein, of een ontspoord deel van een trein moet ongehinderd de brug kunnen passeren zonder daarbij de hoofd draagconstructie te beschadigen (OVS00030-1 art. 4.1).
 - Voorkomen dat een (voor de brug) ontspoorde trein in aanraking komt met objecten op de brug.
 - Voorkomen dat de constructie (of delen van de constructie) bezwijkt.
 - Voorkomen dat de constructie kantelt.
 - Beperken van schade aan inzittenden en voertuig als gevolg van een aanrijding met constructiedelen of andere obstakels.

1.5 Baan en bovenbouw

1.5.1 Spoor in ballast

- De bovenbouwconstructie op kunstwerken bestaat uit een doorgaand ballastbed (OVS00030-1).
 - Ballast constructie is identiek aan de constructie op de aansluitende aardebaan.
 - Maatvoering volgens: OVS00056-5.1 Spoor in ballast
 - Afstand tussen hart spoor en zijkant ballastkering is minimaal 2000 mm. En maximaal 2150mm.
- Bij nieuwbouw van kunstwerken dient een minimale ballast dikte van 0,35 m. onder de gehele dwarsligger te worden toegepast (OVS00056-5.1 art. 3.2.6).
- Lijn categorie F2 is van toepassing (OVS00056-5.1 Tabel 1)
 - Toe te passen spoorconstructie (OVS00056-5.1 Tabel 2):

▪ Spoorstaafprofiel	54E1/54E5
▪ Dwarsliggers rechtstand	NS90-W14
▪ Dwarsliggers R < 350	14-002
▪ Dwarsliggerafstand (h.o.h.)	0,60 m.
- Bij kunstwerken dient een ballastmat onder de ballast toegepast te worden.

1.5.2 Spoorwijdte

- De afstand tussen de spoorstaven, de spoorwijdte, bedraagt 1435 mm. (OVS00056-5.1 art. 3.2.2).

1.5.3 Alignement

- Bij een plaatselijke snelheid van 40km/h behoort een toetssnelheid voor het alignement van eveneens 40km/h (OVS00056-4.1 Tabel 5).
 - De theoretische verkanting is $D_{th} = \frac{11,8 \cdot V_{max}^2}{R_h} = \frac{11,8 \cdot 40^2}{250} = 76 \text{ mm}$
 - Om ontsporen van torsiestijve goederenwagons in krappe bogen ($R_h < 275\text{m}$) te voorkomen, moet de verkanting beperkt blijven tot: $D \leq \frac{R_h - 50}{1,5} = \frac{250 - 50}{1,5} = 133 \text{ mm}$
- Voor de verkanting bij $V_{max} \leq 40 \text{ km/h}$ geldt een grenswaarde van $D=0$ (OVS00056-4.1 Tabel 11).

2 Bijlage

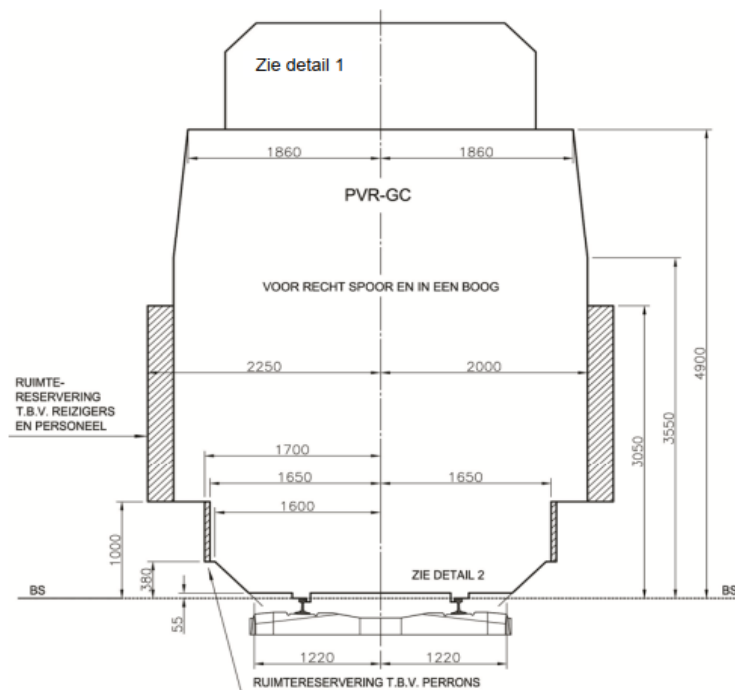
2.1 Profiel van vrije ruimte – GC

Bijlage 1a

Profiel van Vrije Ruimte – GC

Maten in mm

Voor detail 1 ruimte voor stroomafnemer zie bijlage 1b



Voor detail 2, ruimte voor de wielflens zie bijlage 1c

Van toepassing voor bogen met $R \geq 250$ m.

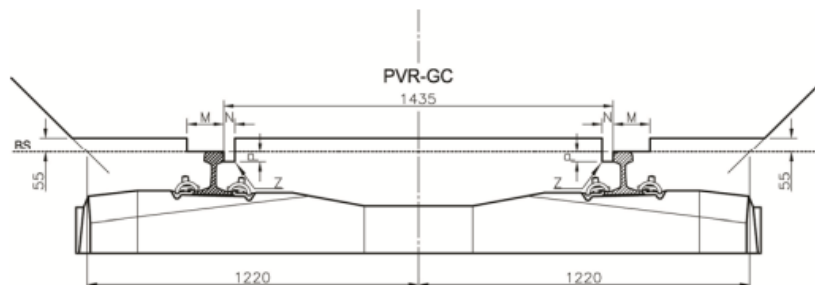
Voor $R < 250$ is art 4.2 Tabel 1 van toepassing.

Bijlage 1c

Profiel van Vrije Ruimte – GC

Detail 2: ruimte voor de wielflens

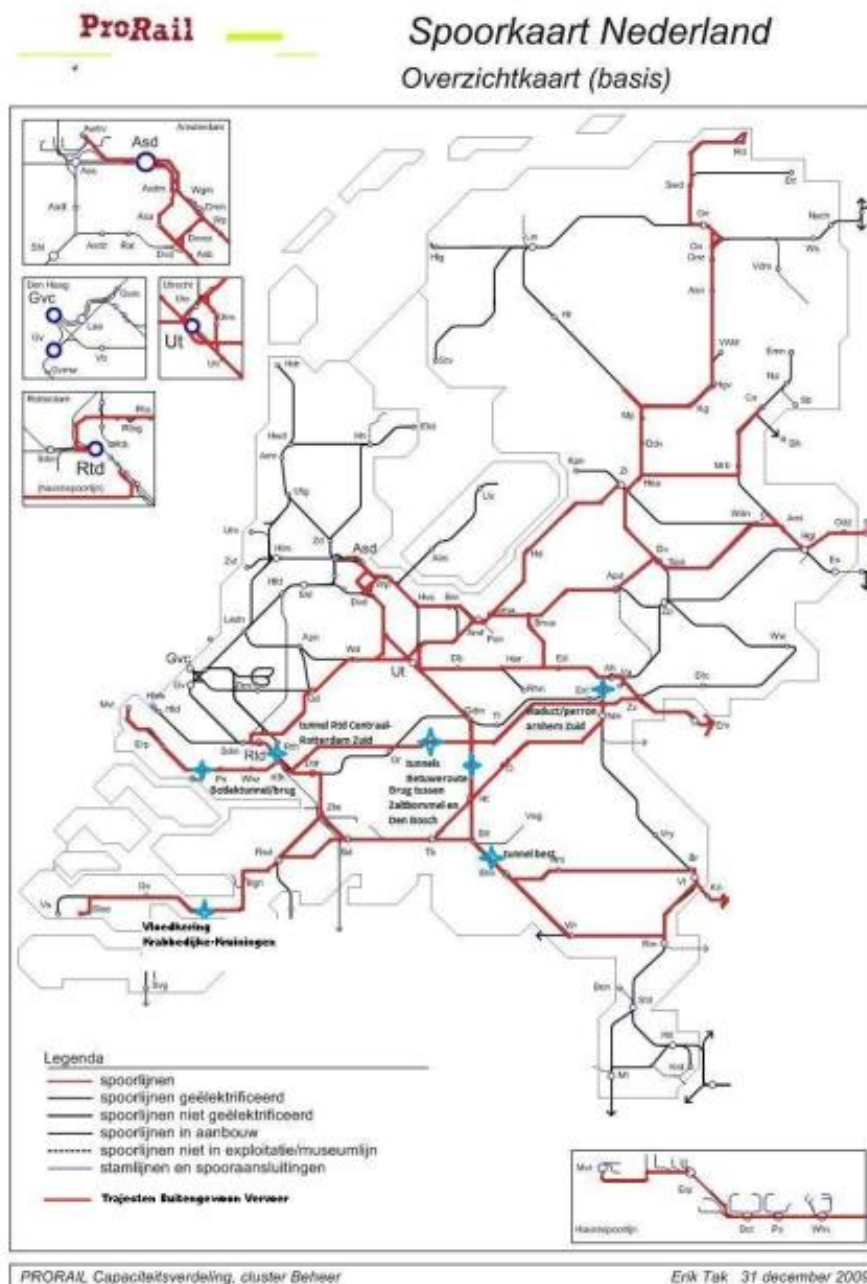
Maten in mm



- M – 135 mm voor vast aan de spoorstaaf verbonden voorwerpen;
- 150 mm voor andere niet bewegelijke voorwerpen.
- N – 41 mm voor strijkgrepen en strijkspoorstaven over het gedeelte tegenover de puntstukken van wissels en kruisingen;
- 45 mm voor strijkgrepen en strijkspoorstaven;
- 70 mm voor andere niet beweeglijke voorwerpen.
- P – 45 mm voor nieuw werk;
- 38 mm minimale maat, ook bij slijtage van de spoorstaaf.
- Z – afrondingsbogen tot met een maximale straal van 12 mm.

Bijlage 4d

Overzicht van trajecten waarop aantasting van het Rode Meetgebied niet gewenst is.



Bijlage G: Globale berekening trogbrug

Het volgende document is vanaf volgende pagina bijgevoegd:

Document	Kenmerk	Datum	Auteur
Globale ontwerp enkelsporige trogbrug	ZOB-002	11 mei 2022	Nigel Wiesemann

Kunstwerk Zuidoostboog

Ontwerp bovenbouw enkelsporige trogbrug

Verantwoording

Titel: Ontwerpberekening kunstwerk Zuidoostboog
Onderwerp: Enkelsporige trogbrug
Projectnummer: -
Klant: North Sea Port
Referentienummer: ZOB-002
Versie: 1.0

Datum: 11-05-2022

Auteur: Nigel Wiesemann
E-mailadres: nigel.wiesemann@sweco.nl

Gecontroleerd door: Tim de Groote
Paraaf gecontroleerd:

Vrijgegeven door: Joren Gillissen
Paraaf vrijgegeven:

Document referentie: [https://swecogroup-my.sharepoint.com/personal/nigel_wiesemann_sweco_nl/documents/5\)onderzoek/onderzoeksrapport/trogbrug/globalontwerp enkelsporige trogbrug zuidoostboog.docx](https://swecogroup-my.sharepoint.com/personal/nigel_wiesemann_sweco_nl/documents/5)onderzoek/onderzoeksrapport/trogbrug/globalontwerp%20enkelsporige%20trogbrug%20zuidoostboog.docx)

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Uitgangspunten	5
2.1	Van toepassing zijnde documenten	5
2.1.1	Normen en voorschriften	5
2.1.2	Referenties	5
2.2	Ontwerp gegevens	5
2.3	Geometrie	5
2.4	Materiaal gegevens	6
2.5	Milieuklasse en scheurwijdte	7
2.5.1	Milieuklasse en dekking	7
2.5.2	Scheurwijdte	7
3	Belastingen en belastingcombinaties	8
3.1	Permanente belastingen	8
3.1.1	Eigengewicht	8
3.1.2	Ballast	8
3.1.3	Kabels, leidingen en leuningen	8
3.1.4	Voorspanbelasting	8
3.2	Veranderlijke belasting	9
3.2.1	Spoorbelasting spoorwegverkeer	9
3.2.2	Horizontale krachten spoorwegverkeer	12
3.2.3	Belasting inspectie pad	12
3.2.4	Sneeuwbelasting	12
3.2.5	Windbelasting	12
3.2.6	Thermische belasting	13
3.3	Belasting factoren	13
3.4	Belastingcombinaties	14
3.5	Momentaanfactoren	14
3.6	Belastingcombinaties	15
4	Toetsingscriteria	16
4.1	Criteria voor de gebruikstoestand	16
4.2	Criteria voor de bezwijktoestand	16
5	Modellering	17
5.1	Schematisering	17
5.2	Modellering met software	18
5.3	Schematisering voorspanning	19
6	Berekening	20
6.1	Berekeningsresultaten	20
6.2	Opmerkingen	20
7	Conclusies	21
7.1	Geometrie	21
7.2	Voorspanning	21
7.3	Betonwapening	21
Bijlage 1	Berekening	22
Bijlage 2	Bronnen	27

1 Inleiding

Voor het ontwerp van het kunstwerk over de Sluiskiltunnel binnen het infra-element de Zuidoostboog zijn twee varianten voorgesteld. Dit rapport beschrijft de berekening van de variant 'enkelsporige trogbrug'. Dit rapport beperkt zich tot enkel de berekening van de bovenbouw van het kunstwerk en betreft een voorlopig ontwerp van de constructie.

Het kunstwerk betreft een spoorbrug die wordt aangelegd om de kruising tussen het nieuw aan te leggen spoor en de bestaande Sluiskiltunnel constructief mogelijk te maken. Dit nieuw aan te leggen spoor is onderdeel van de Zuidoostboog en voorziet de zuidelijke verbinding van het spoor aan de oostzijde van het kanaal naar de Sluiskilbrug zoals weergegeven in Figuur 1.

Het kunstwerk is ontworpen als een open bak constructie met daarin een enkelspoor aangebracht in ballast. De open bak constructie bestaat uit twee hoofdliggers die overspannen in langsrichting met daartussen een in dwarsrichting overspannende vloer.



Figuur 1: Overzicht tracé spoorboog en locatie kunstwerk.

2 Uitgangspunten

2.1 Van toepassing zijnde documenten

2.1.1 Normen en voorschriften

<i>Documentnummer</i>	<i>Titel</i>
NEN-EN 1990+A1	Eurocode 0 – Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991	Eurocode 1 – Belastingen op constructies
NEN-EN 1991-2	Eurocode 1 – Belastingen op constructies – deel 2: Verkeersbelasting op bruggen
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
Elke eurocode moet gelezen worden met de bijbehorende nationale bijlage	

2.1.2 Referenties

<i>ID</i>	<i>Referentie</i>
[R1]	Tekening – ZOB-TK-001 – dwarsprofielen eerste ontwerp varianten
[R2]	Brochure – DYWIDAG Bonded Post-Tensioning Systems, DYWIDAG, sd.

2.2 Ontwerp gegevens

Bouwwerk type:

- Enkelsporige spoorbrug,
- Type spoorbrug: betonnen trogbrug

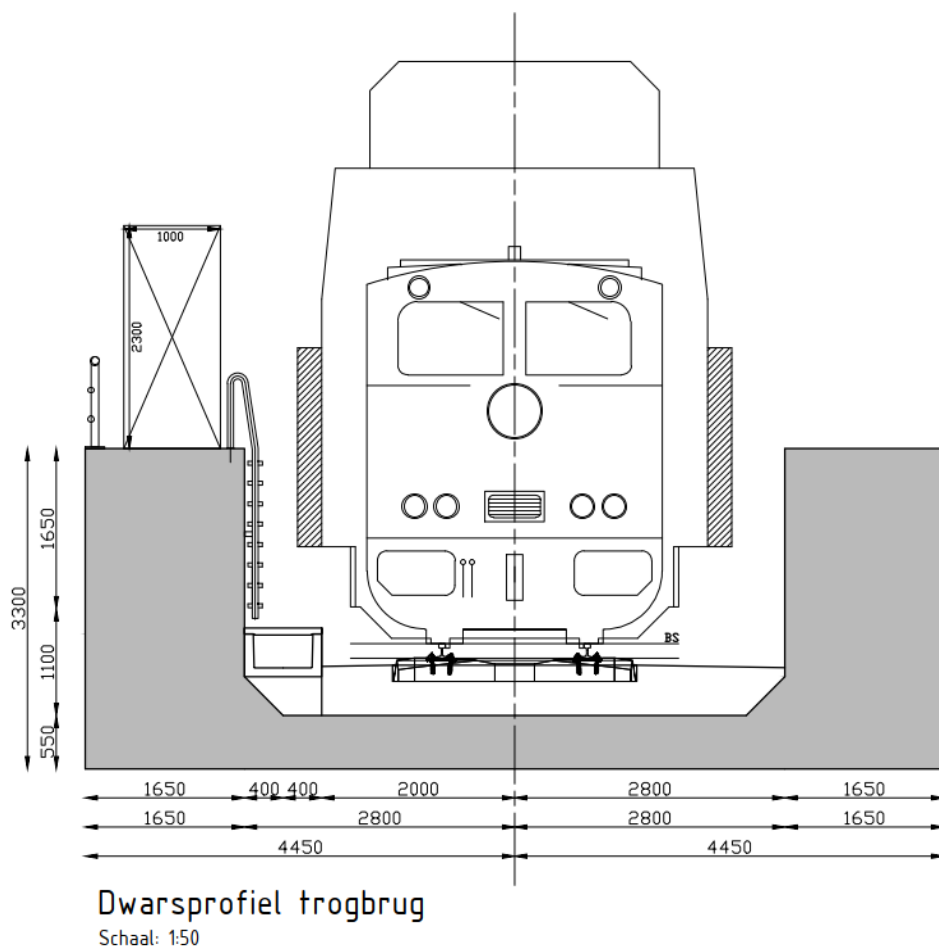
Ontwerplevensduur, gevolgklasse en betrouwbaarheidsklasse:

- Ontwerp levensduur: 100 jaar
- Gevolgklasse: CC3
- Betrouwbaarheidsklasse: RC3

2.3 Geometrie

Een eerste ontwerp voor de trogbrug is weergegeven op tekening [R1]. Dit ontwerp is opgesteld aan de hand van de ProRail voorschriften en eisen. De afmetingen van de constructieve elementen zijn op basis van vuistregels ingeschat. In deze berekening wordt dit ontwerp constructief getoetst. De indeling van de spoorbaan is definitief en blijft ongewijzigd. De constructieve elementen worden aan de hand van de berekeningen verder gedimensioneerd.

- De brug wordt vrij opgelegd op twee steunpunten en overspant een lengte van 50 meter.
- De trogbrug bestaat uit twee betonnen voorgespannen hoofdliggers (trogbalken) die in langsricting overspannen.
- Het brugdek overspant in dwarsrichting tussen de twee trogbalken.



Figuur 2: Dwarsprofiel trogbrug voorlopig ontwerp (ZOB-TK-001).

2.4 Materiaal gegevens

Tabel 1: Kwaliteit toegepaste materialen.

Materiaal	Kwaliteit
Beton	C45/55
Betonstaal	B500B
Voorspanstaal	FeP1860

Tabel 2: Volumieke massa materialen

Materiaal	Volumieke massa	Eenheid
Beton	25,0	kN/m ³
Bovenbouw/ballast	22,0	kN/m ³

Tabel 3: Materiaal factoren

Materiaal	Blijvend en tijdelijk	Buitengewoon
Beton	$\gamma_c = 1,5$	1,2

Betonstaal	$\gamma_s = 1,15$	1,0
Voorspanstaal	$\gamma_s = 1,1$	1,0

2.5 Milieuklasse en scheurwijdte

2.5.1 Milieuklasse en dekking

Tabel 4: Vereiste milieuklasse en betondekking

Betonsterkte	C45/55
Milieuklasse	XC4, XD3
Constructieklasse	S4
Benodigde dekking (c) bij:	$C_{nom} = C_{min} + C_{dur}$
Wapening:	$40 + 5 = 45 \text{ mm}$
Voorspanning:	$45 + 5 = 50 \text{ mm}$
C toegepast (mm)	
Zijkant	50
Bovenkant	50
Onderkant	50

2.5.2 Scheurwijdte

De scheurwijdte van de brug wordt niet als maatgevend beschouwd. In de bruikbaarheids-grenstoestand is sprake van de decompressie eis, waarbij geen betontrekspanning is toegestaan (OVS00030-6 art. 7.3.1).

3 Belastingen en belastingcombinaties

3.1 Permanente belastingen

3.1.1 Eigengewicht

$$A_b = 15,07 \text{ m}^2$$

$$\gamma_b = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_{eg} = 25,0 \cdot 15,07 = 377 \text{ kN/m}$$

3.1.2 Ballast

$$\text{Dikte} = 0,5 \text{ m.}$$

$$\gamma_{\text{bovenbouw}} = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$G_{bed} = 22 \cdot 0,5 = 11 \text{ kN/m}^2$$

3.1.3 Kabels, leidingen en leuning

$$L = 5 \text{ kN/m}$$

Belasting voor kabels, leidingen en leuning, grijpt aan op één trogbalk.

3.1.4 Voorspanbelasting

Voor de bepaling van de voorspanbelasting wordt verwezen naar Bijlage 1 §1.1.

Het selecteren van de benodigde voorspanning is een iteratief proces, hiervoor is een Excel-sheet gebruikt. De voorspankrachten worden berekend doormiddel van een aantal factoren: Het pijl van de voorspanning (f), dit is de afstand tussen de hoogteligging van de kabel ter plaatse van het steunpunt en het veld midden. Het kabelverloop van de voorspanning dat wordt beschreven als een cirkelboog met straal R . En de excentriciteit (e) ten opzichte van het zwaartepunt en de ligging van de voorspankabel.

De voorspankracht wordt ontbonden in de volgende krachten:

- Horizontale kracht N_p
- Verticale kracht $F_{v,p}$
- Krommingsdruk q_p
- Moment M_p in geval van een excentriciteit

De aanvangsvoorspanning wordt vastgesteld op 1400 N/mm^2 .

Er treden twee typen verliezen op:

- Direct optredende verliezen
- Vertraagd optredende verliezen

De exacte verliezen worden in deze berekening niet bepaald. De optredende verliezen zijn op basis van een voorbeeld berekening vastgesteld (van den Elsen, 2002) & (van der Horst, 2004). De direct optredende verliezen door wrijving en wigzetting is 15% en de vertraagd optredende verliezen als gevolg van kruip en relaxatie zijn 10%.

De werkvoorspanning is dan: $1400 \times (100\% - (15\% + 10\%)) = 1050 \text{ N/mm}^2$

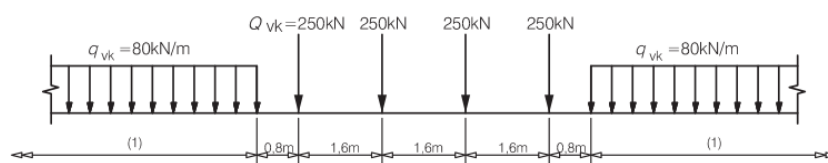
3.2 Veranderlijke belasting

3.2.1 Spoorbelasting spoorwegverkeer

De NEN-EN 1991-2 beschrijft verschillende belastingmodellen voor spoorwegverkeer. Voor dit kunstwerk is belastingmodel 71 van toepassing voor normaal spoorwegverkeer. Daarnaast dient voor alle spoorlijnen belastingmodel SW/2 te zijn toegepast voor zwaar goederenverkeer.

Belastingmodel 71

In Figuur 3 is het belastingmodel 71 weergegeven. Dit belastingmodel bestaat uit een viertal puntlasten van 250kN met een tussenafstand van 1,6 meter. Het overige deel van de brug wordt volledig belast met een verdeelde last van 80kN/m.

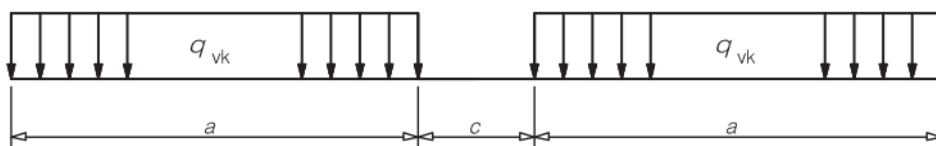


Legenda

(1) geen beperking

Figuur 3: Belastingmodel 71 voor normaal spoorwegverkeer. (NEN-EN 1991-2 6.3.2)

Belastingmodel SW/2



Figuur 4: Belastingmodellen SW/0 en SW/2 (NEN-EN 1991-2 6.3.3 Figuur 6.2)

In Figuur 4 is het belastingmodel voor SW/0 en SW/2 weergegeven. De bijbehorende belastingen en afmetingen zijn weergegeven in Tabel 5. De nationale bijlage beschrijft dat belastinggeval SW/2 ten allen tijden dient te worden toegepast. Dit belastingmodel bestaat uit een herhaling van verdeelde belastingen van 150kN/m over een lengte van 25 meter met een tussenafstand van 7,0 meter.

Tabel 5: Karakteristiek waarden belastingen belastingmodel SW/2. (NEN-EN 1991-2 6.3.3 Tabel 6.1)

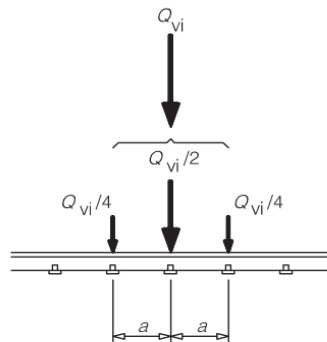
Belastingsmodel	q_{vk} (kN/m)	a (m)	c (m)
SW/2	150	25,0	7,0

Factor α

De karakteristieke waarden voor de spoorverkeersbelastingen dienen met een factor- α te worden vermenigvuldigd indien er op de spoorlijn ook spoorverkeer rijdt dat zwaarder is dan normaal spoorwegverkeer. Wat in dit geval van toepassing is bij belastingmodel 71, bij SW/2 is al sprake van een verhoogde belasting voor spoorverkeer. Voor de factor- α moet een waarde van 1,21 aangehouden worden (1991-2 art. 6.3.2 NB).

Verdeling in langsrichting

Puntlasten, zoals die in belastinggeval 71, mogen over 3 spoorstaafondersteuningën worden verdeeld conform Eurocode 1991-2. Op de wijze zoals in Figuur 5 is weergegeven. Voor afstand a , de h.o.h. afstand tussen de spoorstaafondersteuningën, is 0,6 meter aangenomen volgens de OVS00030-6 art. 6.3.6.1 de Eurocode stelt geen eisen aan waarde a .

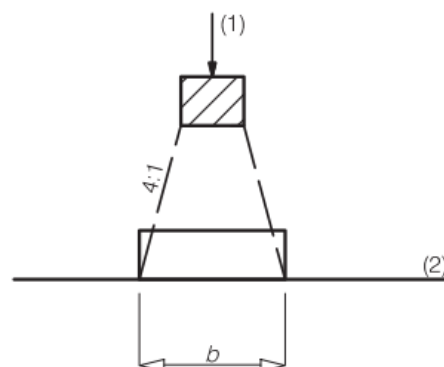


Verklaring

- Q_{vl} is de geconcentreerde belasting op iedere spoorstaaf ten gevolge van belastingsmodel 71 of een wiellast van een werkelijke trein in overeenstemming met 6.3.5, Trein voor vermoeiing of HSLM (behalve voor HSLM-B)
- a is de afstand tussen de spoorstaafondersteuningën

Figuur 5: Verdeling van geconcentreerde lasten in langsrichting van het spoor. (NEN-EN 1991-2 Fig

De spreiding onder de dwarsliggers mag voor geconcentreerde krachten worden gespreid volgens het principe in Figuur 6 conform Eurocode 1991-2. Voor het oppervlak van de dwarsligger is $2,52 \times 0,26$ meter aangenomen volgens de OVS00030-6 art. 6.3.6.2 de Eurocode geeft geen afmeting voor de dwarsligger.



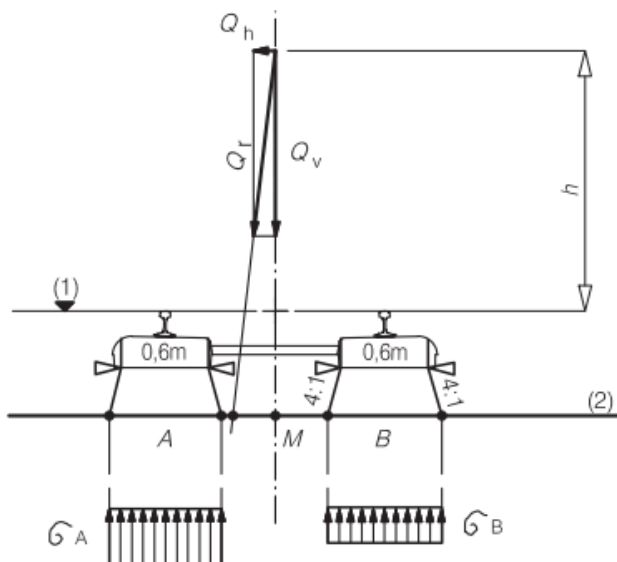
Verklaring

- (1) belasting op de dwarsligger
- (2) referentievlak

Figuur 6: Spreiding onder dwarsliggers in langsrichting (NEN-EN 1991-2)

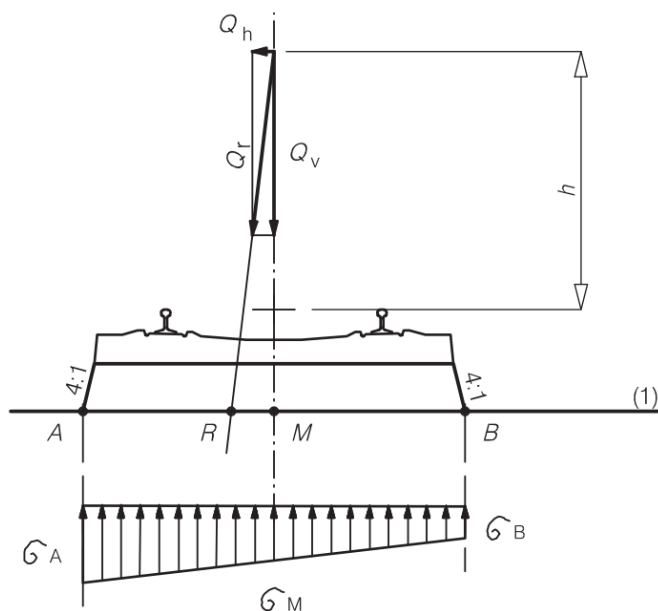
Verdeling in dwarsrichting

Op bruggen met spoor in ballast mogen de belastingen in dwarsrichting volgens Figuur 8 worden verdeeld. Indien enkel onder de spoorstaven is verdicht moet worden uitgegaan van het principe in Figuur 7. Voor deze berekening wordt met de minst gunstige situatie gerekend. Zoals hierboven al is aangegeven is de breedte van de dwarsligger 2,52 meter.



Figuur 7: Verdeling van belasting in dwarsrichting.

(NEN-EN 1991-2 fig. 6.7)



Figuur 8: Verdeling van belasting in dwarsrichting voor spoor in ballast. (NEN-EN 1991-2 fig 6.6)

3.2.2 Horizontale krachten spoorwegverkeer

Zijdelingse stoot

Op de bovenkant van de spoorstaven, loodrecht op het hart van het spoor, moet een horizontaal werkende geconcentreerde belasting zijn opgenomen. Zowel in een boog als bij rechtstand van het spoor. De karakteristieke waarde* van deze stootbelasting is (NEN-EN 1991-2 art. 6.5.2):

$$Q_{sk} = 100 \text{ kN}$$

*Bovenstaande karakteristieke waarde voor Q_{sk} dient te worden vermenigvuldigd met factor α .

Horizontale krachten in langsrichting

Voor het ontwerp zijn de horizontale belastingen in langsrichting van de brug buiten beschouwing gelaten. Deze belastingen zijn niet bepalend voor het ontwerp van de bovenbouw. Deze krachten worden in het landhoofd en de fundering opgenomen.

3.2.3 Belasting inspectie pad

$$q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{breedte} = 1,0 \text{ meter}$$

$$5,0 \cdot 1,0 = 5,0 \text{ kN/m op de bovenzijde van één trogbalk}$$

3.2.4 Sneeuwbelasting

Sneeuwbelastingen hoeven voor spoorbruggen in geen enkele combinatie in beschouwing te zijn genomen volgens de NEN-EN 1990 art. A2.2.4.

3.2.5 Windbelasting

De OVS00030-6 beschrijft dat in plaats van de berekeningswijze voor de windbelasting volgens de norm een bovengrens van $F_w = 1,50 \text{ kN/m}^2$ mag worden aangehouden. Deze waarde is toepasbaar indien aan de volgende limietwaarden wordt voldaan (OVS00030 art. 8.3.2):

$$\text{Windgebied I} \quad t/m \text{ H} < 5 \text{ m}$$

$$\text{Windgebied II} \quad t/m \text{ H} < 10 \text{ m}$$

$$\text{Windgebied III} \quad t/m \text{ H} < 15 \text{ m}$$

In deze situatie is windgebied II van toepassing en wordt een hoogte van 10 meter niet overschreden. De waarde $F_w = 1,5 \text{ kN/m}^2$ mag worden toegepast.

Het referentieoppervlak van de windbelasting A_{ref} wordt als volgt berekend:

$$A_{ref} = d_{tot} \cdot L$$

Waarbij:

$$L \quad \text{Overspanning langsrichting}$$

$$d_{tot} \quad \text{onderkant brugdek tot bovenkantspoor (BS) + 4,0 meter BS}$$

$$d_{tot} = 1,3 + 4,0 = 5,3 \text{ meter}$$

$$F_{wind} = 1,5 \cdot 5,3 = 8,0 \text{ kN/m}$$

$$q_{wind} = \frac{F_{wind}}{H_{trog}} = \frac{8,0}{3,5} = 2,29 \text{ kN/m}^2$$

3.2.6 Thermische belasting

De brug wordt op twee steunpunten vrij opgelegd. Vervormingen ten gevolge van temperatuur kunnen optreden zonder spanningen in het beton te introduceren. Hierom wordt dit belastinggeval niet verder beschouwd.

3.3 Belasting factoren

Tabel 6: Belastingfactoren voor spoorwegverkeersbruggen (NEN-EN 1990 Tabel NB.17 - A2.4 (B))

Belasting	γ	Waarde		Waarde	
		CC2		CC3	
		6.10.a	6.10.b	6.10.a	6.10.b
Eigen gewicht van de constructieve en niet-constructieve elementen zoals ballast, grond, grondwater en vrij water en wegneembaar belastingen enz.	$\gamma_{G,sup}$	1,3	1,2	1,4	1,25
	$\gamma_{G,inf}$	0,9	0,9	0,9	0,9
Gunstige veranderlijke belastingen	γ_Q	0	0	0	0
Spoorwegverkeersbelastingen, door de belastingsgroepen 11 tot en met 31 (uitgezonderd 16, 17, 26 en 27), belastingmodellen LM71, SW/0 en HSLM en werkelijke treinen indien beschouwd als afzonderlijke hoofdverkeersbelastingen	γ_Q	1,45	1,45	1,50	1,50
Spoorwegverkeersbelastingen door de belastingsgroepen 26 en 27 op afzonderlijke componenten van verkeersbelastingen als die te maken hebben met SW/2	γ_Q	1,20	1,20	1,25	1,25
Spoorwegverkeersbelastingen door de belastingsgroepen 26 en 27 op afzonderlijke componenten van verkeersbelastingen als die te maken hebben met de belastingmodellen LM71, SW/0 en HSLM enz.	γ_Q	1,45	1,45	1,50	1,50
Spoorwegverkeersbelastingen door de belastingsgroepen 16 en 17 en SW/2	γ_Q	1,20	1,20	1,25	1,25
Andere verkeersbelastingen en andere veranderlijke belastingen zoals veranderlijke horizontale gronddruk door grond, grondwater, vrij water en ballast, gronddruk door bovenbelasting door verkeer, aerodynamische belastingen door verkeer en wind- en thermische belasting	γ_Q	1,50	1,50	1,65	1,65
Voorspanning	γ_p	Voorgeschreven waarde vastgelegd in het relevante Eurocodedeel			
Bij een lineair elastische berekening voor ontwerp situaties waar belastingen ten gevolge van ongelijke zettingen ongunstige effecten kunnen hebben	γ_{Gset}	1,20	1,2	1,2	1,2
Bij een niet-lineaire berekening voor ontwerp situaties waar belastingen ten gevolge van ongelijke zettingen ongunstige effecten kunnen hebben	γ_{Gset}	1,35	1,35	1,35	1,35
OPMERKING De factor K_{Fi} volgens B 3.3 is in de waarden van γ verwerkt; voor de zettingsberekening blijft de betrouwbaarheidsdifferentiatie achterwege.					

Tabel 7: Belastingfactoren voorspanbelasting (NEN-EN 1992-1-1 NB art. 5.10.8)

Belasting	γ	Waarde
Voorspanning	$\gamma_{P,sup}$	1,0
	$\gamma_{P,inf}$	1,0

3.4 Belastingcombinaties

Tabel 8: Rekenwaarden voor de belastingen (NEN-EN 1990 Tabel NB.15 - A2.4(B))

Blijvend en tijdelijke ontwerpsituaties	Blijvende belastingen		Voor-spanning	Overheersende veranderlijke belasting ^{a)}	Tegelijkertijd optredende veranderlijke belastingen ^a	
	Ongunstig	Gunstig			Belangrijkste	Andere
Vgl. 6.10a	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
Vgl. 6.10b	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$ Met $\xi=0,89$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
^a Veranderlijke belastingen zijn die, die zijn beschouwd in tabellen NB.12 – A2.1, NB 13 – A2.2 en A2.3						

3.5 Momentaanfactoren

Tabel 9: Momentaanfactoren (NEN-EN 1990, Tabel A2.3)

Belastingen			ψ_0	ψ_1	ψ_2
Afzonderlijke componenten van verkeersbelastingen ⁵⁾	LM 71		0,80	1)	0
	SW/0		0,80	1)	0
	SW/2		0	1,00	0
	Onbeladen wagens		1,00	-	-
	HSLM		1,00	1,00	0
	Zijdelingse stoot van de trein		1,00	0,80	0
	Belastingen op niet-openbare voetpaden		0,80	0,50	0
	Werkelijke treinen		1,00	0,80	0
	Horizontale gronddruk als gevolg van bovenbelasting door verkeer		0,80	1)	0
	Aërodynamische effecten		0,80	0,50	0
Belangrijkste verkeersbelastingen (belastingsgroepen)	gr 11 (LM71 + SW/0)	Max. verticale 1 met max. langskracht	0,80	0,80	0
	gr12 (LM71 + SW/0)	Max. verticale 2 met max. kracht in dwarsrichting			
	gr13 (remmen/aanzetten)	Max. langskracht			
	gr14 (centrifugaal/zijdelingse stoot)	Max. kracht in dwarsrichting			
	gr15 (onbeladen wagens)	Zijdelingse stabiliteit met "onbeladen wagens"			
	gr16 (SW/2)	SW/2 met max. langskracht			
	gr17 (SW/2)	SW/2 met max. kracht in dwarsrichting			
Aerodynamische effecten			0,80	0,50	0

Andere belastingen door exploitatie van het spoor	Algemene onderhoudsbelasting voor niet-openbare voetpaden	0,80	0,50	0
Windkrachten ²⁾	F_{wk}	0,75	0,50	0
	F_w^{**}	1,00	0	0
Thermische belastingen ³⁾	T_k	0,60	0,60	0,50
1) 0,8 indien slechts 1 spoor is belast; 0,7 indien 2 sporen gelijktijdig zijn belast; 0,6 indien 3 of meer sporen gelijktijdig zijn belast. 2) Wanneer windkrachten gelijktijdig optreden met verkeersbelastingen, behoort de windkracht $\psi_0 F_{wk}$ niet groter te zijn genomen dan F_w^{**} (zie EN 1991-1-4). Zie A2.2.4(4). 3) Zie EN 1991-1-5. 4) Indien vervorming in beschouwing wordt genomen voor blijvende en tijdelijke ontwerpsituaties, behoort $\square 2$ gelijk te zijn genomen aan 1,00 voor spoorwegverkeersbelastingen. Voor ontwerpsituaties bij aardbevingen, zie tabel A.2.5. 5) De minimale gunstige verticale belasting die gelijktijdig optreedt met afzonderlijke componenten van spoorwegverkeersbelastingen (bijv. centrifugaalkracht, aanzetten of remmen) is 0,5 LM71 enz.				

3.6 Belastingcombinaties

Voor een compleet overzicht van de belastingcombinaties wordt verwezen naar bijlage 1 §3.

Voor de combinatie van windbelasting met verkeersbelastingen moeten de volgende gelijktijdig optredende belastingen in beschouwing worden genomen (NEN-EN 1991-2):

- Verticale spoorwegverkeersbelastingen, horizontale spoorwegverkeersbelastingen en windkrachten. Hierbij wordt elke belasting één voor één als overheersende belasting beschouwd.

Windbelasting hoeft niet te zijn gecombineerd met (NEN-EN 1991-2):

- Belastingsgroepen gr 13
- Belastingsgroepen gr 16, gr 17 en belastingmodel SW/2.

Wanneer de spoorwegverkeersbelasting niet als belastinggroep wordt gebruikt behoort deze als afzonderlijke component van de spoorwegverkeersbelasting te zijn genomen.

Voor de belastinggroepen en combinaties voor de spoorwegverkeersbelastingen wordt de volgende tabel uit de NEN-EN 1991-2 geraadpleegd:

Tabel 10: Belastinggroepen spoorverkeer met de overheersende belasting in het grijs aangegeven (NEN-EN 1991-2 tabel 6.11)

Aantal sporen op constructie			Belastingsgroepen			Verticale krachten			Horizontale krachten			Opmerkingen
1	2	≥ 3	Aantal belaste sporen	Belastingsgroep ⁽⁶⁾	Belaste spoor	6.3.2/6.3.3	6.3.3	6.3.4	6.5.3	6.5.1	6.5.2	
						LM 71 ⁽¹⁾ SW/0 ^{(1), (2)} HSLM ⁽⁶⁾⁽⁷⁾	SW/2 ⁽¹⁾⁽³⁾	Onbeladen wagens	Remmen, Aanzetten ⁽¹⁾	Centrifugaal krachten ⁽¹⁾	Zijdelingse stoot ⁽¹⁾	
			1	gr11	T_1	1			1 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	Max. verticaal 1 met max. langsrichting
			1	gr 12	T_1	1			0,5 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	Max. verticaal 2 met max. dwarsrichting
			1	gr 13	T_1	1 ⁽⁴⁾			1	0,5 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	Max. langsrichting
			1	gr 14	T_1	1 ⁽⁴⁾			0,5 ⁽⁵⁾	1	1	Max. dwarsrichting
			1	gr 15	T_1			1		1 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	Stabiliteit dwarsrichting met "onbeladen wagens"
			1	gr 16	T_1		1		1 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	SW/2 met max. langsrichting
			1	gr 17	T_1		1		0,5 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	SW/2 met max. dwarsrichting

4 Toetsingscriteria

4.1 Criteria voor de gebruikstoestand

In bijlage 1 §4 worden de volgende controles en toetsingen voor de BGT uitgevoerd:

- Vervorming.
 - Eis: $U_{\max} \leq 1/800L$ ten gevolge van veranderlijke belasting
- Betonspanningen
 - Eis: Geen trekspanningen $\sigma_c \leq 0 \text{ N/mm}^2$

4.2 Criteria voor de bezwijktoestand

In bijlage 1 §4 worden de volgende controles en toetsingen voor de UGT uitgevoerd:

- Betonspanningen
 - Eis: $\sigma_c \leq 0,6 f_{ck}$
- Momentweerstand gehele doorsnede in langsrichting
 - Eis: $M_{ed} \leq M_{rd}$
- Momentweerstand trogvloer ter plaatse van veldmidden
 - Eis: $M_{ed} \leq M_{rd}$
- Dwarskracht in de trogvloer ter plaatse van veldmidden
 - Eis: $V_{ed} \leq V_{rd}$

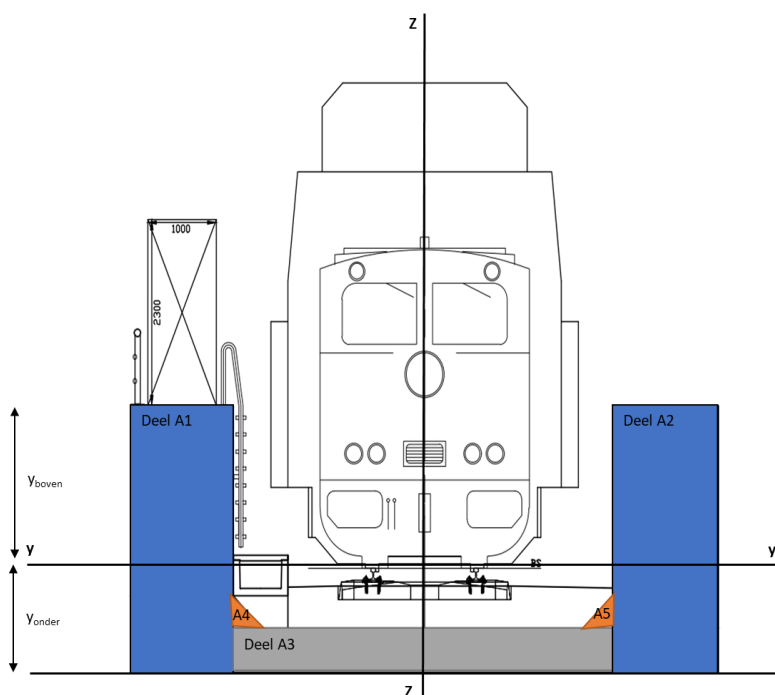
5 Modelling

5.1 Schematisering

Voor de geometrie van de doorsnede wordt verwezen naar [R1] en 2.3 Geometrie. De bijbehorende doorsnede grootheden van de trogbrug zijn bepaald met behulp van een Excel rekenblad (Tabel 12). Wijzigingen in de doorsnede tijdens het ontwerp zijn zo automatisch doorgerekend en handmatig in het model gewijzigd. De doorsnede gegevens van het definitieve ontwerp voor toetsing zijn in Tabel 11 weergegeven met bijbehorende schets in Figuur 9.

Tabel 11: Doorsnede gegevens trogbrug.

Doorsnede gegevens trogbrug			
Oppervlakte	A_{beton}	15,07	m ²
Traagheidsmoment y-y	I_y	17,515	m ⁴
Traagheidsmoment z-z	I_z	165,5	m ⁴
Uiterste onderste vezel tot n.l.	y_{onder}	1,41591	m
Uiterste bovenste vezel tot n.l.	y_{boven}	2,084	m
Weerstandsmoment boven	W_{boven}	8,404	m ³
Weerstandsmoment onder	W_{onder}	12,370	m ³



Figuur 9: Schets bijbehorend bij berekening doorsnede gegevens.

Tabel 12: Berekening doorsnede gegevens trogbrug.

Berekening zwaartepunt doorsnede trogbrug					
Deel	Breedte	Hoogte	A	Z	(AxZ)
A1	1650	3500	5775000	1750	10106250000
A2	1650	3500	5775000	1750	10106250000
A3	5600	600	3360000	300	1008000000
A4	400	400	80000	733	58640000
A5	400	400	80000	733	58640000
A totaal =			15070000	$\sum(AxZ) =$	21337780000
Zwaartepunt (e) = $\sum(AxZ) / A_{totaal} =$					1415,9

Berekening traagheidsmoment doorsnede trogbrug					
Deel	Breedte	Hoogte	A	I_{eigen}	I_y
A1	1650	3500	5775000	5,8953E+12	6,5399E+12
A2	1650	3500	5775000	5,8953E+12	6,5399E+12
A3	5600	600	3360000	1,0080E+11	4,2849E+12
A4	400	400	80000	7,1111E+08	7,5330E+10
A5	400	400	80000	7,1111E+08	7,5330E+10
				$I_{y,totaal} =$	1,7515E+13

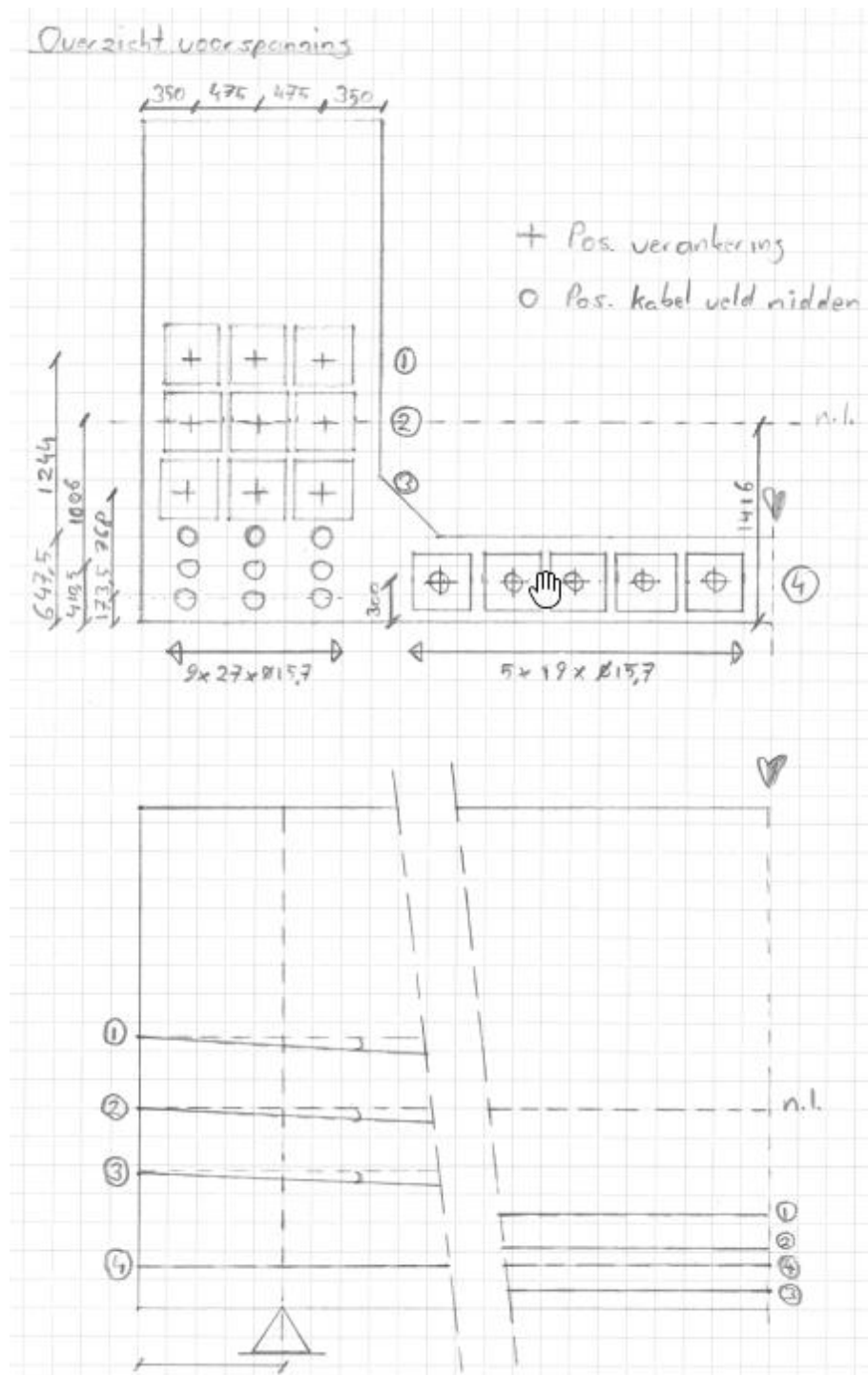
5.2 Modellerings met software

De trogbrug is met behulp van het rekenprogramma Technosoft raamwerken berekend. De uitvoer van de computerberekeningen zijn opgenomen in bijlage 1 §3. In het programma zijn twee modellen gemaakt. Een voor de langsdoorsnede, waarbij de gehele trogbrug is gemodelleerd op twee steunpunten. Voor het profiel is de gehele doorsnede ingevoerd op basis van de doorsnede gegevens in Tabel 11. Daarnaast is een model voor de dwarsdoorsnede gemaakt ter plaatse van het veldmidden. De trog is gemodelleerd met aan de bovenzijde twee rolopleggingen en een veer in de x-richting. Op deze wijze wordt het veldmidden gemodelleerd waar het brugdek het grootste moment opneemt en de wanden enigszins 'vrij' kunnen bewegen. Ter plaatse van de steunpunten wordt door de momentvast verbinding een deel van de belasting ook naar de wanden togetrokken omdat de wand daar meer ingeklemd wordt dan ter plaatse van het veldmidden. Deze modellering is in dit rapport niet uitgewerkt, enkel de vloer ter plaatse van het veldmidden. De invoer van deze rekenmodellen is uitgewerkt in bijlage 1 §2.

De belastingcombinaties en bijbehorende factoren kunnen door Technosoft automatisch worden gegenereerd, echter is dit op basis van de invoer foutgevoelig. Aangezien de spoorbelastingen niet goed in Technosoft gedefinieerd kunnen worden. Daarom is gekozen om de belastingcombinaties en belastingfactoren op basis van hoofdstuk 3: belastingen en belastingcombinaties handmatig in te voeren.

5.3 Schematisering voorspanning

De voorspanning is met behulp van een Excel spreadsheet berekend. In de spreadsheet is een halve doorsnede berekend. Daarom worden de berekende voorspanbelastingen met twee vermenigvuldigd. De gekozen voorspanning is in Figuur 10 weergegeven.



Figuur 10: Overzicht gekozen voorspanning in halve doorsnede.

6 Berekening

Voor de berekening wordt verwezen naar bijlage 1 §4.

6.1 Berekeningsresultaten

De berekeningsresultaten zijn terug te vinden in bijlage 1 §3 hierin zijn de optredende krachten en vervormingen in de trogbrug weergegeven. De controle voor optredende spanningen en de wapeningsberekening wordt verricht in bijlage 1 §4 .

