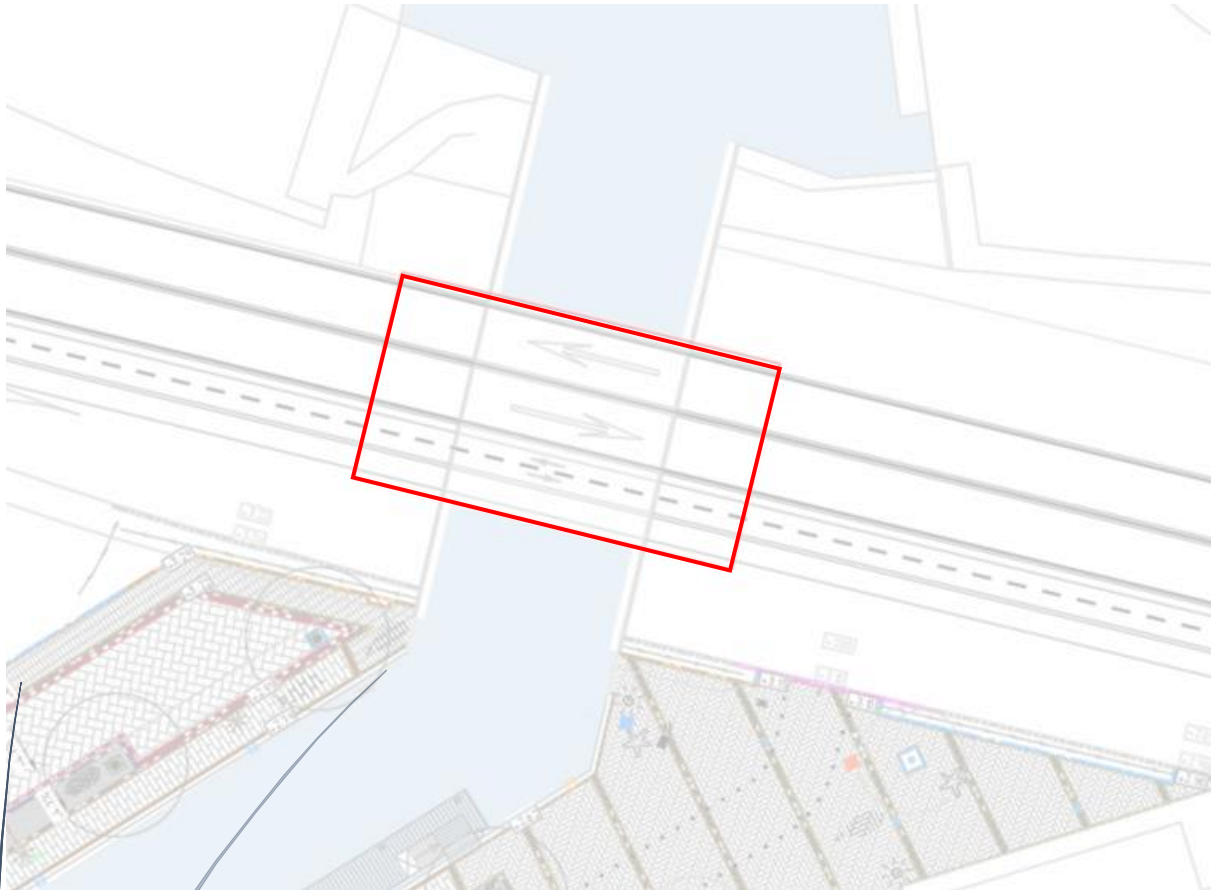


4-6-2021

Onderzoeksrapport

Afstudeerscriptie Ontwerp
Langewegbrug Zevenbergen



Auteur: *Reinier Goedemondt*
Studentnummer: *00075344*
Onderwijsinstelling: *HZ University of Applied Sciences*
Opleiding: *Civiele Techniek*
Email: goed0050@hz.nl
reinier.goedemondt@sweco.nl

Datum: *04 juni 2021*
Versie: *1.0*
Status: *Definitief*

Begeleidend docent: *A. Repko*
2^{de} examiner: *P.J.M. Hopmans*

Stagebedrijf: *Sweco*
Afstudeerbegeleiders: *G. Poortvliet*
M. Scheeders

Voorwoord

Geachte lezer,

Hier voor u ligt het onderzoeksrapport van het onderzoek “Ontwerp Langewegbrug Zevenbergen”. Het onderzoek is geschreven als afstudeerscriptie voor het afronden van de opleiding Civiele Techniek aan de HZ University of Applied Sciences. Het onderzoek is uitgevoerd in de periode van februari 2021 tot en met juni 2021.