6.2 Opmerkingen

In dit rapport is een globale ontwerpberekening voor de trogbrug uitgevoerd. De controles zoals benoemd in 4 Toetsingscriteria zijn uitgevoerd. De berekening van specifieke en lokale wapening zoals splijtwapening en ophangwapening is in deze berekening niet opgenomen. Daarnaast is ook vermoeiing en kruip niet in beschouwing genomen.

7 Conclusies

7.1 Geometrie

De betonafmeting is in vergelijking met het eerste ontwerp in paragraaf 2.3 vrijwel ongewijzigd. Enkel de trogbalk is verhoogd van 3300 naar 3500 millimeter. De breedte van de trogbalk is gelijk gebleven op 1650 millimeter. Met dit ontwerp wordt voldaan aan de gestelde eisen en voorwaarden in de constructieve berekening. De kwaliteit van het beton is C45/55.

7.2 Voorspanning

De voorspanning in de langsrichting bestaat in totaal uit 28 kabels gelegen in de trogbalken en de vloer van de trogbrug. In beide trogbalken liggen 9 voorspankabels van 27 strengen $\varnothing$ 15,7 mm. In de trogvloer liggen 10 recht gelegen voorspankabels van 19 strengen $\varnothing$ 15,7 mm.

De kwaliteit van het voorspanstaal is FeP 1860.

7.3 Betonwapening

In langsrichting is de restcapaciteit in het voorspanstaal voldoende om het moment op te kunnen nemen. De langswapening is praktisch en bestaat uit $\varnothing$ 16-100 in zowel de trogbalk en de trogvloer.

De wapening in de trogvloer in dwarsrichting bestaat uit $\varnothing$ 25-200 met bijlegwapening $\varnothing$ 20-200. In de trogvloer is geen dwarskrachtwapening benodigd.

De kwaliteit van het wapeningsstaal is B500B.

Bijlage

Bijlage 1 Berekening

Inhoud bijlage 1

1. Belastingen

1.1. Permanente belasting	1-1
Eigengewicht	1-1
Ballast	1-1
Kabels, leidingen en leuning	1-1
Voorspanning	1-1
1.2. Veranderlijke belasting	1-9
Spoorwegverkeer	1-9
- Belastingmodel 71	1-9
- Belastingmodel SW/2	1-9
- Belasting spreiding	1-10
Horizontale belasting spoorverkeer	1-12
Belasting passeerpad	1-12
Windbelasting	1-12

2. Invoer

2.1. Geometrie	2-1
2.2. Rekenmodel trog	2-1
2.3. Dwarsprofiel	2-1
2.4. Rekenmodel trogvloer	2-2
2.5. Veer in dwarsrichting	2-2
2.6. E-modulus	2-2

3. Uitvoer Technosoft

3.1. TS-uitvoer-trogbrug	
3.2. TS-uitvoer-fictieve voorspanning ($M_{ed}=M_{rd}$)	
3.3. TS-uitvoer- trogvloer	

4. Toetsing

4.1. Vervorming	4-1
4.2. Betonspanning	4-1
BGT	4-1
UGT	4-2
4.3. Controle momentweerstand	4-3
4.4. Controle maximum wapening doorsnede	4-6
4.5. Vervorming trogvloer	4-8
4.6. Controle moment dwarsrichting trogvloer	4-8
4.7. Controle dwarsrichting trogvloer	4-9

1. Belastingen

1.1 Permanente belastingen

Eigengewicht

$$A = 15,07 \text{ m}^2$$

$$\gamma_b = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

$$q_{eg} = 15,07 \cdot 25 = 376,75$$

$$\Rightarrow G = 376,75 \text{ kN/m}$$

Ballast

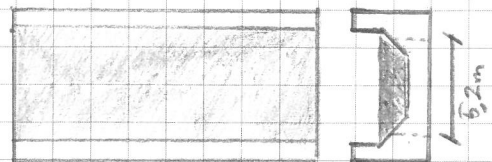
$$\gamma_{bed} = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$\Rightarrow G = 11 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{dikte} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Breedte} = 5,2 \text{ meter}$$

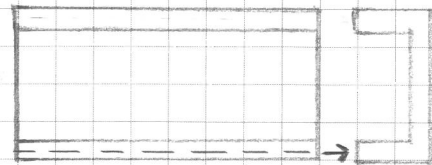
$$q_{ballast} = 57,2 \text{ kN/m}$$



Kabels, leidingen en leuningen

$$G = 5 \text{ kN/m}$$

Last grijpt aan op één
hoofdligger



Voorspanning



De belastingen ten gevolge van voorspanning worden in de hierop
volgende pagina's bepaald.

Het selecteren van de voorspanning is een iteratief proces hiervoor
is een excel reken sheet gebruikt. Hierin is onderscheid gemaakt in de vol-
gende belastingen:

Een voorspankracht ontbonden in een horizontale kracht N_p en
een verticale kracht F_v . En de opwaarts gerichte q -last.
Indien de voorspanning excentrisch is aangebracht ontstaat ook een
moment op de uiteinden.

Voorspanning

Het volgende voorspanstelsysteem wordt voorlopig gekozen:

DYWIDAG Systeem

22 strengen $\varnothing 15,7$ per kabel $A_p = 3300 \text{ mm}^2$

Staal kwaliteit: FeP 1860

Omhullingsbuis $\varnothing 105$

Afstand o.k. beton - hart kabel

Dekking: 50 mm

Bengel: 20 mm

Langsweg: 16 mm

Dwarsweg: 25 mm

$111 = 115$

Dekking op buis = 111 mm

↓

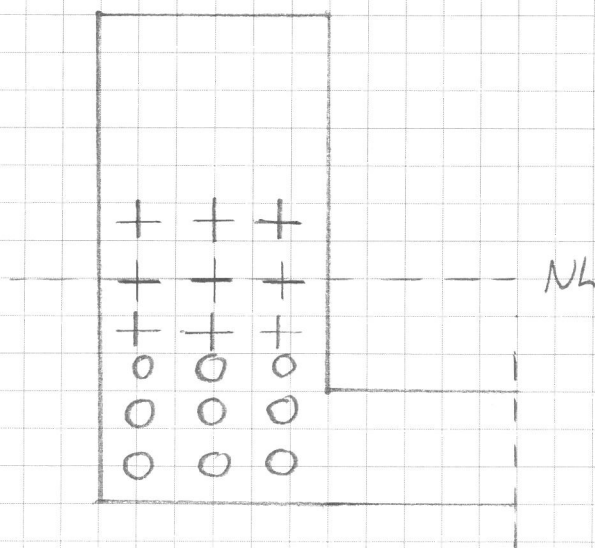
aangehouden 115 mm

$\frac{1}{2}$ buis

52,5 mm

167,5 mm

Overzicht voorspanning



Aanvangsvoorspanning

$$F_{ep} 1060: \quad F_{pk} = 1060 \text{ N/mm}^2 \quad F_{p0,1k} = 1640 \text{ N/mm}^2$$

Voorspanstaal wordt tijdens het voorspannen op een spanning van 1400 N/mm^2 gebracht.

σ_{pmax} is kleinste waarde:

$$k_1 \cdot F_{pk} = 0,8 \cdot 1060 = 1488 \text{ N/mm}^2$$

$$k_2 \cdot F_{p0,1k} = 0,9 \cdot 1640 = 1476 \text{ N/mm}^2$$

$$1400 < 1476 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Er treden 2 typen verliezen op:

- Direct optredende verliezen
- Vertraagd op tredende verliezen

De exacte verliezen worden in deze berekening niet bepaald. De directe verliezen zijn 15% en de vertraagde 10% t.o.v. aanvangsvoorspanning.

De werkvoorspanning is dan:

$$1400 - 1400 \cdot 25\% = 1050 \text{ N/mm}^2$$

Voorspanbelasting

$$q_{p:w} = 109 \text{ kN/m}$$

$$N_{p:w} = 62101 \text{ kN}$$

$$F_{up:w} = 4730 \text{ kN}$$

[Excel ber. - voorspanning]

Toets betonspanning

Onderin de trogbrug willen we enkel druk toelaten. (BGT)

$$\sigma_{\text{onder}} = 6,25 \text{ N/mm}^2 \text{ trek} \Rightarrow \text{Niet akkoord}$$

$$\sigma_{\text{boven}} = 28,62 \text{ N/mm}^2 \text{ druk} > \sigma_{\text{max}} = 0,6 f_{ck} = 27 \text{ N/mm}^2$$

↳ Meer voorspanning toepassen

↳ Niet akkoord

Voorspan systeem

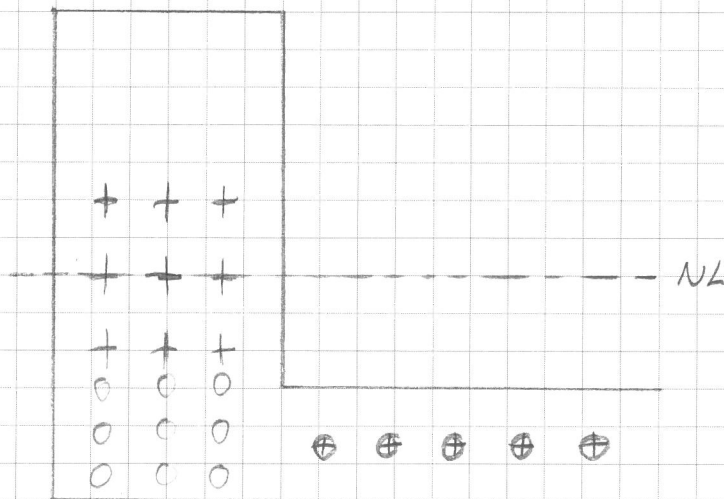
Betonspanning niet akkoord dus voorspanning toevoegen.

Naast eerder gekozen voorspanning (9 x 22 strengen $\varnothing 15,7$) toevoegen 5 strengen in vloer. Deze liggen recht en niet gebogen. Er wordt geen opwaartse kracht gerealiseerd, echter een kopmoment.

5 x 19 strengen $\varnothing 15,7$ $A_p = 2050 \text{ mm}^2$

Staal kwal, test en spanningen zijn in alle kabels hetzelfde gebleven.

Overzicht voorspanning



Voorspanbelasting

$q_{pw} = 109 \text{ kN/m}$
 $F_{hpw} = 92106 \text{ kN}$
 $F_{upw} = 4730 \text{ kN}$
 $M_{pw} = 30674 \text{ kNm}$

[Excel ber. -voorspanning]

Toets betonspanning

We willen ^{geen} trek in onderzijde in de BGT.

$\sigma_{onder} = 1,43 \text{ N/mm}^2 \text{ trek} \Rightarrow \text{Niet akkoord}$

$\sigma_{boven (UGT)} = 26,91 \text{ N/mm}^2 \text{ druk} < 27 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{Akkoord}$

IPV extra voorspanning wordt de ligger hoger $\Rightarrow$

Voorspanstelsysteem

Voorspanstelsysteem blijft ongewijzigd. De ligger wordt 200 mm hoger
 $3300 \Rightarrow 3500 \text{ mm}$

Het pijl van de voorspanning wordt hierdoor groter waardoor de q -last opwaarts groter wordt. Indien de ligger niet voldoet zal de $9 \times$ hoofdvoorspanning groter worden gekozen.

Groep	Pijl
1	1213 $\Rightarrow$ 1304
2	948 $\Rightarrow$ 1039
3	683 $\Rightarrow$ 774
4	0

Voorspanbelasting

$$q_{p,w} = 207 \text{ kN/m}$$

$$F_{hp,w} = 92106 \text{ kN}$$

$$F_{up,w} = 5184 \text{ kN}$$

$$M_{p,w} = 33394 \text{ kNm}$$

[Excel ber. - voorspanning]

Toetsbetenspanning

We willen ^{geen} trek in onderzijde in de BGT

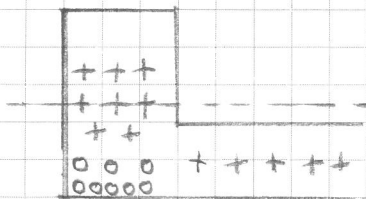
$$\sigma_{\text{onder}} = 0,56 \text{ N/mm}^2 \text{ trek} \Rightarrow \text{Niet akkoord}$$

$$\text{Vervorming } u_{\text{max}} = \frac{1}{800} \cdot 50000 = 62,5 \text{ mm}$$

$$u = 65 \text{ mm} \quad 65 > 62,5 \Rightarrow \text{Niet akkoord}$$

Verhogen ligger blijft onvoldoende. In het definitief systeem wordt de $9 \times 22 \times \emptyset 15,7 \Rightarrow 9 \times 27 \times \emptyset 15,7$

Ook is een andere indeling van de voorspanning geprobeerd. (zie onderstaande figuur) Hierdoor neemt de normaal kracht af, echter wordt de q -last aanzienlijk groter door een groter pijl. Uiteindelijk levert dit niets op door de excentriciteit van de voorspanning wat een moment met negatief effect oplevert.



Gekozen voorspanstelsysteem

Het volgende voorspanstelsysteem is gekozen voor uitwerking:

DYWIDAG voorspanstelsysteem

In trogbalken:

27 strengen $\phi 15,7$ per kabel ($A_p = 4050 \text{ mm}^2$) (2×9 kabels)

Staal kwaliteit: FeP1060

Anker type : ribanker MA 6P27

Spiraalwapening: $\phi 16$ $D_a = 430 \text{ mm}$

Omhullingsbuis : $\phi 110 - 117$

In trogvlaer:

19 strengen $\phi 15,7$ per kabel ($A_p = 2850 \text{ mm}^2$) (2×5 kabels)

Staal kwaliteit: FeP1060

Anker type : ribanker MA 6P19

Spiraalwapening : $\phi 16$ $D_a = 375 \text{ mm}$

Omhullingsbuis : $\phi 95 - 100$

Afstand - o.k. beton - hart kabel

Dekking : 50

Beugel : 20

langs wap : 16

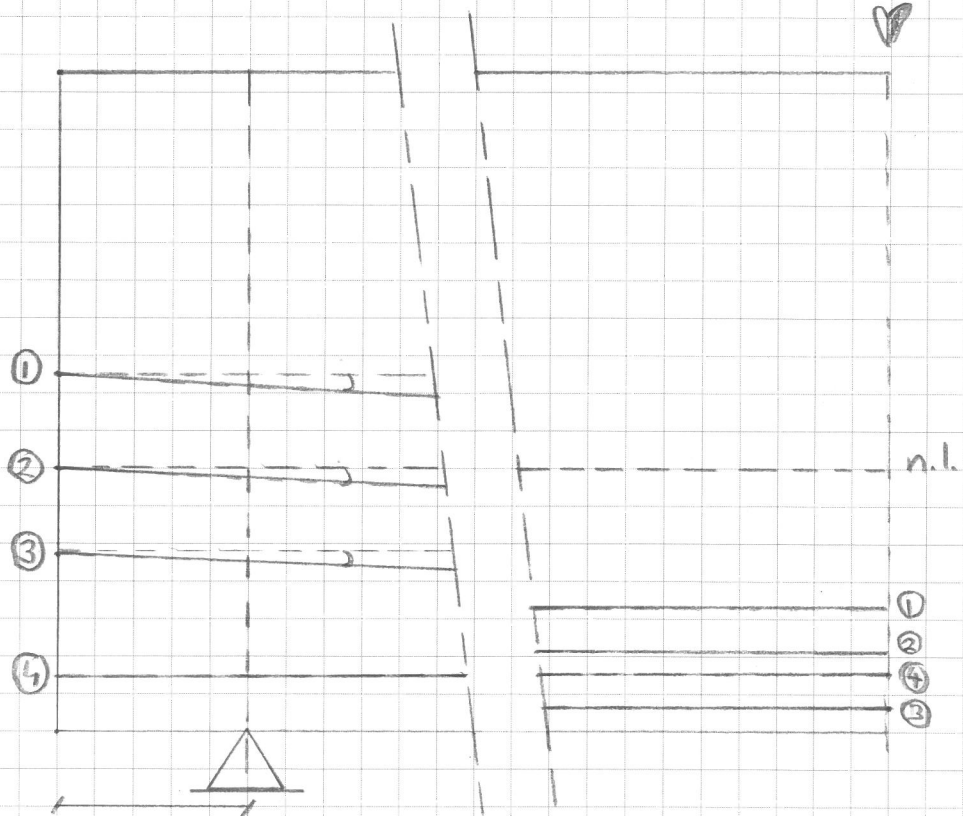
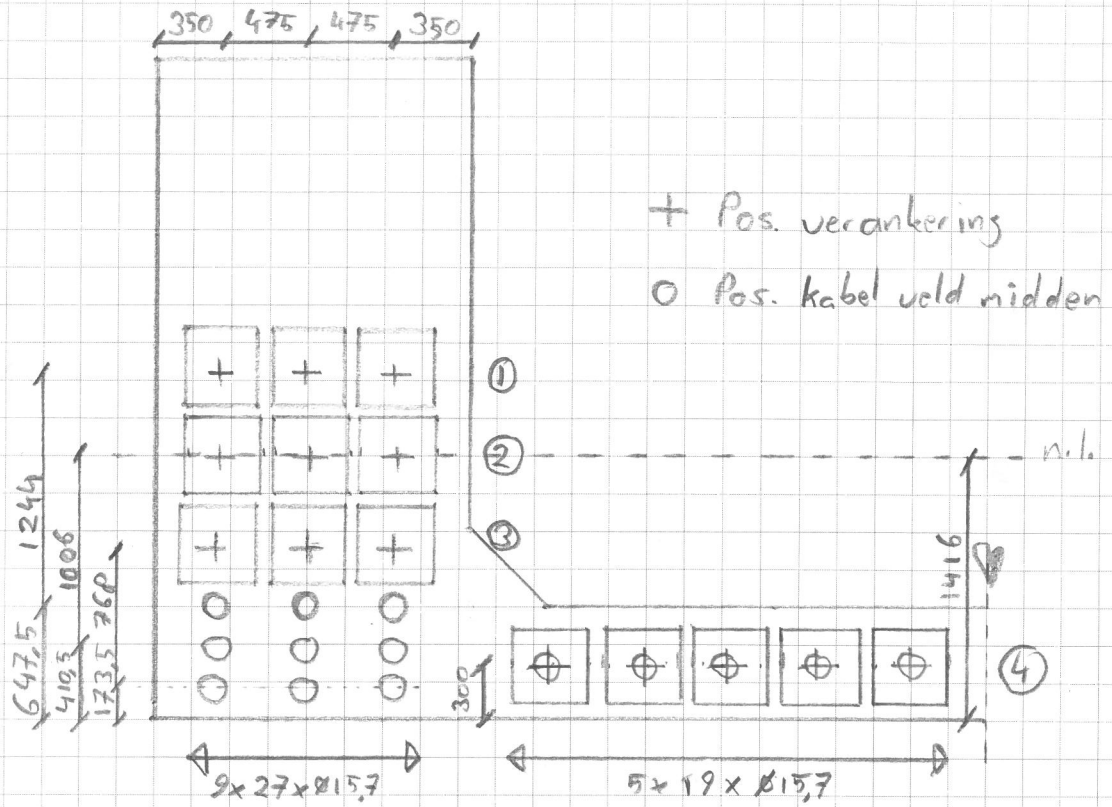
Owarswap : 25 +

III $\approx 115 \text{ mm}$ dekking op buis

Omhullingsbuis ($\frac{1}{2}$): 585 mm +

Afstand van : 173,5 mm o.k. beton - hart Kabel

Overzicht voorspanning



Voorspan verliezen

Er treden 2 typen voorspan verliezen op:

- Direct optredende verliezen
- Vertraagd optredende verliezen

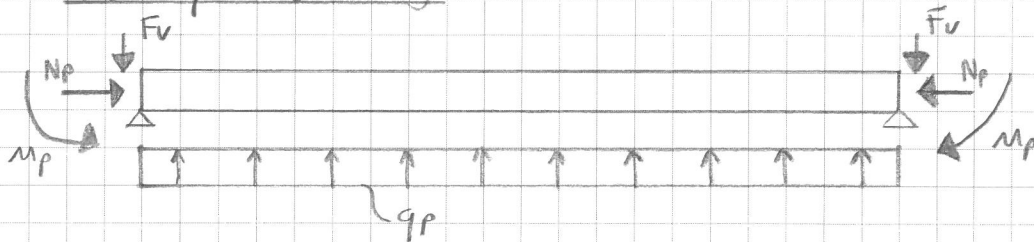
In deze globale berekening worden de exacte verliezen niet bepaald.
De direct optredende verliezen zijn 15% en de vertraagd optredende verliezen 10% t.o.v. de aanvangsvoorspanning.

Tijdens het aanspannen worden de voorspan kabels op een spanning van 1400 N/mm^2 gebracht.

De rekenwaarde voor de werkvoorspanning is dan:

$$1400 - (1400 \cdot 25\%) = 1050 \text{ N/mm}^2$$

Voorspanbelasting



Belastingen: [Excel - voorspanning] zie volgende pagina $\Rightarrow$

$$N_p = 106229 \text{ kN}$$

$$F_v = 5960 \text{ kN}$$

$$q_p = 238 \text{ kN/m}$$

$$M_p = 33394 \text{ kNm}$$

Berekening 27 x 15,7 DYWIDAG 6827

1

Gegevens voorspanning (DYWIDAG)				
Type	19x15,7	22x15,7	27x15,7	
Aantal strengen	19	22	27	st
doorsnede streng	150	150	150	mm2
doorsnede totaal (A _p)	2850	3300	4050	mm2
staalkwaliteit	1860	1860	1860	N/mm2
diameter	15,7	15,7	15,7	mm
Elasticiteitsmodulus	195000	195000	195000	N/mm3
Wrijvingscoëfficiënt	1,19	1,19	1,19	rad ⁻²
Wobble effect	0,005	0,005	0,005	rad/m
Omhuilingsbuis Ø	100	105	117	mm (bi-bu)

2

Onderdeel	waarde	eenheid
Abeton	15,07	m2
ly	17,515	m4
yonder	1,416	m
yboven	2,084	m
Wboven	8,404	m3
Wonder	12,370	m3

3

Betonspanning ten gevolge van voorspanning			
Oppervlakte	Aantal kabels	Staalspanning	Betonspanning
A _p	n	σ _p	σ _b
2850	5	1050	1,99
3300		1050	0,00
4050	9	1050	5,08

4

Betondekking (c) voorspanning		
Onderdeel	waarde (mm)	Bron
Dekking (c)	50	OVS00030-6 art. 4.4.1.2
Beugel (Ø)	20	
Langswapening (Ø)	16	
Dwarswapening (Ø)	25	
Dekking buis	115	
Omhuilingsbuis (0,5Ø)	58,5	
Totaal	173,5	

5

Bepaling pijl voorspanning				
Groep	e _p	l	α	Pijl (f)
1	1,244	50	2,85	1,204
2	1,006	50	2,30	0,973
3	0,768	50	1,76	0,743
4		50	0,00	0

6

Werk betonspanningen		
	BGT	UGT
Mveld	72790	141154
Msteunpunt		
Normaalkracht	-106229	-106229
oonder	-1,16	4,36
o boven	-15,71	-23,84

Formules:
 $R = L^2 / 8f$
 $\varphi = 4f/L$
 $q_p = \sigma_p \times A_p \times n / R$
 $F_{h,p} = \sigma_p \times A_p \times n \times \cos(\varphi) / 1000$
 $F_{v,p} = \sigma_p \times A_p \times n \times (4f/L) / 1000$
 $M_p = F_{h,p} \times (e/1000)$

		Voorspanning							Verliezen		Werkvoorspanning					Verliezen		Aanvangsvoorspanning					
		Pijl f (m)	Over- spanning L (m)	Boog- straal R (m)	Hoek φ (rad)	Excentriciteit voorspanning e = y ₀ -z ₀ (mm)	Aantal kabels n (-)	Door- snede A _p (mm ²)	Staal- spanning σ _p (mm ²)	Verlies (%)	Staal- spanning σ _{p,w} (N/mm ²)	Krommings- druk q _{b,w} (kN/m)	Normaal- kracht kop F _{h,p,w} (kN)	Verticaal- kracht kop F _{v,p,w} (kN)	Moment agv F _{h,p,w} en M _{p,w} (kNm)	Staal- spanning σ _p (mm ²)	Verlies (%)	Staal- spanning σ _{p,a} (N/mm ²)	Kromming s- druk q _{b,a} (kN/m)	Normaal- kracht kop F _{h,p,a} (kN)	Verticaal- kracht kop F _{v,p,a} (kN)	Moment agv F _{h,p,a} en M _{p,a} (kN/m)	
Groep	Locatie																						
1	kop midden	1,204	50	259,55	0,0963		3	4050	1400	25	1050	49,2	12698	1229		1400		5	1330	62,3	16085	1556	
2	kop midden	0,973	50	321,17	0,0778		3	4050	1400	25	1050	39,7	12719	993		1400		5	1330	50,3	16111	1258	
3	kop midden	0,743	50	420,59	0,0594		3	4050	1400	25	1050	30,3	12735	758		1400		5	1330	38,4	16131	961	
4	kop midden	0	50	0,00	0,0000	1116	5	2850	1400	25	1050	0,0	14963	0	16697	1400		5	1330	0,0	18953	0	21149
Totaal							14	50700				119,21	53115	2980	16697				150,99	67279	3775	21149	
Totaal beide zijden						Totaal 2x	28	101400			Totaal 2x	238	106229	5960	33394			Totaal 2x	302	134557	7550	42299	

Toelichting spreadsheet op volgende pagina

Toelichting Excel spreadsheet voorspanning

Per tabel 1-7 wordt een korte toelichting gegeven en een berekening indien van toepassing.

Tabel 1

Tabel geeft drie typen voorspankabels weer. 19 - 22 - en 27-strongs. Aan de hand van deze drie typen is een voorspanstelsysteem gekozen. 22 strongs is uiteindelijk niet gekozen. De gegevens zijn afkomstig van de leverancier. (OYWIDAG)

Tabel 2

Tabel 2 geeft de doorsnede gegevens van de gehele trek weer. Deze zijn bepaald met een andere spreadsheet. Verdere toelichting wordt in hoofdstuk 5 van het rapport weer gegeven.

Tabel 3

Tabel 3 berekent grofweg de betonspanning in de gehele doorsnede. Dit is enkel als hulpmiddel gebruikt bij het bepalen van de benodigde voorspanning. Met de uitkomst wordt niet verder gerekend.

Tabel 4

In tabel 4 wordt de betondekking berekend op de buis en de afstand onder kant betan tot hart buis t.p.v. veldmidden. Deze afstand is nodig om E_p te kunnen bepalen.

Tabel 5

Tabel 5 geeft de verschillende voorspangroepen weer en het pijl E_p waar ze op liggen. De voorspanning wordt op een uitkraging buiten het steunpunt aangebracht. Met behulp van de hoek α en de lengte l . Wordt het pijl boven het steunpunt bepaald. Zie blad 1-7 voor schematisch overzicht.

Tabel 6

Tabel 6 is een hulpmiddel bij het kiezen van de voorspanning. Na berekening van de voorspankrachten en invoer in het TS-model kunnen de resulterende Momenten en normaalkrachten worden ingevoerd. Vervolgens wordt de betonspanning berekend en kan worden gecontroleerd. Of aan de eisen wordt voldaan. Definitieve berekening betonspanning wordt in bijlage 1 H4 uitgevoerd.

Tabel 7

In tabel 7 worden de voorspankrachten van het gekozen voorspan-systeem berekend. Dit wordt gedaan voor een halve doorsnede, dus één tragsbalk en een halve tragslaer. De krachten worden daarom op het eind met 2 vermenigvuldigd.

Per groep worden eerst de gegevens van de kabel(s) weergegeven en berekend onder het kopje 'voorspanning'. Vervolgens de verliezen voor werkspanning en aanvangspanning. Daarna worden de voorspan-krachten berekend.

Hieronder volgt een handberekening voor groep 1:

- Stap 1 berekening boogstraal kabel
 $Pijl f = 1,204 \text{ m}$
 $L = 50,0 \text{ m}$
 $R = L^2 / 8f$

$$R = 50^2 / (8 \cdot 1,204) = 259,55 \text{ m}$$

- Stap 2 berekening hoek kabel

$$\text{hoek } \varphi = 4f / L$$

$$(4 \cdot 1,204) / 50 = 0,0963$$

- Stap 3 invoer aantal kabels en doorsnede uit tabel 1

$$\text{Gekozen 3 kabels } 27 \times 15,7 \Rightarrow N = 3 \text{ en } A_p = 4050 \text{ mm}^2$$

- Stap 4 Berekening werkvoorspanning bij 25% verlies
 $\sigma_p = 1400 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{uitgangspunt}$

$$1400 \cdot (100 - 25) / 100 = 1050 \text{ N/mm}^2$$

- Stap 5 Bepalen voorspankrachten bij werkvoorspanning

$$\text{Krommingsdruk} = q_p = \sigma_p \cdot A_p \cdot N / R$$

$$q_p = 1050 \cdot 4050 \cdot 3 / (259,55 \cdot 10^3) = 49,15 \text{ kN/m}$$

$$\text{Normaalkracht op kop} = F_{h,pw} = \sigma_p \cdot A_p \cdot N \cdot \cos(\varphi) / 1000$$

$$F_h = 1050 \cdot 4050 \cdot 3 \cdot \cos(0,0963) / 1000 = 12690 \text{ kN}$$

↑
Radialen!

$$\text{Verticaalkracht kop} = F_{v,p,w} = \sigma_p \cdot A_p \cdot n \cdot 4E/L / 1000$$

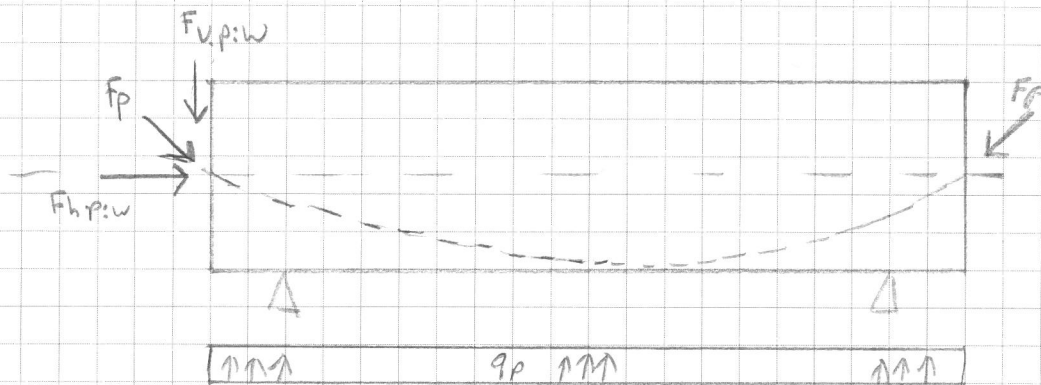
$$F_v = 1050 \cdot 4050 \cdot 3 \cdot (4 - 1,204/50) / 1000 = 1229 \text{ kN}$$

$$\text{Moment} = M_p = F_{h,p} \cdot e$$

$$e=0 \text{ dus } M_p = 0 \text{ kNm}$$

- Stap 6 herhaling stap 4-5 bij aanvangsspanning

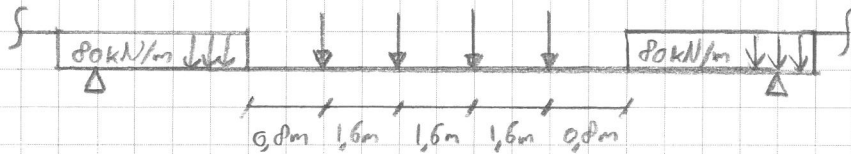
Overzicht berekende krachten:



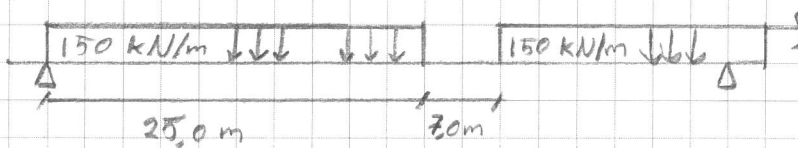
1.2 Veranderlijke Belasting

Spoorwegverkeer

Belastingmodel 71

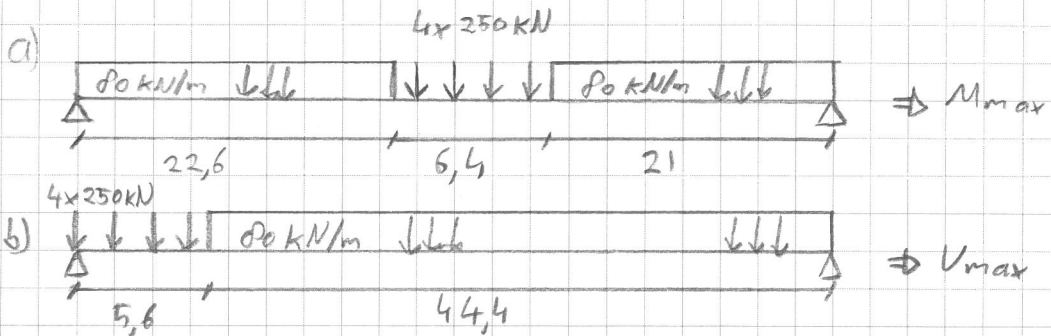


Belastingmodel SW/2

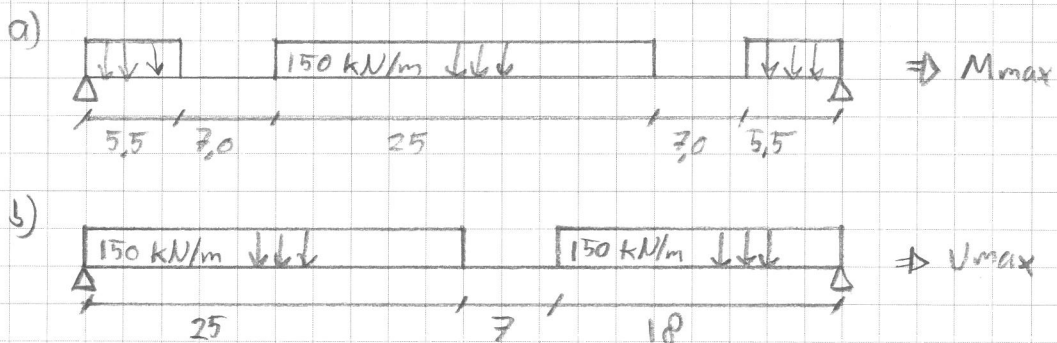


Maatgevende situaties

Belastingmodel 71



Belastingmodel SW/2

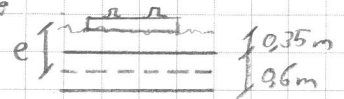


Belastingspreading

spreading over hoogte e

e = afstand o.k. dwarsligger - hartlijn constructie

$$e = 0,35 + \frac{1}{2} \cdot 600 = 0,65 \text{ m}$$



Dwarsrichting

$$a_1 = 2,52 + \frac{0}{2} = 2,52 + \frac{0,65}{2} = 2,85 \text{ m}$$

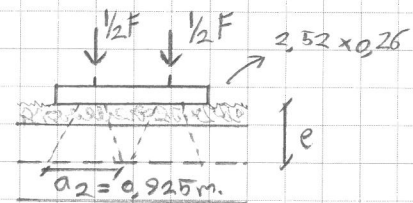
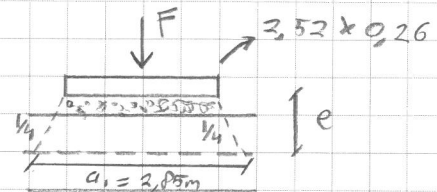
$$a_2 = 0,6 + \frac{0}{2} = 0,6 + \frac{0,65}{2} = 0,925 \text{ m}$$

$$2a_2 = 2 \cdot 0,925 = 1,85 \text{ m}$$

$1,85 < 2,85 \rightarrow a_2$ meest ongunstig

afmeting dwarsligger: $2,52 \times 0,26$

↳ [ProRail]



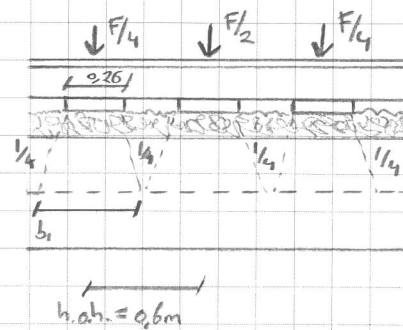
Langsrichting

h.o.h. dwarsliggers 0,60 m

breedte dwarsligger 0,26 m

$$b_1 = 0,26 + \frac{0}{2} = 0,26 + \frac{0,65}{2} = 0,585 \text{ m}$$

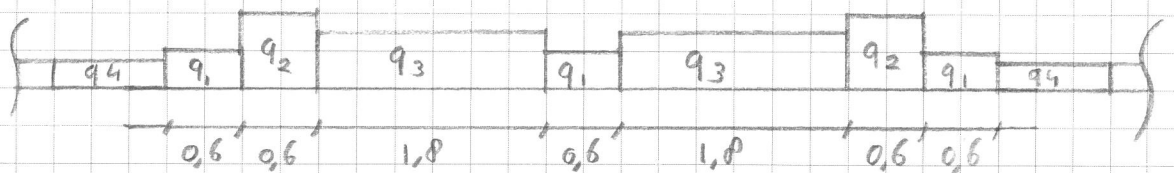
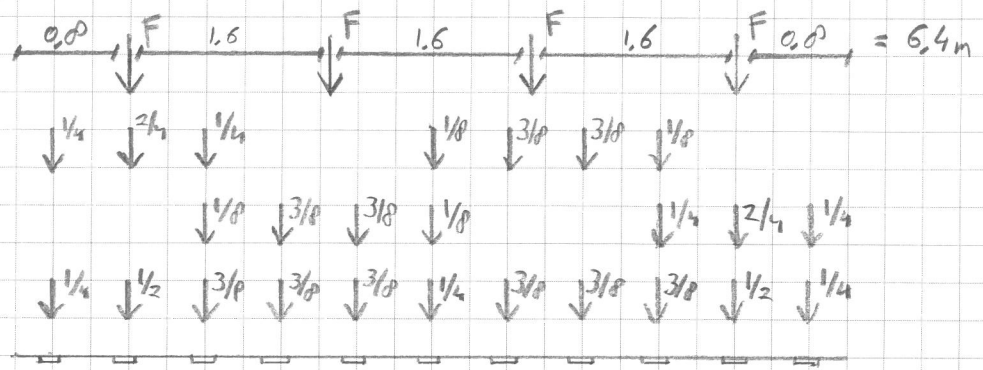
$$0,585 \approx 0,60 \text{ m}$$



spreading in langsrichting enkel puntlasten BG71.

Belastingmodel 71

Spreading F in langsrichting:



$$q_1 = \frac{1/4 \cdot F \cdot \alpha}{0,6 \cdot a_2}$$

$$q_3 = \frac{3/8 \cdot F \cdot \alpha}{0,6 \cdot a_2}$$

$$q_2 = \frac{1/2 \cdot F \cdot \alpha}{0,6 \cdot a_2}$$

$$q_4 = \frac{q \cdot \alpha}{a_2}$$

$$F = 250 \text{ kN}$$

$$q = 80 \text{ kN/m}$$

$$\alpha = 1,21$$

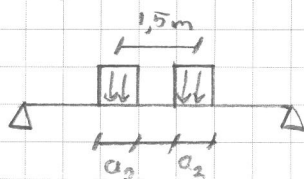
$$a_2 = 0,925 \cdot 2 = 1,85$$

$$p_1 = \frac{1/4 \cdot 250 \cdot 1,21}{0,6 \cdot 1,85} = 68,13 \text{ kN/m}^2$$

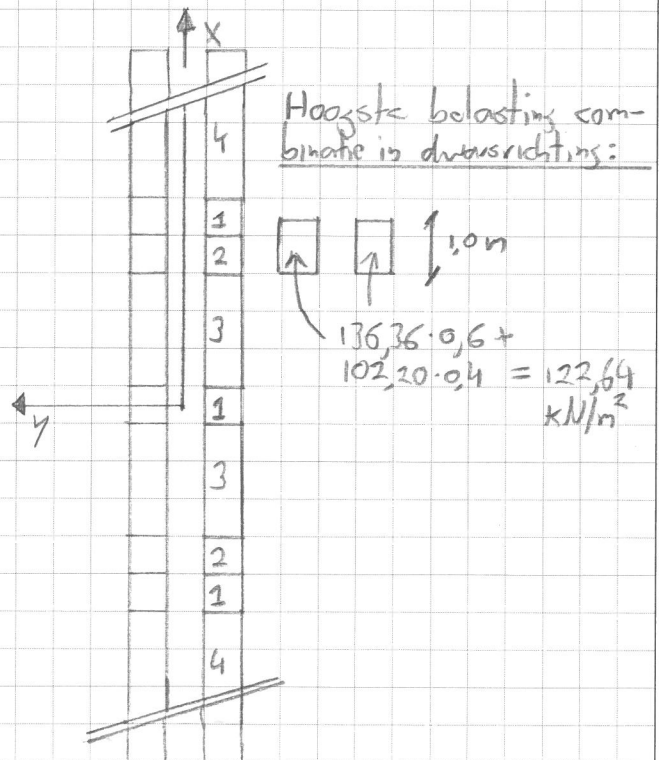
$$p_2 = \frac{1/2 \cdot 250 \cdot 1,21}{0,6 \cdot 1,85} = 136,26 \text{ kN/m}^2$$

$$p_3 = \frac{3/8 \cdot 250 \cdot 1,21}{0,6 \cdot 1,85} = 102,20 \text{ kN/m}^2$$

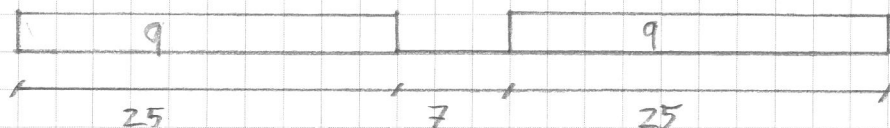
$$p_4 = \frac{80 \cdot 1,21}{1,85} = 52,32 \text{ kN/m}^2$$



$$1,5 - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,925 = 0,575 \text{ m}$$



Belastingmodel SW/2

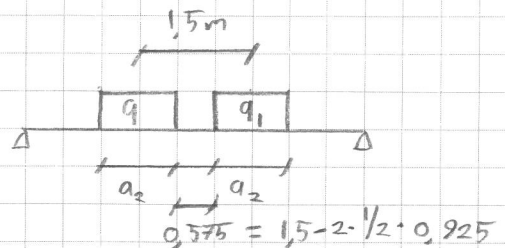


$$q = \frac{q \cdot a}{a_2}$$

$$q = 150 \text{ kN/m}$$

$$a_2 = 2 \cdot 0,925 = 1,85$$

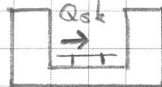
$$q = \frac{150 \cdot 1,0}{1,85} = 81,08 \text{ kN/m}^2$$



Horizontale belasting spoorverkeer

Zijdelingse toet:

$$Q_{sk} = 100 \text{ kN} \cdot 1,21 = 121 \text{ kN}$$



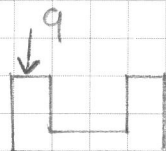
Andere horizontale belastingen zijn gelijk aan nul

Belasting op passeerpad

$$q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

breedte pad = 6,0 m.

$$5,0 \cdot 1,0 = 5,0 \text{ kN/m boven op tragsligger}$$



Windbelasting

$$q = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

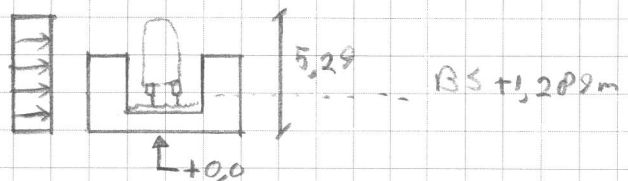
$$h = 35 + 4,0$$

$$1,289 + 4,0 = 5,289 \text{ m}$$

$$q = 1,5 \cdot 5,289 = 8,0 \text{ kN/m}$$

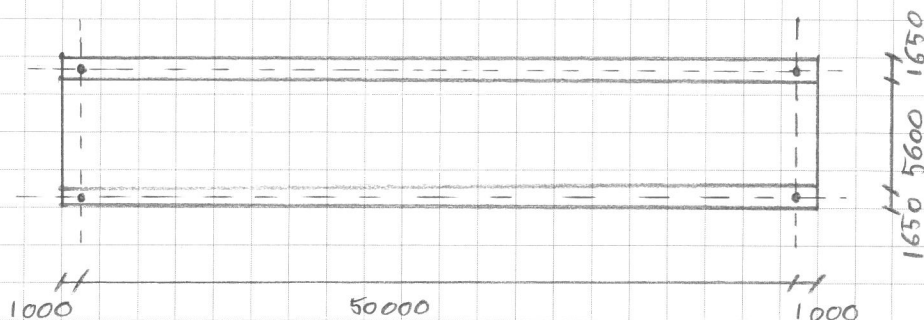
q-last zijkant trags:

$$q = \frac{q}{h} = \frac{8,0}{3,5} = 2,29 \text{ kN/m}^2$$

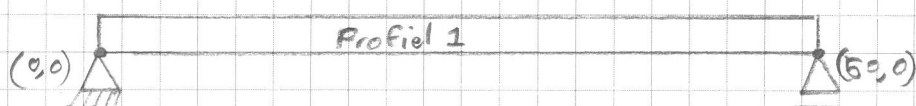


2 Invoer

2.1 Geometrie



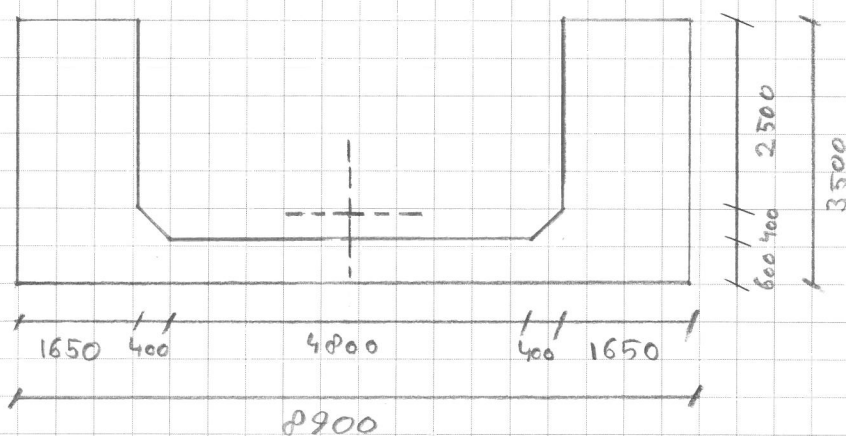
2.2 Rekenmodel tross



Profiel 1:

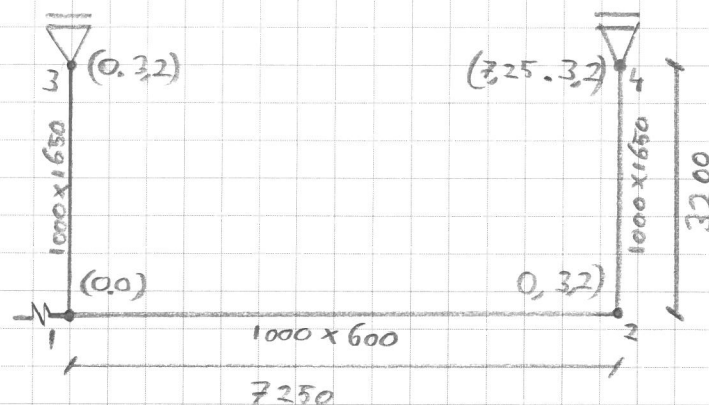
oppervlak	$A : 15,07 \text{ m}^2$
traagheidsmoment	$I : 17,515 \text{ m}^4$
zwaartepunt	$Z_0 : 1,416 \text{ m}$
Weerstandsmoment	$W_0 : 12,370 \text{ m}^3$
Weerstandsmoment	$W_b : 8,404 \text{ m}^3$

2.3 Dwarsprofiel



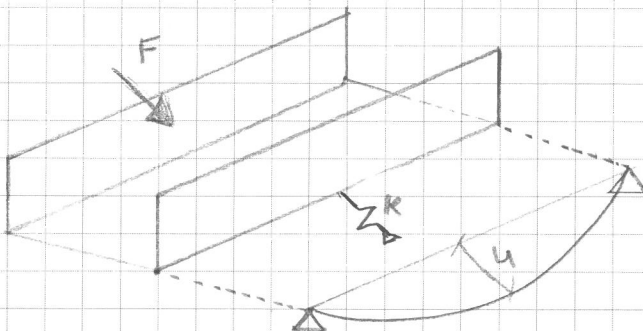
$Z_0 = 1416 \text{ mm}$	$A = 15,07 \text{ m}^2$
$Z_b = 2081 \text{ mm}$	
$I_y = 17,515 \text{ m}^4$	$W_b = 8,404 \text{ m}^3$
$I_z = 165,453 \text{ m}^4$	$W_0 = 12,370 \text{ m}^3$

Rekenmodel tröguloer - dwarsdoorsnede



Bepaling veer in knoep 1

Positie veer in x-richting, veerwaarde K wordt bepaald adhv een kracht en bijbehorende vervorming van de trög-
lijger om de z-as:



$$K = \frac{F}{u}$$

Stel $F = 1000 \text{ kN}$

u is dan $0,92 \text{ mm}$ -
[TS-veer z-as - blad 2]

$$K = \frac{1000 \cdot 10^3}{0,92} = 1086957 \text{ N/mm}^2$$

In het rekenmodel voor de tröguloer wordt bij de veer
een x-translatie ingevoerd met veerwaarde $k = 1,087 \cdot 10^6 \text{ N/mm}^2$

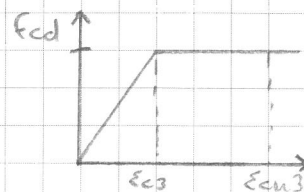
Elasticiteitsmodulus beton

$$E_c = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

In geval van de trögbrug is de doorsnede in de BGT altijd onder
druk. Voor de vervorming wordt gerekend met de angescheurde doorsnede.

$$E_c = 30000 \text{ N/mm}^2$$

Tot rek ϵ_{c3} elastisch traject
 $\epsilon_{c3} = 1,75\%$



$$E_c = 30000 / 1,75 = 17100 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{Invoer model voor } E_c$$

3. Uitvoer Technosoft

Opmerkingen bij Technosoft invoer/modellen

3.1 TS-uitvoer-trogbrug

In de Technosoft berekening is een fictieve doorsnede van de trogbrug gemodelleerd met een gelijk traagheidsmoment volgens 5.1 Schematisering. Het eigengewicht staat in Technosoft uit en is handmatig als belasting ingevoerd.

3.2 TS-uitvoer-fictieve voorspanning ($M_{ed}=M_{rd}$)

Dit model met een fictieve voorspanning is enkel gebruikt voor de controle van de maximum wapeningsdoorsnede. De invoer is ten opzichte van 3.1 ongewijzigd, behalve de voorspanbelasting. Deze is met behulp van de Excel spreadsheet gereduceerd tot dat $M_{ed}=M_{rd}$ en in het model ingevoerd.

3.3. TS-uitvoer- trogvloer

Voor de trogbalken en trogvloer is een fictieve doorsnede gemodelleerd met een gelijk traagheidsmoment. Het eigengewicht is in Technosoft automatisch meegenomen.

3. Uitvoer Technosoft

3.1. TS-uitvoer-trogbrug

Project.....: 1 - Zuidoostboog
 Onderdeel.....: Enkelsporige trogbrug
 Constructeur.: N. Wiesemann
 Opdrachtgever: North Sea Port
 Dimensies.....: kN;m;rad (tenzij anders aangegeven)
 Datum.....: 19/04/2022
 Bestand.....: C:\Users\NLNIGW\OneDrive - Sweco AB\5)
 Onderzoeksvoorstel\Raamwerkmodel Trogbrug (8).rww

Belastingbreedte.: 1.000
 Rekenmodel.....: 2e-orde-elastisch.
 Theorieën voor de bepaling van de krachtsverdeling:
 1) Uiterste grenstoestand:
 Geometrisch niet lineair alle staven.
 Fysisch lineair alle staven.
 2) Gebruiksgrenstoestand:
 Geometrisch niet lineair alle staven.
 Fysisch lineair alle staven.

Maximum aantal iteraties.....: 50
 Max.deellengte kolommen/wanden: 0.500 Max.deellengte balken/vloeren: 0.500
 Max. X-verplaatsing in UGT.....: 0.500 Max. Z-verplaatsing in UGT....: 0.250

Gunstige werking van de permanente belasting wordt automatisch verwerkt.

Toegepaste normen volgens Eurocode met Nederlandse NB

Belastingen	NEN-EN 1990:2002	C2:2010	NB:2011(nl)
	NEN-EN 1991-1-1:2002	C1:2009	NB:2011(nl)

GEOMETRIE

ζ_1 ————— ζ_2
 1.TROGLIGGER (C45/55)

MATERIALEN

Mt	Omschrijving	E-modulus[N/mm2]	S.G.	Pois.	Uitz. coëff
1	C45/55	17100	25.0	0.20	1.0000e-05

MATERIALEN vervolg

Mt	Omschrijving	Cement	Kruipfac.	Toeslag	Rho[kg/m3]
1	C45/55	N	1.77	Normaal	2400

PROFIELEN [mm]

Prof.	Omschrijving	Materiaal	Oppervlak	Traagheid	Vormf.
1	TROGLIGGER	1:C45/55	1.5070e+07	1.7515e+13	0.00

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Enkelsporige trogbrug

PROFIELEN vervolg [mm]

Prof.	Staaftype	Breedte	Hoogte	e	Type	b1	h1	b2	h2
1	0:Normaal	8700	3500	1416.0					

KNOPEN

Knoop	X	Z
1	0.000	0.000
2	50.000	0.000

STAVEN

St.	ki	kj	Profiel	Aansl.i	Aansl.j	Lengte Opm.
1	1	2	1:TROGLIGGER	NDM	NDM	50.000

VASTE STEUNPUNTEN

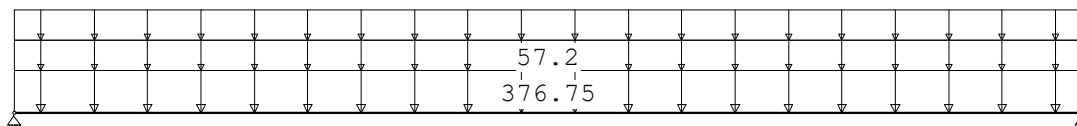
Nr.	knoop	Kode	XZR 1=vast 0=vrij	Hoek
1	1	110		0.00
2	2	010		0.00

BELASTINGGEVALLEN

B.G.	Omschrijving	Type
1	Permanente belasting	EGZ=0.00 1
2	Voorspanning	EGZ=0.00 1 Permanente belasting
3	BG 71 Max moment	6 Ver. belasting door voertuigen
4	BG 71 Max dwarskracht	6 Ver. belasting door voertuigen
5	SW/2 Max moment	6 Ver. belasting door voertuigen
6	SW/2 Max dwarskracht	6 Ver. belasting door voertuigen

BELASTINGEN

B.G:1 Permanente belasting

**STAAFBELASTINGEN**

B.G:1 Permanente belasting

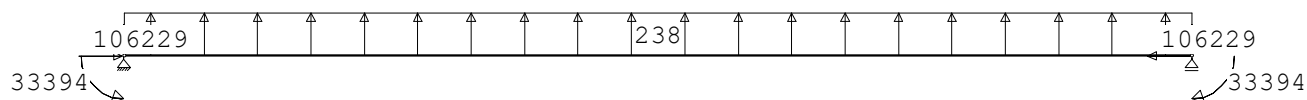
Staaft	Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1	1:QZLokaal	-376.75	-376.75	0.000	0.000			
1	1:QZLokaal	-57.20	-57.20	0.000	0.000			
1	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Enkelsporige trogbrug

BELASTINGEN

B.G:2 Voorspanning

**KNOOPBELASTINGEN**

B.G:2 Voorspanning

Last	Knoop	Richting	waarde	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1	1	X	106229.000			
2	2	X	-106229.000			
3	1	Z	-5960.000			
4	2	Z	-5960.000			
5	1	Rotatie Y	-33394.000			
6	2	Rotatie Y	33394.000			

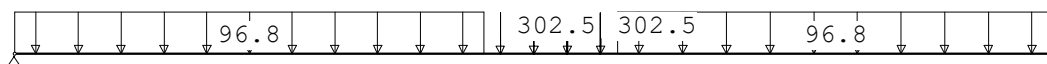
STAAFBELASTINGEN

B.G:2 Voorspanning

Staaft	Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1	1:QZLokaal	238.00	238.00	0.000	0.000			

BELASTINGEN

B.G:3 BG 71 Max moment

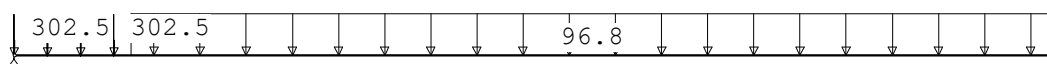
**STAAFBELASTINGEN**

B.G:3 BG 71 Max moment

Staaft	Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1	8:PZLokaal	-302.50		23.400		0.80	0.80	0.00
1	8:PZLokaal	-302.50		25.000		0.80	0.80	0.00
1	8:PZLokaal	-302.50		26.600		0.80	0.80	0.00
1	8:PZLokaal	-302.50		28.200		0.80	0.80	0.00
1	1:QZLokaal	-96.80	-96.80	0.000	27.400	0.80	0.80	0.00
1	1:QZLokaal	-96.80	-96.80	29.000	0.000	0.80	0.80	0.00

BELASTINGEN

B.G:4 BG 71 Max dwarskracht

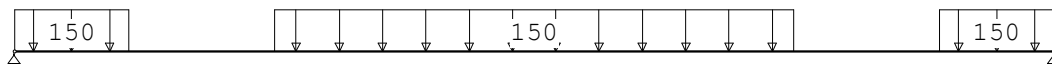
**STAAFBELASTINGEN**

B.G:4 BG 71 Max dwarskracht

Staaft	Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1	8:PZLokaal	-302.50		0.000		0.80	0.80	0.00
1	8:PZLokaal	-302.50		1.600		0.80	0.80	0.00
1	8:PZLokaal	-302.50		3.200		0.80	0.80	0.00
1	8:PZLokaal	-302.50		4.800		0.80	0.80	0.00
1	1:QZLokaal	-96.80	-96.80	5.600	0.000	0.80	0.80	0.00

Onderdeel....: Enkelsporige trogbrug

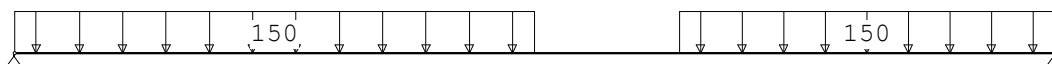
B.G:5 SW/2 Max moment



B.G:5 SW/2 Max moment

Staafl	Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1	1:QZLokaal	-150.00	-150.00	0.000	44.500	0.00	1.00	0.00
1	1:QZLokaal	-150.00	-150.00	12.500	12.500	0.00	1.00	0.00
1	1:QZLokaal	-150.00	-150.00	44.500	0.000	0.00	1.00	0.00

B.G:6 SW/2 Max dwarskracht



B.G:6 SW/2 Max dwarskracht

Staaft Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1 1:QZLokaal	-150.00	-150.00	0.000	25.000	0.00	1.00	0.00
1 1:QZLokaal	-150.00	-150.00	32.000	0.000	0.00	1.00	0.00

Controlerende berekening

B.C.	Iteratie	Status
1	3	Nauwkeurigheid bereikt
2	3	Nauwkeurigheid bereikt
3	3	Nauwkeurigheid bereikt
4	3	Nauwkeurigheid bereikt
5	3	Nauwkeurigheid bereikt
6	3	Nauwkeurigheid bereikt
7	3	Nauwkeurigheid bereikt
8	3	Nauwkeurigheid bereikt
9	3	Nauwkeurigheid bereikt
10	3	Nauwkeurigheid bereikt
11	3	Nauwkeurigheid bereikt
12	3	Nauwkeurigheid bereikt

BC Type

1 Fund.	1.40	$G_{K,1}$	+	1.00	$G_{K,2}$	+	1.50	Ψ_0	$Q_{K,3}$
2 Fund.	1.40	$G_{K,1}$	+	1.00	$G_{K,2}$	+	1.50	Ψ_0	$Q_{K,4}$
3 Fund.	1.40	$G_{K,1}$	+	1.00	$G_{K,2}$	+	1.25	Ψ_0	$Q_{K,5}$
4 Fund.	1.40	$G_{K,1}$	+	1.00	$G_{K,2}$	+	1.25	Ψ_0	$Q_{K,6}$
5 Fund.	1.25	$G_{K,1}$	+	1.00	$G_{K,2}$	+	1.50		$Q_{K,3}$

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Enkelsporige trogbrug

BELASTINGCOMBINATIES

BC Type					
6 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$ + 1.50 $Q_{k,4}$
7 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$ + 1.25 $Q_{k,5}$
8 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$ + 1.25 $Q_{k,6}$
9 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$ + 1.00 $Q_{k,3}$
10 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$ + 1.00 $Q_{k,4}$
11 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$ + 1.00 $Q_{k,5}$
12 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$ + 1.00 $Q_{k,6}$

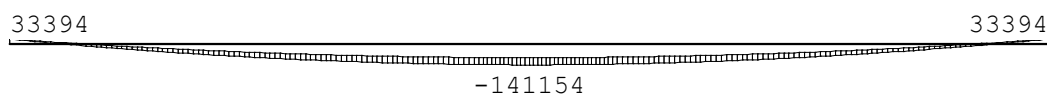
GUNSTIGE WERKING PERMANENTE BELASTINGEN

BC Staven met gunstige werking	
1	Alle staven de factor:1.40, 1.00
2	Alle staven de factor:1.40, 1.00
3	Alle staven de factor:1.40, 1.00
4	Alle staven de factor:1.40, 1.00
5	Alle staven de factor:1.25, 1.00
6	Alle staven de factor:1.25, 1.00
7	Alle staven de factor:1.25, 1.00
8	Alle staven de factor:1.25, 1.00

OMHULLENDE VAN DE FUNDAMENTELE COMBINATIES**MOMENTEN**

2e orde

Fundamentele combinatie

**DWARSKRACHTEN**

2e orde

Fundamentele combinatie



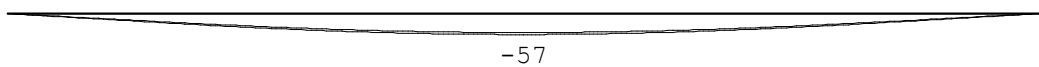
Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Enkelsporige trogbrug

VERPLAATSINGEN

2e orde [mm]

Karakteristieke combinatie



3. Uitvoer Technosoft

3.2. TS-uitvoer-fictieve voorspanning ($M_{ed}=M_{rd}$)

Project.....: 1 - Zuidoostboog
 Onderdeel.....: Fictieve voorspanning Med=Mrd
 Constructeur.: N. Wiesemann
 Opdrachtgever: North Sea Port
 Dimensies.....: kN;m;rad (tenzij anders aangegeven)
 Datum.....: 19/04/2022
 Bestand.....: C:\Users\NLNIGW\OneDrive - Sweco AB\5)
 Onderzoeksvoorstel\Raamwerkmodel Trogbrug (8) fictief.rww

Belastingbreedte.: 1.000
 Rekenmodel.....: 2e-orde-elastisch.
 Theorieën voor de bepaling van de krachtsverdeling:

- 1) Uiterste grenstoestand:
 - Geometrisch niet lineair alle staven.
 - Fysisch lineair alle staven.
- 2) Gebruiksgrenstoestand:
 - Geometrisch niet lineair alle staven.
 - Fysisch lineair alle staven.

Maximum aantal iteraties.....: 50
 Max.deellengte kolommen/wanden: 0.500 Max.deellengte balken/vloeren: 0.500
 Max. X-verplaatsing in UGT.....: 0.500 Max. Z-verplaatsing in UGT...: 0.250

Gunstige werking van de permanente belasting wordt automatisch verwerkt.

Toegepaste normen volgens Eurocode met Nederlandse NB

Belastingen	NEN-EN 1990:2002	C2:2010	NB:2011(nl)
	NEN-EN 1991-1-1:2002	C1:2009	NB:2011(nl)

GEOMETRIE

ζ_1 ————— 1.TROGLIGGER (C45/55) ————— ζ_2

MATERIALEN

Mt	Omschrijving	E-modulus[N/mm ²]	S.G.	Pois.	Uitz. coëff
1	C45/55	17100	25.0	0.20	1.0000e-05

MATERIALEN vervolg

Mt	Omschrijving	Cement	Kruipfac.	Toeslag	Rho[kg/m ³]
1	C45/55	N	1.77	Normaal	2400

PROFIELEN [mm]

Prof.	Omschrijving	Materiaal	Oppervlak	Traagheid	Vormf.
1	TROGLIGGER	1:C45/55	1.5070e+07	1.7515e+13	0.00
2	TROGLIGGER	1:C45/55	1.3470e+07	1.3971e+13	0.00

PROFIELEN vervolg [mm]

Prof.	Staaftype	Breedte	Hoogte	e	Type	b1	h1	b2	h2
1	0:Normaal	8700	3500	1416.0					
2	0:Normaal	8700	3300	1324.1					

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Fictieve voorspanning Med=Mrd

KNOPEN

Knoop	X	Z
1	0.000	0.000
2	50.000	0.000

STAVEN

St.	ki	kj	Profiel	Aansl.i	Aansl.j	Lengte Opm.
1	1	2	1:TROGLIGGER	NDM	NDM	50.000

VASTE STEUNPUNTEN

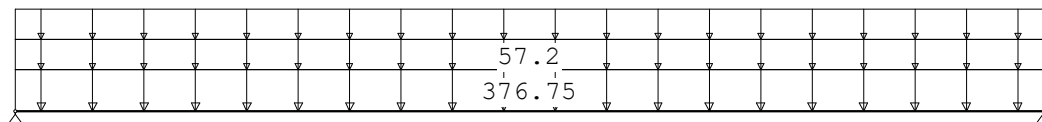
Nr.	knoop	Kode	XZR 1=vast 0=vrij	Hoek
1	1	110		0.00
2	2	010		0.00

BELASTINGGEVALLEN

B.G.	Omschrijving	Type
1	Permanente belasting EGZ=0.00	1
2	Voorspanning waarbij Med=M EGZ=0.00	1 Permanente belasting
3	BG 71 Max moment	6 Ver. belasting door voertuigen
4	SW/2 Max moment	6 Ver. belasting door voertuigen

BELASTINGEN

B.G:1 Permanente belasting

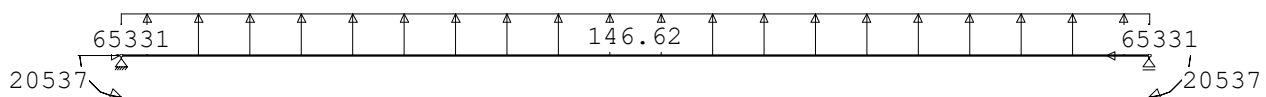
**STAAFBELASTINGEN**

B.G:1 Permanente belasting

Staaft	Type	q1/p/m	q2	A	B	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1	1:QZLokaal	-376.75	-376.75	0.000	0.000			
1	1:QZLokaal	-57.20	-57.20	0.000	0.000			
1	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			

BELASTINGEN

B.G:2 Voorspanning waarbij Med=Mrd

**KNOOPBELASTINGEN**

B.G:2 Voorspanning waarbij Med=Mrd

Last	Knoop	Richting	waarde	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1	1	X	65331.000			
2	2	X	-65331.000			
3	1	Z	-3666.000			
4	2	Z	-3666.000			
5	1	Rotatie Y	-20537.000			
6	2	Rotatie Y	20537.000			

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Fictieve voorspanning Med=Mrd

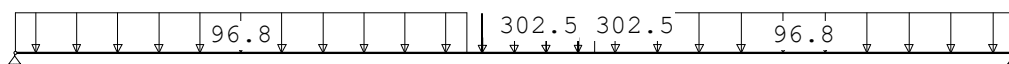
STAAFBELASTINGEN

B.G:2 Voorspanning waarbij Med=Mrd

Staaft Type	q1/p/m	q2	A	B	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1 1:QZLokaal	146.62	146.62	0.000	0.000			

BELASTINGEN

B.G:3 BG 71 Max moment

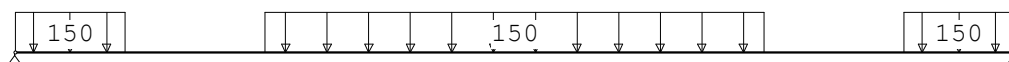
**STAAFBELASTINGEN**

B.G:3 BG 71 Max moment

Staaft Type	q1/p/m	q2	A	B	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1 8:PZLokaal	-302.50		23.400		0.80	0.80	0.00
1 8:PZLokaal	-302.50		25.000		0.80	0.80	0.00
1 8:PZLokaal	-302.50		26.600		0.80	0.80	0.00
1 8:PZLokaal	-302.50		28.200		0.80	0.80	0.00
1 1:QZLokaal	-96.80	-96.80	0.000	27.400	0.80	0.80	0.00
1 1:QZLokaal	-96.80	-96.80	29.000	0.000	0.80	0.80	0.00

BELASTINGEN

B.G:4 SW/2 Max moment

**STAAFBELASTINGEN**

B.G:4 SW/2 Max moment

Staaft Type	q1/p/m	q2	A	B	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1 1:QZLokaal	-150.00	-150.00	0.000	44.500	0.00	1.00	0.00
1 1:QZLokaal	-150.00	-150.00	12.500	12.500	0.00	1.00	0.00
1 1:QZLokaal	-150.00	-150.00	44.500	0.000	0.00	1.00	0.00

BEREKENINGSTATUS

Controlerende berekening

B.C. Iteratie Status

1	3 Nauwkeurigheid bereikt
2	3 Nauwkeurigheid bereikt
3	3 Nauwkeurigheid bereikt
4	3 Nauwkeurigheid bereikt
5	3 Nauwkeurigheid bereikt
6	3 Nauwkeurigheid bereikt
7	3 Nauwkeurigheid bereikt
8	3 Nauwkeurigheid bereikt
9	3 Nauwkeurigheid bereikt

BELASTINGCOMBINATIES

BC Type								
1 Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$	+	1.50	$\psi_0 Q_{k,3}$
2 Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$			
3 Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$	+	1.25	$\psi_0 Q_{k,4}$
4 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$	+	1.50	$Q_{k,3}$
5 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$			

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Fictieve voorspanning Med=Mrd

BELASTINGCOMBINATIES

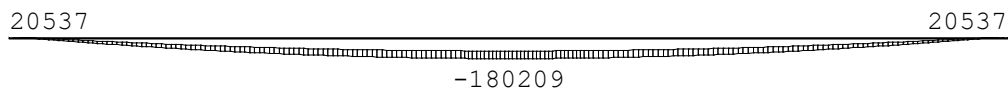
BC Type							
6 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$	+	1.25 $Q_{k,4}$
7 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$	+	1.00 $Q_{k,3}$
8 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$		
9 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$G_{k,2}$	+	1.00 $Q_{k,4}$

GUNSTIGE WERKING PERMANENTE BELASTINGEN

BC Staven met gunstige werking	
1	Alle staven de factor:1.40, 1.00
2	Alle staven de factor:1.40, 1.00
3	Alle staven de factor:1.40, 1.00
4	Alle staven de factor:1.25, 1.00
5	Alle staven de factor:1.25, 1.00
6	Alle staven de factor:1.25, 1.00

OMHULLENDE VAN DE FUNDAMENTELE COMBINATIES

MOMENTEN	2e orde	Fundamentele combinatie
-----------------	---------	-------------------------



3. Uitvoer Technosoft

3.3. TS-uitvoer- trogvloer

Project.....: 1 - Zuidoostboog
 Onderdeel....: Vloer trogbrug
 Constructeur.: N. Wieseemann
 Opdrachtgever: North Sea Port
 Dimensies....: kN;m;rad (tenzij anders aangegeven)
 Datum.....: 26/04/2022
 Bestand.....: C:\Users\NLNIGW\OneDrive - Sweco AB\5)
 Onderzoek\Onderzoeksrapport\Trogbrug\Raamwerkmodel
 trogvloer veer.rww

Rekenmodel.....: 2e-orde-elastisch.
 Theorieën voor de bepaling van de krachtsverdeling:
 1) Uiterste grenstoestand:
 Geometrisch niet lineair alle staven.
 Fysisch lineair alle staven.
 2) Gebruiksgrenstoestand:
 Geometrisch niet lineair alle staven.
 Fysisch lineair alle staven.

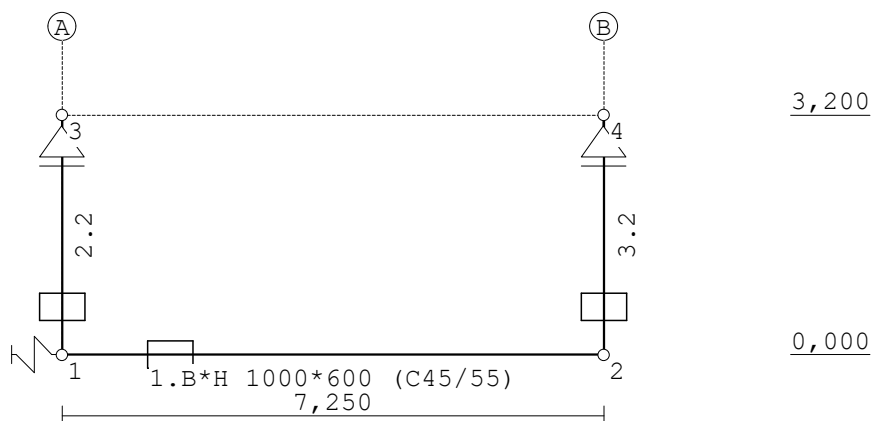
Maximum aantal iteraties.....: 50
 Max.deellengte kolommen/wanden: 0.500 Max.deellengte balken/vloeren: 0.500
 Max. X-verplaatsing in UGT.....: 0.500 Max. Z-verplaatsing in UGT....: 0.250

Gunstige werking van de permanente belasting wordt automatisch verwerkt.

Toegepaste normen volgens Eurocode met Nederlandse NB

Belastingen	NEN-EN 1990:2002	C2:2010,A1:2019	NB:2019(nl)
	NEN-EN 1991-1-1:2002	C1/C11:2019	NB:2019(nl)

GEOMETRIE



STRAMIENLIJNEN

Nr.	Naam	X	Z-min	Z-max
1	A	0.000	0.000	3.200
2	B	7.250	0.000	3.200

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Vloer trogbrug

NIVEAUS

Nr.	Z	X-min	X-max
1	0.000	0.000	7.250
2	3.200	0.000	7.250

MATERIALEN

Mt	Kwaliteit	E-modulus[N/mm2]	S.G.	Pois.	Uitz. coëff
1	C45/55	17100	25.0	0.20	1.0000e-05

MATERIALEN vervolg

Mt	Kwaliteit	Cement	Kruipfac.	Toeslag	Rho[kg/m3]
1	C45/55	N	1.77	Normaal	2400

PROFIELEN [mm]

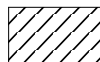
Prof.	Omschrijving	Materiaal	Oppervlak	Traagheid	Vormf.
1	B*H 1000*600	1:C45/55	6.0000e+05	1.8000e+10	0.00
2	B*H 1000*1650	1:C45/55	1.6500e+06	3.7434e+11	0.00

PROFIELEN vervolg [mm]

Prof.	Staaftype	Breedte	Hoogte	e	Type	b1	h1	b2	h2
1	0:Normaal	1000	600	300.0	0:RH				
2	0:Normaal	1000	1650	825.0	0:RH				

PROFIELVORMEN [mm]

1 B*H 1000*600



2 B*H 1000*1650

**KNOPEN**

Knoop	X	Z
1	0.000	0.000
2	7.250	0.000
3	0.000	3.200
4	7.250	3.200

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Vloer trogbrug

STAVEN

St.	ki	kj	Profiel	Aansl.i	Aansl.j	Lengte Opm.
1	1	2	1:B*H 1000*600	NDM	NDM	7.250
2	1	3	2:B*H 1000*1650	NDM	NDM	3.200
3	2	4	2:B*H 1000*1650	NDM	NDM	3.200

VASTE STEUNPUNTEN

Nr.	knoop	Kode	XZR 1=vast 0=vrij	Hoek
1	3	010		0.00
2	4	010		0.00

VEREN

Veer	Knoop	Richting	Hoek	Veerwaarde	Type	Ondergrens	Bovengrens
1	1	1:X-transl.	0.00	1.087e+06	Normaal	-1.000e+10	1.000e+10

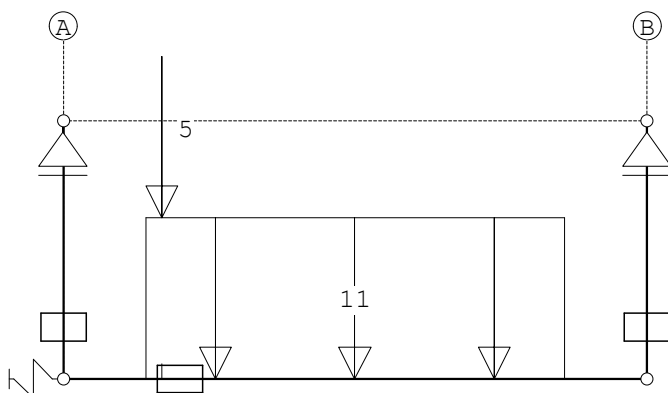
BELASTINGGEVALLEN

B.G.	Omschrijving	Type
1	Permanente belasting	EGZ=-1.00
2	BG 71	6 Ver. belasting door voertuigen
3	SW/2	6 Ver. belasting door voertuigen
4	Belasting passeerpad	2 Ver. bel. pers. ed. (q _k)
5	Zijdelingse stoot	2 Ver. bel. pers. ed. (q _k)
6	Wind	8 Wind van links overdruk A
7	SW/2 belastinggroep M0=0,8	6 Ver. belasting door voertuigen

BELASTINGEN

B.G:1 Permanente belasting

Eigen gewicht van alle staven is meegenomen in berekening. Richting:↓



Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Vloer trogbrug

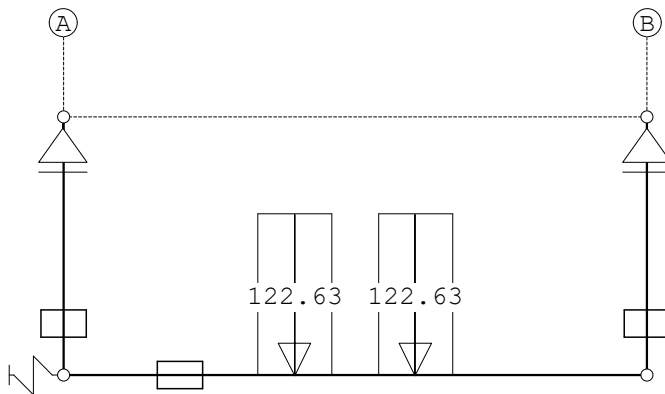
STAAFBELASTINGEN

B.G:1 Permanente belasting

Staaft Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1 1:QZLokaal	-11.00	-11.00	1.025	1.025			
1 8:PZLokaal	-5.00		1.225				

BELASTINGEN

B.G:2 BG 71

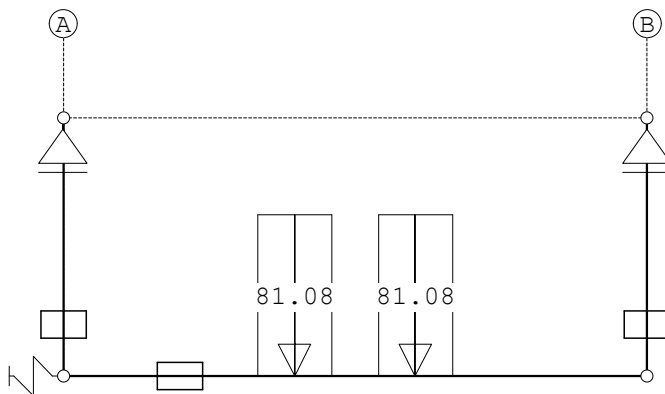
**STAAFBELASTINGEN**

B.G:2 BG 71

Staaft Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1 1:QZLokaal	-122.63	-122.63	2.412	3.912	0.80	0.80	0.00
1 1:QZLokaal	-122.63	-122.63	3.912	2.412	0.80	0.80	0.00

BELASTINGEN

B.G:3 SW/2



Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Vloer trogbrug

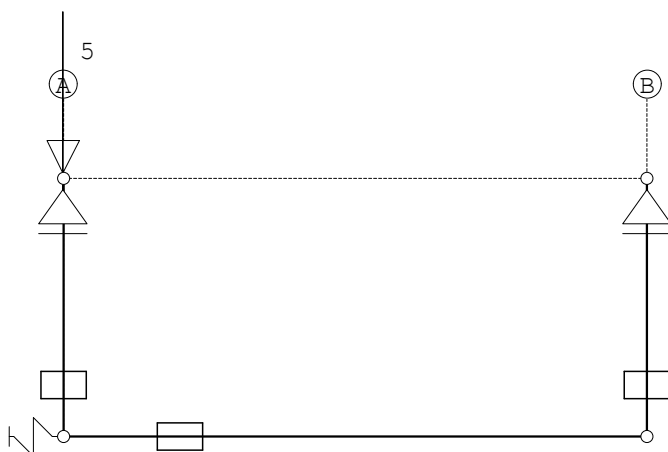
STAAFBELASTINGEN

B.G:3 SW/2

Staaf Type	q1/p/m	q2	A	B	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1 1:QZLokaal	-81.08	-81.08	2.412	3.912	0.00	1.00	0.00
1 1:QZLokaal	-81.08	-81.08	3.912	2.412	0.00	1.00	0.00

BELASTINGEN

B.G:4 Belasting passeerpad

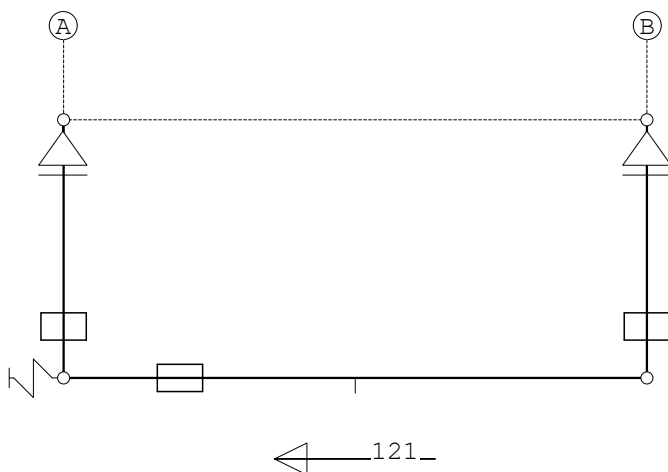
**KNOOPBELASTINGEN**

B.G:4 Belasting passeerpad

Last	Knoop	Richting	waarde	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1	3	z	-5.000	0.80	0.50	0.00

BELASTINGEN

B.G:5 Zijdelingse stoot



Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Vloer trogbrug

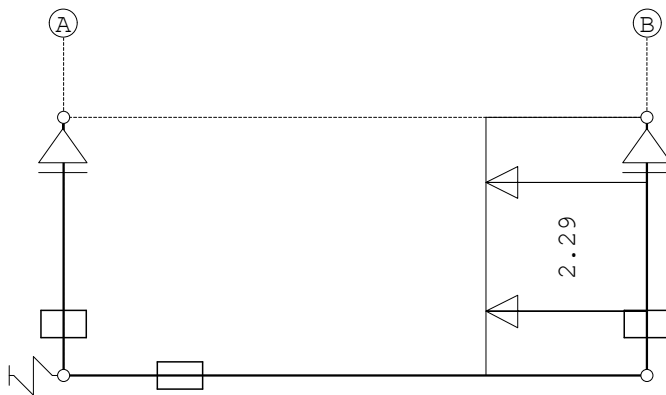
STAAFBELASTINGEN

B.G:5 Zijdelingse stoot

Staad Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1 9:PXLokaal	-121.00		3.625		0.80	0.80	0.00

BELASTINGEN

B.G:6 Wind

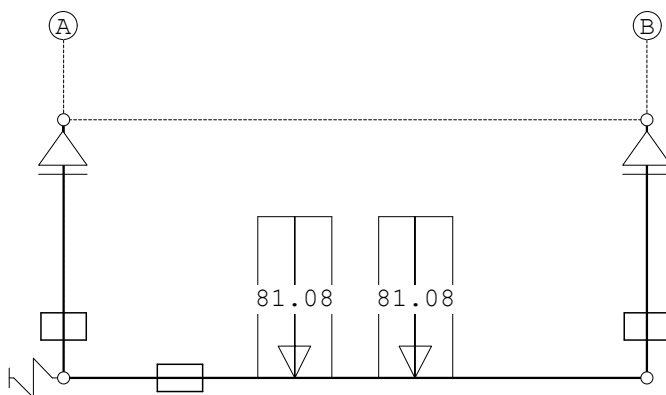
**STAAFBELASTINGEN**

B.G:6 Wind

Staad Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
3 1:QZLokaal	2.29	2.29	0.000	0.000	1.00	0.00	0.00

BELASTINGEN

B.G:7 SW/2 belastinggroep M0=0,8

**STAAFBELASTINGEN**

B.G:7 SW/2 belastinggroep M0=0,8

Staad Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1 1:QZLokaal	-81.08	-81.08	2.412	3.912	0.80	0.80	0.00
1 1:QZLokaal	-81.08	-81.08	3.912	2.412	0.80	0.80	0.00

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Vloer trogbrug

BEREKENINGSTATUS

Controlerende berekening

B.C. Iteratie Status

1	3 Nauwkeurigheid bereikt
2	4 Nauwkeurigheid bereikt
3	3 Nauwkeurigheid bereikt
4	3 Nauwkeurigheid bereikt
5	3 Nauwkeurigheid bereikt
6	3 Nauwkeurigheid bereikt
7	3 Nauwkeurigheid bereikt
8	3 Nauwkeurigheid bereikt
9	3 Nauwkeurigheid bereikt
10	3 Nauwkeurigheid bereikt
11	3 Nauwkeurigheid bereikt
12	3 Nauwkeurigheid bereikt
13	3 Nauwkeurigheid bereikt
14	3 Nauwkeurigheid bereikt

BELASTINGCOMBINATIES

BC Type											
1 Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.50	$\psi_0 Q_{k,2}$	+	1.65	$\psi_0 Q_{k,4}$	+	1.50	$\psi_0 Q_{k,5}$
				+	1.65	$\psi_0 Q_{k,6}$					
2 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.50	$Q_{k,2}$	+	1.65	$\psi_0 Q_{k,4}$	+	1.50	$\psi_0 Q_{k,5}$
				+	1.65	$\psi_0 Q_{k,6}$					
3 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.50	$\psi_0 Q_{k,2}$	+	1.65	$\psi_0 Q_{k,4}$	+	1.50	$Q_{k,5}$
				+	1.65	$\psi_0 Q_{k,6}$					
4 Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.25	$\psi_0 Q_{k,3}$	+	1.65	$\psi_0 Q_{k,4}$	+	1.25	$\psi_0 Q_{k,5}$
5 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.25	$Q_{k,3}$	+	1.65	$\psi_0 Q_{k,4}$	+	1.25	$\psi_0 Q_{k,5}$
6 Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.65	$\psi_0 Q_{k,4}$	+	1.25	$\psi_0 Q_{k,5}$	+	1.25	$\psi_0 Q_{k,7}$
7 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$Q_{k,2}$						
8 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$Q_{k,3}$						
9 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$Q_{k,2}$	+	1.00	$\psi_0 Q_{k,4}$	+	1.00	$\psi_0 Q_{k,5}$
				+	1.00	$\psi_0 Q_{k,6}$					
10 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$\psi_0 Q_{k,2}$	+	1.00	$\psi_0 Q_{k,4}$	+	1.00	$Q_{k,5}$
				+	1.00	$\psi_0 Q_{k,6}$					
11 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$Q_{k,3}$	+	1.00	$\psi_0 Q_{k,4}$	+	1.00	$\psi_0 Q_{k,5}$
12 Freq.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$\psi_1 Q_{k,2}$	+	1.00	$\psi_2 Q_{k,4}$	+	1.00	$\psi_2 Q_{k,5}$
				+	1.00	$\psi_2 Q_{k,6}$					
13 Freq.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$\psi_2 Q_{k,4}$	+	1.00	$\psi_2 Q_{k,5}$	+	1.00	$\psi_2 Q_{k,6}$
				+	1.00	$\psi_1 Q_{k,7}$					
14 Freq.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$\psi_2 Q_{k,2}$	+	1.00	$\psi_2 Q_{k,4}$	+	1.00	$\psi_1 Q_{k,5}$
				+	1.00	$\psi_2 Q_{k,6}$					

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Vloer trogbrug

GUNSTIGE WERKING PERMANENTE BELASTINGEN

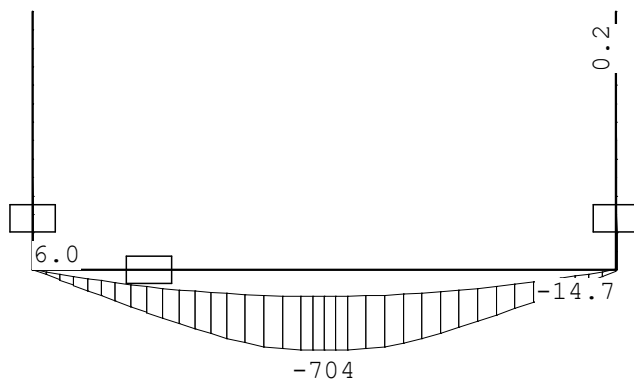
BC Staven met gunstige werking

- 1 Geen
- 2 Geen
- 3 Geen
- 4 Geen
- 5 Geen
- 6 Geen

OMHULLENDE VAN DE FUNDAMENTELE COMBINATIES**MOMENTEN**

2e orde

Fundamentele combinatie



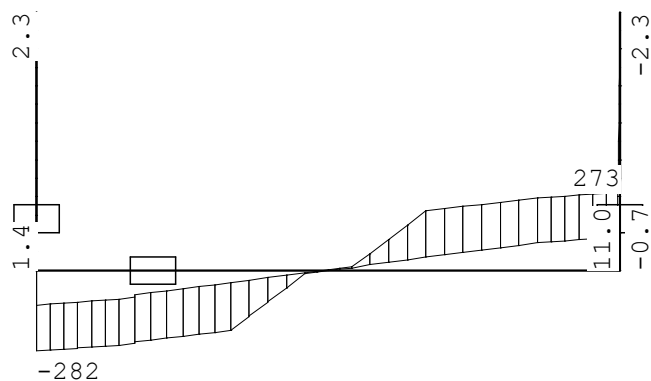
Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Vloer trogbrug

DWARSKRACHTEN

2e orde

Fundamentele combinatie

**NORMAALKRACHTEN**

2e orde

Fundamentele combinatie



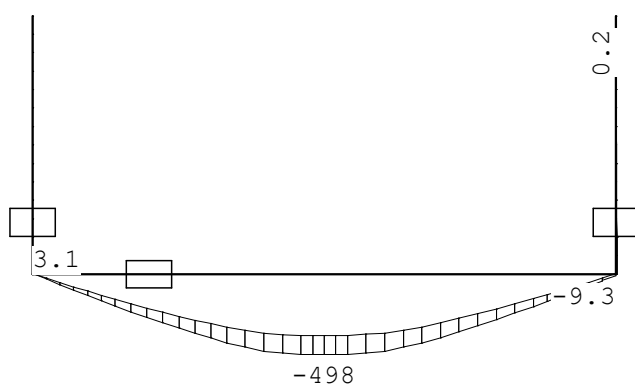
Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Vloer trogbrug

OMHULLENDE VAN DE KARAKTERISTIEKE COMBINATIES**MOMENTEN**

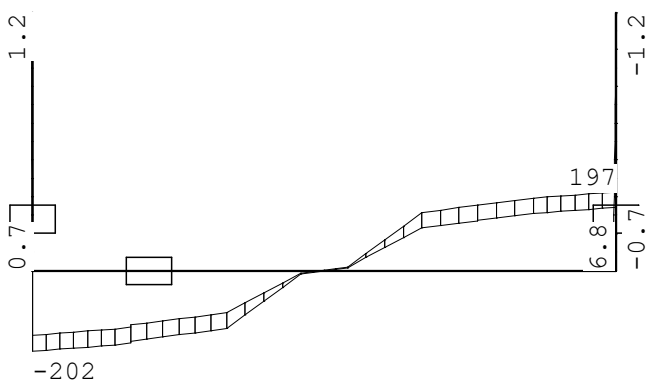
2e orde

Karakteristieke combinatie

**DWARSKRACHTEN**

2e orde

Karakteristieke combinatie



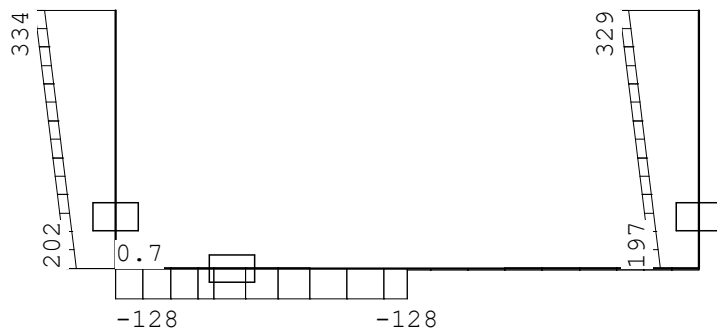
Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Vloer trogbrug

NORMAALKRACHTEN

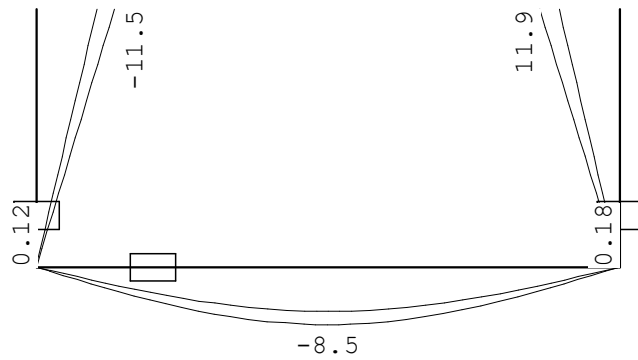
2e orde

Karakteristieke combinatie

**VERPLAATSINGEN**

2e orde [mm]

Karakteristieke combinatie



Project.....: 1 - Zuidoostboog

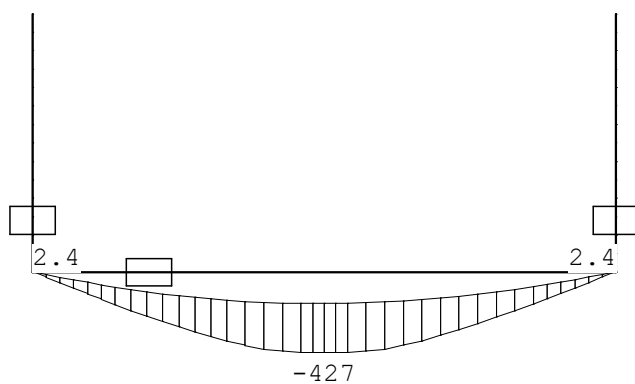
Onderdeel.....: Vloer trogbrug

OMHULLENDE VAN DE FREQUENTE COMBINATIES

MOMENTEN

2e orde

Frequente combinatie



4. Toetsing troglijzer

4.1 Vervorming

$$\text{Eis: } U_{\max} < 1/1000 L$$

$$\Rightarrow U_{\max} < 62,5 \text{ mm}$$

$$L = 50000 \text{ mm}$$

$$U = 57 \text{ mm} \quad [\text{TS-trogbrug-blad 7}]$$

$$57 < 62,5$$

$$0,91 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

4.2 Betonspanning BGT

Voorwaarde overal druk in de troglijzer in de BGT.

Grootste kans op trek onderin de ligger bij veldmoment.

$$M_v = 72790 \text{ kNm}$$

$$N_p = 106229 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{onder}} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_o}$$

$$\sigma_{\text{onder}} = \frac{-106229 \cdot 10^3}{15,07 \cdot 10^6} + \frac{72790 \cdot 10^6}{12,37 \cdot 10^9} = -1,16 \text{ N/mm}^2 (\text{druk})$$

Onderin t.p.v. veldmoment in de BGT druk aanwezig

$\Rightarrow$ Akkoord

4.2 Betonspanning UGT

Eis beperking betonspanning $\sigma_c \leq 0,6 f_{ck}$

$f_{ck} C45/55 \rightarrow 45 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_c \leq 0,6 \cdot 45 = 27 \text{ N/mm}^2$ druk

Hoogste drukbrecht treedt op in het veld midden bij maximale belasting.

$$M_{\text{red}} = 141154 \text{ kNm}$$

$$N_{p'} = -106229 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{boven}} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W_b}$$

$$\sigma_{\text{boven}} = \frac{-106229 \cdot 10^3}{15,07 \cdot 10^6} - \frac{141154 \cdot 10^6}{8,404 \cdot 10^9} = -23,84 \text{ N/mm}^2 \text{ (druk)}$$

$$23,84 < 27$$

$$0,88 < 1,00 \rightarrow \text{Akkoord}$$

Controle trek/druk t.p.v. steunpuntsmoment

Controle of onder invloed van het steunpuntsmoment trek & druk optreedt. In geval van trek kan extra wapening nodig zijn.

$$M_{p,w} = 33394 \text{ kNm} \rightarrow \text{Werkvoorspanning}$$

$$N_p = 106229 \text{ kN}$$

$$M_{p,a} = 42299 \text{ kNm} \rightarrow \text{Aanvangsvoorspanning}$$

$$N_p = 134557 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{boven}} = \frac{N}{A} - \frac{M}{W_b}$$

$$\sigma_{b,w} = \frac{106229 \cdot 10^3}{15,07 \cdot 10^6} - \frac{33394 \cdot 10^6}{8,404 \cdot 10^9} = -3,00 \text{ N/mm}^2 \text{ druk}$$

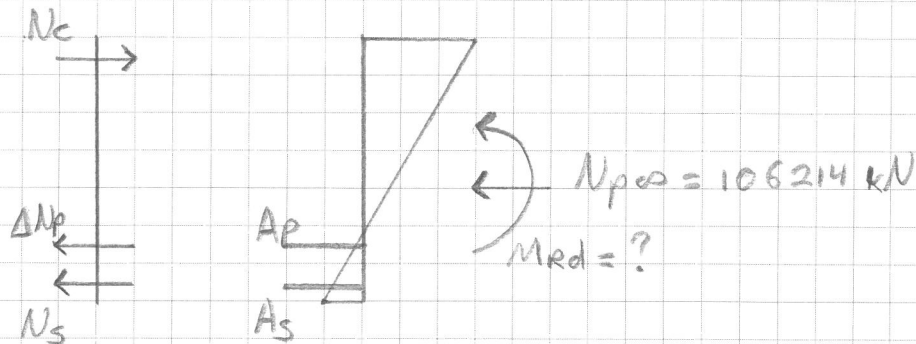
$$\sigma_{b,a} = \frac{134557 \cdot 10^3}{15,07 \cdot 10^6} - \frac{42299 \cdot 10^6}{8,404 \cdot 10^9} = -3,90 \text{ N/mm}^2 \text{ druk}$$

In beide gevallen is druk aanwezig, geen trekwapening nodig.

4.3 Moment weerstand doorsnede (UGT)

Eis: $M_{Rd} \geq M_{ed}$

$M_{ed} = 141154 \text{ kNm}$ [IS-Trogbuis - blad 5]



$$\Delta N_p = A_p \cdot \Delta \sigma_p$$

Uitgesgaan dat 95% van de spanning bereikt wordt

$$A_p = (18 \cdot 4050) + (10 \cdot 2050) = 101400 \text{ mm}^2$$

$$\Delta \sigma_p = 0,95 f_{pk} / \gamma_s - \sigma_{pmed} = 0,95 \cdot \frac{1060}{1,1} - 1050 = 556 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta N_p = 101400 \cdot 556 = 56378 \text{ kN}$$

$$N_s = A_s \cdot f_{yd} \quad \text{langswaapening } \phi 16-100 \rightarrow 2011 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s = 2011 \cdot 8,8 = 17697 \text{ mm}^2$$

$$N_s = 17697 \cdot 435 = 7698 \text{ kN}$$

Horizontaal evenwicht dus:

$$N_c = N_{p0} + \Delta N_p + N_s$$

$$N_c = 106214 + 56378 + 7698 = 170290 \text{ kN}$$

Hoogste beton drukzone als deze binnen hoofdliggers blijft:

$$x_n = \frac{N_c}{\alpha \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{170290 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 3300 \cdot 30} = 2293 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,75 \text{ voor } C45/50$$

$$b = 2 \times \text{troglijser} = 2 \cdot 1650 = 3300 \text{ mm}$$

$$f_{cd} \text{ C45/50} = 30 \text{ N/mm}^2$$

De toename van de rek in het voorspanstaal:

$$\Delta \epsilon_p = 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{d_p - x_u}{x_u} \right)$$

d_p bepaald dmv. een fictieus voorspankabel:

$$d_p = \frac{(3 \cdot 4050 \cdot 2833) + (3 \cdot 4050 \cdot 3090) + (3 \cdot 4050 \cdot 3327) + (5 \cdot 2850 \cdot 3200)}{9 \cdot 4050 + (5 \cdot 2850)}$$

$$= 3121 \text{ mm}$$

$$\Delta \epsilon_p = 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{3121 - 2293}{2293} \right) = 1,3 \cdot 10^{-3}$$

Rek in voorspanstaal bij werkvoorspanning:

$$\epsilon_{p, \text{moo}} = \frac{\sigma_{p, \text{moo}}}{E_p} = \frac{1050}{195 \cdot 10^3} = 5,4 \cdot 10^{-3}$$

Totale rek:

$$\epsilon_p = \Delta \epsilon_p + \epsilon_{p, \text{moo}} = 1,3 \cdot 10^{-3} + 5,4 \cdot 10^{-3} = 6,7 \cdot 10^{-3}$$

Aan de hand van de spanning-rek-relatie kan de optredende spanning berekend worden.

$$\sigma_p = \frac{E_p \cdot \epsilon_{p, \text{ik}}}{\gamma_s} + \left(\frac{\epsilon_p - \frac{F_{p, \text{ik}}}{\gamma_s \cdot E_p}}{\frac{35 \cdot 10^{-3} - \frac{F_{p, \text{ik}}}{\gamma_s \cdot E_p}}{1,1 \cdot 195 \cdot 10^3}} \right) \cdot \left(\frac{F_{pk}}{\gamma_s} - \frac{F_{p, \text{ik}}}{\gamma_s} \right)$$

$$\sigma_p = \frac{0,9 \cdot 1860}{1,1} \cdot \left(\frac{+6,7 \cdot 10^{-3} - \frac{0,9 \cdot 1860}{1,1 \cdot 195 \cdot 10^3}}{\frac{35 \cdot 10^{-3} - \frac{0,9 \cdot 1860}{1,1 \cdot 195 \cdot 10^3}}{1,1 \cdot 195 \cdot 10^3}} \right) \cdot \left(\frac{1860}{1,1} - \frac{0,9 \cdot 1860}{1,1} \right) = 1522 - 0,44 \cdot 169 = 1515 \text{ N/mm}^2$$

Een spanning van 1606 N/mm^2 was aangenomen ($0,95 F_{pk} / \gamma_s$) de werkelijke spanning zal lager liggen de berekening wordt opnieuw uitgevoerd met een spanning van 1515 N/mm^2 .

$$\Delta N_p = 101400 \cdot (1515 - 1050) = 47151 \text{ kN}$$

$$N_c = 106214 + 47151 + 7690 = 161063 \text{ kN}$$

$$x_u = \frac{161063 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 3300 \cdot 30} = 2169 \text{ mm}$$

Toename rek in voorspanstaal:

$$\Delta \epsilon_p = 3,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{3121 - 2169}{2169} \right) = 1,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\epsilon_p = 5,4 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-3} = 6,9 \cdot 10^{-3}$$

Spanning in voorspanstaal:

$$\sigma_p = \frac{0,9 \cdot 10^6}{1,1} + \left(\frac{6,9 \cdot 10^{-3} - \frac{0,9 \cdot 10^6}{1,1 \cdot 195 \cdot 10^3}}{35 \cdot 10^{-3} - \frac{0,9 \cdot 10^6}{1,1 \cdot 195 \cdot 10^3}} \right) \cdot \left(\frac{10^6}{1,1} - \frac{0,9 \cdot 10^6}{1,1} \right)$$

$$= 1522 + -0,3 \cdot 169 = 1516 \text{ mm}^2$$

Verschil aanname en berekende waarde $1515 - 1516 = 1 \text{ N/mm}^2$
Benadering akkoord.

$$M_{Rd} = (P_{m\infty} + N_{ed}) \cdot (z_b - y) + \sum N_s \cdot (d_s - y) + \sum \Delta N_p \cdot (d_p - y)$$

$$P_{m\infty} = 106229 \text{ kN}$$

$$z_b = 2,084 \text{ m}$$

$$N_{ed} = 0 \text{ kN}$$

$$y = 7/18 X_u = 7/18 \cdot 2169 = 0,844 \text{ m}$$

$$N_s = 7698 \text{ kN}$$

$$d_p = 3,121 \text{ m}$$

$$\Delta N_p = 47151 \text{ kN}$$

$$d_s = h - c - b_{gl} - 1/2 \phi = 3500 - 50 - 20 - 1/2 \cdot 16 = 3422 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = (106229 + 0) \cdot (3,084 - 0,844) + 7698 \cdot (3,422 - 0,844) + 47151 \cdot (3,121 - 0,844)$$
$$= 258932 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{ed}$$

$$258932 \geq 141154$$

$$1,83 \geq 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

4.4 Controle maximum wapeningsdoorsnede

Om plotseling bezwijken van de constructie te voorkomen geldt de volgende eis:

$$\frac{x_u}{d} \leq \frac{500}{500 + f}$$

$$d = \frac{A_p \cdot d_p + A_s \cdot d_s}{A_p + A_s} = \frac{101400 \cdot 3121 + 17697 \cdot 3422}{101400 + 17697} = 3166 \text{ mm}$$

$$f = \frac{\left(\frac{f_{pk}}{\gamma_s} - \sigma_{pm0}\right) \cdot A_p + f_{yd} \cdot A_s}{A_p + A_s} = \frac{\left(\frac{1860}{1,1} - 1050\right) \cdot 101400 + 435 \cdot 17697}{101400 + 17697}$$

$$= 610 \text{ N/mm}^2$$

$$x_u = 2169 \text{ mm}$$

$$\frac{x_u}{d} \leq \frac{500}{500 + f}$$

$$\frac{2169}{3166} \leq \frac{500}{500 + 610}$$

0,685 ≤ 0,45 ⇒ Voldoet niet, echter conservatieve aanname gemaakt. Volgens de NEN-EN 1992-1-1 NB mag voor x_u de drukzone voor het deel van de wapening dat nodig is voor het opnemen van de voorgeschreven belasting worden aangehouden dus waar: $M_{Rd} = M_{ed}$

A_p wordt gereduceerd tot $M_{Rd} \approx M_{ed}$ uit een iteratief proces volgt dat bij 0,615 A_p M_{Rd} nagenoeg gelijk is aan M_{ed} .

$$A_p = 0,615 \cdot 101400 = 62361 \text{ mm}^2$$

A_s = verwaarloosd aangezien de voorspanning in staat is het moment op te nemen. En A_s zal het eerst vloeien.

$$P_{m0} = 62361 \cdot 1050 = 65479 \text{ kN}$$

$$\Delta N_p = 62361 \cdot (1515 - 1050) = 28999 \text{ kN}$$

$$N_c = 65479 + 28999 = 94477 \text{ kN}$$

$$X_u = \frac{N_c}{\alpha \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{94477 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 3300 \cdot 30} = 1272 \text{ mm}$$

$$y = \eta \cdot X_u = \eta \cdot 1272 = 495 \text{ mm}$$

$$Z_b = 2084 \text{ mm}$$

$$d = d_p = 3121 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = (P_{med} + N_{ed}) \cdot (Z_b - y) + \Delta N_p \cdot (d_p - y)$$

$$M_{Rd} = (65479 + 0) \cdot (2084 - 0,495) + 20999 \cdot (3121 - 0,495) = 180198 \text{ kNm}$$

$$M_{ed} = 180209 \text{ kNm} \quad [\text{TS-fictieve voorspanning - blad 4}]$$

$$M_{Rd} \approx M_{ed}$$

$$180198 \approx 180209$$

Kontrolle maximum wapening:

$$\frac{X_u}{d} \leq \frac{500}{500 + f}$$

$$X_u = 1272 \text{ mm}$$

$$d = d_p = 3121$$

$$f = \frac{1860}{1,1} - 1050 = 641 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{1272}{3121} \leq \frac{500}{500 + 641}$$

$$0,41 \leq 0,44 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Toetsing troguloer

4.5 Vervorming BGT

$$\text{Eis: } U_{\max} \leq 1/100 L \Rightarrow U_{\max} = 9,1 \text{ mm}$$

$$L = 7250 \text{ mm}$$

$$U = 0,5 \text{ mm} \quad [\text{IS-troguloer-blad II}]$$

$$0,5 < 9,1$$

$$0,93 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

4.6 Controle moment dwarsrichting - troguloer

$$M_{ed} = 704 \text{ kNm} \quad [\text{IS-troguloer-blad d}]$$

Bepalen benodigde wapening t.b.v. opnemend moment

$$\frac{M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad d = h - c - b_{gl} - \text{langswap.} - 1/2 \cdot \text{dwarswap.}$$

$$d = 600 - 50 - 20 - 16 - 1/2 \cdot 25 = 502 \text{ mm}$$

$$\frac{704}{1,0 \cdot 0,502^2 \cdot 30} = 93$$

Aflezen en interpoleren GTB-tabellen tot C50/60

$$100 Kp = 9,687 + \frac{93-92}{94-92} \cdot 9,909 - 9,687 = 9,798$$

$$100 k_p = 9,798$$

$$\rho = 9,798 / 100 k \quad k = f_{yd} / f_{cd} = 435 / 30 = 14,5$$

$$\rho = 0,0067 = 0,676\%$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,676\% \cdot 1000 \cdot 502 = 3394 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s \text{ benodigd} = 3394 \text{ mm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{gekozen wapening}$$

$$A_{stoeqast} = 1571 + 2454 = 4025 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \emptyset 20-200 + \emptyset 25-200$$

$$A_{stoe} > A_{sben}$$

$$4025 > 3394 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Controle min-max wapening

Voor C45/55 geldt:

$$p_{\max} = 2,77 \quad \text{en} \quad p_{\min} = 0,19$$

$$p = \frac{A_{stae}}{b \cdot d} = \frac{4025}{1000 \cdot 502} = 0,80$$

$$p_{\min} < p < p_{\max}$$

$$0,19 < 0,80 < 2,77 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

4.7 Dwarskracht controle trogulaer

Er geldt $V_{ed} \leq V_{Rd,c} \rightarrow$ Geen dwarskracht wapening benodigd.

$$V_{ed} = \frac{V_{ed}}{b \cdot d} = \frac{282 \cdot 10^3}{1000 \cdot 502} = 0,56 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{ed} = 282 \text{ kN} \quad [\text{I5-Trogulaer} - \text{blad 8}]$$

$$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} \cdot K \cdot (100 \rho_i \cdot f_{ck})^{1/3} + K_1 \cdot \sigma_{cp})$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$K = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{502}} = 1,63$$

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b \cdot d} \leq 0,02 = 0,008 \geq 0,02$$

$$f_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2 \quad K_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0 \quad \text{want} \quad N_{ed} = 0 \text{ kN} \rightarrow \text{Ongunstig}$$

$$V_{Rd,c} = (0,12 \cdot 1,63 \cdot (100 \cdot 0,008 \cdot 45)^{1/3} + 0,15 \cdot 0) =$$
$$0,12 \cdot 1,63 \cdot 3,3 + 0,15 \cdot 0 = 0,65 \text{ N/mm}^2$$

Eis geen wapening:

$$V_{ed} \leq V_{Rd,c}$$

$$0,56 \leq 0,65$$

$$0,56 \leq 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord} \quad \text{geen dwarskracht wapening benodigd}$$

Bijlage 2 Bronnen



DYWIDAG Bonded Post-Tensioning Systems Using Strands



Standard Strands

Strands are made from 7 individual cold-drawn wires, 6 helically wound outer wires and one center wire (king wire). The mechanical properties of the strand as well as corrosion protection properties are most important to DYWIDAG. For a maximum in corrosion protection we offer electrically isolated systems using polyethylene (PE) or polypropylene (PP) ducts. See also page 8.