Het onderzoek is uitgevoerd in begeleiding van het stagebedrijf Sweco Nederland B.V. Sweco heeft het voorlopende project Heropenen Rode Vaart in opdracht van de gemeente Moerdijk begeleid. Dit onderzoek is een vervolg op het project Heropenen Rode Vaart. Voor het vervolg project dient de Langewegbrug nog te worden ontworpen. Het vervolgproject is nog in de initiatie fase, dit onderzoek wordt uitgevoerd als vooronderzoek op het vervolgproject.

Gedurende het onderzoek heb ik binnen het stagebedrijf inhoudelijk begeleiding gehad van Gerard Poortvliet. Zijn expertise en kennis over het project heeft mij erg geholpen om het onderzoek goed op te bouwen. Tevens heb ik veel aan zijn begeleiding gehad tijdens het uitwerken van het onderzoeksrapport. Daarnaast heb ik binnen Sweco begeleiding gehad van constructeur Maarten Scheerders. Zijn expertise als constructeur heeft mij enorm geholpen, bij het maken van alle berekeningen en ontwerprapporten. In een bijzondere tijd waarbij thuis werken verplicht was vanwege alle covid19-maatregelen, hebben mijn begeleiders mij altijd geholpen. Wanneer ik hulp nodig had kon ik hen ten allen tijden bereiken, en stonden zij klaar om mij te helpen. Hiervoor wil ik beide heren enorm bedanken. Dankzij hen heb ik de sturing gehad die benodigd was om dit onderzoek tot een succesvol einde te brengen.

Graag wil ik ook mijn stage begeleider vanuit school bedanken. Albert Repko heeft mij gedurende de stageperiode begeleid als docent vanuit school. Dankzij de kritische feedback, handigheidjes, tips & tricks die ik altijd ontving, kreeg mijn onderzoek meer diepgang. Tevens stuurde dit mij altijd de goede kant op waardoor mijn onderzoek sterk verbeterde. Ik ben Albert zeer dankbaar voor de tijd en moeite, die hij heeft genomen om mijn onderzoek goed te begeleiden.

Verder wil ik al mijn collega's van Sweco team techniek Middelburg bedanken voor de fijne tijd, en hulp wanneer ik deze nodig had. Daarnaast wil ik alle andere collega's binnen Sweco bedanken die mij hebben geholpen gedurende mijn onderzoek. Als allerlaatste wil ik alle externe partijen bedanken die mij informatie hebben verschaft tijdens mijn onderzoek.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Reinier Goedemondt
Middelburg, 4 Juni 2021

Samenvatting

In Zevenbergen ligt momenteel een tijdelijke duikerconstructie onder de N285. Deze tijdelijke duikerconstructie wordt in de toekomst vervangen door een openwatergang. Over deze watergang dient een brug (genaamd de Langewegbrug) te komen om wegverkeer mogelijk te maken over deze watergang. Het ontwerp van deze brug is nog niet gemaakt, en dit heeft geleid tot de volgende onderzoeksvraag:

Welk type brugdek kan het best worden toegepast voor de Langewegbrug te Zevenbergen op basis van kosten, duurzaamheid, omgevingshinder, stedelijke inpassing, beheer en onderhoud en levensduur, en hoe ziet het constructief ontwerp van de fundering van deze brug eruit?

Om antwoord te geven op de onderzoeksvraag zijn deelvragen opgesteld en uitgewerkt. Zo is de huidige situatie van de projectlocatie uiteengezet. Daarnaast zijn de randvoorwaarden opgesteld. Er is een stakeholderanalyse opgenomen in het onderzoek. En er is een programma van eisen opgesteld voor het onderzoek. Deze zaken hebben als input gediend voor de rest van het onderzoek.

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat er drie type brugdekken kunnen worden toegepast voor de Langewegbrug. De drie type brugdekken die kunnen worden toegepast zijn: een voorgespannen beton brugdek, een stalen brugdek en een composiet brugdek. Deze drie type brugdekken zijn in het onderzoek onderzocht op alle criteria opgesomd in de onderzoeksvraag. Uiteindelijk is op basis van een MCA (Multi-criteria analyse) en gevoeligheidsanalyse naar voren gekomen, dat het voorgespannen betonnen brugdek het best kan worden toegepast. Dit komt voornamelijk omdat de kosten van dit brugdek relatief laag zijn en doordat deze oplossing relatief duurzaam is. Verder sluit deze ontwerp oplossing qua stedelijke inpassing erg goed aan, en is het beheer en onderhoud aan dit brugdek beperkt. Het voorgespannen beton brugdek bestaat uit voorgespannen prefab Rogir-S liggers in combinatie met een betonnen druklaag.