Strands are usually packaged in so-called coils that can weigh up to 3.5 tons.



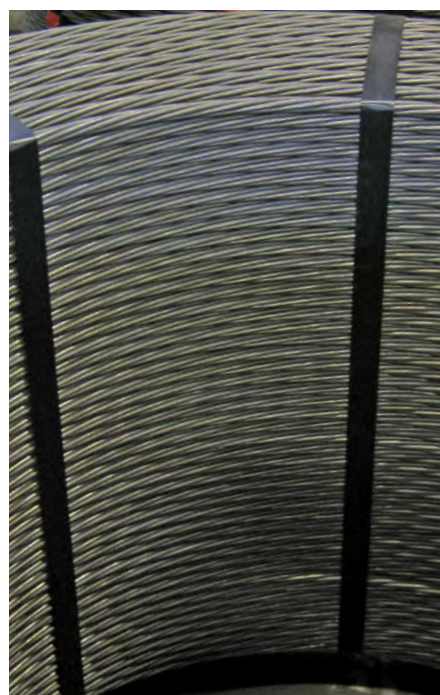
Technical Data

Type		12.9 mm (0.5")		15.3 mm (0.6")		15.7 mm (0.62")	
Code		ASTM A 416	prEN 10138	ASTM A 416	prEN 10138	prEN 10138	prEN 10138
Specification		Grade 270	BS 5896	Grade 270		BS 5896	
Yield Strength $f_{p0.1k}$	[N/mm ²]	1,670 ¹⁾	1,640 ²⁾	1,670 ¹⁾	1,636 ²⁾	1,560 ²⁾	1,640 ²⁾
Ultimate Strength f_{pk}	[N/mm ²]	1,860	1,860	1,860	1,860	1,770	1,860
Nominal Diameter	[mm]	12.70	12.90	15.24	15.3	15.70	15.70
Cross-Sectional Area	[mm ²]	98.71	100.00	140.00	140.00	150.00	150.00
Weight	[kg/m]	0.775	0.785	1.102	1.093	1.180	1.172
Ultimate Load	[kN]	183.7	186.0	260.7	260.0	265.5	279.0
Modulus of Elasticity	[N/mm ²]	~195,000					
Relaxation ³⁾ after 1,000 h at 0.7 x Ultimate Strength f_{pk}	[%]	max. 2.5					

1) yield measured at 1% effective elongation

2) yield measured at 0.1% residual elongation

3) applicable for relaxation class 2 according to Eurocode prEN 10138/BS 5896: or low relaxation complying with ASTM A 416, respectively.



Corrugated Duct

Metal ducts represent the most economical means to create a void for tensile elements. These thin-walled (0.25 - 0.60mm), ribbed sheet metal ducts provide a fair secondary corrosion

protection with excellent bond behavior between tendon and concrete. Primary corrosion protection is provided by the alkalinity of grout and concrete.

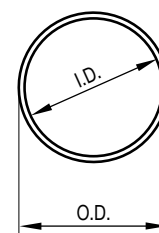


Dimensions of Corrugated Duct (Standard Sizes)

Tendon Type		Sheathing	
0.5"	0.6"/0.62"	I.D. [mm]	O.D. [mm]
5901	6801	25	30
5902	6802	40	45
5904	6803	45	50
5905	6804	50	55
5907	6805	55	60
5909	6807	60	65
5912	6809	70	75
5915	6812	80	85
5920	6815	85	90
5927	6819	95	100
5932	6822	100	105
5937	6827	110	117
–	6831	120	127
–	6837	130	137
–	6843	140	147
–	6849	150	157
–	6855	160	167

The tendon type number (e.g. 5901, 6801) is composed as follows: the first digit (5 or 6) identifies the nominal strand diameter in tenth of inches, i.e. 0.5" or 0.6"/0.62", the last two digits (...01) reference the number of used strands (= 1 strand). The second digit is an internal code. As regards the 0.6" tendon types, the accessories fit both Grade 250 (GUTS 1770 N/mm²) and Grade 270 (GUTS 1860 N/mm²) strands.

Tendon Type		Support Distances up to ¹⁾	Wobble Coefficient ²⁾	Friction Coefficient ²⁾
0.5"	0.6"/0.62"			
		[mm]	[rad/m]	[rad ⁻¹]
5901	6801	1.0	5 x 10 ⁻³	0.19
5902	6802	1.0	5 x 10 ⁻³	0.19
5904	6803	1.0	5 x 10 ⁻³	0.19
5905	6804	1.0	5 x 10 ⁻³	0.19
5907	6805	1.0	5 x 10 ⁻³	0.19
5909	6807	1.5	5 x 10 ⁻³	0.19
5912	6809	1.5	5 x 10 ⁻³	0.19
5915	6812	1.5	5 x 10 ⁻³	0.19
5920	6815	1.8	5 x 10 ⁻³	0.19
5927	6819	1.8	5 x 10 ⁻³	0.19
5932	6822	1.8	5 x 10 ⁻³	0.19
5937	6827	1.8	5 x 10 ⁻³	0.19
–	6831	1.8	5 x 10 ⁻³	0.19
–	6837	1.8	5 x 10 ⁻³	0.19
–	6843	1.8	5 x 10 ⁻³	0.19
–	6849	1.8	5 x 10 ⁻³	0.19
–	6855	1.8	5 x 10 ⁻³	0.19



1) 1.0-1.8m with stiffening, e.g. with PE tube; 0.8-1.5 m with strengthened duct
In tendon section with minimum radius of curvature a distance of 0.6-1.2m shall apply.
2) values for calculation of friction losses with equation according to DIN EN 1992-1-1 (Eurocode 2). If friction losses are calculated according to BS or AASHTO different wobble coefficients shall be used.

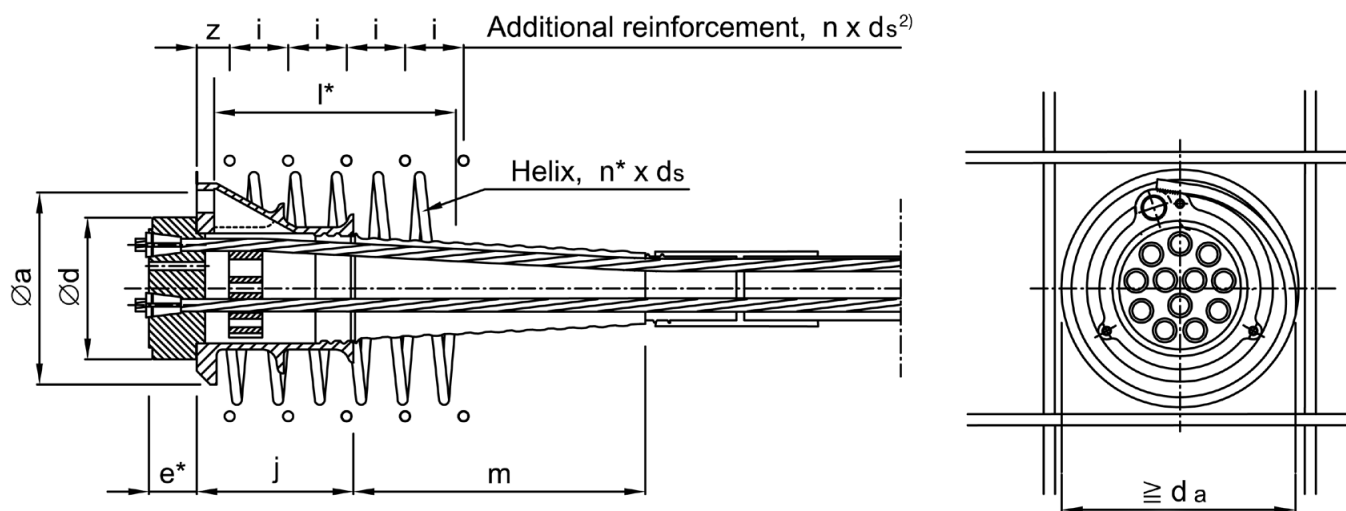
Multiplane Anchorage MA with Helix Reinforcement (Minimum Anchor Body Dimensions)



Technical Data

Type	Ultimate Load	Type	Ultimate Load					
0.5"	Ø 12.9mm	0.6"/0.62"	Ø 15.7mm	Ø d	e*	Ø a	j	m
f_{pk} 1860	(186kN per strand)	f_{pk} 1860	(279kN per strand)	59.. / 68..	59.. / 68..			
[N/mm ²]	[kN]	[N/mm ²]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
5907	1,302	6805	1,395	117 / 117	42 / 47	150	90	240
5909	1,674	6807	1,953	130 / 130	47 / 52	170	100	210
5912	2,232	6809	2,511	140 / 145	47 / 52	190	125	280
5915	2,790	6812	3,348	160 / 170	43 / 55	220	180	350
5920	3,720	6815	4,185	180 / 190	51 / 60	250	200	390
5927	5,022	6819	5,301	200 / 210	64 / 68	280	220	430
5932	5,952	6822	6,138	220 / 220	73 / 73	305	220	550
5937	6,882	6827	7,533	240 / 240	80 / 80	330	240	550
–	–	6831	8,649	270	80	385	350	570
–	–	6837	10,323	270	95	420	350	570
–	–	6843	11,997	320	110	465	380	950
–	–	6849	13,671	340	120	510	420	780
–	–	6855	15,345	340	120	510	420	780

Multiplane Anchorage MA with Helix Reinforcement (Minimum Anchor Body Dimensions)



Details of the Anchorage Zone for 34N/mm² (cube) / 28N/mm² (cylinder) Actual Concrete Strength at Stressing

Ø12.9mm, Ultimate Load 186kN							Ø15.3/15.7mm, Ultimate Load 261/279kN						
Type 0.5"	Distances of the anchorages		Additional Reinforcement Helix ²⁾				Type 0.62"	Distances of the anchorages		Additional Reinforcement Helix ²⁾			
$f_{pk}1860$ [N/mm ²]	Center Distance [mm]	Edge Distance ¹⁾ [mm]	Ø d _a [mm]	min l* [mm]	n* [mm]	d _s [mm]	$f_{pk}1860$ [N/mm ²]	Center Distance [mm]	Edge Distance ¹⁾ [mm]	Ø d _a [mm]	min l* [mm]	n* [mm]	d _s [mm]
5907	230	135	170	225	4	12	6805	235	140	185	225	4	12
5909	260	150	190	260	4	12	6807	280	160	220	260	4	14
5912	290	165	220	310	5	12	6809	305	175	250	310	5	14
5915	320	180	240	410	7	12	6812	350	195	265	410	7	14
5920	370	205	280	465	8	12	6815	390	215	310	465	8	14
5927	425	235	350	470	8	16	6819	435	240	375	470	8	16
5932	460	250	360	500	8.5	16	6822	470	255	370	500	8.5	16
5937	500	270	390	525	9	16	6827	520	280	430	525	9	16
							6831	640	340	560	615	9	20
							6837	700	370	620	615	9	20
							6843 ³⁾	640	340	530	675	10	20
							6849 ³⁾	680	360	550	675	10	20
							6855 ³⁾	710	375	580	700	11	20

1) in case of 30mm concrete cover

2) additional surface reinforcement acc. to ETA-13/0815 is required.

The values for the anchorage zones are based on European Technical Approval ETA-13/0815.

Center/edge distances and data for additional reinforcement for other actual concrete strengths can be found on www.dywidag-systems.com
Max. prestressing load 75% of ultimate load (short-term overstressing to 80 % is permissible)

The respective standards and regulations valid at the place of use shall be complied with.

1) in case of 30mm concrete cover

2) additional surface reinforcement acc. to ETA-13/0815 is required.

3) for that size only concrete strength 43/53N/mm².

Bijlage H: Globale berekening staal-betonbrug

Het volgende document is vanaf volgende pagina bijgevoegd:

Document	Kenmerk	Datum	Auteur
Globale ontwerp staal-betonbrug	ZOB-003	13 mei 2022	Nigel Wiesemann

Kunstwerk Zuidoostboog

Ontwerp bovenbouw staal-betonbrug

Verantwoording

Titel: Ontwerpberekening kunstwerk Zuidoostboog
Onderwerp: Vakwerkspoorbrug (staal-betonbrug)
Projectnummer: -
Klant: North Sea Port
Referentienummer: ZOB-003
Versie: 1.0

Datum: 13-05-2022

Auteur: Nigel Wiesemann
E-mailadres: nigel.wiesemann@sweco.nl

Gecontroleerd door: Tim de Groote
Paraaf gecontroleerd:

Vrijgegeven door: Joren Gillissen
Paraaf vrijgegeven:

Document referentie: [https://swecogroup-my.sharepoint.com/personal/nigel_wiesemann_sweco_nl/documents/5\)onderzoek/onderzoeksrapport/staal-betonbrug/globaal ontwerp staal-betonbrug zuidoostboog.docx](https://swecogroup-my.sharepoint.com/personal/nigel_wiesemann_sweco_nl/documents/5)onderzoek/onderzoeksrapport/staal-betonbrug/globaal%20ontwerp%20staal-betonbrug%20zuidoostboog.docx)

Inhoudsopgave

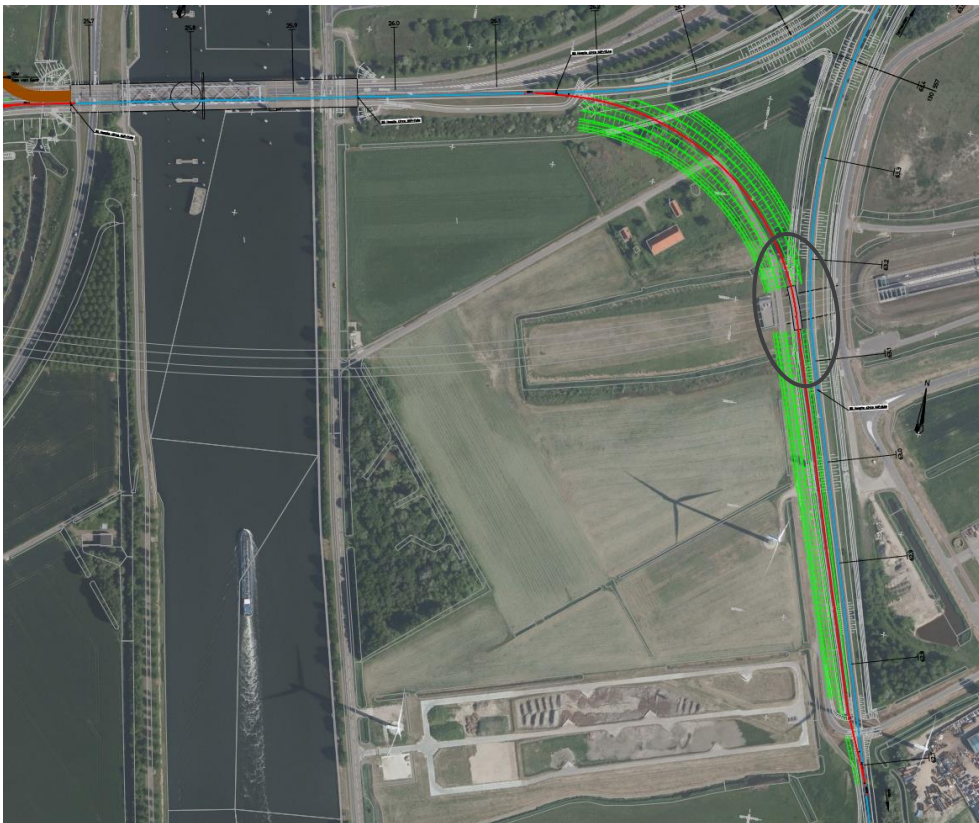
1	Inleiding	4
2	Uitgangspunten	5
2.1	Van toepassing zijnde documenten	5
2.1.1	Normen en voorschriften	5
2.1.2	Referenties	5
2.2	Ontwerp gegevens	5
2.3	Geometrie	5
2.4	Materiaal gegevens	7
2.5	Milieuklasse en scheurwijdte	7
2.5.1	Milieuklasse en dekking	7
2.5.2	Scheurwijdte	8
3	Belastingen en belastingcombinaties	9
3.1	Permanente belastingen	9
3.1.1	Eigengewicht	9
3.1.2	Ballast	9
3.1.3	Kabels, leidingen en leuning	9
3.2	Veranderlijke belasting	9
3.2.1	Spoorbelasting spoorwegverkeer	9
3.2.2	Horizontale krachten spoorwegverkeer	12
3.2.3	Belasting inspectie pad	12
3.2.4	Sneeuwbelasting	12
3.2.5	Thermische belasting	12
3.3	Belasting factoren	12
3.4	Belastingcombinaties	13
3.5	Momentaanfactoren	13
3.6	Belastingcombinaties	14
4	Toetsingscriteria	16
4.1	Criteria voor de gebruikstoestand	16
4.2	Criteria voor de bezwijktoestand	16
5	Modellering	17
5.1	Schematisering	17
5.2	Software	19
6	Berekening	20
6.1	Berekeningsresultaten	20
6.2	Opmerkingen	20
7	Conclusies	21
7.1	Geometrie	21
7.2	Vakwerk	21
7.3	Betonwapening	21
7.4	Verbinding staal-beton	21
	Bijlage 1 Berekening	23
	Bijlage 2 Bronnen	28

1 Inleiding

Voor het ontwerp van het kunstwerk over de Sluiskiltunnel binnen het infra-element de Zuidoostboog zijn twee varianten voorgesteld. Dit rapport beschrijft de berekening van de variant 'staalbeton-brug'. Dit rapport beperkt zich tot enkel de berekening van de bovenbouw van het kunstwerk en betreft een voorlopig ontwerp van de constructie.

Het kunstwerk betreft een spoorbrug die wordt aangelegd om de kruising tussen het nieuw aan te leggen spoor en de bestaande Sluiskiltunnel constructief mogelijk te maken. Dit nieuw aan te leggen spoor is onderdeel van de Zuidoostboog en voorziet de zuidelijke verbinding van het spoor aan de oostzijde van het kanaal naar de Sluiskilbrug zoals weergegeven in Figuur 1.

Het kunstwerk is ontworpen als een combinatie van staal en beton. Waarin een stalenvakwerk is voorzien in die overspant in langsrichting en een betonnen dek dat overspant in dwarsrichting. Het betonnen brugdek werkt mee in de krachtswerking van het vakwerk als bovenregel. Het vakwerk bestaat uit twee prefab vakwerkliggers van stalenbuisprofielen met daarbovenop een in het werk gestorte brugdek. Op het brugdek is een enkelspoor aangebracht in ballast.



Figuur 1: Overzicht tracé spoorboog en locatie kunstwerk.

2 Uitgangspunten

2.1 Van toepassing zijnde documenten

2.1.1 Normen en voorschriften

<i>Documentnummer</i>	<i>Titel</i>
NEN-EN 1990+A1	Eurocode 0 – Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991	Eurocode 1 – Belastingen op constructies
NEN-EN 1991-2	Eurocode 1 – Belastingen op constructies – deel 2: Verkeersbelasting op bruggen
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
Elke eurocode moet gelezen worden met de bijbehorende nationale bijlage	

2.1.2 Referenties

<i>ID</i>	<i>Referentie</i>
[R1]	Tekening – ZOB-TK-001 – dwarsprofielen eerste ontwerp varianten
[R2]	Rapport – Staal-beton bij de brug over de Rijn in Oosterbeek, ing. Touw G.M.M., 2005

2.2 Ontwerp gegevens

Bouwwerk type:

- Enkelsporige spoorbrug,
- Type spoorbrug: staal-betonbrug (vakwerk met betonnen brugdek)

Ontwerplevensduur, gevolgklasse en betrouwbaarheidsklasse:

- Ontwerp levensduur: 100 jaar
- Gevolgklasse: CC3
- Betrouwbaarheidsklasse: RC3

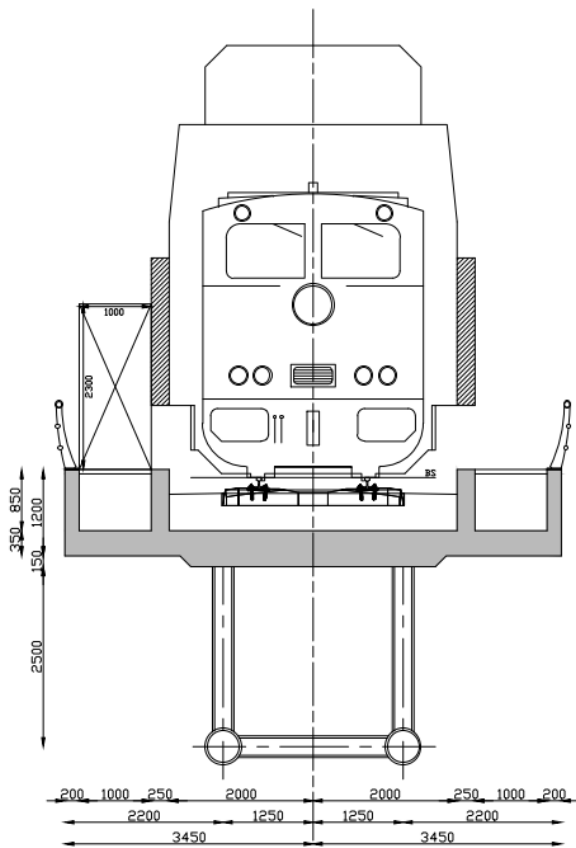
Zeeg/toog:

- In de controleberekening wordt uitgegaan van het aanbrengen van een toog om de doorbuiging a.g.v. het eigengewicht te compenseren.

2.3 Geometrie

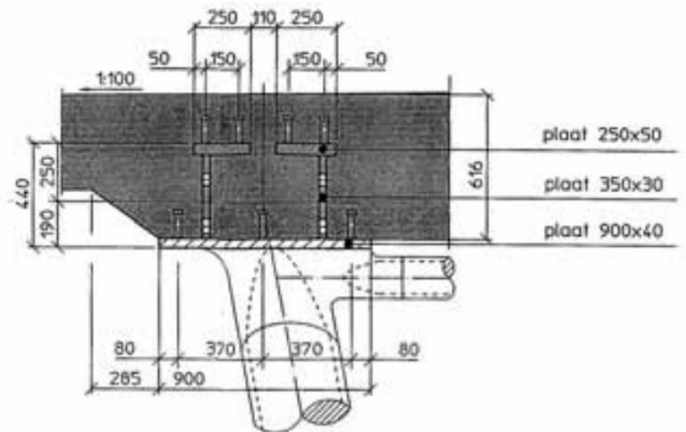
Op tekening [R1] is een eerste ontwerp van de staal-betonbrug weergegeven. Dit ontwerp is opgesteld aan de hand van de ProRail voorschriften en eisen. De afmetingen van de constructieve elementen zijn op basis van vuistregels ingeschat. Daarnaast is een bestaande staal-betonbrug als voorbeeld gebruikt. Dit voorbeeld betreft de spoorbrug bij Oosterbeek die in [R2] verder wordt toegelicht. Dit voorbeeld is gebruikt bij het opstellen van het globale ontwerp en voor de vormgeving van de verbinding tussen het stalenvakwerk en het brugdek. In deze berekening wordt dit ontwerp constructief getoetst. De indeling van de spoorbaan is definitief en blijft ongewijzigd. De constructieve elementen worden aan de hand van de berekeningen verder gedimensioneerd.

- De brug wordt vrij opgelegd op twee steunpunten en overspant een lengte van 50 meter.
- De onderbouw bestaat uit twee prefab vakwerkliggers van stalen buisprofielen die in langsrichting overspannen.
- De vakwerkliggers bestaan uit een rechte boven- en onderregel met daartussen 20 om en om geplaatste diagonalen. Er zijn op de verticale wandregels, op het begin en einde van het vakwerk, na geen verticale staanders toegepast.
- Het brugdek overspant in dwarsrichting tussen de twee vakwerkliggers en is tevens de bovenregel van het vakwerk.
- De verbinding tussen de diagonalen in het vakwerk en het brugdek is gebaseerd op de verbinding zoals deze is ontworpen in het voorbeeld [R2] deze verbinding is in Figuur 3 weergegeven. Het ontwerp van de verbinding voor dit kunstwerk wordt in bijlage 1 §4.5 uitgewerkt.



Dwarsprofiel staal-betonbrug

Schaal: 1:50



Figuur 2: Principe doorsnede staal-betonbrug uit voorlopig ontwerp Figuur 3: Verbinding diagonaal vakwerk en brugdek (Touw, 2005)
(ZOB-TK-001).

2.4 Materiaal gegevens

Tabel 1: Kwaliteit toegepaste materialen.

Materiaal	Kwaliteit
Beton	C45/55
Betonstaal	B500B
Constructiestaal	S235 (warmgewalst)
Constructiestaal	S355 (warmgewalst)
Deuvels	Fu450

Tabel 2: Volumieke massa materialen

Materiaal	Volumieke massa	Eenheid
Beton	25,0	kN/m ³
Bovenbouw/ballast	22,0	kN/m ³
Staal	77,0	kN/m ³

Tabel 3: Materiaal factoren

Materiaal	Blijvend en tijdelijk	Buitengewoon
Beton	$\gamma_c = 1,5$	1,2
Betonstaal	$\gamma_s = 1,15$	1,0
Constructiestaal	$\gamma_s = 1,0$	1,0
Deuvels	$\gamma_v = 1,25$	-

2.5 Milieuklasse en scheurwijdte

2.5.1 Milieuklasse en dekking

Tabel 4: Vereiste milieuklasse en betondekking

Betonsterkte	C45/55
Milieuklasse	XC4, XD3
Constructieklasse	S4
Benodigde dekking (c)	$C_{nom} = C_{min} + C_{dur}$ $40 + 5 = 45 \text{ mm}$
C toegepast (mm):	
Zijkant	50
Bovenkant	50
Onderkant	50

2.5.2 Scheurwijdte

Voor de scheurwijdte en duurzaamheidseis van de brug wordt bij de frequente belasting een maximale scheurwijdte gehanteerd volgens tabel 5. Wat neer komt op $W_{\max} \leq 0,20$ mm.

Tabel 5: Aanbevolen waarden van $W_{\max}$ en daarvan afgeleide grootheden (NEN-EN 1992-1-1 NB Tabel 7.1N).

Milieuklasse	Elementen met betonstaal en/of voorspanstaal zonder aanhechting	Elementen met een combinatie van betonstaal en voorspanstaal met aanhechting	Elementen met uitsluitend voorspanstaal met aanhechting
	Frequente belastingscombinatie	Frequente belastingscombinatie	Frequente belastingscombinatie
X0, XC1	$W_{\max} \leq 0,40$ mm ^a	$W_{\max} \leq 0,30$ mm	$\Delta\sigma_p \leq \xi 275$ MPa
XC2, XC3, XC4	$W_{\max} \leq 0,30$ mm	$W_{\max} \leq 0,20$ mm	$\Delta\sigma_p \leq \xi 175$ MPa
XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3	$W_{\max} \leq 0,20$ mm	$W_{\max} \leq 0,10$ mm	$\Delta\sigma_p \leq \xi 75$ MPa
^a Voor milieuklasse X0 en XC1 heeft de scheurwijdte geen invloed op de duurzaamheid; deze grens is gesteld om een in het algemeen aanvaardbaar uiterlijk te verkrijgen. Bij afwezigheid van voorwaarden ten aanzien van het uiterlijk mag deze beperking zijn afgezwakt.			

3 Belastingen en belastingcombinaties

3.1 Permanente belastingen

3.1.1 Eigengewicht

$$A_b = 3,023 \text{ m}^2$$

$$\gamma_b = 25,0 \text{ kN/m}^3$$

$$G_{eg} = 25,0 \cdot 3,023 = 75,6 \text{ kN/m}$$

*Het eigengewicht van het brugdek en de vakwerkligger wordt in Technosoft automatisch meegenomen in de berekening en dus niet handmatig ingevoerd.

3.1.2 Ballast

$$\text{Dikte} = 0,6 \text{ m.}$$

$$\gamma_{\text{bovenbouw}} = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$G_{bed} = 22 \cdot 0,6 = 13,2 \text{ kN/m}^2$$

3.1.3 Kabels, leidingen en leuning

$$L = 5 \text{ kN/m}$$

Belasting voor kabels, leidingen en leuning, grijpt aan op één zijde i.c.m. belasting passeerpad.

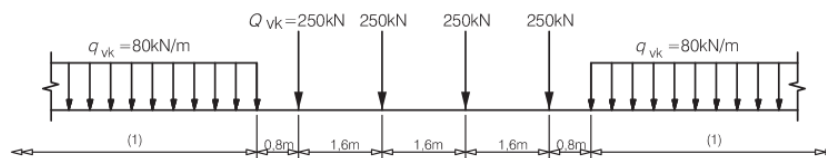
3.2 Veranderlijke belasting

3.2.1 Spoorbelasting spoorwegverkeer

De NEN-EN 1991-2 beschrijft verschillende belastingmodellen voor spoorwegverkeer. Voor dit kunstwerk is belastingmodel 71 van toepassing voor normaal spoorwegverkeer. Daarnaast dient voor alle spoorlijnen belastingmodel SW/2 te zijn toegepast voor zwaar goederenverkeer.

Belastingmodel 71

In Figuur 4 is het belastingmodel 71 weergegeven. Dit belastingmodel bestaat uit een viertal puntlasten van 250kN met een tussenafstand van 1,6 meter. Het overige deel van de brug wordt volledig belast met een verdeelde last van 80kN/m.

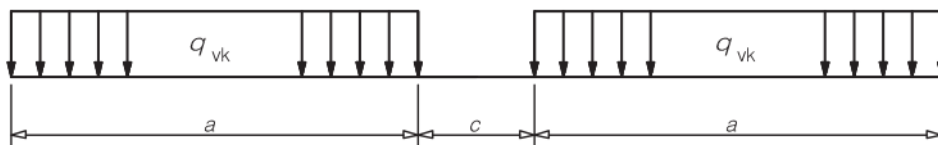


Legenda

(1) geen beperking

Figuur 4: Belastingmodel 71 voor normaal spoorwegverkeer. (NEN-EN 1991-2 6.3.2)

Belastingmodel SW/2



Figuur 5: Belastingmodellen SW/0 en SW/2 (NEN-EN 1991-2 6.3.3 Figuur 6.2)

In Figuur 5 is het belastingmodel voor SW/0 en SW/2 weergegeven. De bijbehorende belastingen en afmetingen zijn weergegeven in Tabel 6. De nationale bijlage beschrijft dat belastinggeval SW/2 ten allen tijden dient te worden toegepast. Dit belastingmodel bestaat uit een herhaling van verdeelde belastingen van 150kN/m over een lengte van 25 meter met een tussenafstand van 7,0 meter.

Tabel 6: Karakteristiek waarden belastingen belastingmodel SW/2. (NEN-EN 1991-2 6.3.3 Tabel 6,1)

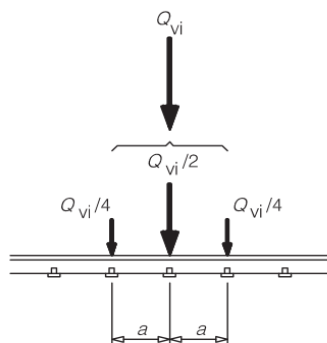
Belastingsmodel	q_{vk} (kN/m)	a (m)	c (m)
SW/2	150	25,0	7,0

Factor α

De karakteristieke waarden voor de spoorverkeersbelastingen dienen met een factor- α te worden vermenigvuldigd indien er op de spoorlijn ook spoorverkeer rijdt dat zwaarder is dan normaal spoorwegverkeer. Wat in dit geval van toepassing is bij belastingsmodel 71, bij SW/2 is al sprake van een verhoogde belasting voor spoorverkeer. Voor de factor- α moet een waarde van 1,21 aangehouden worden (1991-2 art. 6.3.2 NB).

Verdeling in langsrichting

Puntlasten, zoals die in belastinggeval 71, mogen over 3 spoorstaafondersteuningën worden verdeeld conform Eurocode 1991-2. Op de wijze zoals in Figuur 6 is weergegeven. Voor afstand a, de h.o.h. afstand tussen de spoorstaafondersteuningën, is 0,6 meter aangenomen volgens de OVS00030-6 art. 6.3.6.1 de Eurocode stelt geen eisen aan waarde a.

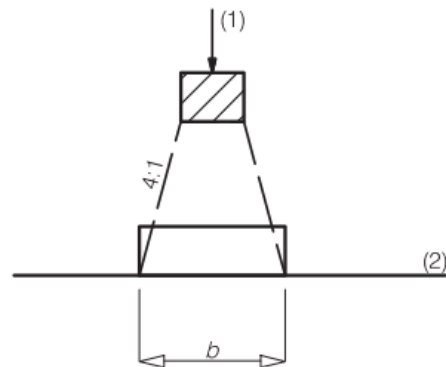


Verklaring

- Q_{vi} is de geconcentreerde belasting op iedere spoorstaaf ten gevolge van belastingsmodel 71 of een wiellast van een werkelijke trein in overeenstemming met 6.3.5, Trein voor vermoeiing of HSLM (behalve voor HSLM-B)
- a is de afstand tussen de spoorstaafondersteuningën

Figuur 6: Verdeling van geconcentreerde lasten in langsrichting van het spoor. (NEN-EN 1991-2 Fig 6.4)

De spreiding onder de dwarsliggers mag voor geconcentreerde krachten worden gespreid volgens het principe in Figuur 7. Voor het oppervlak van de dwarsligger is 2,52 x 0,26 meter aangenomen volgens de OVS00030-6 art. 6.3.6.2 de Eurocode geeft geen afmeting voor de dwarsligger.



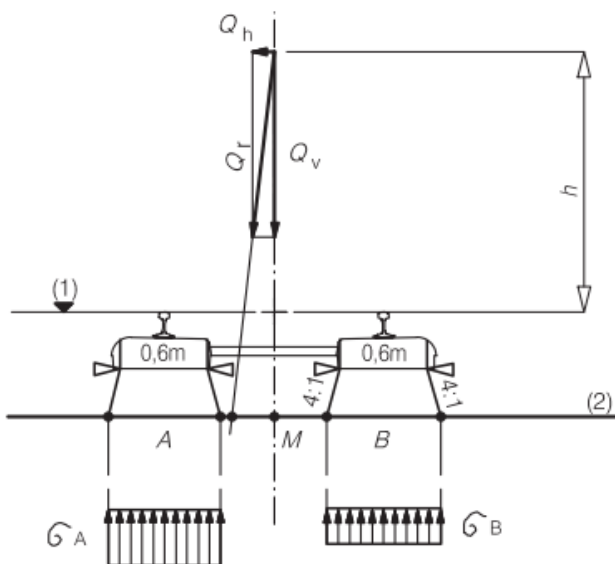
Verklaring

- (1) belasting op de dwarsligger
- (2) referentievlak

Figuur 7: Spreiding onder dwarsliggers in langsrichting (NEN-EN 1991-2)

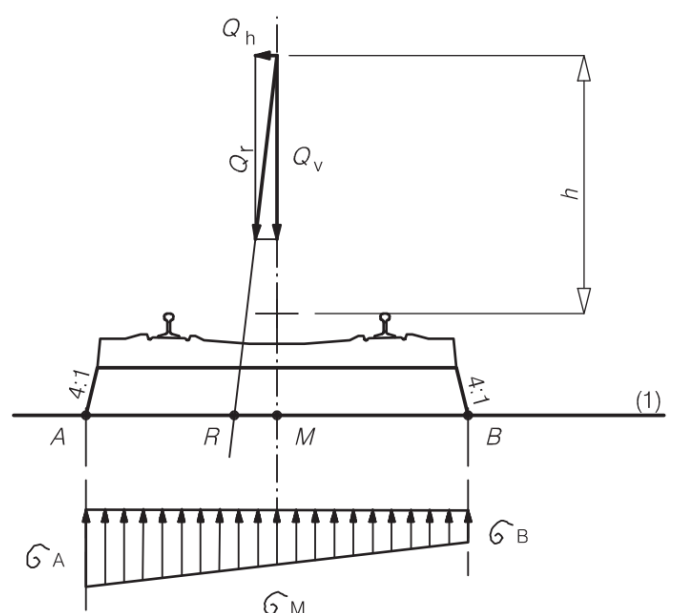
Verdeling in dwarsrichting

Op bruggen met spoor in ballast mogen de belastingen in dwarsrichting volgens Figuur 8 worden verdeeld. Indien enkel onder de spoorstaven is verdicht moet worden uitgegaan van het principe in Figuur 9. Voor deze berekening wordt met de minst gunstige situatie gerekend. Zoals hierboven al is aangegeven is de breedte van de dwarsligger 2,52 meter.



Figuur 9: Verdeling van belasting in dwarsrichting.

(NEN-EN 1991-2 fig. 6.7)



Figuur 8: Verdeling van belasting in dwarsrichting voor spoor in ballast. (NEN-EN 1991-2 fig 6.6)

3.2.2 Horizontale krachten spoorwegverkeer

Zijdelingse stoot

Op de bovenkant van de spoorstaven, loodrecht op het hart van het spoor, moet een horizontaal werkende geconcentreerde belasting zijn opgenomen. Zowel in een boog als bij rechtstand van het spoor. De karakteristieke waarde* van deze stootbelasting is (NEN-EN 1991-2 art. 6.5.2):

$$Q_{sk} = 100 \text{ kN}$$

*Bovenstaande karakteristieke waarde voor Q_{sk} dient te worden vermenigvuldigd met factor α .

Horizontale krachten in langsrichting

Voor het ontwerp zijn de horizontale belastingen in langsrichting van de brug buiten beschouwing gelaten. Deze belastingen zijn niet bepalend voor het ontwerp van de bovenbouw. Deze krachten worden in het landhoofd en de fundering opgenomen.

3.2.3 Belasting inspectie pad

$$q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{breedte} = 1,0 \text{ meter}$$

$$5,0 \cdot 1,0 = 5,0 \text{ kN/m op één uitkraging van het brugdek.}$$

3.2.4 Sneeuwbelasting

Sneeuwbelastingen hoeven voor spoorbruggen in geen enkele combinatie in beschouwing te zijn genomen volgens de NEN-EN 1990 art. A2.2.4.

3.2.5 Thermische belasting

De brug wordt op twee steunpunten vrij opgelegd. Vervormingen ten gevolge van temperatuur kunnen optreden zonder spanningen in de brug te introduceren. Hierom wordt dit belastinggeval niet verder beschouwd.

3.3 Belasting factoren

Tabel 7: Belastingfactoren voor spoorwegverkeersbruggen (NEN-EN 1990 Tabel NB.17 - A2.4 (B))

Belasting	γ	Waarde		Waarde	
		CC2		CC3	
		6.10.a	6.10.b	6.10.a	6.10.b
Eigen gewicht van de constructieve en niet-constructieve elementen zoals ballast, grond, grondwater en vrij water en wegneembaar belastingen enz.	$\gamma_{G,sup}$	1,3	1,2	1,4	1,25
	$\gamma_{G,inf}$	0,9	0,9	0,9	0,9
Gunstige veranderlijke belastingen	γ_Q	0	0	0	0
Spoorwegverkeersbelastingen, door de belastingsgroepen 11 tot en met 31 (uitgezonderd 16, 17, 26 en 27), belastingmodellen LM71, SW/0 en HSLM en werkelijke treinen indien beschouwd als afzonderlijke hoofdverkeersbelastingen	γ_Q	1,45	1,45	1,50	1,50
Spoorwegverkeersbelastingen door de belastingsgroepen 26 en 27 op afzonderlijke componenten van verkeersbelastingen als die te maken hebben met SW/2	γ_Q	1,20	1,20	1,25	1,25

Spoorwegverkeersbelastingen door de belastingsgroepen 26 en 27 op afzonderlijke componenten van verkeersbelastingen als die te maken hebben met de belastingmodellen LM71, SW/0 en HSLM enz.	γ_Q	1,45	1,45	1,50	1,50
Spoorwegverkeersbelastingen door de belastingsgroepen 16 en 17 en SW/2	γ_Q	1,20	1,20	1,25	1,25
Andere verkeersbelastingen en andere veranderlijke belastingen zoals veranderlijke horizontale gronddruk door grond, grondwater, vrij water en ballast, gronddruk door bovenbelasting door verkeer, aerodynamische belastingen door verkeer en wind- en thermische belasting	γ_Q	1,50	1,50	1,65	1,65
Voorspanning	γ_P	Voorgeschreven waarde vastgelegd in het relevante Eurocode-deel			
Bij een lineair elastische berekening voor ontwerpsituaties waar belastingen ten gevolge van ongelijke zettingen ongunstige effecten kunnen hebben	γ_{Gset}	1,20	1,2	1,2	1,2
Bij een niet-lineaire berekening voor ontwerpsituaties waar belastingen ten gevolge van ongelijke zettingen ongunstige effecten kunnen hebben	γ_{Gset}	1,35	1,35	1,35	1,35
OPMERKING De factor K_{Fi} volgens B 3.3 is in de waarden van γ verwerkt; voor de zettingsberekening blijft de betrouwbaarheidsdifferentiatie achterwege.					

3.4 Belastingcombinaties

Tabel 8: Rekenwaarden voor de belastingen (NEN-EN 1990 Tabel NB.15 - A2.4(B))

Blijvend en tijdelijke ontwerpsituaties	Blijvende belastingen		Voorspanning	Overheersende veranderlijke belasting ^{a)}	Tegelijkertijd optredende veranderlijke belastingen ^{a)}	
	Ongunstig	Gunstig			Belangrijkste	Andere
Vgl. 6.10a	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_P P$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
Vgl. 6.10b	$\xi \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$ Met $\xi=0,89$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_P P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
^a Veranderlijke belastingen zijn die, die zijn beschouwd in tabellen NB.12 – A2.1, NB 13 – A2.2 en A2.3						

3.5 Momentaanfactoren

Tabel 9: Momentaanfactoren (NEN-EN 1990, Tabel A2.3)

Belastingen		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Afzonderlijke componenten van verkeersbelastingen ⁵⁾	LM 71	0,80	1)	0
	SW/0	0,80	1)	0
	SW/2	0	1,00	0
	Onbeladen wagens	1,00	-	-
	HSLM	1,00	1,00	0
	Zijdelingse stoot van de trein	1,00	0,80	0
	Belastingen op niet-openbare voetpaden	0,80	0,50	0
	Werkelijke treinen	1,00	0,80	0

	Horizontale gronddruk als gevolg van bovenbelasting door verkeer Aërodynamische effecten		0,80 0,80	¹⁾ 0,50	0 0
Belangrijkste verkeers- belastingen (belastings- groepen)	gr 11 (LM71 + SW/0)	Max. verticale 1 met max. langskracht	0,80	0,80	0
	gr12 (LM71 + SW/0)	Max. verticale 2 met max. kracht in dwarsrichting			
	gr13 (remmen/ aanzetten)	Max. langskracht			
	gr14 (centrifugaal/ zijdelingse stoot)	Max. kracht in dwarsrichting			
	gr15 (onbeladen wagens)	Zijdelingse stabiliteit met “onbeladen wagens”			
	gr16 (SW/2)	SW/2 met max. langskracht			
	gr17 (SW/2)	SW/2 met max. kracht in dwarsrichting			
Andere belastingen door exploitatie van het spoor		Aerodynamische effecten	0,80	0,50	0
		Algemene onderhoudsbelasting voor niet-openbare voetpaden	0,80	0,50	0
Windkrachten ²⁾		F _{wk}	0,75	0,50	0
		F _w **	1,00	0	0
Thermische belastingen ³⁾		T _k	0,60	0,60	0,50

1) 0,8 indien slechts 1 spoor is belast;
0,7 indien 2 sporen gelijktijdig zijn belast;
0,6 indien 3 of meer sporen gelijktijdig zijn belast.

2) Wanneer windkrachten gelijktijdig optreden met verkeersbelastingen, behoort de windkracht $\psi_0 F_{wk}$ niet groter te zijn genomen dan F_{w}^{**} (zie EN 1991-1-4). Zie A2.2.4(4).

3) Zie EN 1991-1-5.

4) Indien vervorming in beschouwing wordt genomen voor blijvende en tijdelijke ontwerpsituaties, behoort $\square 2$ gelijk te zijn genomen aan 1,00 voor spoorwegverkeersbelastingen. Voor ontwerpsituaties bij aardbevingen, zie tabel A.2.5.

5) De minimale gunstige verticale belasting die gelijktijdig optreedt met afzonderlijke componenten van spoorwegverkeersbelastingen (bijv. centrifugaalkracht, aanzetten of remmen) is 0,5 LM71 enz.

3.6 Belastingcombinaties

Voor een compleet overzicht van de belastingcombinaties wordt verwezen naar bijlage 1 §3.

Voor de combinatie van windbelasting met verkeersbelastingen moeten de volgende gelijktijdig optredende belastingen in beschouwing worden genomen (NEN-EN 1991-2):

- Verticale spoorwegverkeersbelastingen, horizontale spoorwegverkeersbelastingen en windkrachten. Hierbij wordt elke belasting één voor één als overheersende belasting beschouwd.

Wanneer de spoorwegverkeersbelasting niet als belastinggroep wordt gebruikt behoort deze als afzonderlijke component van de spoorwegverkeersbelasting te zijn genomen.

Voor de belastinggroepen en combinaties voor de spoorwegverkeersbelastingen wordt de volgende tabel uit de NEN-EN 1991-2 geraadpleegd:

Tabel 10: Belastinggroepen spoorverkeer met de overheersende belasting in het grijs aangegeven (NEN-EN 1991-2 tabel 6.11)

Aantal sporen op constructie			Belastinggroepen			Verticale krachten			Horizontal krachten			Opmerkingen
1	2	≥ 3	Aantal belaste sporen	Belastingsgroep ⁽⁶⁾	Belaste spoor	6.3.2/6.3.3	6.3.3	6.3.4	6.5.3	6.5.1	6.5.2	
						LM 71 ⁽¹⁾ SW/0 ^{(1) (2)} HSLM ⁽⁶⁾⁽⁷⁾	SW/2 ⁽¹⁾⁽³⁾	Onbeladen wagens	Remmen, Aanzetten ⁽¹⁾	Centrifugaal krachten ⁽¹⁾	Zijdelingse stoot ⁽¹⁾	
			1	gr11	T ₁	1			1 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	Max. verticaal 1 met max. langsrichting
			1	gr 12	T ₁	1			0,5 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	Max. verticaal 2 met max. dwarsrichting
			1	gr 13	T ₁	1 ⁽⁴⁾			1	0,5 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	Max. langsrichting
			1	gr 14	T ₁	1 ⁽⁴⁾			0,5 ⁽⁵⁾	1	1	Max. dwarsrichting
			1	gr 15	T ₁			1		1 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	Stabiliteit dwarsrichting met "onbeladen wagens"
			1	gr 16	T ₁		1		1 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	0,5 ⁽⁵⁾	SW/2 met max. langsrichting
			1	gr 17	T ₁		1		0,5 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	1 ⁽⁵⁾	SW/2 met max. dwarsrichting

4 Toetsingscriteria

4.1 Criteria voor de gebruikstoestand

In bijlage 1 §4 worden de volgende controles en toetsingen voor de BGT uitgevoerd:

- Vervorming
 - Eis: $U_{\max} \leq 1/800L$ ten gevolge van veranderlijke belasting
- Scheurvorming
 - Eis: $W_{\max} \leq 0,2\text{mm}$ / controle staafafstand en -diameter

4.2 Criteria voor de bezwijktoestand

In bijlage 1 §4 worden de volgende controles en toetsingen voor de UGT uitgevoerd:

- Controle Technosoft staalberekening d.m.v. toetsing diagonaal op knik
 - Eis: $N_{ed} \leq N_{rd}$
- Moment in langs- en dwarsrichting van het brugdek
 - Eis: $M_{ed} \leq M_{rd}$
- Dwarskracht in langs- en dwarsrichting van het brugdek
 - Eis: $V_{ed} \leq V_{rd}$
- Controle uitknikken brugdek
- Toetsing verbinding bovenflens met vakwerk
 - Toetsing staalprofiel
 - Toetsing deuveld
 - Trekband in beton

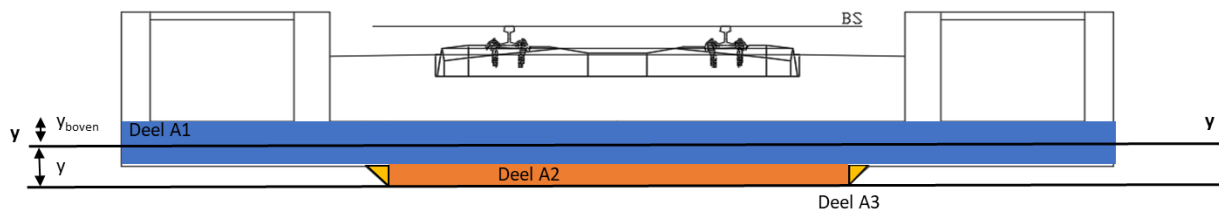
5 Modelling

5.1 Schematisering

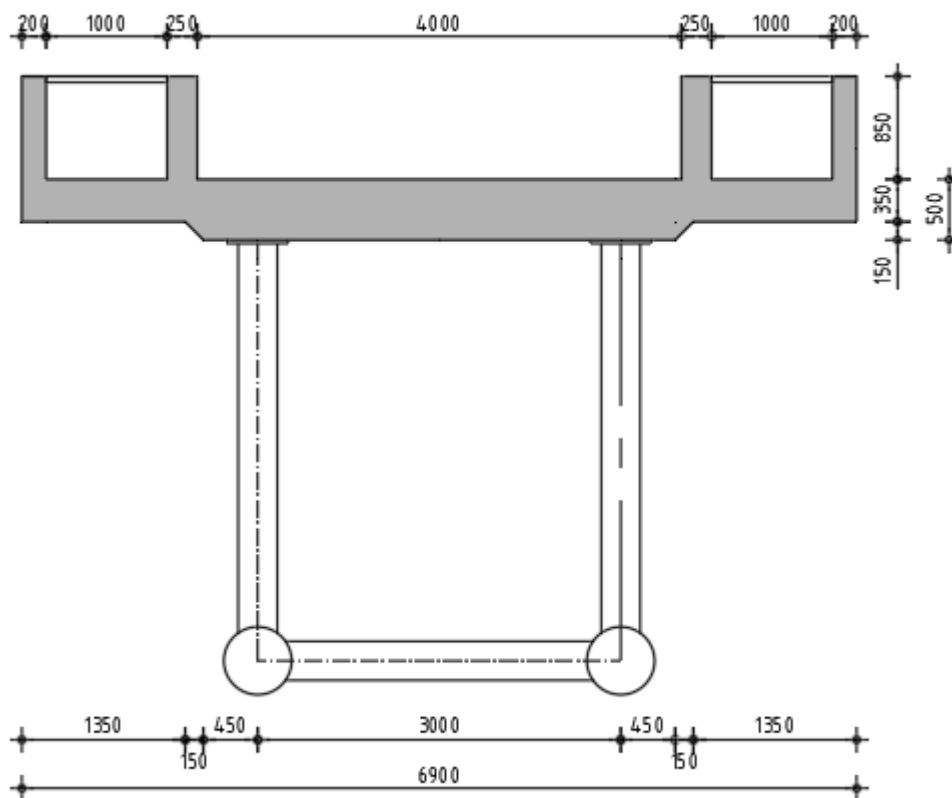
Voor de geometrie van de doorsnede wordt verwezen naar [R1] en 2.3 Geometrie. De bijbehorende doorsnede grootheden van het brugdek zijn bepaald met behulp van een Excel rekenblad (Tabel 12). Wijzigingen in de doorsnede tijdens het ontwerp zijn zo automatisch doorgerekend en handmatig in het model gewijzigd. In het model is een halve doorsnede gemodelleerd omdat de vakwerkliggers individueel worden bekeken. Dit kan omdat de doorsnede symmetrisch is, wel moet voor de invoer van de doorsnede gegevens van het brugdek de aantallen zijn gehalveerd. De doorsnede gegevens van de gehele doorsnede van het definitieve ontwerp zijn in Tabel 11 weergegeven met bijbehorende schets in Figuur 10 en schets met afmetingen in Figuur 11.

Tabel 11: Doorsnede gegevens brugdek.

Doorsnede gegevens brugdek			
Oppervlakte	A_{beton}	3,023	m ²
Traagheidsmoment y-y	I_y	0,057	m ⁴
Uiterste onderste vezel tot n.l.	y_{onder}	0,275	m
Uiterste bovenste vezel tot n.l.	y_{boven}	0,225	m
Weerstandsmoment boven	W_{boven}	0,255	m ³
Weerstandsmoment onder	W_{onder}	0,209	m ³



Figuur 10: Schets bijbehorend bij berekening doorsnede gegevens.



Figuur 11: Schematische tekening ontwerp staal-betonbrug.

Tabel 12: Berekening doorsnede gegevens brugdek.

Berekening zwaartepunt doorsnede brugdek					
Deel	Breedte	Hoogte	A	Z	(AxZ)
A1	6900	350	2415000	325	784875000
A2	3900	150	585000	75	43875000
A3	150	150	11250	50	562500
A4	150	150	11250	50	562500
A totaal =			3022500	$\sum(AxZ) =$	829875000
Zwaartepunt (e) = $\sum(AxZ) / A_{totaal} =$					274,6

Berekening traagheidsmoment doorsnede brugdek					
Deel	Breedte	Hoogte	A	I_{eigen}	I_y
A1	6900	350	2415000	2,4653E+10	3,0796E+10
A2	3900	150	585000	1,0969E+09	2,4395E+10
A3	150	150	11250	1,4063E+07	1,1487E+09
A4	150	150	11250	1,4063E+07	1,1487E+09
				$I_{y,totaal} =$	5,7489E+10

5.2 Software

De staal-betonbrug is met behulp van het rekenprogramma Technosoft raamwerken berekend. De uitvoer van de computerberekeningen zijn opgenomen in bijlage 1 §3. In het programma zijn twee modellen gemaakt. Een voor de langsdoorsnede, waarbij een halve doorsnede, bestaand uit een enkele vakwerkligger en een half brugdek, is gemodelleerd op twee steunpunten. Voor het profiel van het brugdek is een halve doorsnede ingevoerd op basis van de doorsnede gegevens in Tabel 11. Daarnaast is een model voor de dwarsdoorsnede gemaakt waarbij enkel het brugdek is gemodelleerd op twee steunpunten (de vakwerkliggers) over een meter breedte. De invoer van deze rekenmodellen is uitgewerkt in bijlage 1 §2.

De belastingcombinaties en bijbehorende factoren kunnen door Technosoft automatisch worden gegenereerd, echter is dit op basis van de invoer foutgevoelig. Aangezien de spoorbelastingen niet goed in Technosoft gedefinieerd kunnen worden. Daarom is gekozen om de belastingcombinaties en belastingfactoren op basis van hoofdstuk 3 Belastingen en belastingcombinaties handmatig in te voeren. Het eigengewicht wordt wel door Technosoft op basis van de profiel invoer automatisch meegenomen.

Verder is een vereenvoudigd model van het brugdek, door het bepalen van een fictieve doorsnede met een gelijk traagheidsmoment, ingevoerd in Technosoft kolomwapening. Het brugdek met de berekende wapening is met dit programma getoetst op uitknikken als gevolg van de normaalkracht en het moment in het brugdek. Deze berekening wordt in bijlage 1 §4.4 behandeld.

6 Berekening

Voor de berekening wordt verwezen naar bijlage 1 §4.

6.1 Berekeningsresultaten

De berekeningsresultaten zijn terug te vinden in bijlage 1 §3 hierin zijn de optredende krachten en vervormingen in het vakwerk en het brugdek weergegeven. De controle berekeningen en de wapeningsberekening wordt verricht in bijlage 1 §4.

6.2 Opmerkingen

Voor het model in langsrichting is een enkele vakwerkligger en een halve doorsnede van het brugdek gemodelleerd. Bij toetsingen van elementen in het vakwerk kunnen de krachten uit het model worden overgenomen. Echter bij toetsingen van het brugdek in langsrichting dienen de krachten eerst met twee vermenigvuldigd te worden.

In dit rapport is een globale ontwerpberekening voor de staalbetonbrug uitgevoerd. De controles zoals benoemd in hoofdstuk 4 Toetsingscriteria zijn uitgevoerd. De berekening van de verbindingprofielen tussen de twee vakwerken en de verbindingen in het vakwerk zijn in deze berekening niet opgenomen. Daarnaast is ook vermoeiing en kruip niet in beschouwing genomen.

7 Conclusies

7.1 Geometrie

De betonafmeting van het brugdek is in vergelijking met het eerste ontwerp in paragraaf 2.3 vrijwel ongewijzigd. De breedte en dikte van het brugdek is onveranderd. Enkel de aansluiting van de twee vakwerkliggers is geoptimaliseerd. In de berekening is voor de verhouding tussen het veld en de uitkragingen van het brugdek een verhouding van ongeveer 1:3:1 aangehouden. De uitkraging is dan aan beide zijden 1400 mm en de afstand tussen de vakwerkliggers 4100 mm. Deze verdeling is geoptimaliseerd naar uitkragingen van 1950 mm aan beide zijden en een tussenafstand van 3000 mm. Dit levert voor het brugdek een gunstigere krachtswerking op.

De hoogte van het vakwerk, gemeten vanaf de onderzijde tot de hartlijn van het brugdek, is van 2500 mm verhoogd naar 3750 mm. Met dit ontwerp wordt voldaan aan de gestelde eisen en voorwaarden in de constructieve berekening. De kwaliteit van het beton is C45/55.

7.2 Vakwerk

Voor de onderregel van het vakwerk is een buisprofiel B559/30 met staalkwaliteit S355 berekend op basis van de vervorming. Een buisprofiel B323.9/30 van staalkwaliteit S235* is berekend voor de diagonalen van het vakwerk. Voor de diagonalen is de knikstabiliteit maatgevend. De wandregel aan het begin en einde van het vakwerk is niet maatgevend ten opzichte van de diagonalen. Echter is dit profiel wel gelijk gehouden aan de diagonalen, namelijk een buisprofiel B323.9/30 met staalkwaliteit S235*. Alle profielen zijn volgens de uitgangspunten warmgewalst.

*Opmerking N. Wiesemann 16-6-2022: Het is gebruikelijk dat een buisprofiel B323.9/30 enkel vanaf S275 te verkrijgen is. Daarnaast is het lassen van verschillende staalkwaliteiten niet gunstig door voor de levensduur omdat er kans is op roesten. In verdere uitwerking wellicht profielen met dezelfde staalkwaliteit kiezen.

7.3 Betonwapening

In langsrichting van het brugdek is boven en onder wapening $\varnothing 12$ -100 toegepast om het buigend moment op te kunnen nemen. De wapening in het brugdek in dwarsrichting bestaat uit $\varnothing 16$ -100. Deze wapening is gekozen op basis van dwarskracht en scheurvorming, voor de momentweerstand kan worden volstaan met minder wapening. In het brugdek is in langs- en dwarsrichting geen dwarskrachtwapening benodigd. De splijtwapening is in 7.4 Verbinding staal-beton benoemd.

De kwaliteit van het wapeningsstaal is B500B.

7.4 Verbinding staal-beton

Om de normaalkrachten vanuit de diagonalen in het beton in te kunnen leiden is voorzien op een verbinding bestaand uit een staalprofiel met deuvels. Het staalprofiel is in staat de normaalkracht vanuit de diagonaal geheel op te nemen en vervolgens over het inleidingsgebied in het beton in te leiden. Het staalprofiel bestaat uit de volgende platen met staalkwaliteit S235: een onderflens 500x30, twee lijven 250x20 en een bovenflens van 2x 100x30. Een schets van het profiel is weergegeven in bijlage 1 §4.5.

Voor het inleidingsgebied is niet de gehele afstand tussen de diagonalen genomen maar een gereduceerde afstand van 2 meter. Om over dit gebied de normaalkracht in het beton over te kunnen brengen zijn 5 deuvels geplaatst met een hart op hart afstand van 125 mm. Per diagonaal dus 80 deuvels om de kracht in te leiden. De plaatsing van de 5 deuvels is weergegeven in de schets in bijlage 1.

Als gevolg van het inleiden van de normaalkracht in het beton treden trekkrachten op in dwarsrichting van het brugdek. Om spleten van het beton te voorkomen is boven en onder splejtwapening $\varnothing 16-125$ in dwarsrichting toegepast.

Bijlage

Bijlage 1 Berekening

Inhoud bijlage 1

1. Belastingen

1.1. Permanente belasting	1-1
Ballast	1-1
Kabels, leidingen en leuningen	1-1
Eigengewicht	1-1
1.2. Veranderlijke belasting	1-2
Spoorwegverkeer	1-2
- Belastingmodel 71	1-2
- Belastingmodel SW/2	1-2
- Belastingspreiding	1-3
Horizontale belasting spoorverkeer	1-5
Belasting passeerpad	1-6

2. Invoer

2.1. Geometrie	2-1
2.2. Rekenmodel langsrichting	2-2
2.3. Rekenmodel brugdek dwarsrichting	2-2

3. Uitvoer Technosoft

3.1. TS-uitvoer-vakwerk
3.2. TS-uitvoer-brugdek
3.3. TS-uitvoer-kolomwapening

4. Toetsing

4.1. Toetsing vakwerk	4-1
Vervorming	4-1
Controle berekening diagonaal op knik	4-2
4.2. Toetsing brugdek dwarsrichting	4-4
Vervorming brugdek	4-4
Controle moment brugdek	4-4
Controle dwarskracht brugdek	4-6
4.3. Toetsing brugdek in langsrichting	4-7
Controle moment brugdek	4-7
Controle dwarskracht brugdek	4-8
4.4. Controle knikken brugdek langsrichting	4-10
4.5. Toetsing verbinding bovenflens met vakwerk	4-11
Toetsing staalprofiel verbinding	4-12
Controle deuveld	4-13
Trekband	4-14

1 Belastingen

1.1 Permanente belastingen

Ballast

$$\gamma_{\text{bed}} = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$\Rightarrow G = 13,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{dikte} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Breedte } 4,0 \text{ meter}$$

Kabels, leidingen en leuningen

$$G = 5 \text{ kN/m}$$

last grijpt aan op één zijde van het brugdek
aan de onderzijde van het passeerpad.

Eigengewicht

Het eigengewicht van het vakwerk en het brugdek wordt in
het rekenprogramma automatisch meegenomen door in het belasting-
geval permanent de zwaartekracht op '-1' te zetten.

De opstorten op het brugdek werken niet constructief mee.
Het eigengewicht wordt wel meegenomen:

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

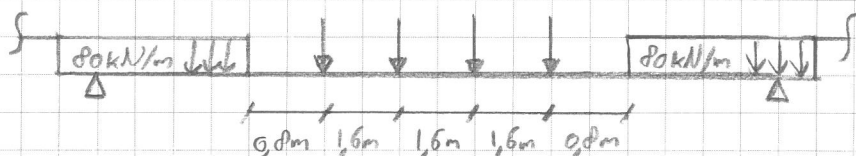
$$\Rightarrow 21,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{hoogte opstort} = 0,85 \text{ m.}$$

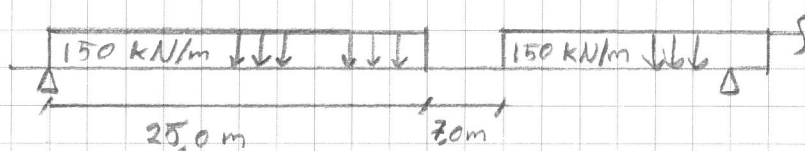
1.2 Veranderlijke Belasting

Spoorwagverkeer

Belastingmodel 71

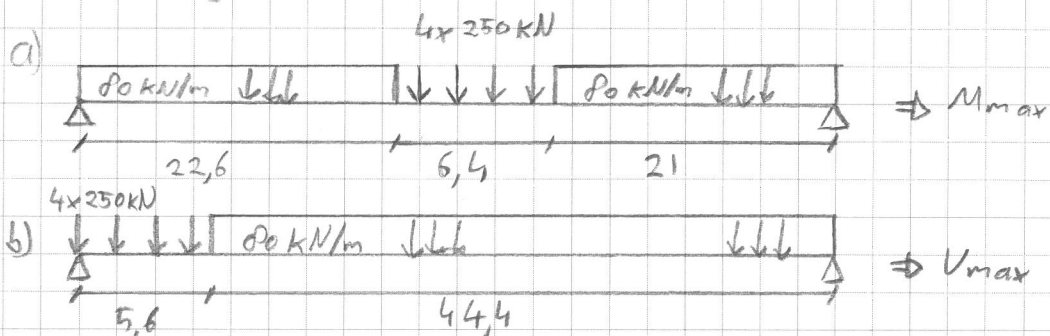


Belastingmodel SW/2

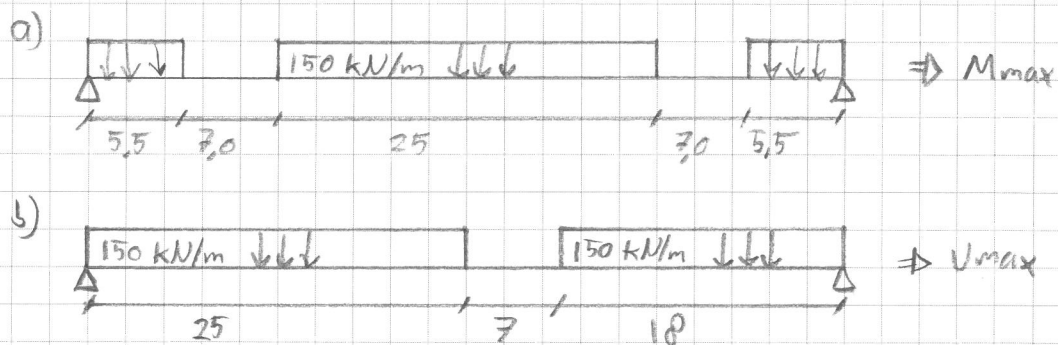


Maatgevende situaties

Belastingmodel 71



Belastingmodel SW/2

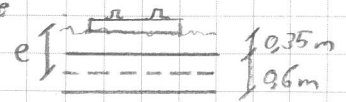


Belastingspreading

spreading over hoogte e

e = afstand o.k. dwarsliggers - hartlijn constructie

$$e = 0,35 + \frac{1}{2} \cdot 600 = 0,65 \text{ m}$$



Dwarsrichting

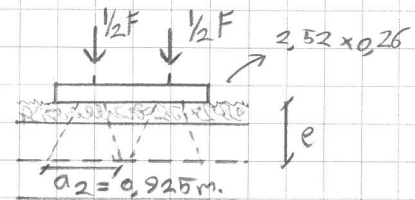
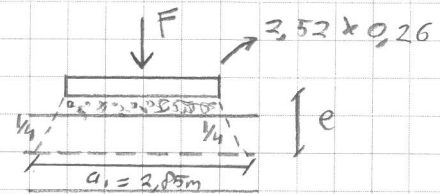
$$a_1 = 2,52 + \frac{e}{2} = 2,52 + \frac{0,65}{2} = 2,85 \text{ m}$$

$$a_2 = 0,6 + \frac{e}{2} = 0,6 + \frac{0,65}{2} = 0,925 \text{ m}$$

$$2a_2 = 2 \cdot 0,925 = 1,85 \text{ m}$$

$1,85 < 2,85 \rightarrow a_2$ meest ongunstig

afmeting dwarsliggers: $2,52 \times 0,26$
 $\rightarrow$ [ProRail]



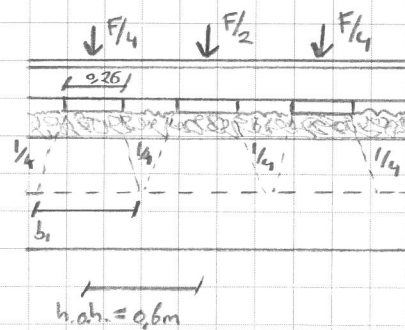
Langsrichting

h.o.h. dwarsliggers 0,60 m

breedte dwarsliggers 0,26 m

$$b_1 = 0,26 + \frac{e}{2} = 0,26 + \frac{0,65}{2} = 0,585 \text{ m}$$

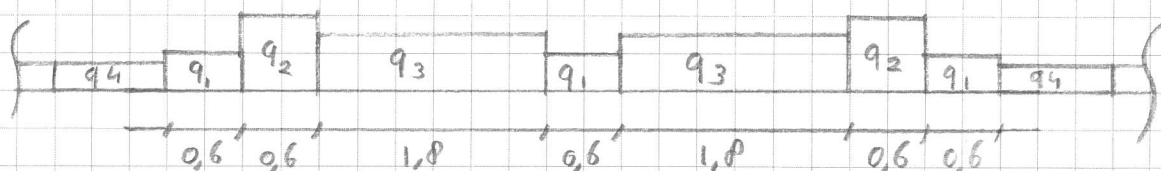
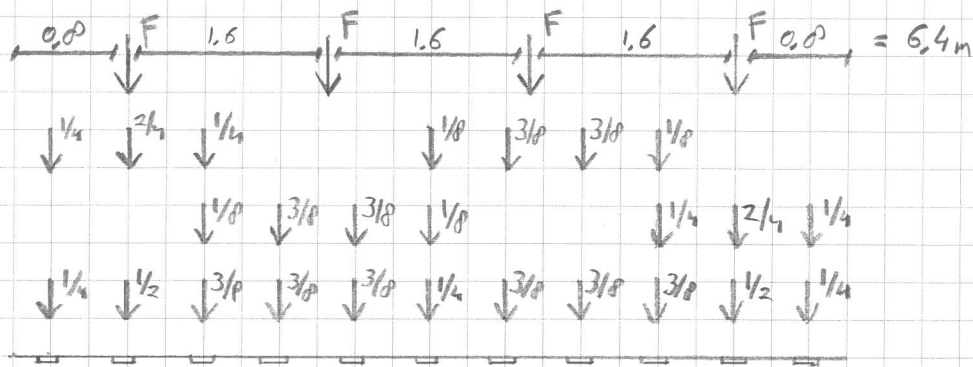
$$0,585 \approx 0,60 \text{ m}$$



spreading in langsrichting enkel punt-lasten BG71.

Belastingmodel 71

Spreading F in langsrichting:



$$q_1 = \frac{1/4 \cdot F \cdot \alpha}{0.6 \cdot a_2}$$

$$q_3 = \frac{3/8 \cdot F \cdot \alpha}{0.6 \cdot a_2}$$

$$q_2 = \frac{1/2 \cdot F \cdot \alpha}{0.6 \cdot a_2}$$

$$q_4 = \frac{q \cdot \alpha}{a_2}$$

$$F = 250 \text{ kN}$$

$$q = 80 \text{ kN/m}$$

$$\alpha = 1.21$$

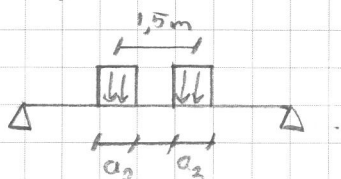
$$a_2 = 0.925 \cdot 2 = 1.85$$

$$p_1 = \frac{1/4 \cdot 250 \cdot 1.21}{0.6 \cdot 1.85} = 68.13 \text{ kN/m}^2$$

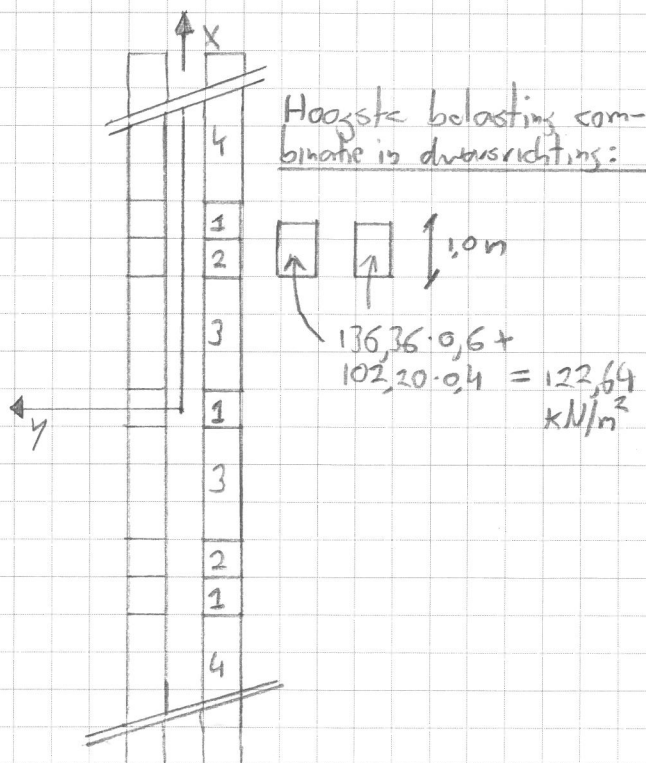
$$p_2 = \frac{1/2 \cdot 250 \cdot 1.21}{0.6 \cdot 1.85} = 136.26 \text{ kN/m}^2$$

$$p_3 = \frac{3/8 \cdot 250 \cdot 1.21}{0.6 \cdot 1.85} = 102.20 \text{ kN/m}^2$$

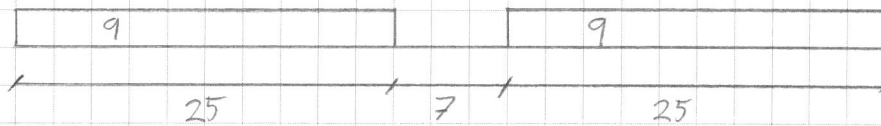
$$p_4 = \frac{80 \cdot 1.21}{1.85} = 52.32 \text{ kN/m}^2$$



$$1.5 - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0.925 = 0.575 \text{ m}$$



Belastingmodel sw/2

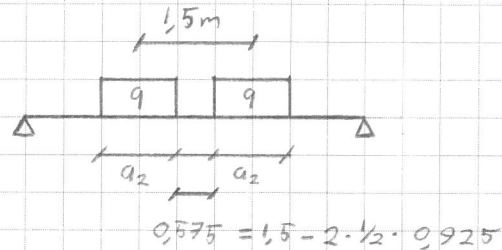


$$q = \frac{q \cdot a_1}{a_2}$$

$$q = 150 \text{ kN/m}$$

$$a_2 = 2 \cdot 0,925 = 1,85$$

$$q = \frac{150 \cdot 25}{1,85} = 81,08 \text{ kN/m}^2$$

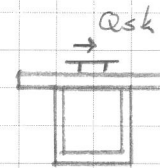


Horizontale belasting spoorverkeer

zijdelingse stoot

$$Q_{sk} = 100 \text{ kN} \cdot 1,21 = 121 \text{ kN}$$

De andere horizontale belastingen zijn gelijk aan nul.

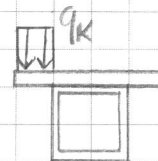


Belasting op passeerpad

$$q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

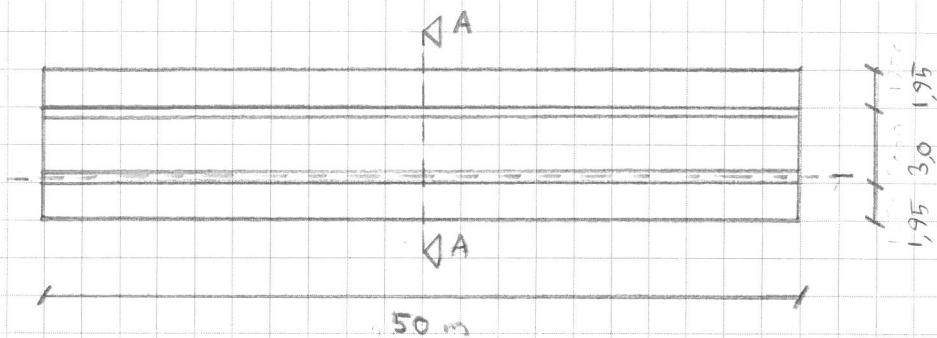
breedte pad = 1,0 meter

$$5,0 \cdot 1,0 = 5,0 \text{ kN/m aan één zijde van de brug.}$$

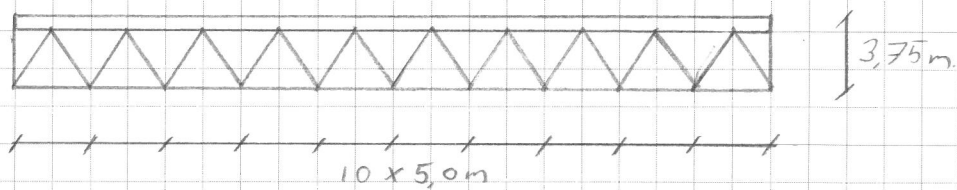


2 Invoer

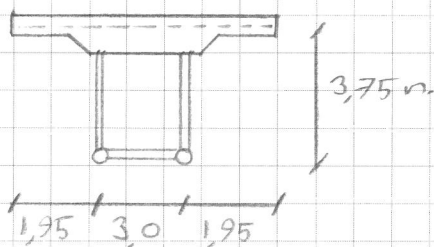
2.1 Geometrie



Bovenaanzicht

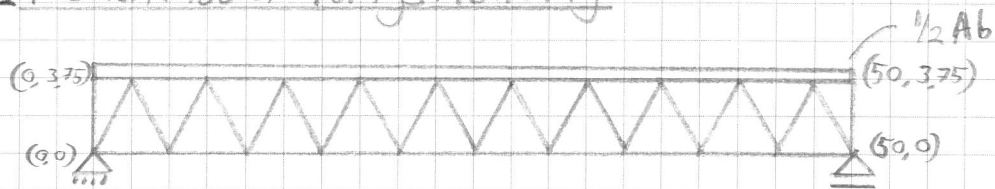


Aanzicht



Dwarsdoorsnede A-A

2.2 Rekenmodel langsrichting



Rekenmodel langsrichting:

- Enkele vakwerk ligger
- Halve doorsnede brugdek
- Boven en onder regel doorgaand gemodelleerd
- Diagonalen scharnierend verbonden

Doorsnede gegevens brugdek

$$A_b = 1,511 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 2,8744 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$Z_o = 275 \text{ mm}$$

2.3 Rekenmodel dwarsrichting



Rekenmodel brugdek dwarsrichting:

- Alleen betonnen brugdek gemodelleerd
- Volledig doorgeand

Profiel 1: 1000 x 350

Profiel 2: 1000 x 500

3. Uitvoer Technosoft

Opmerkingen bij Technosoft invoer/modellen

3.1. TS uitvoer vakwerk

In de Technosoft berekening is een halve doorsnede gemodelleerd. Waarin een enkele vakwerkligger en een halve doorsnede van het brugdek is gemodelleerd. Voor het brugdek is een fictieve doorsnede ingevoerd met een vergelijkbaar traagheidsmoment volgens 5.1 Schematisering. De interne krachten moeten daarom met twee worden vermenigvuldigd. Het eigengewicht van het brugdek is automatisch meegenomen in Technosoft

3.2 TS-uitvoer-brugdek

Voor het brugdek is een fictieve doorsnede gemodelleerd met een conservatief traagheidsmoment. Het eigengewicht van de betondoorsnede zoals weergegeven in 5.1 Schematisering is in Technosoft automatisch meegenomen. Het eigengewicht van de opstort ballastkeringen op het brugdek zijn handmatig ingevoerd.

3.3 TS-uitvoer-kolomwapening

In de berekening voor kolomwapening is het brugdek als kolom gemodelleerd met een fictieve dikte. Waarbij het traagheidsmoment gelijk is bij de ongewijzigde breedte.

3. Uitvoer Technosoft

3.1 TS-uitvoer-vakwerk

Project.....: 1 - Zuidoostboog
 Onderdeel.....: Staal-betonbrug
 Constructeur.: N. Wiesemann
 Opdrachtgever: North Sea Port
 Dimensies.....: kN;m;rad (tenzij anders aangegeven)
 Datum.....: 02/05/2022
 Bestand.....: C:\Users\NLNIGW\OneDrive - Sweco AB\5)
 Onderzoeksvoorstel\Staal-betonbrug\Raamwerkmodel
 vakwerk.rww

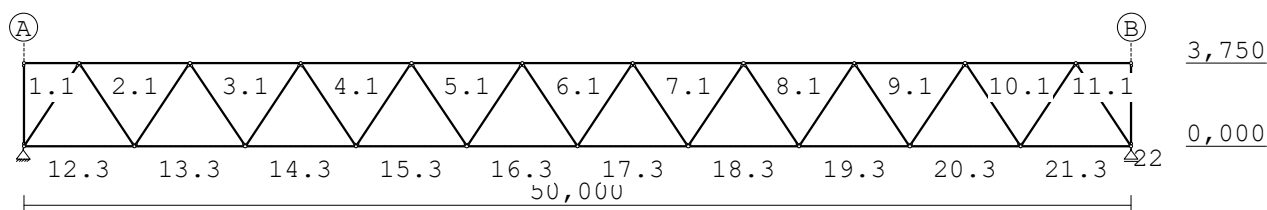
Rekenmodel.....: 1e-orde-elastisch.
 Theorie voor de bepaling van de krachtsverdeling:
 Geometrisch lineair.
 Fysisch lineair.

Gunstige werking van de permanente belasting wordt automatisch verwerkt.

Toegepaste normen volgens Eurocode met Nederlandse NB

Belastingen	NEN-EN 1990:2002	C2:2010,A1:2019	NB:2019(nl)
	NEN-EN 1991-1-1:2002	C1/C11:2019	NB:2019(nl)
Staal	NEN-EN 1993-1-1:2006	C2:2011,A1:2016	NB:2016(nl)

GEOMETRIE



STRAMIENLIJNEN

Nr.	Naam	X	Z-min	Z-max
1	A	0.000	0.000	3.750
2	B	50.000	0.000	3.750

NIVEAUS

Nr.	Z	X-min	X-max
1	0.000	0.000	50.000
2	3.750	0.000	50.000

MATERIALEN

Mt	Kwaliteit	E-modulus[N/mm2]	S.G.	Pois.	Uitz. coëff
1	C45/55	13121	25.0	0.20	1.0000e-05
2	S355	210000	78.5	0.30	1.2000e-05
3	S235	210000	78.5	0.30	1.2000e-05

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Staal-betonbrug

MATERIALEN vervolg

Mt	Kwaliteit	Cement	Kruipfac.	Toeslag	Rho[kg/m3]
1	C45/55	N	1.77	Normaal	2400

PROFIELEN [mm]

Prof.	Omschrijving	Materiaal	Oppervlak	Traagheid	Vormf.
1	BRUGDEK	1:C45/55	1.5110e+06	2.8744e+10	0.00
2	B323.9/30	3:S235	2.7699e+04	3.0219e+08	0.00
3	B559/30	2:S355	4.9857e+04	1.7496e+09	0.00

PROFIELEN vervolg [mm]

Prof.	Staaftype	Breedte	Hoogte	e	Type	b1	h1	b2	h2
1	0:Normaal	3450	500	275.0					
2	0:Normaal	324	324	161.9					
3	0:Normaal	559	559	279.5					

PROFIELVORMEN [mm]

- 1 BRUGDEK
2 B323.9/30



- 3 B559/30

**KNOPEN**

Knoop	X	Z	Knoop	X	Z
1	0.000	0.000	6	10.000	0.000
2	0.000	3.750	7	12.500	3.750
3	2.500	3.750	8	15.000	0.000
4	5.000	0.000	9	17.500	3.750
5	7.500	3.750	10	20.000	0.000
11	22.500	3.750	16	35.000	0.000
12	25.000	0.000	17	37.500	3.750
13	27.500	3.750	18	40.000	0.000
14	30.000	0.000	19	42.500	3.750
15	32.500	3.750	20	45.000	0.000
21	47.500	3.750			
22	50.000	0.000			
23	50.000	3.750			

STAVEN

St.	ki	kj	Profiel	Aansl.i	Aansl.j	Lengte	Opm.
1	2	3	1:BRUGDEK	NDM	NDM	2.500	
2	3	5	1:BRUGDEK	NDM	NDM	5.000	
3	5	7	1:BRUGDEK	NDM	NDM	5.000	
4	7	9	1:BRUGDEK	NDM	NDM	5.000	
5	9	11	1:BRUGDEK	NDM	NDM	5.000	

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Staal-betonbrug

STAVEN

St.	ki	kj	Profiel	Aansl.i	Aansl.j	Lengte	Opm.
6	11	13	1:BRUGDEK	NDM	NDM	5.000	
7	13	15	1:BRUGDEK	NDM	NDM	5.000	
8	15	17	1:BRUGDEK	NDM	NDM	5.000	
9	17	19	1:BRUGDEK	NDM	NDM	5.000	
10	19	21	1:BRUGDEK	NDM	NDM	5.000	
11	21	23	1:BRUGDEK	NDM	NDM	2.500	
12	1	4	3:B559/30	NDM	NDM	5.000	
13	4	6	3:B559/30	NDM	NDM	5.000	
14	6	8	3:B559/30	NDM	NDM	5.000	
15	8	10	3:B559/30	NDM	NDM	5.000	
16	10	12	3:B559/30	NDM	NDM	5.000	
17	12	14	3:B559/30	NDM	NDM	5.000	
18	14	16	3:B559/30	NDM	NDM	5.000	
19	16	18	3:B559/30	NDM	NDM	5.000	
20	18	20	3:B559/30	NDM	NDM	5.000	
21	20	22	3:B559/30	NDM	NDM	5.000	
22	2	1	2:B323.9/30	ND-	ND-	3.750	
23	1	3	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
24	3	4	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
25	4	5	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
26	5	6	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
27	6	7	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
28	7	8	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
29	8	9	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
30	9	10	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
31	10	11	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
32	11	12	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
33	12	13	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
34	13	14	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
35	14	15	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
36	15	16	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
37	16	17	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
38	17	18	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
39	18	19	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
40	19	20	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
41	20	21	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
42	21	22	2:B323.9/30	ND-	ND-	4.507	
43	22	23	2:B323.9/30	ND-	ND-	3.750	

VASTE STEUNPUNTEN

Nr.	knoop	Kode	XZR	1=vast	0=vrij	Hoek
1	1	110				0.00
2	22	010				0.00

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Staal-betonbrug

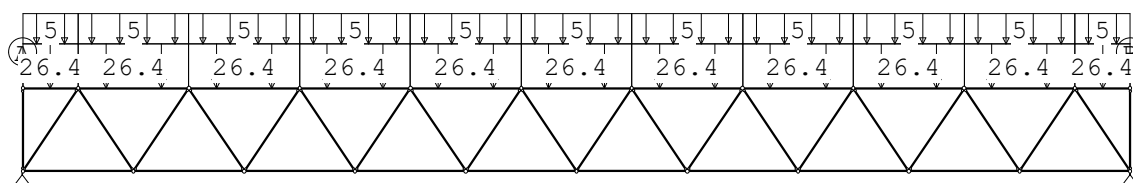
BELASTINGGEVALLEN

B.G.	Omschrijving	Type
1	Permanente belasting EGZ=-1.00	1
2	Belastingmodel 71 max moment	6 Ver. belasting door voertuigen
3	Belastingmodel 71 max dwarskracht	6 Ver. belasting door voertuigen
4	Belastingmodel SW/2 max moment	6 Ver. belasting door voertuigen
5	Belastingmodel SW/2 max dwarskracht	6 Ver. belasting door voertuigen

BELASTINGEN

B.G:1 Permanente belasting

Eigen gewicht van alle staven is meegenomen in berekening. Richting:↓

**STAAFBELASTINGEN**

B.G:1 Permanente belasting

Staaf	Type	q1/p/m	q2	A	B	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1	1:QZLokaal	-26.40	-26.40	0.000	0.000			
2	1:QZLokaal	-26.40	-26.40	0.000	0.000			
3	1:QZLokaal	-26.40	-26.40	0.000	0.000			
4	1:QZLokaal	-26.40	-26.40	0.000	0.000			
5	1:QZLokaal	-26.40	-26.40	0.000	0.000			
6	1:QZLokaal	-26.40	-26.40	0.000	0.000			
7	1:QZLokaal	-26.40	-26.40	0.000	0.000			
8	1:QZLokaal	-26.40	-26.40	0.000	0.000			
9	1:QZLokaal	-26.40	-26.40	0.000	0.000			
10	1:QZLokaal	-26.40	-26.40	0.000	0.000			
11	1:QZLokaal	-26.40	-26.40	0.000	0.000			
1	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			
2	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			
3	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			
4	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			
5	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			
6	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			
7	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			
8	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			
9	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			
10	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			
11	1:QZLokaal	-5.00	-5.00	0.000	0.000			

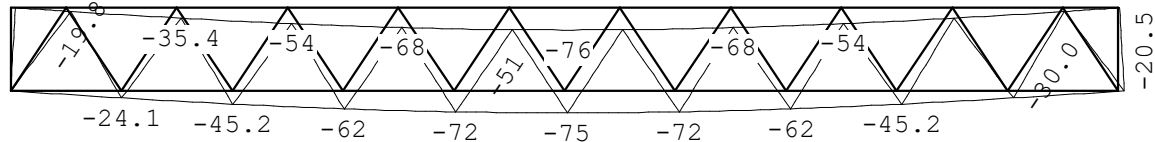
Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Staal-betonbrug

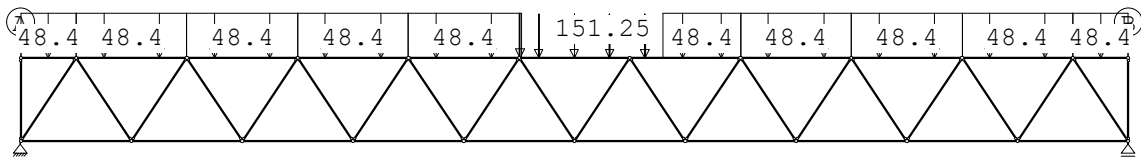
VERPLAATSINGEN

[mm]

B.G:1 Permanente belasting

**BELASTINGEN**

B.G:2 Belastingmodel 71 max moment

**STAAFBELASTINGEN**

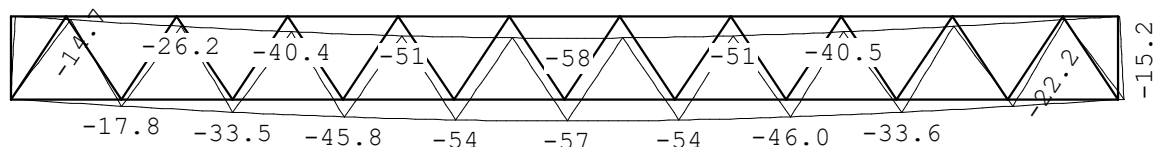
B.G:2 Belastingmodel 71 max moment

Staaftype	Type	q1/p/m	q2	A	B	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1	1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
2	1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
3	1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
4	1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
5	1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
6	1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	4.900	0.80	0.80	0.00
7	1:QZLokaal	-48.40	-48.40	1.500	0.000	0.80	0.80	0.00
8	1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
9	1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
10	1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
11	1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
6	8:PZLokaal	-151.25		2.500		0.80	0.80	0.00
6	8:PZLokaal	-151.25		0.900		0.80	0.80	0.00
6	8:PZLokaal	-151.25		4.100		0.80	0.80	0.00
7	8:PZLokaal	-151.25		0.700		0.80	0.80	0.00

VERPLAATSINGEN

[mm]

B.G:2 Belastingmodel 71 max moment

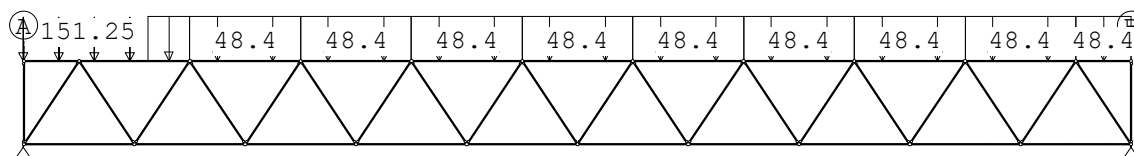


Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Staal-betonbrug

BELASTINGEN

B.G:3 Belastingmodel 71 max dwarskracht

**STAAFBELASTINGEN**

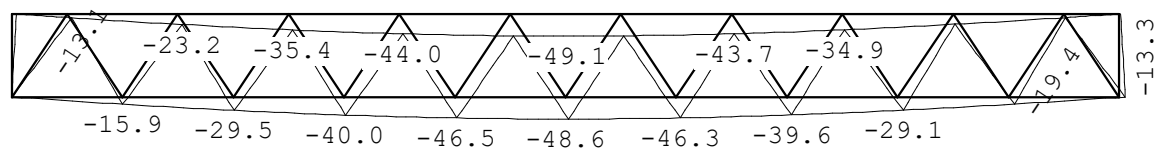
B.G:3 Belastingmodel 71 max dwarskracht

Staaf Type	q1/p/m	q2	A	B	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1 8:PZLokaal	-151.25		0.000		0.80	0.80	0.00
1 8:PZLokaal	-151.25		1.600		0.80	0.80	0.00
2 8:PZLokaal	-151.25		0.700		0.80	0.80	0.00
2 8:PZLokaal	-151.25		2.300		0.80	0.80	0.00
2 1:QZLokaal	-48.40	-48.40	3.100	0.000	0.80	0.80	0.00
3 1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
4 1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
5 1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
6 1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
7 1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
8 1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
9 1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
10 1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00
11 1:QZLokaal	-48.40	-48.40	0.000	0.000	0.80	0.80	0.00

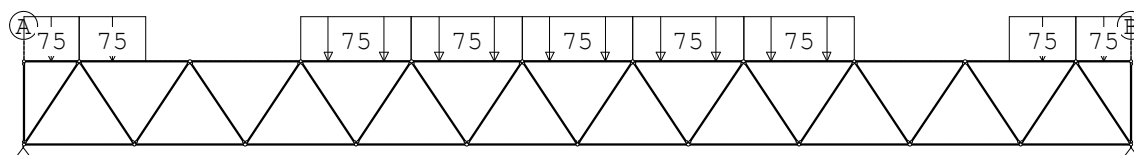
VERPLAATSINGEN

[mm]

B.G:3 Belastingmodel 71 max dwarskracht

**BELASTINGEN**

B.G:4 Belastingmodel SW/2 max moment



Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Staal-betonbrug

STAAFBELASTINGEN

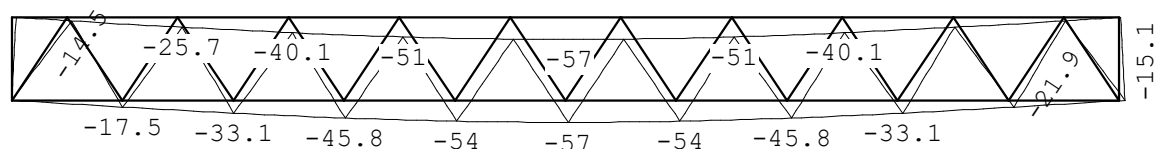
B.G:4 Belastingmodel SW/2 max moment

Staaft Type	q1/p/m	q2	A	B	ψ_0	ψ_1	ψ_2
5 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
4 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
6 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
8 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
7 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
1 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
2 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	2.000	0.00	1.00	0.00
11 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
10 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	2.000	0.000	0.00	1.00	0.00

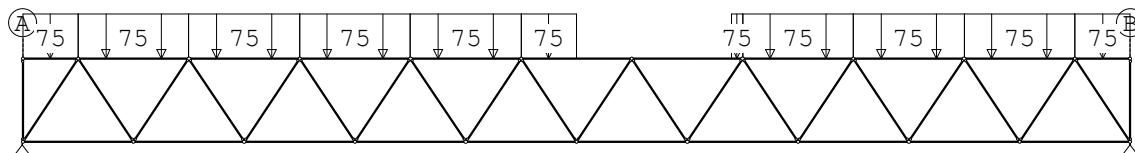
VERPLAATSINGEN

[mm]

B.G:4 Belastingmodel SW/2 max moment

**BELASTINGEN**

B.G:5 Belastingmodel SW/2 max dwarskracht

**STAAFBELASTINGEN**

B.G:5 Belastingmodel SW/2 max dwarskracht

Staaft Type	q1/p/m	q2	A	B	ψ_0	ψ_1	ψ_2
1 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
3 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
2 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
4 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
5 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
6 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	2.500	0.00	1.00	0.00
11 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
10 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
9 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
8 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	0.000	0.000	0.00	1.00	0.00
7 1:QZLokaal	-75.00	-75.00	4.500	0.000	0.00	1.00	0.00

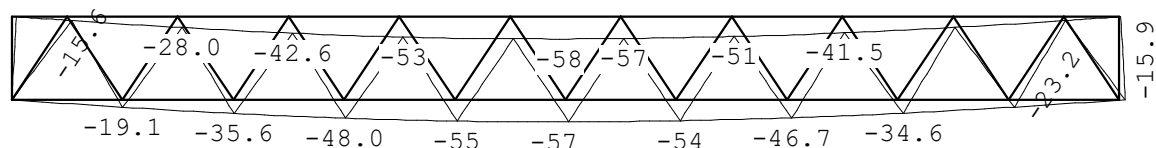
Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Staal-betonbrug

VERPLAATSINGEN

[mm]

B.G:5 Belastingmodel SW/2 max dwarskracht

**BELASTINGCOMBINATIES**

BC Type					
1 Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.50	$\psi_0 Q_{k,2}$
2 Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.50	$\psi_0 Q_{k,3}$
3 Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.25	$\psi_0 Q_{k,4}$
4 Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.25	$\psi_0 Q_{k,5}$
5 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.50	$Q_{k,2}$
6 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.50	$Q_{k,3}$
7 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.25	$Q_{k,4}$
8 Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.25	$Q_{k,5}$
9 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$Q_{k,2}$
10 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$Q_{k,3}$
11 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$Q_{k,4}$
12 Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	$Q_{k,5}$

GUNSTIGE WERKING PERMANENTE BELASTINGEN

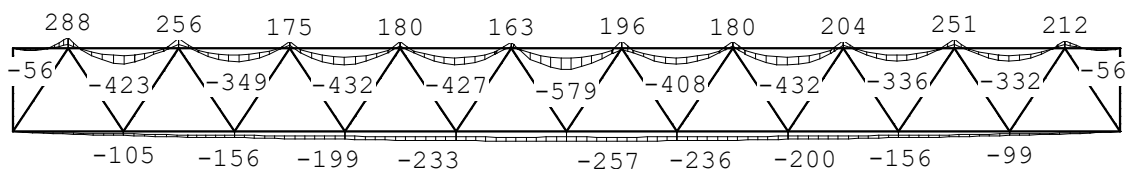
BC Staven met gunstige werking	
1	Geen
2	Geen
3	Geen
4	Geen
5	Geen
6	Geen
7	Geen
8	Geen

Project.....: 1 - Zuidoostboog

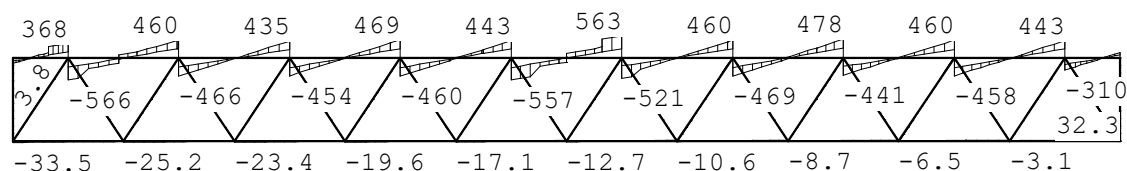
Onderdeel....: Staal-betonbrug

OMHULLENDE VAN DE FUNDAMENTELE COMBINATIES**MOMENTEN**

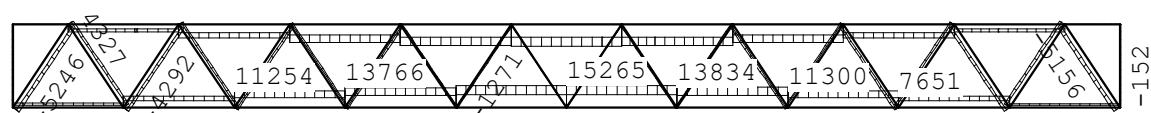
Fundamentele combinatie

**DWARSKRACHTEN**

Fundamentele combinatie

**NORMAALKRACHTEN**

Fundamentele combinatie

**STAAFKRACHTEN**

Fundamentele combinatie

			NXi/NXj				DZi/DZj				MYi/MYj			
St.	Kn.	Pos.	Min	BC	Max	BC	Min	BC	Max	BC	Min	BC	Max	BC
1	2		0.00	1	0.00	1	-141.69	7	-74.61	6	0.00	7	0.00	6
1		0.786	0.00	1	0.00	1	-6.63	6	0.21	8	-55.70	7	-30.94	3
1		0.799	0.00	1	0.00	1	-5.48	6	2.60	8	-55.68	7	-30.95	3
1		1.570	0.00	1	0.00	1	61.15	6	141.48	8	-10.57	6	-0.00	8
1		1.630	0.00	1	0.00	1	80.41	3	293.19	6	-0.00	6	8.77	8
1	3		0.00	1	0.00	1	164.69	3	368.44	6	109.08	3	287.87	6