Op basis van het voorkeurstype brugdek is het constructief ontwerp van de fundering gemaakt. Het constructief ontwerp van de fundering van de Langewegbrug bestaat uit twee betonnen landhoofd balken onder weerszijde van het brugdek. Onder deze landhoofden bevindt zich een paalfundering. Per landhoofd zijn 9 geheide prefabbeton palen 320x320. Deze palen staan h.o.h. 1,60m en hebben een paalpunt niveau van NAP-18,00m.

Uiteindelijk kan de onderzoeksvraag worden beantwoord met het volgende antwoord. Op basis van kosten, duurzaamheid, omgevingshinder, stedelijke inpassing, beheer en onderhoud en levensduur kan het best een Rogir-S brugdek worden toegepast voor de Langewegbrug te Zevenbergen. Het constructief ontwerp van de fundering bestaat uit twee betonnen landhoofd balken, met daaronder een paalfundering bestaande uit totaal 18 geheide prefab betonnen palen 320x320, paalpuntniveau NAP-18,00m.

Abstract

At the moment a temporary culvert is constructed underneath the N285 at Zevenbergen. This temporary culvert will be replaced with an open channel in the future. To make road traffic possible across this open channel, a bridge (called the Langewegbrug) needs to be built across this open channel. The design for this bridge hasn't been made yet, this has led to the following research question:

Based on cost, sustainability, environmental nuisance, urban integration, management and maintenance and lifespan which bridge deck type can be applied best for the Langewegbrug at Zevenbergen, and what does the structural design of the foundation of this bridge look like?

To answer the research question, sub-questions have been formulated and elaborated. The current situation of the project location is explained. In addition, the preconditions have been drawn up. A stakeholder analysis has been included in the study. And a program of requirements has been drawn up for the research. These matter served as input for the rest of the research.

The research has shown that three types of bridge decks can be used for the Langewegbrug. The three types of bridge decks that can be used are: a prestressed concrete bridge deck, a steel bridge deck and a composite bridge deck. These three types of bridge decks were examined in the study on all criteria listed in the research question. Ultimately, based on an MCA (Multi-criteria analyse) and sensitivity analysis, it emerged that the prestressed concrete bridge deck can best be used. This is mainly because the costs of this bridge deck are relatively low and because this solution is relatively sustainable. Furthermore, this design solution fits in very well regarding to urban integration. Furthermore the management and maintenance of this bridge deck is limited. The prestressed concrete bridge deck consists of prestressed prefab Rogir-S beams in combination with a concrete compression layer.

The structural design of the foundation was made based on the preferred type of bridge deck. The structural design of the foundation of the Langewegbrug consists of two concrete abutment beams under either side of the bridge deck. A pile foundation is located under these abutments. There are 9 driven prefab concrete piles 320x320 underneath each abutment. These piles are placed with a center to center distance of 1.60m and have a pile point level of NAP-18.00m.

Finally, the research question can be answered with the following answer. Based on costs, sustainability, environmental nuisance, urban integration, management and maintenance and lifespan, it is best to use a Rogir-S bridge deck for the Langewegbrug in Zevenbergen. The structural design of the foundation consists of two concrete abutment beams, with a pile foundation underneath consisting of a total of 18 driven prefab concrete piles 320x320, pile point level NAP-18.00m.

Inhoud

1.	Inleiding.....	9
1.1	Achtergrondinformatie	9
1.1.1	Volkerak-Zoommeer	9
1.1.2	Centrum Zevenbergen	9
1.1.3	N285 & Noordelijke Randweg Zevenbergen.....	11
1.2	Aanleiding	12
1.2.1	Probleemanalyse.....	12
1.2.2	Probleemstelling	12
1.3	Doelstelling, Onderzoeksvraag en deelvragen.....	12
1.3.1	Doelstelling	12
1.3.2	Onderzoeksvraag	12
1.3.3	Deelvragen	12
1.4	Scope.....	13
1.5	Leeswijzer.....	13
2.	Theoretisch kader	14
2.1	Projectlocatie	14
2.2	Huidige situatie / Randvoorwaarden	14
2.2.1	N285	14
2.2.2	Tijdelijke duikerconstructie.....	15
2.2.3	Bodemgegevens.....	15
2.3	Projectgrens	18
2.4	Stakeholderanalyse	18
2.4.1	Belangen stakeholders.....	19
2.4.2	Mendelow's Matrix.....	20
2.4.3	Stakeholder resultaten analyse.....	22
2.5	Programma van Eisen	23
2.5.1	System Breakdown Structure	24
2.5.2	Format eisen tabel	24
2.6	Wet- en Regelgeving	25
2.7	Duurzaamheid.....	25
2.8	Projectontwerp	27
2.8.1	Wegprofiel.....	28
2.8.2	Dwarsdoorsnede haven	31
2.9	Typen bruggen	32
2.9.1	Beweegbare bruggen	32