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Staal-betonbrug

STAAFKRACHTEN

Fundamentele combinatie

St.	Kn.	Pos.	NXi/NXj			DZi/DZj			MYi/MYj					
			Min	BC	Max	BC	Min	BC	Max	BC	Min	BC	Max	BC
2	3		-5245	5	-3171	3	-566.37	6	-238.43	3	109.08	3	287.87	6
2	0.510		-5245	5	-3171	3	-522.24	6	-189.00	3	-0.00	3	11.19	7
2	0.543		-5245	5	-3171	3	-519.38	6	-185.80	3	-9.06	5	-0.00	7
2	2.300		-5245	5	-3171	3	-140.62	6	-15.69	3	-423.07	6	-183.16	3
2	2.300		-5245	5	-3171	3	-27.06	6	86.26	3	-423.07	6	-183.16	3
2	2.462		-5245	5	-3171	3	-0.45	5	100.27	6	-407.96	6	-184.43	3
2	4.368		-5245	5	-3171	3	184.59	3	357.14	6	-52.94	7	-0.00	8
2	4.593		-5245	5	-3171	3	206.39	3	392.94	6	-0.00	7	83.00	6
2	5		-5245	5	-3171	3	245.79	3	459.53	8	106.82	7	256.05	6
3	5		-9450	5	-5673	3	-466.49	8	-220.46	7	106.82	7	256.05	6
3	0.542		-9450	5	-5673	3	-368.78	8	-173.57	7	-0.00	7	49.94	6
3	0.696		-9450	5	-5673	3	-341.07	8	-160.28	7	-39.71	5	-0.00	6
3	2.550		-9450	5	-5673	3	-17.71	6	0.00	7	-349.20	8	-174.21	7
3	2.588		-9450	5	-5673	3	-11.52	6	3.37	7	-349.33	8	-174.15	7
3	4.557		-9450	5	-5673	3	173.57	7	354.75	8	-21.16	6	-0.00	7
3	4.626		-9450	5	-5673	3	179.53	7	367.17	8	-0.00	6	24.69	8
3	7		-9450	5	-5673	3	211.89	7	434.60	8	81.02	3	174.69	8
4	7		-12521	5	-7455	3	-454.16	8	-245.55	3	81.02	3	174.69	8
4	0.207		-12521	5	-7455	3	-416.90	8	-225.53	3	-0.00	7	84.64	8
4	0.420		-12521	5	-7455	3	-378.54	8	-204.92	3	-79.85	7	-0.00	8
4	2.395		-12521	5	-7455	3	-28.10	5	0.00	7	-431.53	7	-229.33	3
4	2.536		-12521	5	-7455	3	-5.77	5	25.30	7	-429.75	7	-230.29	3
4	4.584		-12521	5	-7455	3	198.34	3	394.39	7	-67.37	5	-0.00	7
4	4.784		-12521	5	-7455	3	217.76	3	430.53	7	-0.00	5	82.72	7
4	9		-12521	5	-7455	3	238.67	3	469.45	7	63.81	3	179.89	7
5	9		-14491	5	-8525	3	-460.41	7	-244.38	3	63.81	3	179.89	7
5	0.219		-14491	5	-8525	3	-420.90	7	-223.15	3	-0.00	5	83.27	7
5	0.426		-14491	5	-8525	3	-383.59	7	-203.10	3	-68.23	5	-0.00	7
5	2.523		-14491	5	-8525	3	-5.64	7	20.46	5	-426.57	8	-244.53	3
5	2.544		-14491	5	-8525	3	-1.91	7	23.76	5	-426.61	8	-244.50	3
5	4.570		-14491	5	-8525	3	198.24	3	365.16	8	-59.76	6	-0.00	5
5	4.771		-14491	5	-8525	3	217.63	3	401.25	8	-0.00	3	72.49	5
5	11		-14491	5	-8525	3	239.84	3	442.59	8	52.47	3	163.37	5
6	11		-15239	5	-8882	3	-557.16	5	-242.11	3	52.47	3	163.37	5
6	0.227		-15239	5	-8882	3	-530.27	5	-220.13	3	-0.00	3	40.39	5
6	0.309		-15239	5	-8882	3	-523.19	5	-212.20	3	-21.49	2	-0.00	7
6	2.500		-15239	5	-8882	3	-106.85	5	28.85	8	-578.53	5	-250.17	3
6	2.500		-15239	5	-8882	3	0.00	5	120.02	8	-578.53	5	-250.17	3
6	4.642		-15239	5	-8882	3	207.46	3	532.13	5	-114.01	8	-0.00	5
6	13		-15239	5	-8882	3	242.11	3	563.07	5	-31.87	8	195.93	5
7	13		-14561	5	-8525	3	-521.46	5	-199.16	8	-31.87	8	195.93	5
7	0.388		-14561	5	-8525	3	-487.89	5	-165.59	8	-102.68	8	-0.00	5
7	2.445		-14561	5	-8525	3	-14.52	5	12.28	8	-408.22	7	-244.48	3
7	2.477		-14561	5	-8525	3	-9.54	5	14.99	8	-408.13	7	-244.53	3
7	4.574		-14561	5	-8525	3	203.10	3	383.59	7	-62.88	5	-0.00	7
7	4.759		-14561	5	-8525	3	221.07	3	417.03	7	-0.00	5	74.29	7
7	15		-14561	5	-8525	3	244.38	3	460.41	7	63.81	3	179.89	7

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Staal-betonbrug

STAAFKRACHTEN

Fundamentele combinatie

St.	Kn.	Pos.	NXi/NXj			DZi/DZj			MYi/MYj			Max	BC	
			Min	BC	Max	BC	Min	BC	Max	BC	Min			BC
8	15		-12579	5	-7455	3	-469.45	7	-238.67	3	63.81	3	179.89	7
8		0.159	-12579	5	-7455	3	-440.81	7	-223.28	3	-0.00	8	107.58	7
8		0.416	-12579	5	-7455	3	-394.39	7	-198.34	3	-95.56	8	-0.00	7
8		2.346	-12579	5	-7455	3	-46.65	7	0.00	8	-431.05	8	-229.61	3
8		2.464	-12579	5	-7455	3	-25.30	7	21.35	8	-429.78	8	-230.29	3
8		2.464	-12579	5	-7455	3	-25.30	7	21.35	8	-429.75	8	-230.29	3
8		2.605	-12579	5	-7455	3	0.00	7	46.65	8	-431.53	7	-229.33	3
8		4.533	-12579	5	-7455	3	200.34	3	394.16	8	-96.48	7	-0.00	8
8		4.793	-12579	5	-7455	3	225.53	3	441.03	8	-0.00	7	108.61	8
8	17		-12579	5	-7455	3	245.55	3	478.30	8	81.02	3	203.65	8
9	17		-9487	5	-5673	3	-441.09	8	-211.89	7	81.02	3	203.65	8
9		0.378	-9487	5	-5673	3	-373.03	8	-179.23	7	-0.00	3	49.92	8
9		0.516	-9487	5	-5673	3	-348.08	8	-167.26	7	-42.90	5	-0.00	8
9		2.448	-9487	5	-5673	3	-0.25	7	6.74	5	-336.14	8	-174.21	7
9		2.450	-9487	5	-5673	3	0.00	7	7.20	5	-336.14	8	-174.21	7
9		4.379	-9487	5	-5673	3	166.75	7	348.08	8	-16.87	5	-0.00	8
9		4.458	-9487	5	-5673	3	173.57	7	362.29	8	-0.00	7	28.01	8
9	19		-9487	5	-5673	3	220.46	7	460.00	8	106.82	7	250.93	8
10	19		-5264	5	-3171	3	-458.29	8	-245.79	3	106.82	7	250.93	8
10		0.407	-5264	5	-3171	3	-384.96	8	-206.39	3	-0.00	7	79.37	8
10		0.624	-5264	5	-3171	3	-345.81	8	-185.35	3	-51.17	7	-0.00	8
10		2.538	-5264	5	-3171	3	-10.23	7	0.32	5	-331.78	8	-184.43	3
10		2.543	-5264	5	-3171	3	-9.33	7	1.11	5	-331.78	8	-184.43	3
10		4.457	-5264	5	-3171	3	185.80	3	344.86	8	-9.34	5	-0.00	7
10		4.490	-5264	5	-3171	3	189.00	3	350.82	8	-0.00	3	11.19	7
10	21		-5264	5	-3171	3	238.43	3	442.80	8	109.08	3	212.21	8
11	21		0.00	1	0.00	8	-310.16	8	-164.69	3	109.08	3	212.21	8
11		0.901	0.00	1	0.00	8	-147.76	8	-77.42	3	-0.00	3	5.90	8
11		0.942	0.00	1	0.00	8	-140.39	8	-73.46	3	-4.44	5	-0.00	8
11		1.701	0.00	1	0.00	8	-3.69	8	0.00	3	-55.68	7	-30.95	3
11		1.714	0.00	1	0.00	8	-1.30	8	1.73	1	-55.70	7	-30.94	3
11	23		0.00	1	0.00	8	77.42	3	141.69	7	0.00	7	0.00	3
12	1		1724.46	3	2907.22	6	-33.54	2	-24.33	3	0.00	2	0.00	3
12		4.441	1724.46	3	2907.22	6	-11.51	6	0.00	3	-99.35	6	-54.02	3
12	4		1724.46	3	2907.22	6	-8.77	6	3.07	3	-105.03	6	-53.17	3
13	4		4592.46	3	7623.17	5	-25.17	1	-20.91	3	-105.03	6	-53.17	3
13		3.816	4592.46	3	7623.17	5	-5.33	5	0.00	3	-153.94	8	-93.05	3
13		4.763	4592.46	3	7623.17	5	-0.69	5	5.19	3	-156.14	8	-90.60	3
13	6		4592.46	3	7623.17	5	0.47	5	6.49	3	-156.00	8	-89.21	3
14	6		6728	3	11254	5	-23.37	7	-18.70	3	-156.00	8	-89.21	3
14		3.412	6728	3	11254	5	-6.67	7	0.00	3	-197.62	5	-121.11	3
14		4.227	6728	3	11254	5	-2.69	7	4.47	3	-199.25	5	-119.29	3
14	8		6728	3	11254	5	1.09	7	8.70	3	-197.79	5	-114.20	3

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Staal-betonbrug

STAAFKRACHTEN

Fundamentele combinatie

St.	Kn.	Pos.	NXi/NXj			DZi/DZj				MYi/MYj				
			Min	BC	Max	BC	Min	BC	Max	BC	Min	BC	Max	BC
15	8		8156	3	13766	5	-19.58	1	-16.81	3	-197.79	5	-114.20	3
15		3.067	8156	3	13766	5	-3.49	7	0.00	3	-231.42	5	-139.97	3
15		3.775	8156	3	13766	5	-0.03	7	3.88	3	-232.64	5	-138.60	3
15	10		8156	3	13766	5	5.97	7	10.59	3	-228.97	5	-129.74	3
16	10		8869	3	15193	5	-17.13	1	-10.69	8	-228.97	5	-129.74	3
16		2.682	8869	3	15193	5	-3.04	5	2.44	8	-254.73	5	-149.45	3
16		3.304	8869	3	15193	5	0.00	5	5.48	8	-255.68	5	-148.39	3
16	12		8869	3	15193	5	8.30	5	13.78	8	-248.65	5	-134.73	3
17	12		8869	3	15265	5	-12.70	3	-9.19	5	-248.65	5	-134.73	3
17		1.879	8869	3	15265	5	-2.41	3	0.00	5	-257.28	5	-148.92	3
17		2.318	8869	3	15265	5	0.00	3	2.15	5	-256.81	5	-149.45	3
17	14		8869	3	15265	5	13.49	7	16.41	1	-233.45	5	-129.74	3
18	14		8156	3	13834	5	-10.59	3	-5.15	5	-233.45	5	-129.74	3
18		1.053	8156	3	13834	5	-5.43	8	0.00	5	-236.16	5	-137.85	3
18		1.933	8156	3	13834	5	-1.12	8	4.31	5	-234.26	5	-139.97	3
18	16		8156	3	13834	5	13.88	8	20.25	1	-198.04	5	-114.20	3
19	16		6728	3	11300	5	-8.70	3	-1.09	7	-198.04	5	-114.20	3
19		0.787	6728	3	11300	5	-4.39	3	2.75	7	-199.56	5	-119.35	3
19		1.588	6728	3	11300	5	0.00	3	6.67	7	-197.99	5	-121.11	3
19	18		6728	3	11300	5	18.70	3	23.37	7	-156.14	5	-89.21	3
20	18		4592.46	3	7651.47	5	-6.49	3	-0.40	5	-156.14	5	-89.21	3
20		0.082	4592.46	3	7651.47	5	-6.04	3	0.00	5	-156.15	5	-89.72	3
20		1.184	4592.46	3	7651.47	5	0.00	3	5.39	5	-153.18	5	-93.05	3
20	20		4592.46	3	7651.47	5	20.91	3	25.22	1	-98.55	8	-53.17	3
21	20		1724.46	3	2857.02	5	-3.07	3	7.48	8	-98.55	8	-53.17	3
21		0.559	1724.46	3	2857.02	5	0.00	3	10.22	8	-93.60	8	-54.02	3
21	22		1724.46	3	2857.02	5	24.33	3	32.25	1	0.00	1	0.00	3
22	2		-301.49	6	-77.42	3	0.00	1	0.00	1	0.00	1	0.00	1
22	1		-311.68	6	-88.84	3	0.00	1	0.00	1	0.00	1	0.00	1
23	1		-5246	6	-3115	3	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
23		2.253	-5241	6	-3109	3	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
23	3		-5236	6	-3103	3	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
24	3		2613.54	3	4327.16	5	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
24		2.253	2607.83	3	4322.06	5	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
24	4		2602.13	3	4316.96	5	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
25	4		-4292	5	-2568	3	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
25		2.253	-4287	5	-2563	3	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
25	5		-4282	5	-2557	3	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
26	5		1954.20	3	3297.58	5	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
26		2.253	1948.49	3	3292.48	5	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
26	6		1942.78	3	3287.39	5	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Staal-betonbrug

STAAFKRACHTEN

Fundamentele combinatie

St.	Kn.	Pos.	NXi/NXj			DZi/DZj				MYi/MYj				
			Min	BC	Max	BC	Min	BC	Max	BC	Min	BC	Max	BC
27	6		-3257	5	-1907	3	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
27		2.253	-3252	5	-1902	3	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
27	7		-3247	5	-1896	3	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
28	7		1316.01	3	2320.13	7	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
28		2.253	1310.31	3	2315.04	7	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
28	8		1304.60	3	2309.94	7	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
29	8		-2282	7	-1269	3	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
29		2.253	-2277	7	-1263	3	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
29	9		-2272	7	-1257	3	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
30	9		671.83	3	1312.11	5	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
30		2.253	666.12	3	1307.01	5	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
30	10		660.41	3	1301.92	5	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
31	10		-1271	5	-625	3	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
31		2.253	-1266	5	-619	3	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
31	11		-1261	5	-614	3	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
32	11		-275.46	8	88.36	5	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
32		2.253	-280.56	8	83.26	5	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
32	12		-285.66	8	78.17	5	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
33	12		-52.62	5	318.05	8	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
33		2.253	-47.52	5	323.15	8	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
33	13		-42.43	5	328.25	8	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
34	13		-1266	5	-614	3	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
34		2.253	-1271	5	-619	3	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
34	14		-1276	5	-625	3	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
35	14		660.41	3	1304.82	5	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
35		2.253	666.12	3	1309.91	5	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
35	15		671.83	3	1315.01	5	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
36	15		-2272	7	-1257	3	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
36		2.253	-2277	7	-1263	3	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
36	16		-2282	7	-1269	3	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
37	16		1304.60	3	2309.94	7	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
37		2.253	1310.31	3	2315.04	7	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
37	17		1316.01	3	2320.13	7	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
38	17		-3263	5	-1896	3	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
38		2.253	-3269	5	-1902	3	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
38	18		-3274	5	-1907	3	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
39	18		1942.78	3	3303.44	5	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
39		2.253	1948.49	3	3308.54	5	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
39	19		1954.20	3	3313.64	5	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Staal-betonbrug

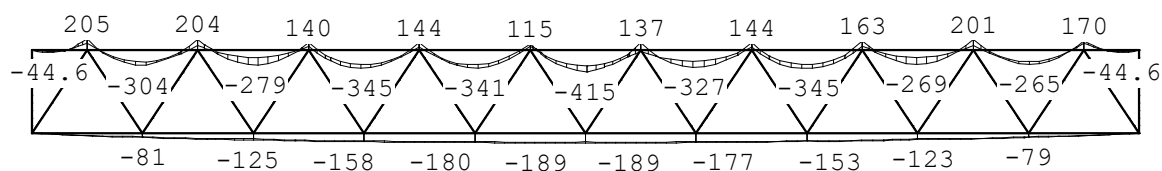
STAAFKRACHTEN

Fundamentele combinatie

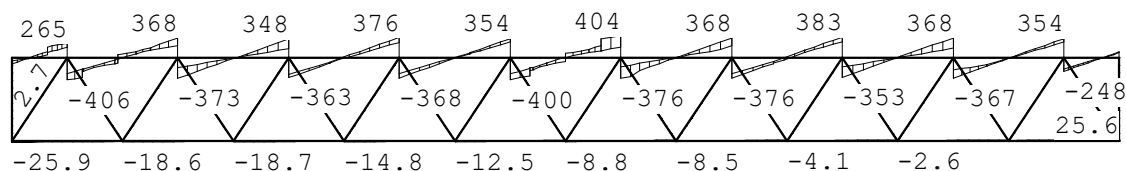
			NXi/NXj			DZi/DZj				MYi/MYj				
St.	Kn.	Pos.	Min	BC	Max	BC	Min	BC	Max	BC	Min	BC	Max	BC
40	19		-4299	5	-2557	3	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
40		2.253	-4304	5	-2563	3	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
40	20		-4309	5	-2568	3	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
41	20		2602.13	3	4334.08	5	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
41		2.253	2607.83	3	4339.18	5	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
41	21		2613.54	3	4344.27	5	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
42	21		-5145	5	-3103	3	-3.81	1	-3.40	5	0.00	1	0.00	5
42		2.253	-5151	5	-3109	3	0.00	1	0.00	5	-4.29	1	-3.83	5
42	22		-5156	5	-3115	3	3.40	5	3.81	1	0.00	1	0.00	5
43	22		-151.88	7	-88.84	3	0.00	1	0.00	1	0.00	1	0.00	1
43	23		-141.69	7	-77.42	3	0.00	1	0.00	1	0.00	1	0.00	1

OMHULLENDE VAN DE KARAKTERISTIEKE COMBINATIES**MOMENTEN**

Karakteristieke combinatie

**DWARSKRACHTEN**

Karakteristieke combinatie

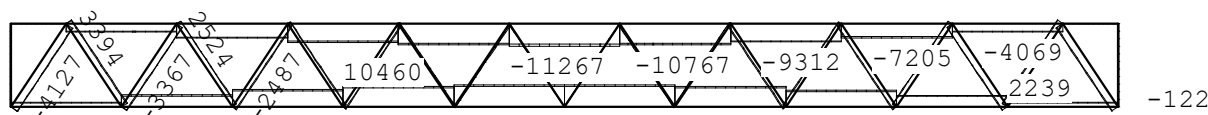


Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Staal-betonbrug

NORMAALKRACHTEN

Karakteristieke combinatie

**PROFIEL/MATERIAAL**

P/M nr.	Profielnaam	Vloeisp. [N/mm ²]	Productie methode	Min. drsn. klasse
2	B323.9/30	235	Warmgewalst	1
3	B559/30	355	Warmgewalst	1

Partiële veiligheidsfactoren:

Gamma M;0	:	1.00	Gamma M;1	:	1.00
Gamma M;fi;mech	:	1.00	Gamma M;fi;therm	:	1.00

KNIKSTABILITEIT

Staafl	l _{sys} [m]	Classif. y sterke as	l _{knik;y} [m]	Extra		l _{knik;z} [m]	Extra	
				aanp. y [kN]	Classif. z zwakke as		aanp. z [kN]	
12	5.000	Geschoord	5.000	0.0	Geschoord	5.000	0.0	
13	5.000	Geschoord	5.000	0.0	Geschoord	5.000	0.0	
14	5.000	Geschoord	5.000	0.0	Geschoord	5.000	0.0	
15	5.000	Geschoord	5.000	0.0	Geschoord	5.000	0.0	
16	5.000	Geschoord	5.000	0.0	Geschoord	5.000	0.0	
17	5.000	Geschoord	5.000	0.0	Geschoord	5.000	0.0	
18	5.000	Geschoord	5.000	0.0	Geschoord	5.000	0.0	
19	5.000	Geschoord	5.000	0.0	Geschoord	5.000	0.0	
20	5.000	Geschoord	5.000	0.0	Geschoord	5.000	0.0	
21	5.000	Geschoord	5.000	0.0	Geschoord	5.000	0.0	
22	3.750	Geschoord	3.750	0.0	Geschoord	3.750	0.0	
23	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
24	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
25	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
26	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
27	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
28	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
29	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
30	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
31	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
32	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
33	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
34	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
35	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
36	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
37	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	
38	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0	

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Staal-betonbrug

KNIKSTABILITEIT

Staafl	l _{sys} [m]	Classif. y sterke as	l _{knik;y} [m]	Extra		l _{knik;z} [m]	aanp. z [kN]
				aanp. y [kN]	Classif. z zwakke as		
39	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0
40	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0
41	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0
42	4.507	Geschoord	4.507	0.0	Geschoord	4.507	0.0
43	3.750	Geschoord	3.750	0.0	Geschoord	3.750	0.0

TOETSING SPANNINGEN

Staafl	P/M BC	Sit	Kl	Plaats	Norm	Artikel	Formule	Hoogste toetsing		Opm.	
	nr.							U.C.	[N/mm ²]		
12	3	6	1	1	Begin	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.169	60	
13	3	5	1	1	Begin	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.434	154	
14	3	5	1	1	Begin	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.639	227	
15	3	5	1	1	Begin	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.781	277	
16	3	5	1	1	Begin	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.861	306	
17	3	5	1	1	Einde	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.865	307	
18	3	5	1	1	Einde	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.785	279	
19	3	5	1	1	Einde	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.642	228	
20	3	5	1	1	Einde	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.436	155	
21	3	5	1	1	Einde	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.166	59	
22	2	6	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.1.1	(6.46y)	0.050	12	47
23	2	6	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.3	(6.61)	0.868	204	47
24	2	5	1	1	Begin	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.666	157	
25	2	5	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.3	(6.61)	0.711	167	47
26	2	5	1	1	Begin	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.508	119	
27	2	5	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.3	(6.61)	0.541	127	47
28	2	7	1	1	Begin	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.358	84	
29	2	7	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.3	(6.61)	0.381	90	47
30	2	5	1	1	Begin	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.203	48	
31	2	5	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.3	(6.61)	0.215	50	47
32	2	8	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.3	(6.61)	0.053	12	47
33	2	8	1	1	Einde	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.052	12	
34	2	5	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.3	(6.61)	0.216	51	47
35	2	5	1	1	Einde	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.203	48	
36	2	7	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.3	(6.61)	0.381	90	47
37	2	7	1	1	Einde	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.358	84	
38	2	5	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.3	(6.61)	0.544	128	47
39	2	5	1	1	Einde	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.510	120	
40	2	5	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.3	(6.61)	0.714	168	47
41	2	5	1	1	Einde	EN3-1-1	6.2.1 (6)	N+D	0.669	157	
42	2	5	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.3	(6.61)	0.853	200	47
43	2	7	1	1	Staafl	EN3-1-1	6.3.1.1	(6.46y)	0.024	6	47

Opmerkingen:

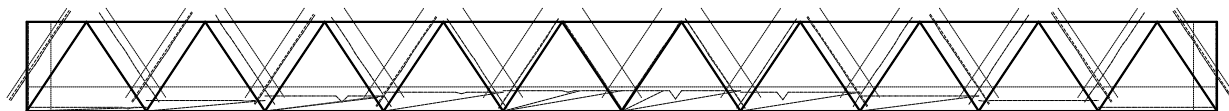
[47] Bij verlopende normaalkracht wordt de grootste drukkracht genomen.

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Staal-betonbrug

UNITY-CHECK 'S

OMHULLENDE VAN ALLES



- Toelaatbare unity-check (1.0)
- Hoogste unity-check i.v.m. knikstabiliteit
- Hoogste unity-check i.v.m. doorsnedecontrole

3. Uitvoer Technosoft

3.2 TS-uitvoer-brugdek

Project.....: 1 - Zuidoostboog
Onderdeel....: Brugdek staal-betonbrug
Constructeur.: N. Wieseemann
Opdrachtgever: North Sea Port
Dimensies....: kN;m;rad (tenzij anders aangegeven)
Datum.....: 02/05/2022
Bestand.....: C:\Users\NLNIGW\OneDrive - Sweco AB\5)
Onderzoeksvoorstel\Staal-betonbrug\Raamwerkmodel
brugdek.rww

Rekenmodel.....: 2e-orde-elastisch.
Theorieën voor de bepaling van de krachtsverdeling:
1) Uiterste grenstoestand:
Geometrisch niet lineair alle staven.
Fysisch lineair alle staven.
2) Gebruiksgrenstoestand:
Geometrisch niet lineair alle staven.
Fysisch lineair alle staven.

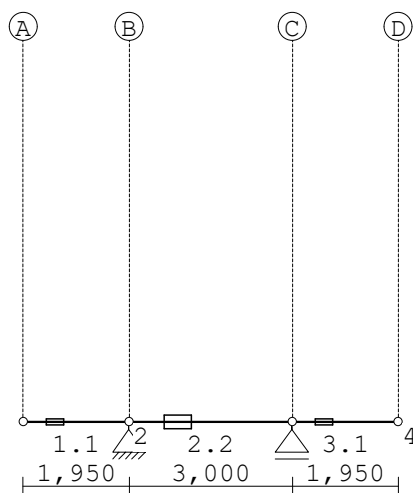
Maximum aantal iteraties.....: 50
Max.deellengte kolommen/wanden: 0.500 Max.deellengte balken/vloeren: 0.500
Max. X-verplaatsing in UGT....: 0.500 Max. Z-verplaatsing in UGT...: 0.250

Gunstige werking van de permanente belasting wordt automatisch verwerkt.

Toegepaste normen volgens Eurocode met Nederlandse NB

Belastingen	NEN-EN 1990:2002	C2:2010	NB:2011 (nl)
	NEN-EN 1991-1-1:2002	C1:2009	NB:2011 (nl)

GEOMETRIE



Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Brugdek staal-betonbrug

STRAMIENLIJNEN

Nr.	Naam	X	Z-min	Z-max
1	A	0.000	0.000	6.000
2	B	1.950	0.000	6.000
3	C	4.950	0.000	6.000
4	D	6.900	0.000	6.000

MATERIALEN

Mt	Omschrijving	E-modulus[N/mm2]	S.G.	Pois.	Uitz. coëff
1	C45/55	13121	25.0	0.20	1.0000e-05

MATERIALEN vervolg

Mt	Omschrijving	Cement	Kruipfac.	Toeslag	Rho[kg/m3]
1	C45/55	N	1.77	Normaal	2400

PROFIELEN [mm]

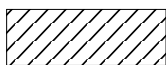
Prof.	Omschrijving	Materiaal	Oppervlak	Traagheid	Vormf.
1	B*H 1000*350	1:C45/55	3.5000e+05	3.5729e+09	0.00
2	B*H 1000*500	1:C45/55	5.0000e+05	1.0417e+10	0.00

PROFIELEN vervolg [mm]

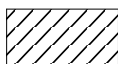
Prof.	Staaftype	Breedte	Hoogte	e	Type	b1	h1	b2	h2
1	0:Normaal	1000	350	175.0	0:RH				
2	0:Normaal	1000	500	250.0	0:RH				

PROFIELVORMEN [mm]

1 B*H 1000*350



2 B*H 1000*500

**KNOPEN**

Knoop	X	Z
1	0.000	0.000
2	1.950	0.000
3	4.950	0.000
4	6.900	0.000

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Brugdek staal-betonbrug

STAVEN

St.	ki	kj	Profiel	Aansl.i	Aansl.j	Lengte Opm.
1	1	2	1:B*H 1000*350	NDM	NDM	1.950
2	2	3	2:B*H 1000*500	NDM	NDM	3.000
3	3	4	1:B*H 1000*350	NDM	NDM	1.950

VASTE STEUNPUNTEN

Nr.	knoop	Kode	XZR 1=vast 0=vrij	Hoek
1	2	110		0.00
2	3	010		0.00

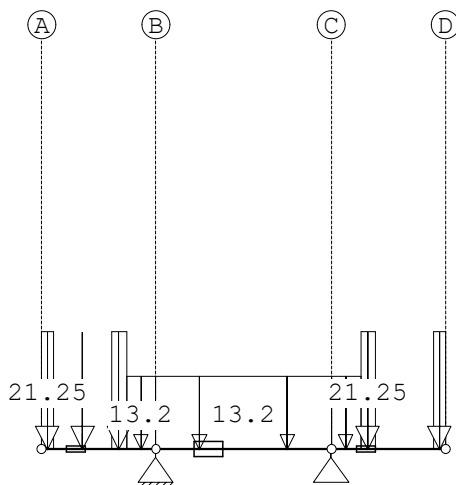
BELASTINGGEVALLEN

B.G.	Omschrijving	Type
1	Permanente belasting EGZ=-1.00	1
2	Belastingmodel 71	6 Ver. belasting door voertuigen
3	Belastingmodel SW/2	6 Ver. belasting door voertuigen
4	Passeerpad	2 Ver. bel. pers. ed. (p_rep)
5	Zijdelingsestoot	6 Ver. belasting door voertuigen
6	Belastingmodel SW/2 M0=0,8	6 Ver. belasting door voertuigen

BELASTINGEN

B.G:1 Permanente belasting

Eigen gewicht van alle staven is meegenomen in berekening. Richting:↓



Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel.....: Brugdek staal-betonbrug

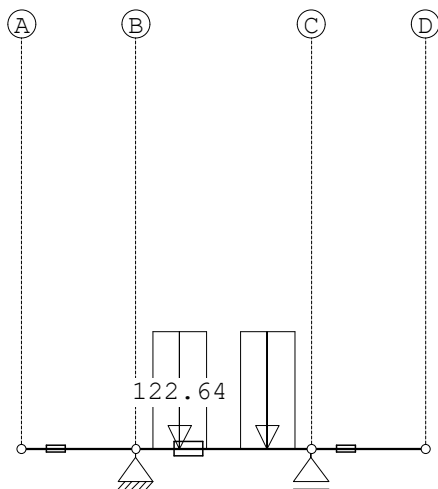
STAAFBELASTINGEN

B.G:1 Permanente belasting

Staaf	Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
2	1:QZLokaal	-13.20	-13.20	0.000	0.000			
1	1:QZLokaal	-13.20	-13.20	1.450	0.000			
3	1:QZLokaal	-13.20	-13.20	0.000	1.450			
1	8:PZLokaal	-5.00		0.700				
1	1:QZLokaal	-21.25	-21.25	0.000	1.750			
3	1:QZLokaal	-21.25	-21.25	1.750	0.000			
1	1:QZLokaal	-21.25	-21.25	1.200	0.500			
3	1:QZLokaal	-21.25	-21.25	0.500	1.200			

BELASTINGEN

B.G:2 Belastingmodel 71



$$136,35\text{kN} \times 0,6\text{m} + 102,20\text{kN} \times 0,4\text{m} = 122,64\text{kN}$$

STAAFBELASTINGEN

B.G:2 Belastingmodel 71

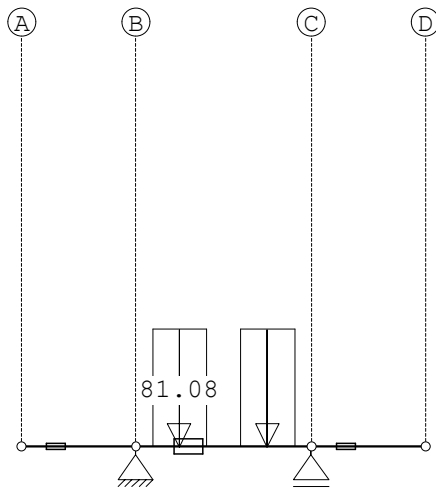
Staaf	Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
2	1:QZLokaal	-122.64	-122.64	0.287	1.788	0.80	0.80	0.00
2	1:QZLokaal	-122.64	-122.64	1.788	0.287	0.80	0.80	0.00

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Brugdek staal-betonbrug

BELASTINGEN

B.G:3 Belastingmodel SW/2

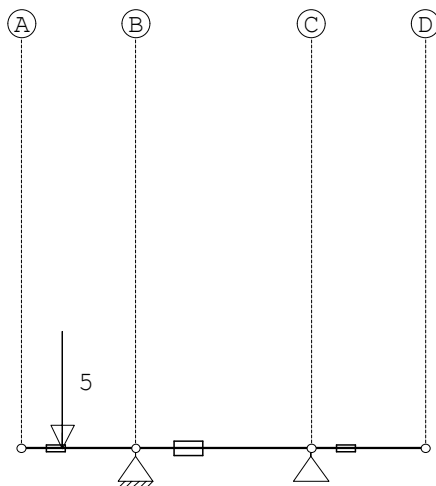
**STAAFBELASTINGEN**

B.G:3 Belastingmodel SW/2

Staaf Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
2 1:QZLokaal	-81.08	-81.08	0.287	1.788	0.00	1.00	0.00
2 1:QZLokaal	-81.08	-81.08	1.788	0.287	0.00	1.00	0.00

BELASTINGEN

B.G:4 Passeerpad



Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Brugdek staal-betonbrug

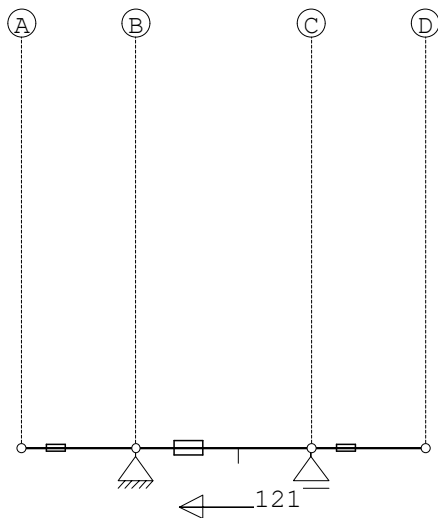
STAAFBELASTINGEN

B.G:4 Passeerpad

Staaft Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
1 8:PZLokaal	-5.00		0.700		0.80	0.50	0.00

BELASTINGEN

B.G:5 Zijdelingsestoot

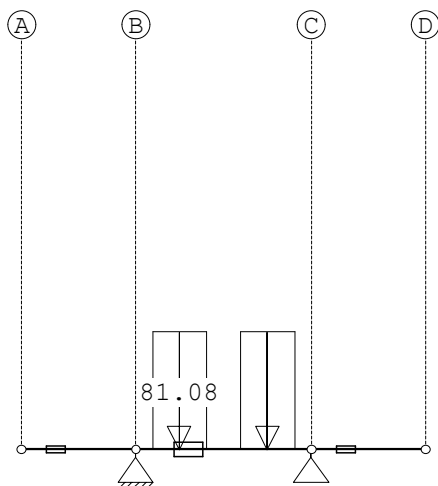
**STAAFBELASTINGEN**

B.G:5 Zijdelingsestoot

Staaft Type	q1/p/m	q2	A	B	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
2 9:PXLokaal	-121.00		1.750		0.80	0.80	0.00

BELASTINGEN

B.G:6 Belastingmodel SW/2 M0=0,8



Onderdeel....: Brugdek staal-betonbrug

B.G:6 Belastingmodel SW/2 M0=0,8

Controlerende berekening

BC	Type														
1	Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.50	ψ_0	$Q_{k,2}$	+	1.65	ψ_0	$Q_{k,4}$	+	1.50	ψ_0	$Q_{k,5}$
2	Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.50		$Q_{k,2}$	+	1.65	ψ_0	$Q_{k,4}$	+	1.50	ψ_0	$Q_{k,5}$
3	Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.50	ψ_0	$Q_{k,2}$	+	1.65	ψ_0	$Q_{k,4}$	+	1.50		$Q_{k,5}$
4	Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.25	ψ_0	$Q_{k,3}$	+	1.65	ψ_0	$Q_{k,4}$	+	1.25	ψ_0	$Q_{k,5}$
5	Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.25		$Q_{k,3}$	+	1.65	ψ_0	$Q_{k,4}$	+	1.25	ψ_0	$Q_{k,5}$
6	Fund.	1.40	$G_{k,1}$	+	1.65	ψ_0	$Q_{k,4}$	+	1.25	ψ_0	$Q_{k,5}$	+	1.25	ψ_0	$Q_{k,6}$
7	Fund.	1.25	$G_{k,1}$	+	1.65		$Q_{k,4}$								
8	Fund.	1.45	$G_{k,1}$	+	1.65	ψ_0	$Q_{k,4}$								
9	Fund.	0.90	$G_{k,1}$	+	1.65		$Q_{k,4}$								
10	Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00		$Q_{k,2}$								
11	Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00		$Q_{k,3}$								
12	Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00		$Q_{k,2}$	+	1.00	ψ_0	$Q_{k,4}$	+	1.00	ψ_0	$Q_{k,5}$
13	Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	ψ_0	$Q_{k,2}$	+	1.00	ψ_0	$Q_{k,4}$	+	1.00		$Q_{k,5}$
14	Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00		$Q_{k,3}$	+	1.00	ψ_0	$Q_{k,4}$	+	1.00	ψ_0	$Q_{k,5}$
15	Kar.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00		$Q_{k,4}$								
16	Freq.	1.00	$G_{k,1}$	+	1.00	ψ_1	$Q_{k,2}$	+	1.00	ψ_2	$Q_{k,4}$	+	1.00	ψ_2	$Q_{k,5}$

Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Brugdek staal-betonbrug

BELASTINGCOMBINATIES

BC Type							
17 Freq.	1.00 $G_{k,1}$	+	1.00 $\psi_2 Q_{k,6}$				
		+	1.00 $\psi_1 Q_{k,3}$	+	1.00 $\psi_2 Q_{k,4}$	+	1.00 $\psi_2 Q_{k,5}$
		+	1.00 $\psi_2 Q_{k,6}$				
18 Freq.	1.00 $G_{k,1}$	+	1.00 $\psi_2 Q_{k,2}$	+	1.00 $\psi_2 Q_{k,4}$	+	1.00 $\psi_1 Q_{k,5}$
		+	1.00 $\psi_2 Q_{k,6}$				

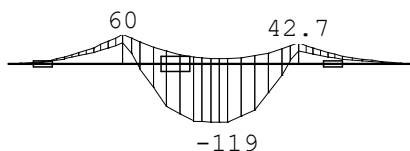
GUNSTIGE WERKING PERMANENTE BELASTINGEN

BC Staven met gunstige werking	
1	Geen
2	Geen
3	Geen
4	Geen
5	Geen
6	Geen
7	Geen
8	Geen
9	Alle staven de factor:0.90

OMHULLENDE VAN DE FUNDAMENTELE COMBINATIES**MOMENTEN**

2e orde

Fundamentele combinatie



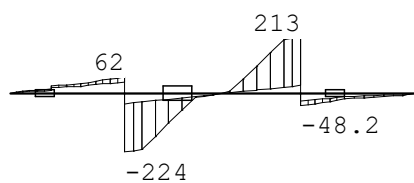
Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Brugdek staal-betonbrug

DWARSKRACHTEN

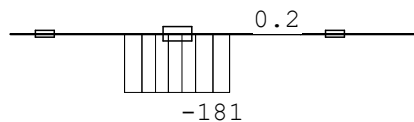
2e orde

Fundamentele combinatie

**NORMAALKRACHTEN**

2e orde

Fundamentele combinatie



Project.....: 1 - Zuidoostboog

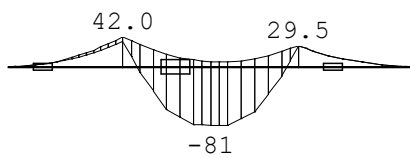
Onderdeel....: Brugdek staal-betonbrug

OMHULLENDE VAN DE KARAKTERISTIEKE COMBINATIES

MOMENTEN

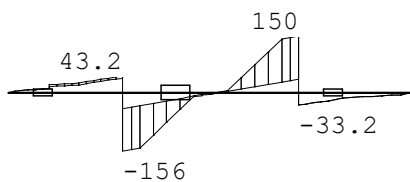
2e orde

Karakteristieke combinatie

**DWARSKRACHTEN**

2e orde

Karakteristieke combinatie



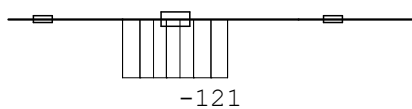
Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Brugdek staal-betonbrug

NORMAALKRACHTEN

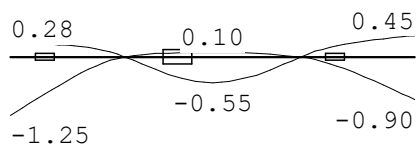
2e orde

Karakteristieke combinatie

**VERPLAATSINGEN**

2e orde [mm]

Karakteristieke combinatie



Project.....: 1 - Zuidoostboog

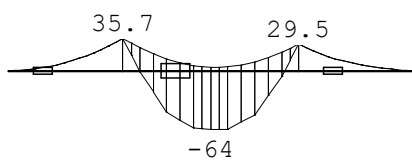
Onderdeel....: Brugdek staal-betonbrug

OMHULLENDE VAN DE FREQUENTE COMBINATIES

MOMENTEN

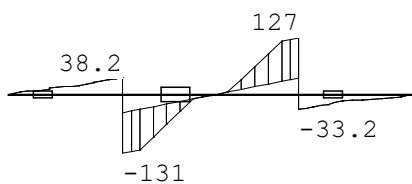
2e orde

Frequente combinatie

**DWARSKRACHTEN**

2e orde

Frequente combinatie



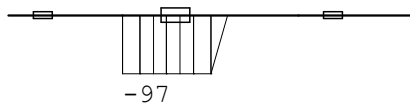
Project.....: 1 - Zuidoostboog

Onderdeel....: Brugdek staal-betonbrug

NORMAALKRACHTEN

2e orde

Frequente combinatie



3. Uitvoer Technosoft

3.3 TS-uitvoer-kolomwapening

Project : Kunstwerk over de Sluiskiltunnel, Zuidoostboog
 Onderdeel : Knikweerstand brugdek
 Dimensies : kN;m;rad (tenzij anders aangegeven)
 Datum : 04/05/2022
 Bestand : C:\Users\NLNIGW\OneDrive - Sweco AB\5)
 Onderzoeksvoorstel\Staal-betonbrug\Knik brugdek onder
 normaalkracht.klw
 Referentieperiode: 100

Toegepaste normen volgens Eurocode met Nederlandse NB

Beton NEN-EN 1992-1-1:2011(nl) C2/A1:2015(nl) NB:2016(nl)



Geometrie

Type constructie : Kolom Rechthoekig Geschoord uit vlak (y-as)
 Kolomafmeting in X/Y (=b*h) [mm] : 6900 * 426
 Kolomhoogte (L) [mm] : 2500
 Belastingsschema : Geschoord **I knik = 0,5 lsys = 5000 x 0,5 = 2500mm**
 Kniklengtefactor X : 1.00
 Krommingsverdeling factor c X : 10.00



Belasting

	BG1	BG2	BG3	Maatgevend BC
Omschrijving belastinggeval :				
Normaalkracht N Ek [kN] :	30530.00	0.00	0.00	30530.00
MEk,X boven [kNm] :	1158.00	0.00	0.00	1158.00
MEk,X onder [kNm] :	1158.00	0.00	0.00	1158.00
Belastingfactoren				
BC1 Fundamenteel :	1.00	0.00	0.00	Maatgevend X

Beton en Wapening

Betonkwaliteit :	C45/55	Prefab :	Nee
Soort spanningsrekdiagram :	Parabolisch - rechthoekig diagram		
Staalsoort :	B500B	Symm.wapening:	2-zijdig
f_{yk} [N/mm ²] :	500	ϵ_{uk} [%] :	5.0
Soort spanningsrekdiagram :	Bi-lineair diagram met klimmende tak		
Basiswapening [mm] :	4 ø12	Bijlegw.[mm] :	ø10, 12
Beugels [mm] :	ø 0		

Project : Kunstwerk over de Sluiskiltunnel, Zuidoostboog
 Onderdeel : Knikweerstand brugdek

Betondekking

Milieu	:				XD3
Gestort tegen bestaand beton	:				Nee
Element met plaatgeometrie	:				Nee
Specifieke kwaliteitsbeheersing	:				Nee
Oneffen beton oppervlak	:				Nee
Ondergrond	:			Glad / N.v.t.	
Constructieklasse	:				S5
Grootste korrel	:				31.5
Hoofdwapening	:			2de laag	
Nominale dekking	:			50	
Toegepaste dekking	:			50	
Gelijkwaardige diameter	:			12	
$C_{min,b}$ $C_{min,dur}$ ΔC_{dur}	:	12	45	0	
C_{min} ΔC_{dev} C_{nom}	:	45	5	50	

Project : Kunstwerk over de Sluiskiltunnel, Zuidoostboog

Onderdeel : Knikweerstand brugdek

Belastingcombinatie 1: (Fundamenteel)

Tussenresultaten		X-as	Y-as	BC1
Traagheidsmoment I	[mm ⁴]	: 4445255e4		
Kniklengte l ₀	[mm]	: 2500		
Art. 5.8.4 (2)				
kruipfactor ($\varphi_{ef}(on, t_0)$)		: 1.77		
Art. 5.2 (7)				
Basis imperfectie (θ_0)		: 0.003333		
Factor (α_h)		: 1.000		
Aantal elementen (m)	[st]	: 1		
Factor (α_m)		: 1.000		
Imperfectie (θ_i)		: 0.003333		
Excentriciteit e _i	[mm]	: 4.166667		
Art. 5.8.3.1 (1)				
Lambda (λ)		: 20.33		
Wapeningsoppervlak (A _s)	[mm ²]	: 7022		
Betonoppervlak (A _c)	[mm ²]	: 2939400		
Betondruksterkte (f _{cd})	[N/mm ²]	: 30.00		
Moment (M ₀₁)	[kNm]	: 1285.21		
Moment (M ₀₂)	[kNm]	: 1285.21		
Moment ratio (r _m)		: 1.000		
Factor A		: 0.738		
Factor B		: 1.034		
Factor C		: 0.700		
Grensslankheid (λ_{lim})		: 18.16		
Volstaat 1e orde toetsing?		: Nee		
Art. 5.8.8.3				
Nuttige hoogte (d)		: 370		
Vloeigrens (f _{yd})		: 434.8		
Elasticiteitsmodulus (E _s)		: 200000		
Factor (ω)		: 0.035		
Factor (n _u)		: 1.0346		
Factor (n _{bal})		: 0.4000		
Factor (n)		: 0.3462		
Coëfficiënt K _r		: 1.0000		
Factor (β)		: 0.4395		
Coëfficiënt K φ		: 1.7793		
Kromming (1/r ₀)		: 1.3057e-5		
Glob. kromming (1/r)		: 2.3232e-5		
Art. 5.8.8.2				
Krommingsverdeling factor c		: 10.0		
Excentriciteit e ₂	[mm]	: 14.5		
M ₂	[kNm]	: 443.30		
M _{0e}	[kNm]	: 1285.21		
M _{Ed, boven}	[kNm]	: 1063.56		
M _{Ed, veld}	[kNm]	: 1728.51		
M _{Ed, onder}	[kNm]	: 1063.56		
N _{Ed}	[kN]	: 30530.00		
M _{Ed}	[kNm]	: 1728.51		
Art. 6.1 (4)				
Minimale excentriciteit e ₀	[mm]	: 20.00		
M _{Ed, min}	[kNm]	: 610.60		

Project : Kunstwerk over de Sluiskiltunnel, Zuidoostboog

Onderdeel : Knikweerstand brugdek

Berekende gegevens

X-as

Y-as

BC1

Berekend moment $M_{Ed,ber}$	[kNm]	:	1728.51
Min. wapening art. 9.5.2(2)	[mm ²]	:	7021.9
Min. wap. art. 9.5.2(2)&(4)	[mm ²]	:	201.1 = 4 ø8.0
Min. wap. trekzone 7.3.2	[mm ²]	:	0.0
Totaal ber. wap. 1e/2e orde	[mm ²]	:	0.0
Maatgevende wapening	[mm ²]	:	7021.9

Tussenresultaten doorsnede X-as

BC1

Voorwaarde Eps;c=Eps;cu2 op de vezel y=-213.0 mm

y	Wapening	Perc.	A_s/A_p	$\Delta\epsilon$	σ_b	$\Delta\sigma_s$
[mm]		[o/o]	[mm ²]	[o/oo]	[N/mm ²]	[N/mm ²]
-157.0	31.044Ø12	100	3510.9	-2.424	-	-434.79
-213.0				-3.500	-30.00	-
157.0	31.044Ø12	100	3510.9	3.607	-	436.15

7021.9

Inwendige krachten

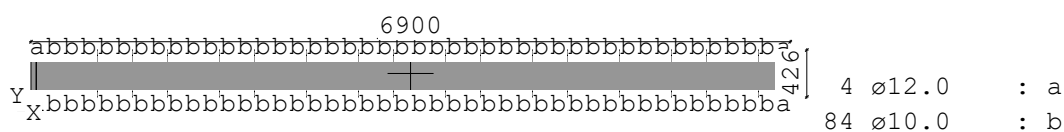
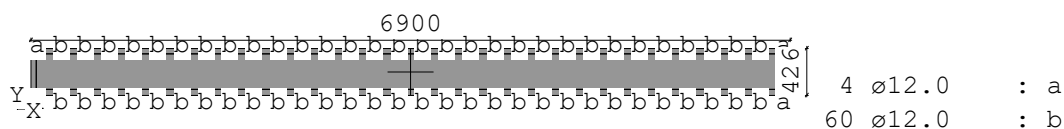
y	N_b	$N_s/\Delta N_p$	Δy	N	$N*\Delta y$
[mm]	[kN]	[kN]	[mm]	[kN]	[kNm]
-157.0		-1526.509	-157.0	-1526.509	239.662
-137.2	-30534.782		-137.2	-30534.782	4189.458
157.0		1531.291	157.0	1531.291	240.413
totaal inwendig				-30530.000	4669.533

Project : Kunstwerk over de Sluiskiltunnel, Zuidoostboog

Onderdeel : Knikweerstand brugdek

Maatgevende belastingcombinatie 1: (Fundamenteel)

Gevonden wapening	basiswapening	X-as	Y-as
Bijlegcombinatie 1	7050 [mm ²] : 4 ø12.0	84 ø10.0	
Bijlegcombinatie 2	7238 [mm ²] : 4 ø12.0	60 ø12.0	

Grafische uitvoer bijlegcombinatie 1**Grafische uitvoer bijlegcombinatie 2****Opmerkingen**

[10] * = Minimum wapening X-ri (bel.comb. 1).

[101] De berekende wapening is de totale wapening in de doorsnede.

[120] In bijlegcomb. 1 X-ri zijn er bijlegstaven die een grotere afstand hebben dan 150 mm tot een opgesloten staaf. Let op dat wordt voldaan aan detailleringseis conform artikel 9.5.3 (6) (bel.comb. 1).

[125] De lengte/dikteverhouding is groter dan 4.0, zie (art. 9.5.1(1)) (bel.comb. 1)

[113] Twee-zijdige wapening (bel.comb. 1)

[108] Gevonden wapening onverminderd toepassen over gehele kolomhoogte (bel.comb. 1)

[120] In bijlegcomb. 2 X-ri zijn er bijlegstaven die een grotere afstand hebben dan 150 mm tot een opgesloten staaf. Let op dat wordt voldaan aan detailleringseis conform artikel 9.5.3 (6) (bel.comb. 1).

4.1 Toetsing vakwerk

Vervorming

$$\text{Eis: } U_{\max} < 1/800 L \Rightarrow U_{\max} = 62,5 \text{ mm}$$

$$L = 50000$$

Waarbij $U_{\max}$ de bijkomende vervorming ten gevolge van de verticale spoorbelasting is.

$$U = 50 \text{ mm} \quad [\text{TS-vakwerk} - \text{blad } \phi]$$

$$50 < 62,5$$

$$0,93 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Controle berekening diagonaal

De toegepaste staalprofielen zijn door middel van technosoft berekend en akkoord. Deze berekening is ter controle van het TS-model.

Staal 23 wordt getoetst, in deze diagonaal treedt de hoogste normaalkracht op en is knik gevoelig. Er wordt een kniktoetsing uitgevoerd:

In staal 23 treden de volgende krachten (UGT) op:

$$N_{ed} = 5246 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 4 \text{ kNm} \rightarrow \text{Secundair moment} = \text{verwaarloosbaar}$$

Knikstabiliteit:

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} \leq 1,0 \quad \text{waarbij} \quad N_{b,rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_m} \quad \text{voor klasse 1, 2 en 3}$$

Geselecteerd profiel:

Ronde buis B323,9/30 $\rightarrow$ Klasse 1

$$d/t = \frac{323,9}{30} = 10,8 < 50 \epsilon^2 = 50 \cdot 1^2 \quad \text{voor S235 } \epsilon = 1,0$$

$10,8 < 50 \rightarrow$ Klasse 1 profiel

$$N_{b,rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{L_{sys}}{i} = \frac{4507}{104,4} = 43,2$$

$$L_{sys} = 4507 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{3,02 \cdot 10^8}{2,77 \cdot 10^4}} = 104,4$$

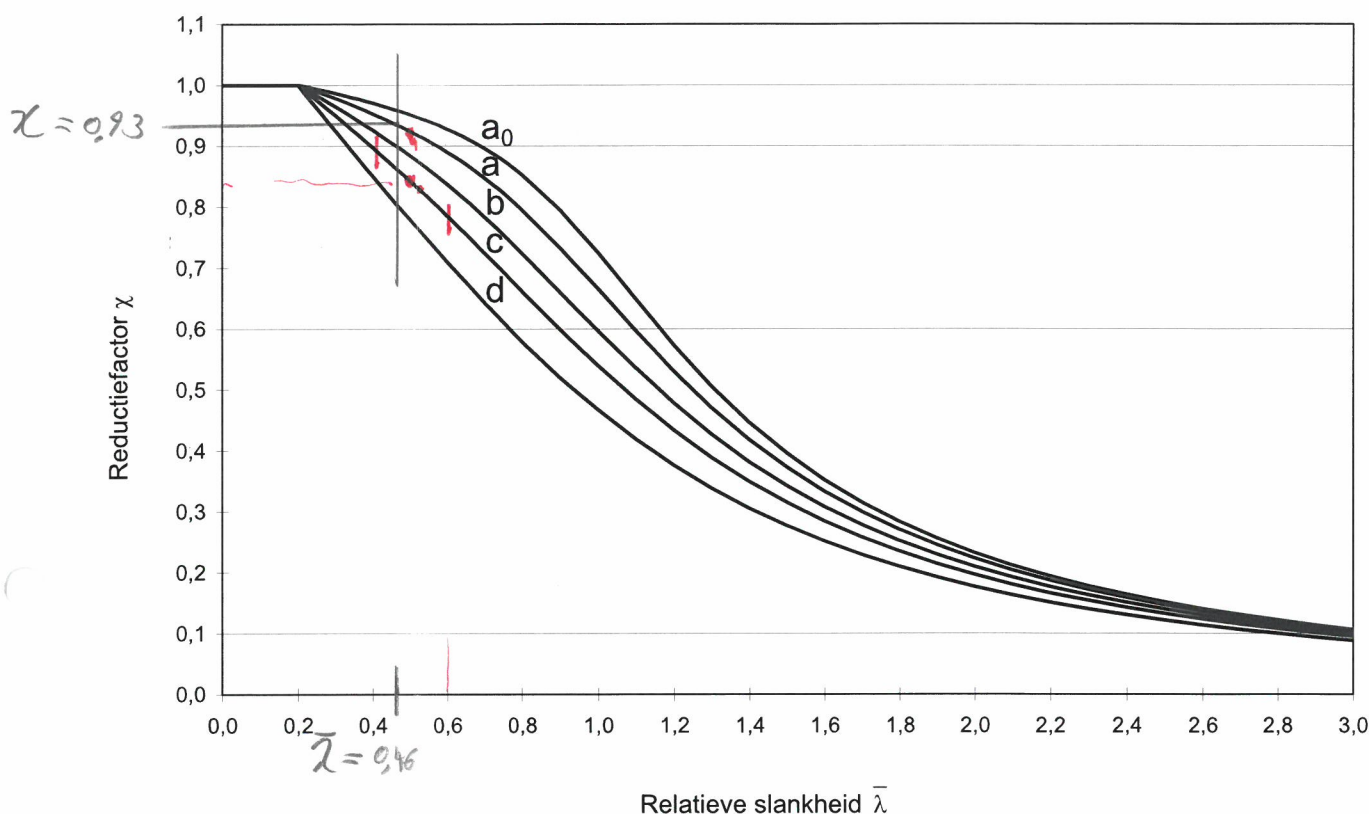
$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_{cr}}{\lambda_1} = \frac{43,2}{93,9} = 0,46$$

voor S235 geldt $\lambda_1 = 93,9$

Buisprofiel warmgevormd S235 $\rightarrow$ Kromme a (Tabel 6.2)

Aflezen Kromme a voor $\bar{\lambda} = 0,46$ in Figuur 6.4 geeft:

$$\chi = 0,95 - \frac{0,46 - 0,40}{0,50 - 0,40} \cdot (0,95 - 0,92) = 0,93 \quad (\text{Interpolatie knik tabellenboek})$$



Figuur 6.4 — Knikkrommen

6.3.1.3 Slankheden voor buigingsknik

(1) De relatieve slankheid $\bar{\lambda}$ is gedefinieerd door:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{voor doorsneden van klasse 1, 2 en 3} \quad (6.50)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff}f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{voor doorsneden van klasse 4} \quad (6.51)$$

waarin L_{cr} is de kniklengte in het beschouwde knikvlak;

i is de traagheidsstraal om de beschouwde as, bepaald uitgaande van de kenmerken van de brutodoorsnede;

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (f_y \text{ in N/mm}^2)$$

OPMERKING B Voor het elastisch knikken van onderdelen van constructies van gebouwen, zie bijlage BB.