2.9.2	Vakwerkbrug	32
2.9.3	Liggerbruggen	33
3.	Methode	39
3.1	Projectactiviteiten	40
3.1.1	Deelvraag 1	40
3.1.2	Deelvraag 2	40
3.1.3	Deelvraag 3	41
3.1.4	Deelvraag 4	41
3.1.5	Deelvraag 5	41
3.1.6	Deelvraag 6	43
3.2	Onderzoeksinstrumenten	43
3.3	MCA Brugdektype	43
3.3.1	Criteria Varianten	44
3.3.2	Indeling scoreniveaus criteria	45
4.	Resultaten	47
4.1	Voorgespannen beton brugdek	47
4.2	Stalen brugdek	48
4.3	Composiet brugdek	50
4.4	MCA	52
4.5	Gevoeligheidsanalyse	53
4.6	Funderingsontwerp	54
5.	Conclusie	56
6.	Discussie & Aanbevelingen	58
6.1	Discussie	58
6.2	Aanbevelingen	59
	Bibliografie	61

Bijlagen

- Bijlage A – Bodemrapport
- Bijlage B – Interview Gemeente Moerdijk
- Bijlage C – Het programma van eisen
- Bijlage D – Ontwerp wegprofiel & haven
- Bijlage E – Onderzoeksinstrumenten
- Bijlage F -Voorgespannen beton brugdek
 - Bijlage F.1 – Uitvoeringsplanning Rogir-S brugdek
 - Bijlage F.2 – Kostenraming Rogir-S brugdek
 - Bijlage F.3 – Tekening Rogir-S brugdek
- Bijlage G – Stalen brugdek
 - Bijlage G.1 – Uitvoeringsplanning stalen brugdek
 - Bijlage G.2 – Kostenraming stalen brugdek
 - Bijlage G.3 – Tekening stalen brugdek
- Bijlage H – Composiet brugdek
 - Bijlage H.1 – Excelsheet bepalen afmetingen dwarsdoorsnede composiet brugdek
 - Bijlage H.2 – Uitvoeringsplanning composiet brugdek
 - Bijlage H.3 Kostenraming composiet brugdek
 - Bijlage H.4 – Tekening composiet brugdek
- Bijlage I – Gevoeligheidsanalyse
- Bijlage J – Ontwerprapport fundering Langewegbrug
 - Bijlage J.1 – Tekening fundering Langewegbrug

Figurenlijst

Figuur 1, Volkerak-Zoommeer (Omroep Zeeland, 2020)	9
Figuur 2, Oude situatie centrum Zevenbergen (Google Maps, 2020)	10
Figuur 3, Overzicht huidige situatie Zevenbergen (Google Maps, 2021)	10
Figuur 4, Haven Zevenbergen (Goedemondt, 2021)	11
Figuur 5, Oude tracé N285 (huidige situatie) en nieuw toekomstig tracé N285 (Gemeente Moerdijk, 2019)	11
Figuur 6, Projectlocatie (Google Maps, 2021)	14
Figuur 7, Huidige verkeerssituatie N285 (Google Maps, 2021)	15
Figuur 8, Vooraanzicht duiker OKN (Strukton Civiel, 2020)	15
Figuur 9, Bodemonderzoeken op projectlocatie (Moerdijk Bodemsanering B.V., 2017)	16
Figuur 10, Projectgrens (Goedemondt, 2021)	18
Figuur 11, Mendelow's Matrix (Planetarium Institute, 2019)	21
Figuur 12, System Breakdown Structure (Goedemondt, 2021)	24
Figuur 13, Het verloop van het Rijksbrede programma waarin de strategische beleidsdoelen zijn geformuleerd (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020)	26
Figuur 14, Transitie naar circulaire economie (BPL, 2016)	26
Figuur 15, Project fasen GWW-sector (mkb-infra, 2021)	27
Figuur 16, Oude wegprofiel N285 (CROW, 2016)	28
Figuur 17, Rijbaan voor autoverkeer 50km/h - met vrij liggend fietspad met tweerichtingsverkeer - met voetgangersvoorziening (CROW, 2016)	29
Figuur 18, Bovenaanzicht gekozen wegprofiel Langeweg (Goedemondt, 2021)	30
Figuur 19, Vakwerkbrug Anseremme in België (Mapio, 2009)	32