(2) Voor buigingsknik behoort de van toepassing zijnde knikkromme te zijn bepaald volgens tabel 6.2.

$$N_{b,rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{m1}} = \frac{0,93 \cdot 2,77 \cdot 10^4 \cdot 235}{1,0} = 6054 \text{ kN}$$

$$\chi = 0,93$$

$$A = 2,77 \cdot 10^4$$

$$f_y = 235$$

$$\gamma_{m1} = 1,0$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{b,rd}} = \frac{5264}{6054} = 0,87 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Uit technosoftware volgt voor staaf 23 een u.c. van 0,868
 $0,868 \approx 0,87 \Rightarrow \text{Akkoord}$

4.2 Toetsing brugdek dwarsrichting

Vervorming

$$\text{Eis: } U_{\max} \leq \frac{1}{800} L \Rightarrow U_{\max} = 3,75 \text{ mm}$$

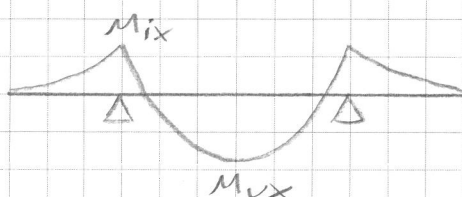
$$L = 3000 \text{ mm}$$

$$u = 1,25 \text{ mm} \quad [\text{TS-brugdek-blad 11}]$$

$$1,25 < 3,75$$

$$0,3 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Controle moment dwarsrichting



$$M_{u,x} = 119 \text{ kNm/m}$$

$$M_{i,x} = 60 \text{ kNm/m}$$

$$[\text{TS-brugdek-blad 9}]$$

$$h = 500 \text{ mm} \quad (\text{ter plaatse van } M_u \text{ en } M_i)$$

$$d = h - c - \frac{1}{2}\phi = 500 - 50 - 0,5 \cdot 16 = 442 \text{ mm}$$

Benodigde wapening opnemen $M_{u,x}$:

$$A_s = \frac{M_{ed}}{f_{yd} \cdot 0,9d} = \frac{119 \cdot 10^6}{435 \cdot 0,9 \cdot 442} = 608 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Minimum wapening maatgevend:

$$C45/50 \rightarrow \rho_{\min} = 0,19$$

$$0,19\% \cdot 1000 \cdot 442 = 840 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Toepassen $\phi 16-100$ t.b.v. dwarskracht en scheurvorming

$$A_{s, \text{ toe}} > A_{s, \text{ ben}}$$

$$2011 > 840$$

$$2,39 > 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Controle min-max wapening

Voor C45/55 geldt:

$$p_{\max} = 3,77 \text{ en } p_{\min} = 0,19$$

$$p = \frac{A_{s\text{toe}}}{b \cdot d} = \frac{2011}{1600 \cdot 442} = 0,45\%$$

$$p_{\min} < p < p_{\max}$$

$$0,19 < 0,45 < 3,77 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Controle scheurvorming

$$E_{\text{is}} \cdot w_k = 0,2 \text{ mm}$$

$$M_{\text{freq}} = 64 \text{ kNm} \quad [\text{FS-buigdek-blad 12}]$$

$$\sigma_{s\text{freq}} = \frac{M_{\text{freq}}}{M_{\text{Ed}}} \cdot \frac{A_{\text{ben}}}{A_{\text{toe}}} \cdot f_{yd}$$

$$\sigma_{s\text{freq}} = \frac{64}{119} \cdot \frac{840}{2011} = 98 \text{ N/mm}^2$$

$$s_{\max} > 200 \text{ bij } \sigma_s < 160$$

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$100 < 200 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Benodigde wapening opnemen Mix

$$M_i = 60 \text{ kNm/m} \quad d = 442 \text{ mm}$$

Minimumwapening maatgevend

$$C45/50 \rightarrow p_{\min} = 0,19$$

$$0,19\% \cdot 1000 \cdot 442 = 840 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Toepassen } \phi 12-100 \quad A_s = 1131 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_{s\text{toe}} > A_{s\text{ben}}$$

$$1131 > 840$$

$$1,35 > 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Controle scheurvorming

$$W_k = 0,2 \text{ mm}$$

$$M_{\text{freq}} = 35,7 \text{ kNm} \text{ [IS-brugdek-blad 12]}$$

$$\sigma_{s \text{ freq}} = \frac{M_{\text{freq}}}{M_{\text{Ed}}} \cdot \frac{A_{\text{ben}}}{A_{\text{ter}}} \cdot f_{yd}$$

$$\sigma_{s \text{ freq}} = \frac{35,7}{60} \cdot \frac{840}{1131} \cdot 435 = 192 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{\text{max}} = 150 \text{ mm}$$

$$S = 100 \text{ mm}$$

$$100 < 150 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Dwarskracht controle brugdek dwarsrichting

Er geldt $V_{\text{ed}} \leq V_{\text{Rd,c}} \rightarrow$ Geen dwarskracht wap. benodigd.

$$V_{\text{ed}} = \frac{V_{\text{ed}}}{b \cdot d} = \frac{224 \cdot 10^3}{(1000 \cdot 444)} = 0,51 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{\text{ed}} = 224 \text{ kN} \text{ [IS-brugdek-blad 9]}$$

$$V_{\text{Rd,c}} = C_{\text{Rd,c}} \cdot k \cdot (100 \rho_1 \cdot f_{ctk})^{1/3} + K_1 \cdot \sigma_{cp}$$

$$C_{\text{Rd,c}} = 0,18 \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{444}} = 1,67$$

$$f_{ctk} = 45 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} < 0,02 \quad \frac{2011}{1000 \cdot 444} = 0,005$$

$$K_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = 0 \text{ want } N_{\text{ed}} = 0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Rd,c}} = 0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 0,005 \cdot 45)^{1/3} + 0,15 \cdot 0 = 0,55 \text{ N/mm}^2$$

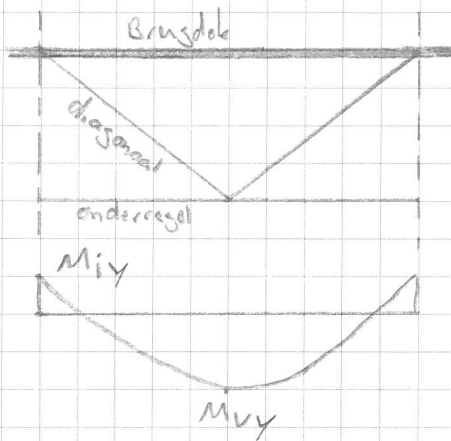
$$V_{\text{ed}} < V_{\text{Rd,c}}$$

$$0,51 < 0,55$$

$$0,93 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord, geen dwarskracht wapening benodigd.}$$

4.3 Controle moment langsrichting

In het bruggede treden in langsrichting de volgende krachten op:



In het technosoft model is de helft van de doorsnede gemodelleerd. De krachten worden met 2 vermenigvuldigd.

$$M_{uy} = 2 \times 579 = 1158 \text{ kNm}$$

$$M_{iy} = 2 \times 288 = 576 \text{ kNm}$$

[TS - vakwerk - blad 9]

Het bruggede heeft in de dwersdoorsnede geen uniforme hoogte. Er wordt een fictie rechthoek vormige doorsnede gemodelleerd met fictie hoogte h_f :



$$W_0 = 0,209 \cdot 10^9$$

=

$$W_0 = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \rightarrow h_0 = \sqrt{\frac{6 \cdot W_0}{b}}$$

$$W_b = 0,255 \cdot 10^9$$

=

$$W_b = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 \rightarrow h_b = \sqrt{\frac{6 \cdot W_b}{b}}$$

$$h_{f0} = \sqrt{\frac{6 \cdot 0,209 \cdot 10^9}{6900}} = 426 \text{ mm}$$

$$h_{fb} = \sqrt{\frac{6 \cdot 0,255 \cdot 10^9}{6900}} = 471 \text{ mm}$$

Benodigde wapening opnemen M_{uy}

Wapening bepaald met rekensheet brugwapening. ($h_{f0} = 426 \text{ mm}$)

Toepassen $\varnothing 12 - 100$ boven en onder.

Controle moment maatgevend:

$$M_{rd} = 1255 \text{ kNm} \quad [\text{Excel rekenblad - bruggede } M_{uy}]$$

$$M_{ed} < M_{rd}$$

$$1158 < 1255$$

$$0,92 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Controle minimum wapening

$$A_{s \min} = 6018 \text{ mm}^2 \quad [\text{Excel rekenblad - brugdek M}_{uy}]$$

$$A_{s \text{ toe}} = 69 \cdot 112(-100) = 7804 \text{ mm}^2$$

$$6018 < 7804$$

$$0,77 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Controle scheurvorming

$$W_{\max} = 0,2$$

$$W_k = 0,17 \quad [\text{Excel-rekenblad-brugdek M}_{uy}]$$

$$W_k < W_{\max}$$

$$0,17 < 0,2$$

$$0,85 < 1,0$$

Controle dwarskracht

$$V_{ed} < V_{Rd,c}$$

$$V_{ed} = 2 \times 566 = 1132 \text{ kN} \rightarrow V_{ed} = 0,46 \text{ N/mm}^2$$

[IS-vakwerk-blad 9]

$$V_{Rd,c} = V_{Rd,\min} = 0,54 \text{ N/mm}^2 \quad [\text{Excel-rekenblad-brugdek M}_{uy}]$$

$$0,46 < 0,54$$

$$0,85 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord geen dwarskracht wapening nodig.}$$

BETON: BALK- EN PLAATWAPENING

Volgens NEN-EN 1992-1-1+C2+A1+NB / 2016

versie 7.1

Project:

Staal-betonbrug, Zuidoostboog

Onderdeel:

Onderwapening brugdek langsrichting

GEGEVENS

Ontwerpsituatie:

Blijvend

Betonkwaliteit:

C 45 | 55

Betonstaalkwaliteit:

B 500 B

Milieuklasse

XD3

Nominale dekking:

 $c_{nom} = 50$ mm

Breedte plaat/balk:

 $b = 6900$ mm

Hoogte plaat/balk:

 $h = 426$ mm

WAPENING DRUKZONE

WAPENING TREKZONE

Aanwezige dekking :

Wapening (extra dekking):

Afstand tussen wapening 2 en 3:

Buigwapening (basis):

Buigwapening (bijleg):

Nuttige hoogte betondoorsnede:

Oppervlak buigwapening:

Gemiddelde nuttige hoogte

Oppervlak buigtrekwapening:

Wapeningslaag 1

 $c = 50$ mm

 $\emptyset = 0$ mm

69,00 $\emptyset 12$ - 100

 $d_c = 56$ mm

 $A_{s1} = 7804$ mm²
 $d_{gem} = 354$ mm

 $A_{s2+3} = 7804$ mm²

Wapeningslaag 2

 $a = 20$ mm

 $d_2 = 328$ mm

 $A_{s2} = 0$ mm²

Wapeningslaag 3

 $c = 50$ mm

 $\emptyset = 16$ mm

69,00 $\emptyset 12$ - 100

 $d_3 = 354$ mm

 $A_{s3} = 7804$ mm²

Wapeningspercentage: $\rho_l = 0,32$ %

INTERNE KRACHTEN

UGT

BGT

 $M_{Ed} = 1158,0$ kN.m

 $N_{Ed} = 0,0$ kN

 $e = #####$ mm

 $M_{Rep} = 830,0$ kN.m

 $N_{Rep} = 0,0$ kN

 $e = #####$ mm

BETON

 $x = 49$ mm

 $\epsilon_{c;d} = 1,283$ ‰

 $\sigma_{c;d} = 22,0$ N/mm²
 $N_{c;d} = -3694$ kN

STAAL

 $\epsilon_{s1;d} = -0,193$ ‰

DRUKZONE

 $\sigma_{s1;d} = 38,6$ N/mm²
 $N_{s1;d} = 301$ kN

STAAL

 $\epsilon_{s2;d} = 0,000$ ‰

TREKZONE

 $\sigma_{s2;d} = 0,0$ N/mm²
 $N_{s2;d} = 0$ kN

 $\epsilon_{s3;d} = 8,045$ ‰

 $\sigma_{s3;d} = 434,8$ N/mm²
 $N_{s3;d} = 3393$ kN

 $\Sigma H = 0,0$ kN

 $\Sigma M = 0,0$ kN.m

 $x = 69$ mm

 $\epsilon_{c;rep} = 0,392$ ‰

 $\sigma_{c;rep} = 10,1$ N/mm²
 $N_{c;rep} = -2403$ kN

 $\epsilon_{s1;rep} = 0,074$ ‰

 $\sigma_{s1;rep} = -14,9$ N/mm²
 $N_{s1;rep} = -116$ kN

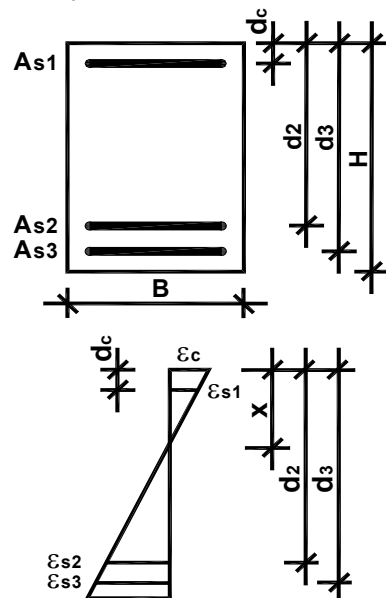
 $\epsilon_{s2;rep} = 1,467$ ‰

 $\sigma_{s2;rep} = 293,4$ N/mm²
 $N_{s2;rep} = 0$ kN

 $\epsilon_{s3;rep} = 1,614$ ‰

 $\sigma_{s3;rep} = 322,9$ N/mm²
 $N_{s3;rep} = 2519$ kN

 $\Sigma H = 0,0$ kN

 $\Sigma M = 0,0$ kN.m


u.c. = 0,77

 $A_{s,min;1} = 6018$ mm²
 $A_{s,min;2} = -$

MINIMUM WAPENING (art. 9.2.1.1)

Scheurbelasting $M_{E,min} = 856,4$ kN.m met

 $N_{E,min} = 0,0$ kN

Minimale wapening $A_{s,min;2} = 1,25 \cdot A_{s,benodigd}$ in UGT-fase

(Ja/Nee): **N**

CONTROLE UITERST MOMENT (art. 6.1)

Uiterst opneembaar rekenmoment

 $M_{Rd} = 1255,2$ kN.m

bij $N_{Ed} =$

u.c. = 0,92

0,0 kN

Controle drukzonehoogte (art. 6.1 (9))

Verhouding $x_u/d = 0,062$
 $\leq \epsilon_{cu} 10^6 / (\epsilon_{cu} 10^6 + 7f_{yd}) = 0,535$

u.c. = 0,12

CONTROLE SCHEURWIJDTE (art. 7.3)

 $w_k = S_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \leq w_{max} \cdot k_x$

u.c. = 0,87

Scheurwijdte

 $w_k = 0,17$ mm $\leq w_{max} = 0,20$
 $k_x = 0,20$ mm

Gewogen staafdiameter

 $\emptyset_{eq} = 12,0$ mm

Gem. staafafstand:

 $s = 100$ mm

Langdurende belasting

(Ja/Nee): **J**

Ouderdom beton

 $t = 28$ dagen

Stijfheid reduceren $E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \phi(\infty, t_0))$ in geval van scheurvorming bij lange duur belasting

 $\phi(\infty, t_0) = 0,00$

Minimale wapening scheurwijdtebeheersing (Ja/Nee): **N** art. 7.3.2.

Staalspanning: Onvoltooid scheurenpatroon

 $\sigma_s = 322,9$ N/mm²

scheurvorming: buiging+normaalkracht

Staalspanning: Voltooid scheurenpatroon

 $\sigma_s =$ n.v.t. N/mm²

Opgelegde vervorming

(Ja/Nee): **N**
 $\epsilon_{vv} =$ n.v.t. ‰

 $\Delta \sigma_{srep} =$ n.v.t. N/mm²

Opgelegde rek (drukzijde)

 $\epsilon_{vv,boven} = 0,000$ ‰

Opgelegde rek (trekzijde)

 $\epsilon_{vv,onder} = 0,000$ ‰

BETON: BALK- EN PLAATWAPENING

Volgens NEN-EN 1992-1-1+C2+A1+NB / 2016

versie 7.1

Project:

Staal-betonbrug, Zuidoostboog

Onderdeel:

Onderwapening brugdek langsrichting

CONTROLE DWARSKRACHT (art 6.2.2+6.2.3)

Optredende dwarskracht

 $V_{Ed} = 1132,0 \text{ kN}$

u.c. = 0,85

 $V_{Ed} = 0,46 \text{ N/mm}^2$

Optredende normaalkracht (druk negatief)

 $N_{Ed} = 0,0 \text{ kN}$

Opneembare dwarskracht zonder wapening (art. 6.2.2)

 $V_{Rd;c} = [CR_{d;c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b d$
 $V_{Rd;c} = 1329,5 \text{ kN}$
 $V_{Rd;c} = 0,51 \text{ N/mm}^2$
 $V_{Rd;c} = [v_{min} + k_1 \sigma_{cp}] b d$
 $V_{Rd;c;min} = 0,54 \text{ N/mm}^2$

Factor: $CR_{d;c} = 0,18 / \gamma_c$
 $CR_{d;c} = 0,12$

Factor: dwarskrachtslankheid

 $k = 1,75$
 $k = 1 + \sqrt{(200/d)} \leq 2,0$

Wapeningspercentage

 $\rho_l = 0,32 \%$

Factor: wrijving

 $k_1 = 0,15$

Normaalspanning beton (druk +)

 $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ N/mm}^2$

Min. opneembare schuifspanning

 $v_{min} = 0,54 \text{ N/mm}^2$
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$

Opneembare dwarskracht met wapening (art. 6.2.3)

 $V_{Rd;s} = A_{sv}/s \cdot z \cdot f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha$
 $V_{Rd;s} = 0,0 \text{ kN}$
 $V_{Rd;s} = 0,00 \text{ N/mm}^2$

Dwarskrachtwapening

 $\emptyset = 0$

-

300

Snedes n = 3,0

Aanwezige dwarskrachtwapening

 $A_{sw} = 0 \text{ mm}^2/\text{m}^1$

Benodigde dwarskrachtwapening

 $A_{sw} = 0 \text{ mm}^2/\text{m}^1$

Vloei grens dwarskrachtwapening

 $f_{ywd} = 435 \text{ N/mm}^2$

Reductiefactor verankeringslengte

 $k = 1,00$
 $k \leq 1,0$ bij onvolledige verankeringslengte haarspeld

Hoek dwarskrachtwapening

 $\alpha = 90,0^\circ$
 $(45^\circ \geq \alpha \leq 90^\circ)$

Hoek drukdiagonaal

 $\theta = 30,0^\circ$
 $(22^\circ \geq \theta \leq 45^\circ)$

Maximaal toelaatbare dwarskracht (art. 6.2.2 en 6.2.3)

 $V_{Rd;max} = 0,5 b w d 0,6 (1 - f_{ck}/250) f_{cd}$
 $V_{Rd;max} = 18026 \text{ kN}$
 $V_{Rd;max} = 7,38 \text{ N/mm}^2$
 $V_{Rd;max} = \alpha_{cw} b z v_1 f_{cd} (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta)$
 $V_{Rd;max} = 14050 \text{ kN}$
 $V_{Rd;max} = 5,75 \text{ N/mm}^2$

Factor: drukrandspanning

 $\alpha_{cw} = 1,00$

Inwendige hefboomarm

 $z = 0,9 d = 319 \text{ mm}$

Factor

 $v_1 = 0,49$

Normaalspanning beton (druk+) $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ N/mm}^2$
 $v_1 = 0,6 (1 - f_{ck} / 250)$

Vergelijking 6.10 toepassen (Ja/Nee):

N

Benodigde wapening opnemen M_{iy}

Wapening bepaald met reken scheef buigwapening ($h_{fb} = 471 \text{ mm}$)

Toegepast $\phi 12-100$ boven en onder wapening

Minimum wapening maatgevend.

$$A_{s, \min} = 6505 \text{ mm}^2 \quad [\text{Excel-rekenblad-brugdek M}_{iy}]$$

$$A_{s, \text{ toe}} = \phi 12-100 \cdot 6,9 \text{ m} = 7804 \text{ mm}^2$$

$$6505 < 7804$$

$$0,83 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Controle moment

$$M_{ed} < M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = 1408 \text{ kNm} \quad [\text{Excel-rekenblad-brugdek M}_{iy}]$$

$$576 < 1408$$

$$0,41 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Controle scheurvorming

$$w_{\max} = 0,2$$

$$w_k = 0,08$$

Excel-rekenblad-brugdek M_{iy}

$$w_k < w_{\max}$$

$$0,4 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Controle dwarskracht

$$V_{ed} < V_{Rd,c} \quad V_{ed} = 2 \times 563 = 1126 \text{ kN} \rightarrow V_{ed} = 0,41 \text{ N/mm}^2$$

[5-vakwerk-blad 9]

$$V_{Rd,c} = V_{Rd, \min} = 0,52 \text{ N/mm}^2 \quad [\text{Excel-rekenblad-brugdek M}_{iy}]$$

$$0,41 < 0,52$$

$$0,79 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord, geen dwarskracht wapening benodigd.}$$

BETON: BALK- EN PLAATWAPENING

Volgens NEN-EN 1992-1-1+C2+A1+NB / 2016

versie 7.1

Project: **Staal-betonbrug, Zuidoostboog**
Onderdeel: **Bovenwapening brugdek langsrichting**

GEGEVENS

Ontwerpsituatie: **Blijvend**
Betonkwaliteit: **C 45** | **55** Betonstaalkwaliteit: **B 500** B
Milieuklasse: **XD3** Nominale dekking: $c_{nom} = 50$ mm
Breedte plaat/balk: $b = 6900$ mm Hoogte plaat/balk: $h = 471$ mm

WAPENING DRUKZONE

WAPENING TREKZONE

Aanwezige dekking :
Wapening (extra dekking):
Afstand tussen wapening 2 en 3:
Buigwapening (basis):
Buigwapening (bijleg):
Nuttige hoogte betondoorsnede:
Oppervlak buigwapening:
Gemiddelde nuttige hoogte
Oppervlak buigtrekwapening:

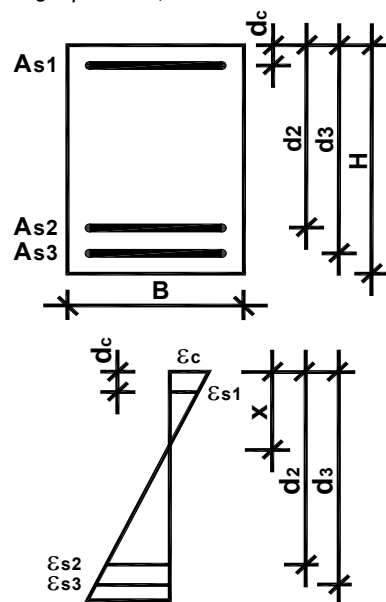
Wapeningslaag 1	Wapeningslaag 2	Wapeningslaag 3
$c = 50$ mm		$c = 50$ mm
$\emptyset = 0$ mm		$\emptyset = 16$ mm
$69,00 \emptyset 12 - 100$	$a = 20$ mm	$69,00 \emptyset 12 - 100$
$d_c = 56$ mm	$d_2 = 373$ mm	$d_3 = 399$ mm
$As_1 = 7804$ mm ²	$As_2 = 0$ mm ²	$As_3 = 7804$ mm ²

INTERNE KRACHTEN

UGT

Wapeningspercentage: $\rho_l = 0,28$ %

	UGT	BGT
BETON	$M_{Ed} = 576,0$ kN.m $N_{Ed} = 0,0$ kN $e = #####$ mm	$M_{Erep} = 410,0$ kN.m $N_{Erep} = 0,0$ kN $e = #####$ mm
	$x = 86$ mm $\epsilon_{c;d} = 0,277$ ‰ $\sigma_{c;d} = 4,8$ N/mm ² $N_{c;d} = -1415$ kN	$x = 74$ mm $\epsilon_{c;rep} = 0,159$ ‰ $\sigma_{c;rep} = 4,1$ N/mm ² $N_{c;rep} = -1040$ kN
STAAL	$\epsilon_{s1;d} = 0,097$ ‰	$\epsilon_{s1;rep} = 0,038$ ‰
DRUKZONE	$\sigma_{s1;d} = -19,5$ N/mm ² $N_{s1;d} = -152$ kN	$\sigma_{s1;rep} = -7,6$ N/mm ² $N_{s1;rep} = -59$ kN
STAAL	$\epsilon_{s2;d} = 0,921$ ‰	$\epsilon_{s2;rep} = 0,648$ ‰
TREKZONE	$\sigma_{s2;d} = 184,1$ N/mm ² $N_{s2;d} = 0$ kN	$\sigma_{s2;rep} = 129,7$ N/mm ² $N_{s2;rep} = 0$ kN
	$\epsilon_{s3;d} = 1,004$ ‰ $\sigma_{s3;d} = 200,8$ N/mm ² $N_{s3;d} = 1567$ kN	$\epsilon_{s3;rep} = 0,705$ ‰ $\sigma_{s3;rep} = 140,9$ N/mm ² $N_{s3;rep} = 1100$ kN
	$\Sigma H = 0,0$ kN $\Sigma M = 0,0$ kN.m	$\Sigma H = 0,0$ kN $\Sigma M = 0,0$ kN.m



MINIMUM WAPENING (art. 9.2.1.1)

Scheurbelasting $M_{E,min} = 1045,6$ kN.m met $N_{E,min} = 0,0$ kN
Minimale wapening $As_{min;2} = 1,25 \cdot As_{benodigd}$ in UGT-fase ($\underline{Ja}/\underline{Nee}$): **N**

u.c. = 0,83

$As_{min;1} = 6505$ mm²
 $As_{min;2} = -$

CONTROLE UITERST MOMENT (art. 6.1)

Uiterst opneembaar rekenmoment $M_{Rd} = 1407,9$ kN.m bij $N_{Ed} = 0,0$ kN

u.c. = 0,41

Controle drukzonehoogte (art. 6.1 (9))

Verhouding $x_u/d = 0,035 \leq \epsilon_{cu} 10^6 / (\epsilon_{cu} 10^6 + 7f_{yd}) = 0,535$ **u.c. = 0,06**

CONTROLE SCHEURWIJDTE (art. 7.3)

Scheurwijdte $w_k = S_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) \leq w_{max} \cdot k_x$ **u.c. = 0,38**
Gewogen staafdiameter $\emptyset_{eq} = 12,0$ mm Gem. staafafstand: $s = 100$ mm
Langdurende belasting ($\underline{Ja}/\underline{Nee}$): **J** Ouderdom beton $t = 28$ dagen
Stijfheid reduceren $E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \phi(\infty, t_0))$ in geval van scheurvorming bij lange duur belasting $\phi(\infty, t_0) = 0,00$

Minimale wapening scheurwijdtebeheersing ($\underline{Ja}/\underline{Nee}$): **N** art. 7.3.2.

Staalspanning: Onvoltooid scheurenpatroon $\sigma_s = 140,9$ N/mm² scheurvorming: buiging+normaalkracht

Staalspanning: Voltooid scheurenpatroon $\sigma_s =$ n.v.t. N/mm²

Opgelegde vervorming ($\underline{Ja}/\underline{Nee}$): **N** $\epsilon_{vv} =$ n.v.t. ‰ $\Delta \sigma_{srep} =$ n.v.t. N/mm²
Opgelegde rek (drukzijde) $\epsilon_{vv,boven} = 0,000$ ‰ Opgelegde rek (trekzijde) $\epsilon_{vv,onder} = 0,000$ ‰

BETON: BALK- EN PLAATWAPENING

Volgens NEN-EN 1992-1-1+C2+A1+NB / 2016

versie 7.1

Project:

Staal-betonbrug, Zuidoostboog

Onderdeel:

Bovenwapening brugdek langsrichting

CONTROLE DWARSKRACHT (art 6.2.2+6.2.3)

Optredende dwarskracht

 $V_{Ed} = 1126,0 \text{ kN}$

u.c. = 0,78

 $V_{Ed} = 0,41 \text{ N/mm}^2$

Optredende normaalkracht (druk negatief)

 $N_{Ed} = 0,0 \text{ kN}$

Opneembare dwarskracht zonder wapening (art. 6.2.2)

 $V_{Rd;c} = [CR_{d;c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b d$
 $V_{Rd;c} = 1442,9 \text{ kN}$
 $V_{Rd;c} = 0,48 \text{ N/mm}^2$
 $V_{Rd;c} = [v_{min} + k_1 \sigma_{cp}] b d$
 $V_{Rd;c;min} = 0,52 \text{ N/mm}^2$

Factor: $CR_{d;c} = 0,18 / \gamma_c$
 $CR_{d;c} = 0,12$

Factor: dwarskrachtslankheid

 $k = 1,71$
 $k = 1 + \sqrt{(200/d)} \leq 2,0$

Wapeningspercentage

 $\rho_l = 0,28 \%$

Factor: wrijving

 $k_1 = 0,15$

Normaalspanning beton (druk +)

 $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ N/mm}^2$

Min. opneembare schuifspanning

 $v_{min} = 0,52 \text{ N/mm}^2$
 $v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$

Opneembare dwarskracht met wapening (art. 6.2.3)

 $V_{Rd;s} = A_{sv}/s z f_{yd} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha$
 $V_{Rd;s} = 0,0 \text{ kN}$
 $V_{Rd;s} = 0,00 \text{ N/mm}^2$

Dwarskrachtwapening

 $\emptyset = 0$

-

300

Snedes n = 3,0

Aanwezige dwarskrachtwapening

 $A_{sw} = 0 \text{ mm}^2/\text{m}^1$

Benodigde dwarskrachtwapening

 $A_{sw} = 0 \text{ mm}^2/\text{m}^1$

Vloegrens dwarskrachtwapening

 $f_{ywd} = 435 \text{ N/mm}^2$

Reductiefactor verankeringslengte

 $k = 1,00$
 $k \leq 1,0$ bij onvolledige verankeringslengte haarspeld

Hoek dwarskrachtwapening

 $\alpha = 90,0^\circ$
 $(45^\circ \geq \alpha \leq 90^\circ)$

Hoek drukdiagonaal

 $\theta = 30,0^\circ$
 $(22^\circ \geq \theta \leq 45^\circ)$

Maximaal toelaatbare dwarskracht (art. 6.2.2 en 6.2.3)

 $V_{Rd;max} = 0,5 b w d 0,6 (1 - f_{ck}/250) f_{cd}$
 $V_{Rd;max} = 20318 \text{ kN}$
 $V_{Rd;max} = 7,38 \text{ N/mm}^2$
 $V_{Rd;max} = \alpha_{cw} b z v_1 f_{cd} (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta)$
 $V_{Rd;max} = 15836 \text{ kN}$
 $V_{Rd;max} = 5,75 \text{ N/mm}^2$

Factor: drukrandspanning

 $\alpha_{cw} = 1,00$

Inwendige hefboomarm

 $z = 0,9 d = 359 \text{ mm}$

Factor

 $v_1 = 0,49$

Normaalspanning beton (druk+) $\sigma_{cp} = 0,00 \text{ N/mm}^2$
 $v_1 = 0,6 (1 - f_{ck} / 250)$

Vergelijking 6.10 toepassen (Ja/Nee):

N

4.4 Controle knik brugdek UGT

De knikweerstand van het brugdek onder Ned en Med is gecontroleerd met technosoft kolomwapening.

Invoer

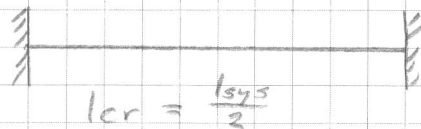
$$\begin{aligned} \text{Ned} &= 2 \cdot 15265 = 30530 \text{ kN} \\ \text{Med} &= 2 \cdot 579 = 1158 \text{ kNm} \end{aligned} \quad [\text{TS-vakwerk-blad 9}]$$

$$b = 6900 \text{ mm}$$

$$h_f = 426 \text{ mm}$$

$$l_{cr} = \frac{1}{2} l_{sys} = 0,5 \cdot 5000 = 2500 \text{ mm}$$

Doorgaande ligger dus beide zijden ingeklamd



Wapening boven en onderzijde $\varnothing 12-100$

Berekende gegevens

$$A_{s\text{ben}} = 7022 \text{ mm}^2 \text{ minimum wapening}$$

boven en onder benodigd $32 \times \varnothing 12$ totaal $64 \varnothing 12$

[TS-kolomwapening-blad 5]

Controle wapening

As toegepast $\varnothing 12-100$ boven en onder (10 staven / m)

$$\text{totaal onder en boven } 6,9 \cdot 10 = 69 \text{ staven } \varnothing 12$$

$$A_{s\text{ben}} < A_{s\text{toe}}$$

$$32 < 69$$

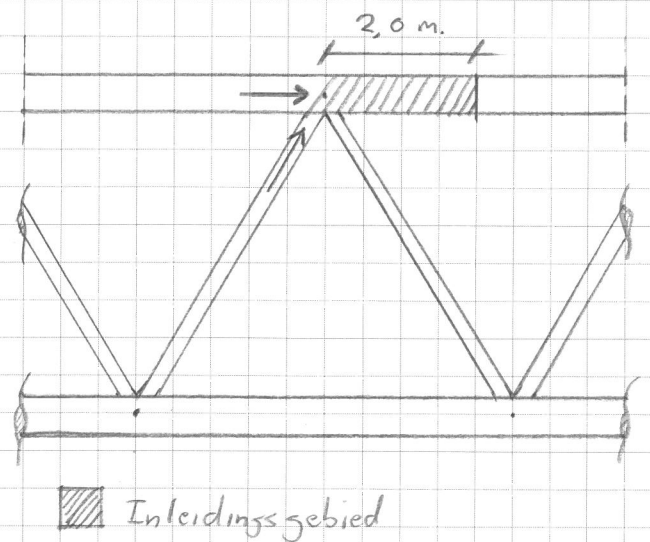
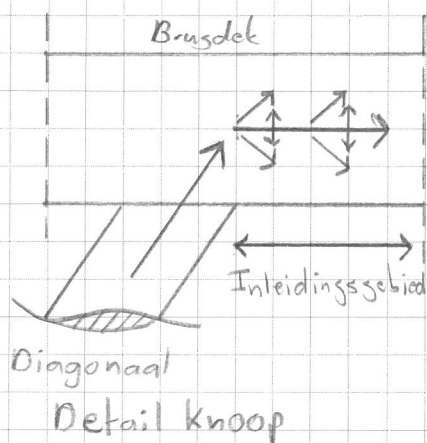
$$0,46 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

4.5 Toetsing verbinding bovenflens met vakwerk

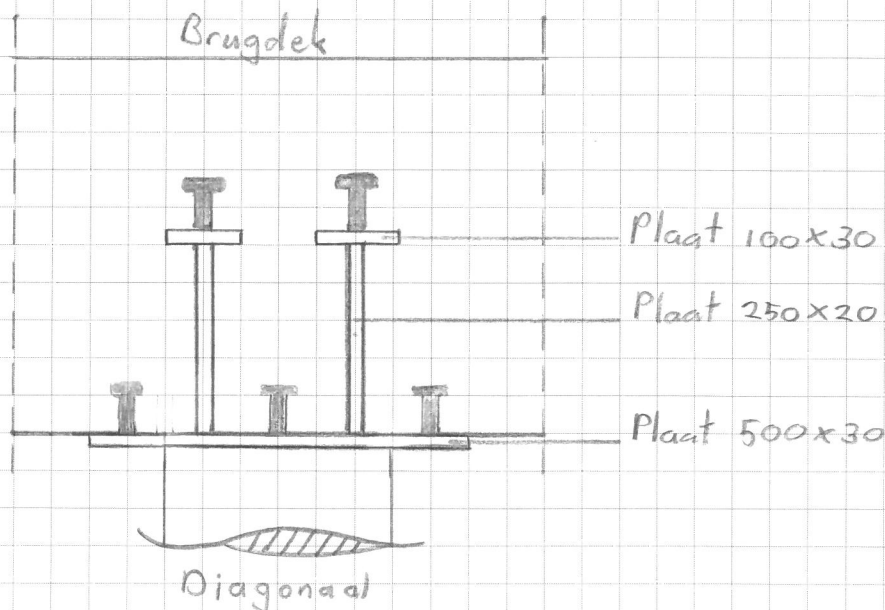
De normaalkrachten in de diagonalen zijn te groot om op één punt in de betonnen bovenflens/brugdek in te leiden. Een staalprofiel is voorzien om de krachten door middel van de uitsluiting over te brengen naar het beton. Het staalprofiel moet initieel de (gehele) drukspanning kunnen opnemen.

De kracht die ingeleid moet worden is niet de maximaal optredende kracht in het midden van het vakwerk. Een deel van de kracht zit dan al in het beton. De grootste in te leiden kracht treedt op in staaf 2 en 10 aan de uiteinden van het vakwerk.

Krachten overdracht



Overzicht verbinding



Toetsing staalprofiel verbinding

Controle normaalkracht

$$N_{ed} \text{ staaf 10} = 5264 \text{ kN}$$

Eis:

$$\frac{N_{ed}}{N_{Rd}} \leq 1,0$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{mo}}$$

$$A = (500 \cdot 30) + (2 \cdot 250 \cdot 20) + (2 \cdot 100 \cdot 30) = 31000 \text{ mm}^2$$

Vanwege onzekerheid in de verbinding wordt de staalspanning conservatief genomen:

$$0,9 f_y = 0,9 \cdot 235 = 100 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{31000 \cdot 100}{1,0} = 5020 \text{ kN}$$

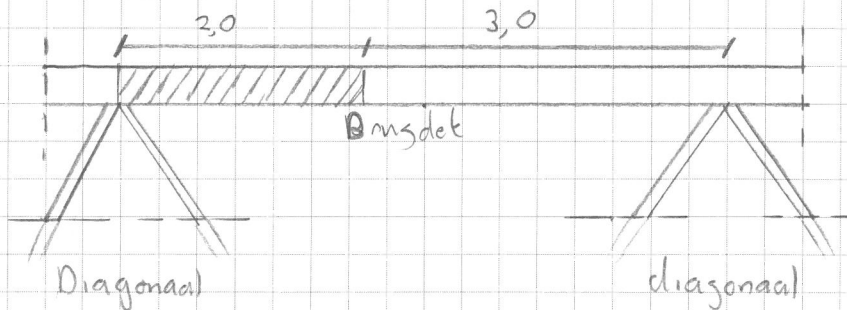
$$5264 < 5020$$

$$0,90 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Het profiel wordt in het beton gestort en kan geen kip of knik optreden. Bovenstaande toetsing is voldoende.

Controle stiftdeuvels

De normaalkracht in het staalprofiel wordt door middel van deuvels overgedragen naar de betonnen vloer. De afstand tussen de verbindingen van de diagonalen is 5,0 meter. Echter is het aanneemelijk dat de normaalkracht over een kortere lengte wordt over gebracht. Aangenomen wordt een inleidingsgebied van 3,0 meter.



Gekozen deuvels:

Ø 19 mm x Ø 5 mm
 $f_u = 450 \text{ N/mm}^2$

Afschuiven stiftdeuvel:

$$P_{rd} = \frac{0,9 \cdot f_u \cdot \frac{1}{4} \pi d^2}{\gamma_v} = \frac{0,9 \cdot 450 \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2}{1,25} = 81,7 \text{ kN}$$

Verbruizen beton

$$P_{rd} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ct} \cdot E_{cm}}}{\gamma_v} = \frac{0,29 \cdot 1 \cdot 19^2 \cdot \sqrt{45 \cdot 36000}}{1,25} = 106,6 \text{ kN}$$

P_{rd} afschuiven deuvel is maatgevend $\rightarrow 81,7 \text{ kN}$

5245 kN opnemen over 3,0 meter.

5 deuvels in doorsnede h.o.b. 125 mm

$$5 \cdot (3000/125) = 80 \text{ deuvels}$$

$$81,7 \cdot 80 = 6536 \text{ kN} > 5245$$

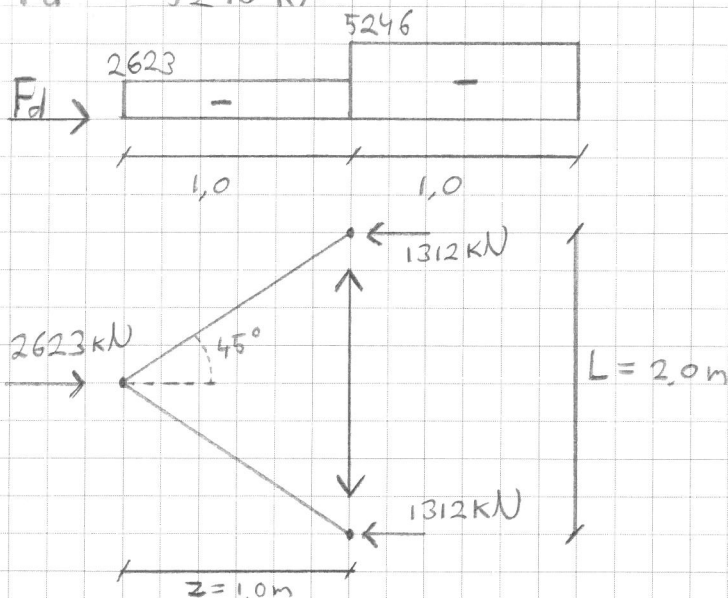
$$0,80 < 1,0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

Trekband

In het brugdek treedt een trekkracht op ter plaatse van de deugel verbinding als gevolg van het inleiden van de normaalkracht in de vloer.

De kracht wordt over een lengte van 2 meter ingeleid.

$$F_d = 5246 \text{ kN}$$



Trekwapening

$$A_s = \frac{M_{ed}}{F_{yd} \cdot z}$$

$$M = \frac{1}{4} \cdot F_d \cdot L = \frac{1}{4} \cdot 5246 \cdot 2 = 1312 \text{ kNm}$$

$$A_s = \frac{1312 \cdot 10^6}{435 \cdot 1000} = 3015 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Toepassen $\phi 16 - 125$ boven en onder wapening toepassen

$$A_{s, toe} = 2 \cdot 1608 \text{ mm}^2/\text{m} = 3216 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$A_s < A_{s, toe}$$

$$3015 < 3216$$

$$0.94 < 1.0 \Rightarrow \text{Akkoord}$$

* Split/trek wapening wordt over de gehele breedte van inleidingsgebied toegepast. En niet enkel lokaal bij trekband. Wellicht conservatief maar krachtwerking is onzeker. Daarnaast gunstig ten aanzien van scheurvorming

Bijlage 2 Bronnen

STAAL-BETON BIJ DE BRUG OVER DE RIJN IN OOSTERBEEK

ing. G.M.M. Touw, Holland Railconsult

Inleiding

De rivieroverbrugging over de Rijn nabij Oosterbeek bestond bij de aanvang van het project uit een stalen hoofdoverspanning, zes stalen aanbruggen en een aardebaan met een lengte van circa 750 m. De dwars op de stroomrichting van de rivier staande aardebaan in de uiterwaarden belemmert de vlotte doorgang van het water waardoor er bij hoog water opstuwing optreedt. Om deze opstuwing te beperken is circa 400 m van de aardebaan vervangen door nieuwe aanbruggen. Bij het ontwerp van die aanbruggen zijn vele varianten beschouwd. De variaties betroffen: de wijze van spoorbevestiging op de bruggen, de pijlerafstand, het statisch systeem en de materiaalkeuze voor de bruggen. Die variaties zijn met elkaar gecombineerd tot varianten. Deze varianten zijn vervolgens met elkaar vergeleken op de aspecten: geluid, uitvoeringskosten, onderhoudskosten, hinder voor de treindienst, vormgeving, mogelijke uitvoeringsmethoden en risico's.

Pijlerafstand

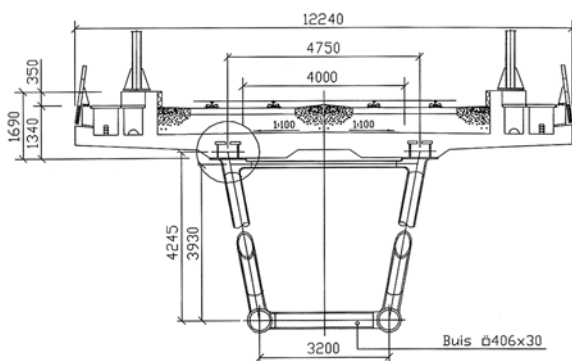
Bij het ontwerpen van lange bruggen moet, op die plaatsen waar de pijlerplaatsing niet bepaald wordt door onderliggende infrastructuur of andere omgevingseisen, een zo gunstig mogelijke overspanningslengte worden bepaald. In Nederland werden in het verleden voor de aanbruggen van rivieroverbruggingen stalen bruggen toegepast met een pijlerafstand van meestal circa 60 m. Bij latere vervangingen en uitbreidingen van de rivieroverbruggingen was als gevolg van de aanwezigheid van de bestaande pijlers de pijlerafstand van circa 60 m meestal een vast gegeven. Bij de vele bruggen die de laatste jaren in Frankrijk zijn gebouwd, wordt bij vergelijkbare omstandigheden zoals die in Nederland voorkomen, veelal een pijlerafstand toegepast tussen de 40 m. en 50 m. Het is natuurlijk niet praktisch om bij het opzetten van de varianten een zeer groot aantal verschillende pijlerafstanden mee te nemen. Om het aantal varianten te beperken zijn in de varianten-

vergelijking slechts 3 overspanningslengten betrokken, namelijk 58 m, 45 m en 33 m. Het gaat daarbij nog niet om de exacte maat van de overspanning maar de drie genoemde overspanningen staan voor een gebied van overspanningen met soortgelijke karakteristieken. Uit ervaring kan gesteld worden dat een pijlerafstand van meer dan 60 m. economisch geen goede oplossing is. De pijlerafstand van 58 m. is in de vergelijking betrokken omdat een pijlerafstand van circa 60 m. in Nederland veel voorkomt en omdat in de beschouwde overbrugging al aanbruggen aanwezig zijn met een overspanning van 58 m. De pijlerafstand van 45 m is in de vergelijking betrokken omdat de ervaringen in het buitenland aangeven dat toepassing van deze maat een economisch goede oplossing is. De pijlerafstand van 33 m. is meegenomen omdat deze maat overeenkomt met de maximaal toelaatbare deklengte voor het geval van (langgelast) spoor met ingegoten spoorstaven.

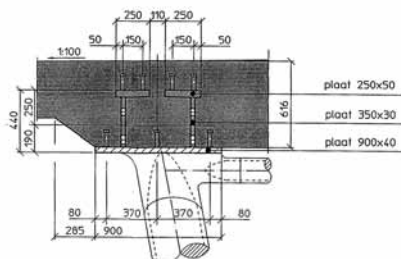
Voor overbruggingen waarbij de aanbruggen in het vrije veld gebouwd kunnen worden is, een lengte van 40 à 45 m. de meest economische maat voor de overspanning. Bij het maken van de kostenindicatie is echter gebleken dat in het Oosterbeek project het aandeel van de pijlers in de kostenopstelling veel groter is dan in het geval van bouwen in het vrije veld. Om de pijlers te kunnen bouwen in het in dienst zijnde baanlichaam is het toepassen van hulpbruggen, lange damwanden en aangepast heiwerk nodig. Dit hulpwerk is kostbaar en de vele benodigde buitendienststellingen in verband met bijvoorbeeld het heien van de damwandschermen, zullen een verlenging geven van de uitvoeringstijd en een economische uitvoering in de weg staan. Gesteld kan worden dat door het grotere aantal pijlers dat in het in dienst zijnde baanlichaam gemaakt moeten worden (2 pijlers extra) de varianten met een overspanning van 45 m. circa 10% duurder zullen zijn dan de soortgelijke varianten met een overspanning van 58 m. Bij de varianten met aanbruggen met een overspanning van 33 m. is bijna een verdubbeling van het aantal pijlers nodig, wat in dit project in verband met het moeten bouwen van de pijlers in het in dienst zijnde baan-



Aanzicht van de nieuwe aanbruggen.



Dwarsdoorsnede nieuwe aanbruggen.



Verbinding betonnen bovenflens met vakwerk van stalen buizen.

lichaam zeer nadelig zou zijn. Ingeschat wordt dat de varianten met een pijlerafstand van 33 m. daardoor circa 30% duurder zullen zijn dan soortgelijke varianten met een pijlerafstand van 58 m. Na alle afwegingen is uiteindelijk gekozen voor een pijlerafstand van 58 m.

Materiaalkeuze en dwarsdoorsnede

In de variantenvergelijking is voor alle in beschouwing genomen overspanningslengten de oplossing met betonnen aanbruggen en met aanbruggen van staal-beton meegenomen. Voor de overspanning van 58 m. is tevens de oplossing met stalen aanbruggen meegenomen omdat in de overbrugging reeds stalen aanbruggen aanwezig zijn. Met betrekking tot het statisch systeem kan gekozen worden uit statisch bepaalde liggers en statisch onbepaalde liggers. De keuze hieruit heeft invloed op het spoorstelsel in langsrichting. Daarop wordt in dit artikel niet nader ingegaan. De uiteindelijk gekozen variant gaat uit van achter elkaar liggende statisch bepaalde aanbruggen. De keuze met betrekking tot de vorm van de dwarsdoorsnede is onder andere afhankelijk van de overspanningslengte, het statisch systeem en de materiaalkeuze van de aanbruggen. Voor de betonnen aanbruggen zijn de balkbrug met meerdere geprefabriceerde balken, de ter plaatse in het werk gestorte dubbel T-brug (balkbrug met 2 betonnen balken) en de kokerliggerbrug in de beschouwing meegenomen. Voor aanbruggen van staal-beton zijn in de beschouwing meegenomen: de dwarsdoorsnede bestaande uit een betonnen bovenflens met daaronder twee I-vormige stalen balken met gesloten lijven, de dwarsdoorsnede bestaande uit een betonnen bovenflens met daaronder een stalen kokervormige ligter en een oplossing waarbij de onder de betonnen bovenflens liggende stalen liggers zoveel mogelijk dezelfde vorm hebben als bij de bestaande (vak-werk)aanbruggen.



Einde vakwerkligger met zwaardere diagonalen.

Uiteindelijk gekozen variant

De varianten zijn met elkaar vergeleken op het aspecten geluid, doorlooptijd van de uitvoering, uitvoeringskosten, onderhoudskosten, risico's met betrekking tot de uitvoeringsplanning en vormgeving.

Bij de vergelijking van de varianten bleken de varianten met een pijlerafstand van 33 m. en/of een volledig stalen dwarsdoorsnede geen goede oplossing te zijn en waren er geen grote verschillen tussen de overige varianten aan te geven. Er is wel een lichte voorkeur voor de variant met de pijlerafstand van 58 m. en staal-betonnen brugdek. De uiteindelijke variant heeft de volgende karakteristieken: In totaal wordt circa 400 m. aardebaan vervangen door zeven aanbruggen met een lengte van 58 m. Het betreft staal-beton bruggen met een betonnen bovenflens en een stalen gedeelte aan de onderzijde. Het stalen ondergedeelte bestaat uit een vakwerk.

Vorm van de dwarsdoorsnede

Bij het ontwerp van de brug heeft de beperking van de geluidsafstraling van de brug een grote rol gespeeld. De brug moet namelijk voldoen aan de eis dat het geluidsniveau van het nieuwe spoor en de nieuwe brug niet hoger mag zijn dan de uitgangssituatie met het spoor op de aarde baan. Uit geluidsmetingen is gebleken dat aan deze eis wordt voldaan. De dwarsdoorsnede bestaat uit een betonnen bovenflens en een onderliggend vakwerk. Bij het ontwerpen van het onderliggende stalen vakwerk moeten gefundeerde keuzes gemaakt worden met betrekking tot onder andere de vorm van de onderrand en de diagonalen, de richting van de diagonalen, het wel of niet toepassen van staanders, de verticale stand van de zijvlakken en de horizontale dwarsverbindingen. Bij het bepalen van de richting van de diagonalen is (in verband met



Montage van nieuwe bruggen naast de bestaande spoorbaan.



Afgemonteerde vakwerkbrug op de definitieve pijlers.

de uitvoeringskosten) gestreefd naar een vorm met zo min mogelijk knopen. Een steilere hoek dan de in het ontwerp gekozen hoek geeft meer vakwerkvelden en daardoor meer knopen. Een flauwere hoek geeft minder vakwerkvelden maar de vakwerk lengte wordt dan zodanig dat verticale staanders nodig zijn van de knopen in de onderrand naar de bovenrand. Ook dit resulteert dan in meer knopen. Aan de uiteinden van het vakwerk is een zwaardere einddiagonaal noodzakelijk. Tevens is ter plaatse van de oplegging een verticale staander noodzakelijk. De zijvlakken van het vakwerk staan niet verticaal maar onder een hoek. De hoek van de vlakken is bepaald door aan de bovenzijde uit te gaan van een zo gunstig mogelijke ondersteuning in dwarsrichting van de bovenflens en aan de onderzijde de stabiliteit van de brugconstructie te beschouwen. De trekkrachten in dwarsrichting die door de schuine stand van de vakwerkvlakken aan de bovenzijde van het vakwerk ontstaan, worden niet opgenomen door de betonnen bovenflens maar door ronde trekstaven. Het vakwerk bestaat uit vakwerkstaven en vakwerkknopen. Het ontwerp van het vakwerk is zodanig dat er zo min mogelijk verschillende knoopsoorten zijn. In het algemeen ontstaan de vakwerkknopen op de plaats waar de vakwerkstaven aan elkaar worden gelast. Het is echter ook mogelijk om de vakwerkstaven aan een geprefa-

briceerde vakwerkknoop te lassen. Die geprefabriceerde vakwerkknoop wordt dan uit gietstaal gefabriceerd. Uit een kostenvergelijking tussen gegoten knopen en in elkaar gelaste knopen bleek dat het toepassen van gegoten knopen economisch interessant is vooral omdat de gietstukken zeer gestandaardiseerd kunnen zijn. Ook kunnen door de afgeronde vormen van de gegoten knopen spanningspieken eenvoudig vermeden worden. In het bestek is uit gegaan van gegoten knopen. Het toepassen van in elkaar gelaste knopen is ook een reële optie alhoewel de detaillering daarvan niet is beschouwd. In het bestek was deze optie wel als alternatief toegestaan. Om het mogelijk te maken in de gebruiksfase de brug op te kunnen vijzelen worden de eindknopen voorzien van een extra oplegvlak. Deze verschoven oplegging die een verzwaring van de eindknoop geeft, is ook gebruikt als tijdelijke oplegging in de uitvoeringsfase.

De dwarsdoorsnede is zodanig vormgegeven dat deze de toepassing van staal-beton accentueert. Bij de toepassing van een stalen ondergedeelte in de vorm van een vakwerk is voor de krachtwerving tijdens de uitvoeringsfase een bovenrand nodig. Als de betonnen bovenflens boven op de bovenrand van het vakwerk wordt aangebracht, oogt het geheel als een stalen vakwerkbrug met een betonnen rijvloer. Om dit te voorkomen, is samen met de architect een zodanige dwarsdoorsnede ontworpen dat uit de constructie is af te lezen dat de betonnen bovenflens meewerkt in de krachtwerving in langsrichting. De vakwerkstaven lopen als het ware de betonnen bovenflens in. De benodigde bovenrand is geheel in de betonnen flens opgenomen.

Uitvoeringswijze

In verband met het zoveel mogelijk moeten beperken van de invloed van de uitvoering op de treinexploitatie zijn de brugdekken buiten de spoorbaan gemaakt. Hierbij kan gedacht worden aan een plaats langs de spoorbaan zodanig dat de brugdekken alleen zijdelings behoeven te worden verschoven. Het inschuiven van de aanbruggen in de spoorbaan is uitgevoerd in buitendienststellingen met een tijdsduur van circa 52 uur. Het stalen gedeelte van de aanbruggen is in de staalfabriek gefabriceerd en vervolgens over water vervoerd naar de bouwplaats. Op de bouwplaats zijn de stalen brug-delen (met een lengte van 58 m.) m.b.v. Strassenrollers naast de spoorbaan geplaatst, zodanig dat na het storten van de betonnen bovenflens en de verdere voltooiing van de bruggen deze alleen zijdelings verplaatst hoeven te worden. In het middengedeelte van de dwarsdoorsnede (het gedeelte tussen de vakwerkvlakken) is voor het storten van de betonnen bovenflens gebruik gemaakt van breedplaatvloeren als verloren bekisting. Voor de bekistingondersteuning van de zij-uitkragingen van de betonnen bovenflens is de onderrand van het stalen vakwerk gebruikt.

Het werk is uitgevoerd door de combinatie H3O waar de 3 H's staan voor Haverkort, Hegeman en Herema en de O voor Oosterbeek. Het stalen ondergedeelte van de brug is gemaakt in de staalfabriek van Grootint. Het inschuiven is verzorgd door de firma de Boer. Het ontwerp van de bruggen de directievoering is verzorgd door Holland Railconsult.

Bijlage I: Hoeveelheden

De volgende documenten zijn vanaf volgende pagina bijgevoegd:

Document	Kenmerk	Datum	Auteur
Overzicht hoeveelheden Trogbrug	-	25 mei 2022	Nigel Wiesemann
Overzicht hoeveelheden Staal-betonbrug	-	25 mei 2022	Nigel Wiesemann
Handberekening bepaling wapeningsstaal	-	25 mei 2022	Nigel Wiesemann

Overzicht hoeveelheden VO ontwerp trogbrug

Onderwerp:	Datum:	Versie:
Overzicht materialen trogbrug	25-mei-22	1.0

1 Overzicht hoeveelheden			
Element	Omschrijving	Hoeveelheid	Eenheid
1.1 Betonconstructie			
	Beton excl. wapening, klasse C45/55	784	m3
	Wapeningsstaal, kwaliteit B500B,	79701	kg
	Bekisting gehele oppervlak excl. Bovenzijde	1176	m2
1.2 Voorspanning			
	DYWIDAG voorspansysteem 6827 (18 x 27 strengen ø15,7)	29758	kg
	DYWIDAG voorspansysteem 6819 (10 x 19 strengen ø15,7)	11634	kg
	DYWIDAG MA voorspananker 6827	36	st
	DYWIDAG MA voorspananker 6819	20	st
1.3 Spoorconstructie			
	Ballast	173056	kg
	Dwarsliggers	87	st
	Spoorstaaf	104	m1
1.4 Overig			
	Balustrade	52	m1
	Ladder	4	st
2 Toegepaste gegevens berekening bovenstaande hoeveelheden			
	Lengte trogbrug	52	m1
	Beton doorsnede	15,07	m2
	Hoeveelheid wapeningsstaal [Handberekening]	10,15	m3
	Soortelijkgewicht staal	7850	kg/m3
	Ap 27 strengen ø15,7	4050	mm2
	Ap 19 strengen ø15,7	2850	mm2
	Soortelijkgewicht ballast	1600	kg/m3
	Ballast breedte	4	m1
	Ballast hoogte	0,52	m1
	Dwarsliggers h.o.h. afstand	0,6	m1

Overzicht hoeveelheden VO ontwerp staal-betonbrug

Onderwerp:	Datum:	Versie:
Overzicht materialen staal-betonbrug	25-mei-22	2.0

1 Overzicht hoeveelheden			
Element	Omschrijving	Hoeveelheid	Eenheid
1.1 Brugdek			
	Beton excl. wapening, klasse C45/55	189	m3
	Wapeningsstaal, kwaliteit B500B,	29799	kg
	Bekisting gehele oppervlak excl. Bovenzijde	734	m2
1.2 Vakwerk			
	Diagonalen B323.9/30, kwaliteit S235	189,6	m1
	Verticalen B323.9/30, kwaliteit S235	14	m1
	Onderregel B559/30, kwaliteit S355	100	m1
	Dwarsverbinding B323.9/30, kwaliteit S235	33	m1
	Profiel verbinding, zelf samengesteld, kwaliteit S235	100	m1
	Stift deuvels Stiftdeuvels, Ø19mm x 85mm, kwaliteit fu450	1440	st
	Oppervlak aan te brengen natlaksysteem (1 laag)	473	m2
1.3 Spoorconstructie			
	Ballast	166400	kg
	Dwarsliggers	84	st
	Spoorstaaf	100	m1
1.4 Overig			
	Balustrade	100	m1
2 Omrekening staalprofielen van m1 naar ton			
	Diagonalen B323.9/30, kwaliteit S235	41,2	ton
	Verticalen B323.9/30, kwaliteit S235	3,0	ton
	Onderregel B559/30, kwaliteit S355	39,1	ton
	Dwarsverbinding B323.9/30, kwaliteit S235	7,2	ton
	Profiel verbinding, zelf samengesteld, kwaliteit S235	24,3	ton
	Stift deuvels Stiftdeuvels, Ø19mm x 85mm, kwaliteit fu450	0,3	ton
3 Toegepaste gegevens berekening bovenstaande hoeveelheden			
	Lengte staal-betonbrug	50	m1
	Beton doorsnede brugdek	3,79	m2
	Hoeveelheid wapeningsstaal [Handberekening]	3,8	m3
	Soortelijkgewicht staal	7850	kg/m3
	Doorsnede (A) B323.9/30	27699	mm2
	Doorsnede (A) B559/30	49857	mm2
	Doorsnede (A) profiel verbinding	31000	mm2
	Omtrek B323.9/31	1,019	m1
	Omtrek B559/31	1,76	m1
	Omtrek (zichtzijde) profiel verbinding	0,56	m1
	Soortelijkgewicht ballast	1600	kg/m3
	Ballast breedte	4	m1
	Ballast hoogte	0,52	m1
	Dwarsliggers h.o.h. afstand	0,6	m1

Bepalen wapeningshoeveelheid Trogbuis

Berekende wapening

Langswapening

Ø16-100 boven + onder → 2011 mm²/m

Dwarswapening

Ø25-200 + Ø20-200 onder → 4025 mm²/m

Ø16-100 boven → 2011 mm²/m

Aangenomen wapening op basis van voorbeeld berekening HSL

Bengels trogbalken

Afstand 0-3 49-52 Ø16-100 6 snedig → 12064 mm²/m

Afstand 3-49 Ø16-200 2 snedig Ø12-200 4 snedig → 4273 mm²/m

Ophangwapening

Ø16-100 in beide trogbalken → 2011 mm²/m

Splijtwapening

Ø25-100 boven + onder over 3 meter → 4909 mm²/m

Bepalen hoeveelheid wapening in m³

Langswapening

$$\text{Aantal staven: } \phi 8 + 34 + 34 + 16 + 16 + 2\phi + 2\phi + 55 = 265 \phi 16$$

$$265 \cdot 201 = 53265 \text{ mm}^2 \cdot 52000 \text{ mm} / 10^9 = 2,77 \text{ m}^3$$

Dwarswapening

$$\phi 25 - 200 + \phi 20 - 200 + \phi 16 - 100 = 4025 + 2011 = 6036 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$6036 \cdot 8800 / 10^9 = 2,76 \text{ m}^3/\text{m} \cdot 52 = 2,76 \text{ m}^3$$

Bengels 0-3 49-52

$$\phi 16 - 100 \text{ 6 snedig} \rightarrow 12064 \text{ mm}^2/\text{m} \cdot (2 \cdot 3) = 72384 \text{ mm}^2$$

$$72384 \cdot 3400 / 10^9 = 0,25 \text{ m}^3$$

Bengels 3-49

$$\phi 16 - 200 \text{ 2 snedig} + \phi 12 - 200 \text{ 4 snedig} \rightarrow 4273 \text{ mm}^2/\text{m} \cdot 46 = 196558 \text{ mm}^2$$

$$196558 \cdot 3400 / 10^9 = 0,67 \text{ m}^3$$

Ophangwapening

$$2 \cdot \phi 16 - 100 \rightarrow 2 \cdot 2011 \text{ mm}^2/\text{m} = 4022 \text{ mm}^2/\text{m} \cdot 52 = 209144 \text{ mm}^2$$

$$209144 \cdot (3400 + 2 \cdot 300) = 0,84 \text{ m}^3$$

↑
Verankering (horizontaal)

Splijwapening

$$\phi 25 - 100 \text{ boven + onder} \rightarrow 2 \cdot 4909 = 9818 \text{ mm}^2/\text{m} \cdot 6 = 58908 \text{ mm}^2$$

$$58908 \cdot 8800 / 10^9 = 0,52 \text{ m}^3$$

Totaal

Factor krimpverlies, haarspeld en laslengte
↓

$$2,77 + 2,76 + 0,25 + 0,67 + 0,84 + 0,52 = 7,81 \cdot 1,3 = 10,15 \text{ m}^3 \text{ betonstaal}$$

Bepalen wapeningshoeveelheid staal-betonbrug

Langsrichting

$$\text{Boven + onder } \phi 12 - 100 \rightarrow 2 \cdot 1131 = 2262 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Dwaarsrichting

$$\text{Boven } \phi 12 - 100 \rightarrow 1131 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{Onder } \phi 16 - 100 \rightarrow 2011 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Splitwapening

$$\text{Boven + onder } \phi 16 - 125 \rightarrow 2 \cdot 1600 = 3216 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Totaal wapening in m³

langswapening

$$2262 \text{ mm}^2/\text{m} \cdot 50 = 113100 \text{ mm}^2 \cdot 6000 = 0,77 \text{ m}^3$$

Dwaarsrichting

$$1131 \text{ mm}^2/\text{m} \cdot 50 = 56550 \text{ mm}^2 \cdot 6000 = 0,30 \text{ m}^3$$

$$2011 \text{ mm}^2/\text{m} \cdot 50 = 100550 \text{ mm}^2 \cdot 6000 = 0,60 \text{ m}^3$$

Splitwapening

$$3216 \cdot 50 = 160800 \text{ mm}^2 \cdot 6000 = 1,09 \text{ m}^3$$

$$\text{Totaal: } 0,77 + 0,30 + 0,60 + 1,09 = 2,76 \text{ m}^3$$

Factor 1,3 agv knipverlies, lastlengte en haarspelden

$$2,76 \cdot 1,3 = 3,60 \text{ m}^3 \text{ betonstaal}$$

Aantallen vakwerk

Invoer Dubocak op basis van gegevens IPE-600 profiel

$$\text{IPE-600} \rightarrow A = 15600 \text{ mm}^2$$

Onderdelen vakwerk

$$\begin{array}{l} \text{B323.9/30} \quad \text{verticaal langsrichting: } 2 \cdot 2 \cdot 3500 = 14000 \text{ mm} \\ \quad \quad \quad \text{diagonaal langsrichting: } 2 \cdot 20 \cdot 4280 = 171200 \text{ mm} \\ \quad \quad \quad \text{Horizontaal dwarsrichting: } 11 \cdot 3000 = 33000 \text{ mm} \\ \quad \quad \quad \text{diagonaal dwarsrichting: } 2 \cdot 2 \cdot 4600 = 18400 \text{ mm} \\ \hline \quad \quad \quad 236600 \text{ mm} = 236,6 \text{ m} \end{array}$$

$$\text{B559/30} \quad \text{Onderregel} \quad : 2 \cdot 10 \cdot 5000 = 100000 \text{ mm} = 100 \text{ m}$$

$$\text{Profiel verbinding} \quad : 2 \cdot 10 \cdot 5000 = 100000 \text{ mm} = 100 \text{ m}$$

Gegevens

$$\begin{array}{lll} \text{B323.9/30} & A = 27699 \text{ mm}^2 & \text{Onttrek} = 1019 \text{ mm} \\ \text{B559/30} & A = 49857 \text{ mm}^2 & \text{Onttrek} = 1760 \text{ mm} \\ \text{Profiel verb.} & A = 31000 \text{ mm}^2 & \text{Onttrek (onderzijde)} = 2 \cdot 30 + 500 = 560 \text{ mm} \end{array}$$

Oppervlakte natlaksysteem

$$A = L \cdot O = 236,6 \cdot 1,019 + 100 \cdot 1,76 + 100 \cdot 0,56 = 473 \text{ m}^2$$

Langte equivalent aan IPE600

Factor omrekenen op basis van doorsnede:

$$\begin{array}{ll} \text{B323.9/30} & \rightarrow 27699/15600 = 1,78 \\ \text{B559/30} & \rightarrow 49857/15600 = 3,20 \\ \text{Profiel verb.} & \rightarrow 31000/15600 = 1,99 \end{array}$$

$$L = 236,6 \cdot 1,78 + 100 \cdot 3,2 + 100 \cdot 1,99 = 940 \text{ m}$$

Bijlage J: Kostenramingen

De volgende documenten zijn vanaf volgende pagina bijgevoegd:

Document	Kenmerk	Datum	Auteur
Kostenraming Trogbrug	-	23 mei 2022	Nigel Wiesemann
Kostenraming Staal-betonbrug	-	23 mei 2022	Nigel Wiesemann

Datum: 23 mei 2022 Revisie: 1
Onderwerp: Bouwkosten bovenbouw trogbrug Zuidoostboog
Referentie: NWi
Werknummer: [Afstuderen]



Overzicht VO raming

1 Bouwkosten				
OMSCHRIJVING	HOEVEEL- HEID	EEN- HEID	KOSTEN PER EENH.	TOTALE KOSTEN
1.1 Constructie				
Beton, C45/55	784	m3	200,00	156.800,00
Wapeningsstaal, B500B (prijs incl. aanbrengen)	79.701	kg	1,80	143.461,80
Voorspanstaal (prijs incl. aanspannen, afmonteren en ankerkoppen)	41.391	kg	4,50	186.259,50
Systeembekisting	1.176	m2	75,00	88.200,00
				574.721,30
1.2 Secundair staal				
Balustrade	52	m1	300,00	15.600,00
Ladder	4	st	1.000,00	4.000,00
				19.600,00
TOTAAL BOUWKUNDIGE WERKZAAMHEDEN				594.321,30
1.3 Uitvoeringskosten				
Aanbrengen tafelbekisting met ondersteuning op tunnel en werken langs bestaand spoor en bebouwing	10	%	594.321,30	59.432,13
				59.432,13
1 TOTAAL DIRECTE KOSTEN				653.753,43

2 INDIRECTE BOUWKOSTEN				
OMSCHRIJVING	HOEVEEL- HEID	EEN- HEID	KOSTEN PER EENH.	TOTALE KOSTEN
INDIRECTE BOUWKOSTEN				
Algemene bouwplaatskosten	9,00%		653.753,43	58.837,81
Algemene Kosten	8,00%		712.591,24	57.007,30
Winst & Risico	3,00%		769.598,54	23.087,96
CAR verzekering	0,30%		792.686,49	2.378,06
Post onvoorzien, afronding				-64,55
				141.246,57
TOTAAL INDIRECTE KOSTEN				141.246,57
1/2 TOTALE KOSTEN excl. BTW				795.000,00

Datum: 23 mei 2022
 Onderwerp: Bouwkosten bovenbouw staal-betonbrug Zuidoostboog
 Referentie: NWi
 Werknummer: [Afstuderen]

Revisie: 1



Overzicht VO raming

1 Bouwkosten				
OMSCHRIJVING	HOEVEEL- HEID	EEN- HEID	KOSTEN PER EENH.	TOTALE KOSTEN
1.1 Brugdek				
Beton, C45/55	189	m3	200,00	37.800,00
Wapeningsstaal, B500B	29.799	kg	1,80	53.638,20
Bekisting	734	m2	75,00	55.050,00
				146.488,20
1.2 Vakwerk				
Constructie staal	115,2	ton	4.500,00	518.400,00
Natlaksysteem aanbrengen van 3 lagen	1263,00	m2	20,00	25.260,00
				543.660,00
1.3 Secundair staal				
Balustrade	100	m1	300,00	30.000,00
				30.000,00
TOTAAL BOUWKUNDIGE WERKZAAMHEDEN				720.148,20
1.3 Uitvoeringskosten				
Productie en transport prefab vakwerkligger en werken langs bestaand spoor en bebouwing	5	%	720.148,20	36.007,41
				36.007,41
1 TOTAAL DIRECTE KOSTEN				756.155,61

2 INDIRECTE BOUWKOSTEN				
OMSCHRIJVING	HOEVEEL- HEID	EEN- HEID	KOSTEN PER EENH.	TOTALE KOSTEN
INDIRECTE BOUWKOSTEN				
Algemene bouwplaatskosten	9,00%		756.155,61	68.054,00
Algemene Kosten	8,00%		824.209,61	65.936,77
Winst & Risico	3,00%		890.146,38	26.704,39
CAR verzekering	0,30%		916.850,78	2.750,55
Post onvoorzien, afronding				398,67
				163.844,39
TOTAAL INDIRECTE KOSTEN				163.844,39
1/2 TOTALE KOSTEN excl. BTW				920.000,00

Bijlage K: DuboCalc duurzaamheidsberekening

In deze bijlage wordt de uitvoer van de DuboCalc 6.0 berekening weergegeven. Eerst wordt een korte toelichting gegeven over de werking en toepassing van de softwaretool DuboCalc, bij het maken van een duurzaamheidsberekening. Vervolgens wordt de in- en uitvoer van de DuboCalc berekening zoals uitgevoerd in het onderzoek weergegeven.

Wat is DuboCalc

DuboCalc is een softwaretool ontwikkeld door Rijkswaterstaat. Met als doel het eenvoudig kunnen berekenen en vergelijken van duurzaamheid in projecten. In de berekening wordt het materiaal- en energieverbruik van de winning tot aan de sloop- en hergebruikfase meegenomen. Het resultaat zijn de totale milieueffecten uitgedrukt in euro's. Deze waarde in euro's is de Milieukostenindicator.

Wat is de Milieukostenindicator

De milieukostenindicator (MKI) is een indicator die alle relevante milieueffecten van een project of product in één score aangeeft. Deze score wordt uitgedrukt in euro's en geeft daarmee de schaduwkosten weer. Een lagere score is dus beter dan een hogere score. De MKI score is opgebouwd uit de milieu-impact over de hele toeleveringsketen, van productie tot sloop en hergebruik van het materiaal (Ecochain, sd).

De berekening van de MKI-waarde wordt gedaan volgens de Levenscyclusanalyse (LCA). De LCA bepalingmethode wordt door de Nederlandse Nationale Milieudatabase conform de internationale standaard (EN15804) vastgesteld en uitgevoerd. DuboCalc is enkel een software tool die deze onderliggende data op gebruiksvriendelijke manier kan verwerken en optellen tot een totaal som voor GWW-werken (DuboCalc, sd).

Hoe werkt DuboCalc?

Zoals reeds aangegeven is DuboCalc een softwaretool en niet zozeer een rekenprogramma dat zelf complexe berekeningen maakt. In DuboCalc kan een project worden aangemaakt waaraan varianten kunnen worden toegevoegd. Vervolgens moeten eerst materialen aan de varianten worden toegevoegd. Om dit overzichtelijk in te kunnen voeren kunnen deze materialen aan elementen worden gekoppeld. Zo kan beton bijvoorbeeld aan het element 'brugdek' worden toegevoegd in plaats van direct aan de variant 'brug'.

De materialen die ingevoerd worden in DuboCalc moeten uit de materialen bibliotheek worden overgenomen. Deze bibliotheek bestaat uit materialen en bijbehorende MKI-waarden vastgesteld door de Nationale Milieudatabase. Vervolgens kan de hoeveelheid en levensduur van deze materialen worden ingevoerd.

Wat DuboCalc verder met deze gegevens doet is het maken van een optelsom voor de totale MKI-waarde. De hoeveelheid van het materiaal wordt vermenigvuldigd met de MKI-waarde per eenheid en een factor voor het aantal vervangingen op basis van de ingevoerde levensduur. Een voorbeeld van de berekening van de MKI-waarde voor een object met een levensduur van 100 jaar is in Tabel 18 weergegeven.

Tabel 18: Voorbeeld berekening MKI-waarde.

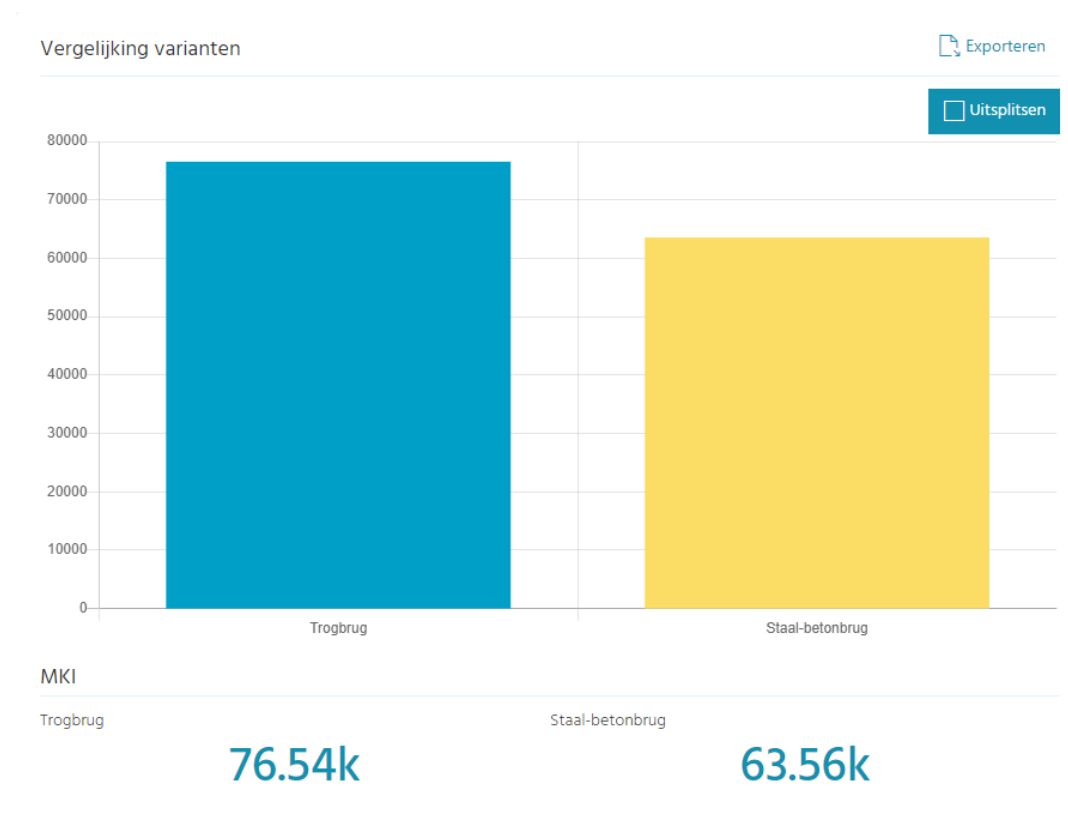
Element	Hoeveelheid	MKI-waarde	Levensduur	Totaal MKI
Beton	100 m3	30 €/m3	100 jaar	$100 \cdot 30 \cdot (100/100) = \text{€}3000$
Betonstaal	7850 kg	0,15 €/kg	100 jaar	$7850 \cdot 0,15 \cdot (100/100) = \text{€}1178$
				$3000 + 1178 = \text{€}4178$

Het resultaat van een DuboCalc berekening

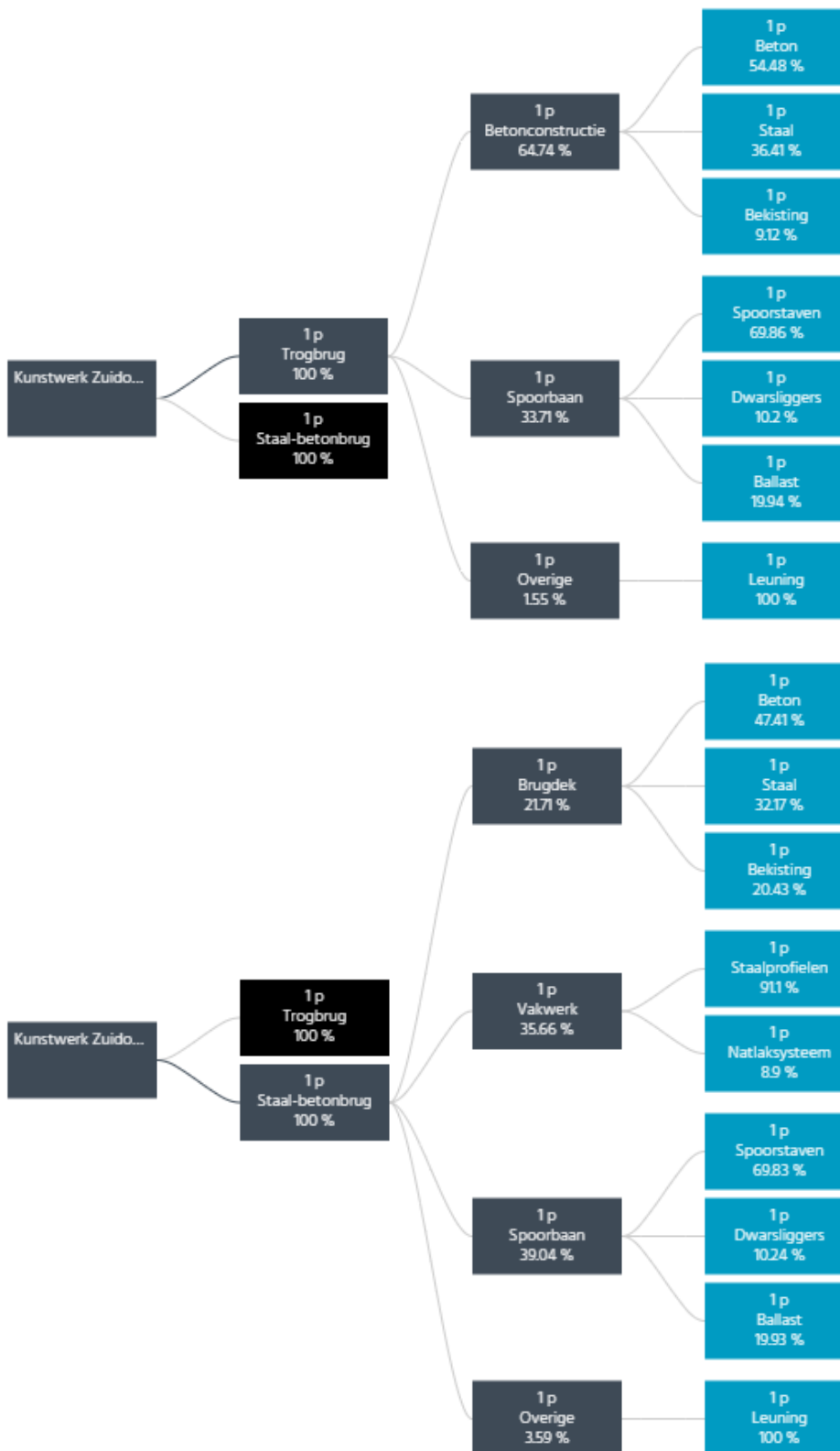
Wanneer alle elementen en materialen met bijbehorende hoeveelheden in DuboCalc zijn ingevoerd kan de totale MKI-waarde worden berekend. Voor de ingevoerde varianten berekend DuboCalc een aparte MKI-waarde. Deze wordt vervolgens in een staafdiagram weergegeven. Dit laat inzichtelijk zien welke variant het beste scoort op basis van duurzaamheid.

De totale MKI-waarde geeft een schaduwprijs weer voor de betreffende variant. Het zijn fictieve kosten die gemaakt zouden moeten worden om de milieu-effecten, waaraan de variant gedurende de gehele levensduur aan bijdraagt, te compenseren. De MKI-waarde is opgebouwd uit de gegevens afkomstig uit de Nationale Milieudatabase. Deze waarden liggen vast in het programma en worden binnen de GWW toepast. De uitkomst van het model is een dus enkel een concrete waarde die hoger of lager is dan de andere variant en waar vervolgens geen eigen interpretatie aan gegeven kan worden.

Resultaten DuboCalc berekening onderzoek kunstwerk SKT



Figuur 43: Vergelijking varianten kunstwerk Zuidoostboog (DuboCalc, sd).



Figuur 44: Opbouw varianten in DuboCalc en procentuele bijdrage per element aan de totale MKI.

Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
Trochise	100%	21 782.87452	1 p	78536.64176							
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
Beltoncorabucle	64.74%	14743.0706	1 p	49562.6088							
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
Baton	54.48%	6459.219178	1 p	28995.73472							
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
Beltoncoral	100%	6459.219178	1 p	28995.73472							
Object	Category Name	Owner	Comment	MKI category	Material and Process MKI	Percent of Material and Process MKI	MKI of Waste Scenario	Percent of Waste Scenario MKI	Quantity	RWS Indicator	Lifecycle
Beltoncoral coral GWK C455 CEM 18 2187 km	Bel metabelebonen - met getuiste (0%)	6459.218178	20936.53059	100%	784 indokant	28995.73472		100			
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
1	0%	0	1 indokant	0							
Beltoncoral coral GWK C455 CEM 18 2187 kg/m3 met	Bel metabelebonen - met getuiste (0%)	6459.218178	7.02948897	1 m3	2934633871						
Procescent	14.68%	1361513782	1 m3	5.0489909							
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
Staal	7227.504088	1 p	18340.07116								
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
Wapeningsteel	65.82%	4757.038464	1 p	11873.71347							
Object	Category Name	Owner	Comment	MKI category	Material and Process MKI	Percent of Material and Process MKI	MKI of Waste Scenario	Percent of Waste Scenario MKI	Quantity	RWS Indicator	Lifecycle
Developent Constructie in de m. Wapen	Bel metabelebonen - met getuiste (0%)	4757.038464	7116.67008	100%	79701 kg	11873.71347		100%			
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
PO1	100%	0.019888057	1 kg	0.148978224							
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
Voorpanel	34.18%	2470.466064	1 p	6166.35189							
Object	Category Name	Owner	Comment	MKI category	Material and Process MKI	Percent of Material and Process MKI	MKI of Waste Scenario	Percent of Waste Scenario MKI	Quantity	RWS Indicator	Lifecycle
Developent Constructie in de m. Wapen	Bel metabelebonen - met getuiste (0%)	2470.466064	3665.859086	100%	41381 kg	6166.35189		100%			
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
PO1	100%	0.019888057	1 kg	0.148978224							
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
Bekleding	9.12%	1057.247359	1 p	4516.779997							
Object	Category Name	Owner	Comment	MKI category	Material and Process MKI	Percent of Material and Process MKI	MKI of Waste Scenario	Percent of Waste Scenario MKI	Quantity	RWS Indicator	Lifecycle
Hidden system bekleding	Bel metabelebonen - met getuiste (0%)	1057.247359	3459.532837	100%	1178 m2	4516.779997		99%			
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
System bekleding	100%	0.899018864	1 m2	3.840799317							
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
Sportaan	33.71%	6838.624317	1 p	25787.88611							
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
Sportaanen	69.86%	4752.451836	1 p	18033.43848							
Object	Category Name	Owner	Comment	MKI category	Material and Process MKI	Percent of Material and Process MKI	MKI of Waste Scenario	Percent of Waste Scenario MKI	Quantity	RWS Indicator	Lifecycle
38 SPOORWIEKEN RD-381 BAAN EN BOVENBOUW 2. Spo	Bel metabelebonen - met getuiste (0%)	2143.328328	5987.223841	100%	104 m1	8110.552287		45			
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
Low alloyed corner steel	103.85%	18.85321595	54.8 kg	80.83059999							
0001-weldTransport_vanWapen	0.01%	0.002642686	2.703028 t/m	0.006826816							
0001-weldTransport_vanWapen	0.05%	0.008442243	1.8084 t/m	0.006885054							
0005-prijsSteel_geschild_geluid_Nar	0.47%	0.083511489	0.00085 m3	0.38694722							
0005-prijsSteel_geschild_geluid_Nar	0.33%	0.053813553	0.00041 m3	0.231320205							
0005-prijsSteel_geschild_geluid_Nar	0.33%	0.050836566	0.00045 m3	0.2554925							
0005-prijsSteel_geschild_geluid_Nar	0.33%	0.002680856	0.00045 m3	0.4254945							
0005-prijsSteel_geschild_geluid_Nar	0.47%	0.083511489	0.00085 m3	0.38694722							
0005-prijsSteel_geschild_geluid_Nar	0.61%	0.001708283	1.3E-05 m3	0.007339894							
0005-prijsSteel_geschild_geluid_Nar	0.28%	0.051188922	0.00039 m3	0.22118833							
0005-prijsSteel_geschild_geluid_Nar	0%	0.000898987	6.6E-08 m3	0.003733863							
0005-prijsSteel_geschild_geluid_Nar	0.47%	0.083511489	0.00085 m3	0.38694722							
0005-prijsSteel_geschild_geluid_Nar	0.33%	0.053813553	0.00041 m3	0.231320205							
0005-prijsSteel_geschild_geluid_Nar	0.61%	0.002680856	2E-06 m3	0.011373222							
0133-weldTransport_vanWapen	0.98%	0.100851322	94.8 t/m	0.437022883							
0133-weldTransport_vanWapen	0.06%	0.010283609	5.682566 t/m	0.044583172							
0133-weldTransport_vanWapen	0.04%	0.005656187	3.6188 t/m	0.028434477							
0145-prijsSteel_werk_wis_per meter	0.04%	0.007333862	0.26 m1	0.031880626							
0253-weldShort steel	0%	0.000120266	0.548 kg	0.00021146							
0262-wdModule D, steel, met 1x NETTO beton	14.50%	0	47.7 kg	-0.686861107							
0262-wdModule D, steel, per 1x NETTO beton	0.42%	0	1.43 kg	-0.329458838							
A1 Spoornaal	0.38%	0.572847677	0.03 m1	2.462340723							
A2 Spoornaal	0.02%	0.00302054	0.02 m1	0.21310471							
A3 Spoornaal	0.04%	0.000676791	0.03 m1	0.02849426							
A4 Spoornaal	0.02%	0.004873844	0.03 m1	0.041135122							
C1 Spoornaal	0%	0.000750894	0.01 m1	0.00064265							
C2 Spoornaal	0%	0.000455953	0.03 m1	0.001986796							
C3 Spoornaal	0%	0	0.01 m1	0							
C4 Spoornaal	0%	0	0	0							
C4 Spoornaal	0%	1.20265E-06	0.01 m1	5.211468E-06							
C4 Spoornaal	0%	3.89734E-06	0.03 m1	1.380344E-05							
Houten steel (RDS) aansluiting Dubot	2.45%	0.41186089	0.44 kg	1.814033189							
Milling low alloyed corner steel	1.22%	0.219074259	0.548 kg	0.04932176							
propane_geluid	0.12%	0.02118451	3.1844444444444444 kWh	0.086128284							
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
Deuren	10.2%	735.0447273	1 p	2651.49522							
Object	Category Name	Owner	Comment	MKI category	Material and Process MKI	Percent of Material and Process MKI	MKI of Waste Scenario	Percent of Waste Scenario MKI	Quantity	RWS Indicator	Lifecycle
38 SPOORWIEKEN RD-381 BAAN EN BOVENBOUW 2. NO-DE	Bel metabelebonen - met getuiste (0%)	532.5989923	851.862656	100%	87 p	1164.723469		45			
Object	Percent of MKI	MKI category	Quantity	RWS indicator							
0114-weldCPM isolat_01000											

Object	Category Name	Owner	Comment	MKI categorypossibility	Material and Process MKI	Percent of Material and Process MKI	MKI of Waste Scenario	Percent of Waste Scenario MKI	Quantity	RWS Indicator	Lifecycle
Steel construction profile, Groot PE005	net metalbouwconstructie - net metaalbouw (2%)	4895.25001	13.749.68821	100%	940 m ³	208.645.081-22	100				
Object	Percent of MKI	MKI categorypossibility	Quantity	RWS Indicator							
PE005 profile	85.92%	4.498384045	1 m ¹	18.87459839							
Tussenschot	14.08%	0.733935233	0.7344 eur	3.020494054							
Object	Percent of MKI	MKI categorypossibility	Quantity	RWS Indicator							
Nederzinken	8.9%	465.3853719	1 p	29.618.73963							
Object	Category Name	Owner	Comment	MKI categorypossibility	Material and Process MKI	Percent of Material and Process MKI	MKI of Waste Scenario	Percent of Waste Scenario MKI	Quantity	RWS Indicator	Lifecycle
Nederzinken voor vloerconstructie	net metalbouwconstructie - net metaalbouw (2%)	465.3853719	1552.247648	100%	473 m ³	2018.617360	100				
Object	Percent of MKI	MKI categorypossibility	Quantity	RWS Indicator							
Nederzinken	100%	6.810833411	1 m ²	4.267031717							
Object	Percent of MKI	MKI categorypossibility	Quantity	RWS Indicator							
Sproeiwerk	49.83%	8176.35138	1 p	17.393.29889							
Object	Category Name	Owner	Comment	MKI categorypossibility	Material and Process MKI	Percent of Material and Process MKI	MKI of Waste Scenario	Percent of Waste Scenario MKI	Quantity	RWS Indicator	Lifecycle
38 SPOORWERKEN BLO-301 BAAN IN BOVENBOUW 2. Spoor	net metalbouwconstructie - net metaalbouw (2%)	2000.89021	5737.715339	100%	100 m ³	7708.67346	45				
Object	Percent of MKI	MKI categorypossibility	Quantity	RWS Indicator							
Low alloyed construction steel	100.00%	18.63251595	54.4 kg	69.83059999							
0001-anaTransport, verplaatsen	0.07%	0.013042646	2.793078 Cfm	0.068620818							
0001-anaTransport, verplaatsen	0.05%	0.009442245	1.0394 Cfm	0.038505054							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.47%	0.083114169	0.00041 m ³	0.009847222							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.31%	0.03813553	0.0041 m ³	0.231120505							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.33%	0.039038356	0.0041 m ³	0.23854243							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.33%	0.039038356	0.0041 m ³	0.23854243							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.47%	0.083114169	0.00041 m ³	0.369847222							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.61%	0.011026245	1.3845 m ³	0.072928484							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.28%	0.011189593	0.00031 m ³	0.212811833							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0%	0.008826247	6.8648 m ³	0.003738623							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.47%	0.083114169	0.00041 m ³	0.369847222							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.3%	0.03813553	0.0041 m ³	0.231120505							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.81%	0.020825051	26.48 m ³	0.011375222							
0133-anaTransport, verplaatsen	0.58%	0.108891322	5.8 Cfm	0.47022288							
0133-anaTransport, verplaatsen	0.06%	0.010843868	5.808888 Cfm	0.044681122							
0133-anaTransport, verplaatsen	0.04%	0.006881687	3.0168 Cfm	0.02883477							
0145-proaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met	0.65%	0.007238852	4.26 m ³	0.021806026							
0201-anaChrest, aenleid, getuik, liser	0%	0.000120966	0.548 kg	0.00051146							
0282-aChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	-14.00%	0	47.2 kg	-10.88881027							
0282-aChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	-6.42%	0	1.42 kg	-0.32945039							
A1 Sproeiwerk	3.18%	0.172878777	0.03 m ³	2.462740723							
A2 Sproeiwerk	0.02%	0.00262554	0.03 m ³	0.013110871							
A3 Sproeiwerk	0.04%	0.00617071	0.03 m ³	0.029494248							
A4 Sproeiwerk	0.03%	0.004812844	0.03 m ³	0.021119123							
C2 Sproeiwerk	0%	0.000150884	0.01 m ³	0.000642485							
C3 Sproeiwerk	0%	0.00043593	0.03 m ³	0.001966796							
C3 Sproeiwerk	0%	0	0	0							
C4 Sproeiwerk	0%	1.2008166	0.03 m ³	6.211486106							
C4 Sproeiwerk	0%	3.00794E-05	0.03 m ³	1.56344E-05							
Het cillien, liser (RES) processing) Catal	2.40%	0.4419998	54.4 kg	1.740453189							
Mixen low alloyed construction steel	1.22%	0.219214266	0.03 m ³	0.04929178							
processing, aenleid, getuik, liser	0.12%	0.021213451	3.1944666666666666 kWh	0.008173288							
Object	Percent of MKI	MKI categorypossibility	Quantity	RWS Indicator							
Onderdelen	10.24%	113.5601387	1 p	2540.754005							
Object	Category Name	Owner	Comment	MKI categorypossibility	Material and Process MKI	Percent of Material and Process MKI	MKI of Waste Scenario	Percent of Waste Scenario MKI	Quantity	RWS Indicator	Lifecycle
38 SPOORWERKEN BLO-301 BAAN IN BOVENBOUW 3. NB-26	net metalbouwconstructie - net metaalbouw (2%)	822.31202618	822.2372408	100%	84 p	1143.330352	45				
Object	Percent of MKI	MKI categorypossibility	Quantity	RWS Indicator							
014-1a4KEPON-rijtuig, cillienconstructie, mixen, aenleid, getuik, liser	0.75%	0.023850719	0.26 kg	0.104886467							
0047-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0.39%	0.01228023	1.44 kg	0.029713394							
0165-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	39.23%	1.233994643	27.73 kg	0.473121351							
0167-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	24.93%	0.793122115	9.95 kg	3.393520493							
0181-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0.51%	0.015988905	0.26 kg	0.069291311							
0174-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	5.9%	0.174733357	2.37 kg	0.721710953							
0338-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	12.89%	0.404744949	1.95 kg	1.733815444							
Glass flow reinforcement, aenleid, getuik, liser, met, met, met	4.78%	0.150113212	0.38 kg	0.064064068							
Top coat, cillien (RES) processing) Catal	0.00%	0.001478451	0.00041 m ³	0.000037288							
0001-anaTransport, verplaatsen	0.47%	0.020723208	43.5 Cfm	0.479693872							
0001-anaTransport, verplaatsen	0.47%	0.020723208	43.5 Cfm	0.479693872							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.47%	0.020723208	43.5 Cfm	0.479693872							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.59%	0.01873256	0.00041 m ³	0.073826555							
0005-proaChrest, aenleid, getuik, liser	0.58%	0.018107526	0.00041 m ³	0.000070555							
0111-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0.49%	0.015419659	0.5885 m ³	0.068819822							
0145-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	2.38%	0.074803086	0.655 kWh	0.3223008							
0245-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0.02%	0.000000004	2.775 kg	0.000000017							
0245-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0.01%	0.000212446	0.144 kg	0.000004058							
0245-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0.01%	5.4495E-05	0.024 kg	0.000000000							
0245-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0.01%	0.000208627	0.138 kg	0.001331794							
0245-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0%	0.000118064	0.050 kg	0.000513353							
0251-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	1.2835E-05	0.000000000	0.00000 kg	5.56333E-05							
0251-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0%	5.2512E-06	2.3388E-06	2.3388E-06							
0251-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0%	6.3853E-06	2.91E-05 kg	2.7874E-08							
0251-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0%	4.7294E-06	0.0100 kg	1.0444E-06							
0265-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0.38%	0.000011465	0.240 kg	0.000000011							
0265-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0.88%	0.001541185	1.224 kg	0.008724488							
0265-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0.81%	0.025448926	0.944 kg	0.110739044							
0265-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0.31%	0.000730313	0.268 kg	0.042147174							
0267-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	-0.1%	0	1.5407666666666667 kWh	-0.01380893							
0267-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	-0.26%	0	4.3266666666666666 kWh	-0.03854954							
0267-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	-0.38%	0	2.4538000000000002 kWh	-0.021000000							
0268-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	-0.18%	0	4.7556 kWh	-0.02408476							
0268-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	0.45%	0.013485929	27.73 kg	0.064064068							
0275-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	-0.01%	0	0.0071 kg	-0.000000015							
0275-anaChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	-0.01%	0	0.0071 kg	-0.001163704							
0282-aChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	-8.22%	0	4.8995 kg	-1.17807287							
0282-aChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	-3.87%	0	3.5451 kg	-0.845378							
0282-aChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	-1.89%	0	1.092 kg	-0.25199044							
Doe-aChrest, aenleid, getuik, liser, met, met, met	-0.86%	0	27.73 kg	-0.063978798							
A1 Doverslag 1850	2.11%	0.0850505	0.03 p	0.38653268							
A1 Doverslag 1850	2.71%	0.0850505	0.03 p	0.38653268							
A2 Doverslag 1850	0.19%	0.00002146	0.03 p	0.000000017							
A2 Doverslag 1850	0.19%	0.00002146	0.03 p	0.000000017							
A3 Doverslag 1850	0.18%	0.000009927	0.03 p	0.000000398							
A4 Doverslag 1850	0.18%	0.000009927	0.03 p	0.000000017							
C2 Doverslag 1850	0.19%	0.00002146	0.03 p	0.000000017							
C2 Doverslag 1850	0.19%	0.00002146	0.03 p	0.000000017							
C3 Doverslag 1850	0.06%	0.001802479	0.03 p	0.007815078							
C4 Doverslag 1850	0%	3.9727E-05	0.03 p	0.000172337							
C4 Doverslag 1850	0%	3.9727E-05	0.03 p	0.000172337							
C4 Doverslag 1850	-0.89%	-0.00060459	0.03 p	-0.115100641							
D Doverslag 1850	-0.65%	0	0.03 p	-0.08808184							
Het cillien, liser (RES) processing) Catal	0.61%	0.01910271	2.37 kg	0.02377643							
Het cillien, liser (RES) processing) Catal	0.5%	0.015717428	1.95 kg	0.08108845							
Object	Percent of MKI	MKI categorypossibility	Quantity	RWS Indicator							

Buheit	19.03%	1.141.180621	1 p.	4945.118739
--------	--------	--------------	------	-------------

Object	Category Name	Owner	Comment	MKI categorypenalty	Material and Process MKI	Percent of Material and Process MKI	MKI of Waste Scenario	Percent of Waste Scenario MKI	Quantity	RWS Indicator	Lifecycle
38 SPOORWEGVOL BUS-381 BAAN EN BOVENBOUW	1 aut-mechanisch-oud-gedetail (0%)	095.41.02812	1311.877511	100%	166403 kg	1730.76959		36			

Object	Percent of MKI	MKI categorypenalty	Quantity	RWS Indicator
0205-4a68Stroomlin. stroom RVVLB_A3	27.04%	0.00064893	1 kg	0.002812031
0001-4a67Transport. vrachtwagen	6.59%	0.000144849	0.03125 t/m	0.000632172
0001-4a67Transport. vrachtwagen	9.72%	0.000323417	0.05 t/m	0.001311429
0001-4a67Transport. vrachtwagen	3.24%	7.78958E-05	0.01666666667 t/m	0.000337199
0001-4a67Transport. vrachtwagen	0.89%	1.99412E-05	0.003333333333 t/m	0.14317E-05
0005-gra6Dewel. gevels, gevels, ltr	0.22%	5.2901E-06	4E-08 m3	2.27304E-05
0005-gra6Dewel. gevels, gevels, ltr	0.22%	5.2901E-06	4E-08 m3	2.27304E-05
0005-gra6Dewel. gevels, gevels, ltr	0.22%	5.2901E-06	4E-08 m3	2.27304E-05
0005-gra6Dewel. gevels, gevels, ltr	0.22%	5.2901E-06	4E-08 m3	2.27304E-05
0005-gra6Dewel. gevels, gevels, ltr	0.86%	1.31253E-05	1E-07 m3	5.69701E-05
0005-gra6Dewel. gevels, gevels, ltr	5.61%	0.000131253	1E-08 m3	0.00066781
0005-gra6Dewel. gevels, gevels, ltr	0.41%	9.8434E-06	7.9E-07 m3	4.29071E-05
0005-gra6Dewel. gevels, gevels, ltr	0.22%	5.2901E-06	4E-08 m3	2.27304E-05
0005-gra6Dewel. gevels, gevels, ltr	0.83%	1.5694E-05	1.19E-07 m3	6.54015E-05
0005-gra6Dewel. gevels, gevels, ltr	0.13%	3.01861E-06	2.3E-08 m3	1.30915E-05
0103-4a67Transport. vrachtwag. binnen	2.2%	5.28418E-05	0.03125 t/m	0.0002289
0103-4a67Transport. vrachtwag. binnen	3.55%	6.45465E-05	0.05 t/m	0.000399398
0103-4a67Transport. vrachtwag. binnen	1.17%	2.81822E-05	0.01666666667 t/m	0.00012123
0103-4a67Transport. vrachtwag. binnen	0.23%	5.83644E-06	0.003333333333 t/m	2.44248E-05
0103-4a67Transport. vrachtwag. binnen	3.89%	9.26128E-05	0.05 t/m	0.000399398
0103-4a67Transport. vrachtwag. binnen	1.28%	3.08772E-05	0.01666666667 t/m	0.000132514
0103-4a67Transport. vrachtwag. binnen	0.26%	6.13451E-06	0.003333333333 t/m	2.65842E-05
A1 Buheit	5.41%	0.000129739	0.2 kg	0.000545498
A2 Buheit	5.9%	0.000141677	0.2 kg	0.000613933
A3 Buheit	0.04%	1.05002E-06	0.2 kg	4.5609E-06
XXXX Transport. vrachtwag. ltr	21.13%	0.00060739	0.75 t/m	0.002199937

Object	Percent of MKI	MKI categorypenalty	Quantity	RWS Indicator
Overige	3.36%	873.4423003	1 p.	2381.095723

Object	Percent of MKI	MKI categorypenalty	Quantity	RWS Indicator
Levensp.	100%	873.4423003	1 p.	2381.095723

Object	Category Name	Owner	Comment	MKI categorypenalty	Material and Process MKI	Percent of Material and Process MKI	MKI of Waste Scenario	Percent of Waste Scenario MKI	Quantity	RWS Indicator	Lifecycle
Thermisch-waardelooswerk 1.1e hooi	aut-mechanisch-oud-gedetail (0%)	336.7111002	303.030713	100%	100 m3	1140.547361		36			

Object	Percent of MKI	MKI categorypenalty	Quantity	RWS Indicator
Thermisch-waardeloos werk	72.30%	2.69037004	1 m3	3.260190214
Kraan	27.24%	0.717073877	0.25 uur	3.10720004

Bijlage L: Excel spreadsheets

De volgende Excel documenten zijn separaat bijgevoegd:

Document	Auteur
Excel spreadsheet berekening Staal-betonbrug	Nigel Wiesemann
Excel spreadsheet berekening Trogbrug	Nigel Wiesemann
Excel spreadsheet boven wapening langsrichting staal-betonbrug	Mark Binnendijk (Sweco)
Excel spreadsheet kostenramingen	Nigel Wiesemann
Excel spreadsheet onder wapening langsrichting staal-betonbrug	Mark Binnendijk (Sweco)
Excel spreadsheet overzicht hoeveelheden	Nigel Wiesemann