Figuur 20, Voorbeeld beton druk- en treksterkte (Goedemondt, 2021)	33
Figuur 21, Principe dwarsdoorsnede brugdek met voorgespannen liggers (Giverbo, 2021)	34
Figuur 22, Traditioneel beton gewapende verkeersbrug kasteelbrug te Zevenbergen (Goedemondt, 2021)	35
Figuur 23, Stalen liggerbrug (Royal Hashkoning, 2018)	35
Figuur 24, Composietbrug in Dieren (FiberCore europe, 2019)	37
Figuur 25, Stroomschema uitwerking onderzoeksvraag (Goedemondt, 2021)	39
Figuur 26, Stroomschema deelvragen (Goedemondt, 2021)	39
Figuur 27, Dwarsdoorsnede Rogir-S brugdek (Goedemondt, 2021)	47
Figuur 28, MKI-waarde Rogir-S brugdek (DuboCalc, 2021)	48
Figuur 29, Orthotoop stalen dek (Goedemondt, 2021)	48
Figuur 30, Staalprofiel HEB700 (Goedemondt, 2021)	48
Figuur 31, Onder aanzicht stalen brugdek Langewegbrug (Goedemondt, 2021)	49
Figuur 32, Staalprofiel UBx1016x305x487 (Goedemondt, 2021)	50
Figuur 33, MKI-waarde stalen brugdek (DuboCalc, 2021)	50
Figuur 34, Composiet lagen gestapeld in verschillende richtingen (INHOLLAND, 2015)	50
Figuur 35, Opbouw composiet brugdek (Goedemondt, 2021)	51
Figuur 36, MKI-waarde composiet brugdek (DuboCalc, 2021)	51
Figuur 37, Doorsnede composiet zonder doorlopende lagen in huid en lijven (InfraCore, 2021)	52
Figuur 38, Doorsnede composiet met doorlopende lagen in de boven- en onderhuid en lijven (InfraCore, 2021)	52
Figuur 39, Grafiek uitkomst MCA	52
Figuur 40, Dwarsdoorsnede landhoofd Langewegbrug (Goedemondt, 2021)	55

Tabellenlijst

Tabel 1, Bodemprofiel projectlocatie (Moerdijk Bodemsanering B.V., 2017)	17
Tabel 2, Grondwaterstanden (Konings Grondboorbedrijf BV, 2018)	17
Tabel 3, Belangen stakeholders, interesse en macht	19
Tabel 4, Uitgewerkte Mendelow Matrix	22
Tabel 5, Toelichting uitgewerkte Mendelow Matrix	22
Tabel 6, Wet- en regelgeving	25
Tabel 7, Wegkenmerken GOW50 Bibeko (HIOR Gemeente Moerdijk, 2016)	29
Tabel 8, Toelichting wegontwerp figuur 19 (Goedemondt, 2021)	30
Tabel 9, Voor- en nadelen voorgespannen betonnen liggers	34
Tabel 10, Voor- en nadelen stalen ligger bruggen	36
Tabel 11, voor- en nadelen composietbrug	38
Tabel 12, Indeling score niveaus MCA (Goedemondt, 2021)	45
Tabel 13, Uitwerking MCA	53

1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de achtergrondinformatie uiteengezet die benodigd is om tot de probleemstelling te komen. Aan de hand van de probleemstelling wordt de scope, de doelstelling en de onderzoeksvraag van het onderzoek bepaald en beschreven. Daaropvolgend is een leeswijzer voor de rest van het rapport opgenomen.

1.1 Achtergrondinformatie

De achtergrondinformatie beschrijft de zaken die relevant zijn voor de aanleiding van het project. Zo wordt kort in 1.1.1 de waterproblematiek van het Volkerak-Zoommeer beschreven wat voor uitdagingen zorgt op het gebied van de lokale zoetwatervoorziening. De afgelopen jaren zijn er veel ontwikkelingen geweest rondom het onderzoeksgebied, deze ontwikkelingen zijn uiteengezet in 1.1.2. Aanvullend zijn de toekomstige ontwikkeling die relevant zijn voor het onderzoek nog uiteengezet in 1.1.3.

1.1.1 Volkerak-Zoommeer

Het Volkerak-Zoommeer is ontstaan als gevolg van de deltawerken. Het Volkerak-Zoommeer behoort tot de Zuidwestelijke Delta. Het water was in dit gebied vroeger zout. Door de aanleg van de deltawerken waaronder de Oesterdam ontstond het Volkerak-Zoommeer, gescheiden van het zoute water. Hierdoor werd het water in het meer zoet. De verzoeting van het water veroorzaakt negatieve gevolgen zoals de



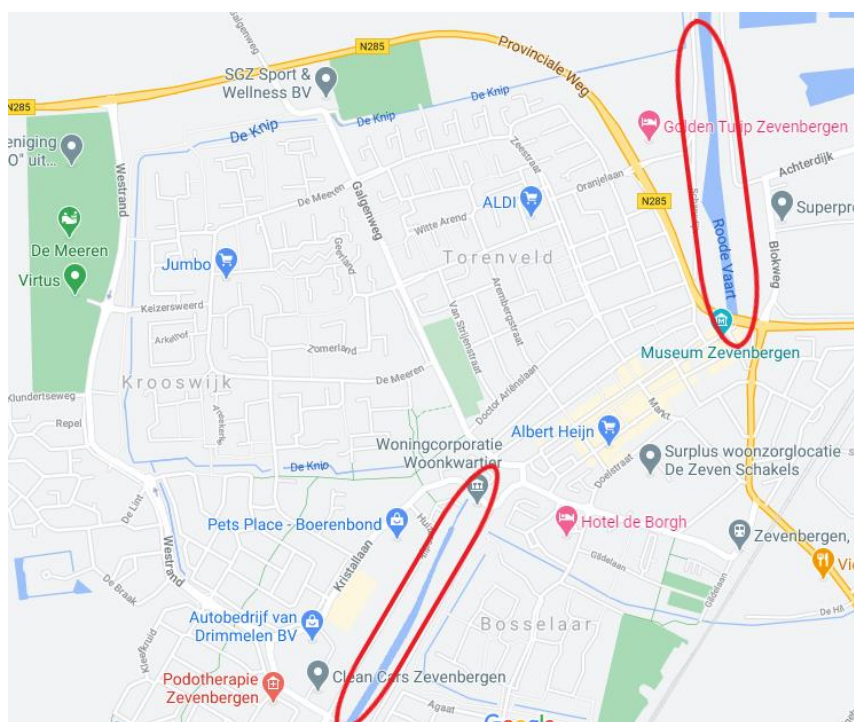
Figuur 1, Volkerak-Zoommeer (Omroep Zeeland, 2020)

groeï van blauwalgen in het Volkerak-Zoommeer (Zwdelta, 2018). Om de negatieve gevolgen van het zoete water tegen te gaan, heeft het ministerie van infrastructuur en milieu in 2015 een bestuursovereenkomst getekend om het Volkerak-Zoommeer in de toekomst weer zout te maken (Ministerie van binnenlandse zaken, 2015).

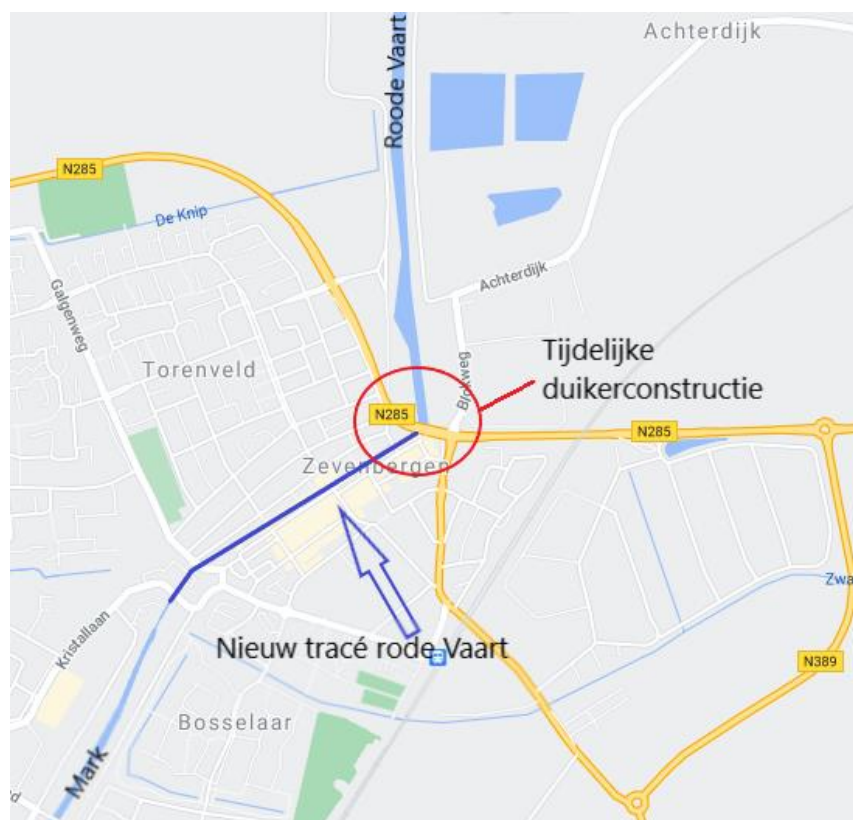
1.1.2 Centrum Zevenbergen

Het bestuur van de gemeente Moerdijk heeft in de centrum visie van 2009 aangegeven dat men zich gaat oriënteren op het Heropenen van de Roode vaart in het centrum van Zevenbergen (Scheppers, 2009). In 2013 hebben de gemeente Moerdijk, de provincie Noord-Brabant, de provincie Zeeland en Waterschap Brabantse Delta de samenwerkings- overeenkomst realisatie tracé Roode vaart ondertekend (Waterschap Brabantse Delta, 2017). Dit nieuwe tracé verbindt de Mark in het zuiden van Zevenbergen met de Roode Vaart in het noorden van Zevenbergen. Dit project is uitgevoerd met het oog op de lange termijn, om deels de zoetwatervoorziening van West-Brabant en de eilanden Tholen en Sint Philipsland te waarborgen wanneer het Volkerak-Zoommeer weer zout wordt (Waterschap Brabantse Delta, 2017). Het project heropenen Roode vaart in centrum Zevenbergen is reeds uitgevoerd en wordt definitief opgeleverd in begin 2021. In Figuur 2 is de oude situatie weergegeven van het Centrum in Zevenbergen. De met rood omcirkelde wateren zijn inmiddels doormiddel van het nieuwe water tracé verbonden.

In Figuur 3 is de nieuwe huidige situatie zichtbaar op de kaart. Hierin is het nieuwe water tracé aangegeven, tevens is ook de positie van een tijdelijke duiker aangegeven. Deze tijdelijke duikerconstructie loopt onderdoor de provinciale weg N258. En zorgt ervoor dat er momenteel geen mogelijkheid is voor pleziervaart om hierlangs te varen. De tijdelijke duikerconstructie is ingericht op een aanvoerdebiet van 3,5 m³/s. In de toekomst moet deze duiker vervangen worden in verband met de regionale zoetwatervoorziening door een open watergang, deze open watergang wordt ontworpen op een aanvoerdebiet van 10m³/s.



Figuur 2, Oude situatie centrum Zevenbergen (Google Maps, 2020)



Figuur 3, Overzicht huidige situatie Zevenbergen (Google Maps, 2021)

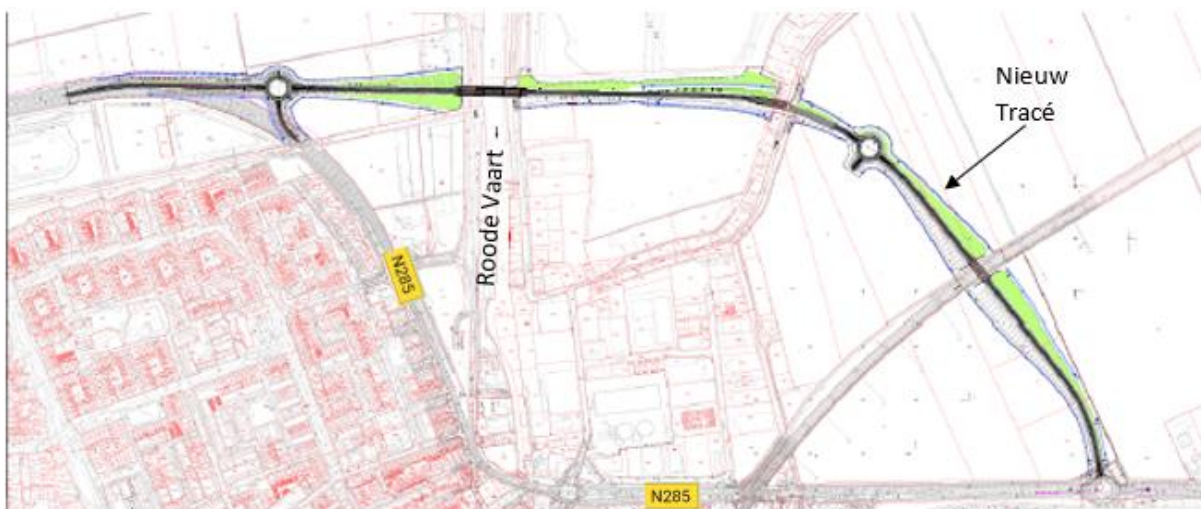
In Figuur 4 is de nieuwe haven in het Centrum van Zevenbergen zichtbaar. De kade is opgebouwd uit een damwand constructie met groutankers. Tegen de damwanden zijn metselschorten opgehangen om de esthetica van de haven te verbeteren.



Figuur 4, Haven Zevenbergen (Goedemondt, 2021)

1.1.3 N285 & Noordelijke Randweg Zevenbergen

Momenteel loopt de provinciale ontsluitingsweg de Langeweg N285 ten noorden van het centrum van Zevenbergen. De N258 verzorgt de verbinding tussen de snelweg A17 richting Roosendaal en snelwegverbinding A16 richting Dordrecht en Antwerpen. Momenteel zorgt het smalle profiel en de spoorwegovergang op de N285 voor doorstromingsproblemen op deze route. Daarom initieert de provincie Brabant een nieuw project waarbij de nieuwe Noordelijke Randweg Zevenbergen wordt aangelegd. De Raad wees de laatste bezwaren tegen dit nieuwe project af (Ommen, 2019). Daarmee kan het project officieel doorgaan. Het bestemmingsplan van de Noordelijke Randweg Zevenbergen is getekend tijdens de raadsvergadering van 2 november 2017 (Gemeente Moerdijk, 2017). Op 24 april 2019 is het bestemmingsplan onherroepelijk verklaard (Gemeente Moerdijk, 2020). De verwachte uitvoering van dit project zal plaatsvinden in 2022/2023. In Figuur 5 is de huidige N285 aangegeven, daarnaast is het nieuwe tracé van de N285 aangegeven. Omdat de N285 wordt verlegd en omgebouwd tot de Noordelijke Randweg Zevenbergen wordt de huidige N285 afgewaardeerd in de toekomst tot een gemeentelijke weg en krijgt dan een nieuwe naam 'De Langeweg'.



Figuur 5, Oude tracé N285 (huidige situatie) en nieuw toekomstig tracé N285 (Gemeente Moerdijk, 2019)

1.2 Aanleiding

1.2.1 Probleemanalyse

Door de aanleg van het nieuwe tracé van de Roode vaart in het centrum van Zevenbergen is een deel van de centrum visie van de gemeente gerealiseerd. Echter manifesteren zich achter deze centrum visie nog een aantal toekomstplannen en visies van de gemeente Moerdijk en de provincie Noord-Brabant.

Er is nu een tijdelijke duikerconstructie aangelegd op de projectlocatie waar de Roode vaart en de N285 elkaar kruisen. Deze tijdelijke duikerconstructie is ontworpen voor een aanvoerdebiet van 3,5 m³/s zoet water om de achtergelegen zoetwater voorziening op de Roode vaart te waarborgen (Waterschap Brabantse Delta, 2017). Deze tijdelijke voorziening is voldoende zolang het Volkerak-Zoommeer zoet/brak is. Wanneer het Volkerak-Zoommeer zout wordt gemaakt is een aanvoerdebiet van 10 m³/s benodigd. Aangezien het Ministerie van infrastructuur en milieu een bestuursovereenkomst heeft getekend in 2015 waarin staat dat het Volkerak-Zoommeer opnieuw zout wordt (Ministerie van binnenlandse zaken, 2015), wordt de complete Roode Vaart ingericht op een aanvoer debiet van 10 m³/s in de toekomst.

Dit houdt in dat op de projectlocatie de tijdelijke duikerconstructie wordt afgebroken en vervangen door een watergang. Deze watergang heeft een breedte van 9m tussen de damwanden. De oorspronkelijke weg die loopt over de duikerconstructie moet dus worden vervangen door een verkeersbrug. Deze verkeersbrug (verder te noemen Langewegbrug) inclusief fundering dient nog te worden ontworpen.

Een bijkomend probleem voor het ontwerp van deze brug is het feit dat er op deze route vaak doorstromingsproblemen zijn. In de toekomst wordt er een nieuwe Noordelijke randweg Zevenbergen aangelegd. Hierdoor wordt de verkeersintensiteit op de projectlocatie locatie verminderd. Ook de functie van de weg zal veranderen van een provinciale weg, naar een gemeentelijke weg (nieuwe naam van deze weg is de Langeweg) met een nieuw wegprofiel. Hier moet rekening mee worden gehouden in het ontwerp van de brug.

1.2.2 Probleemstelling

De huidige 3,5m³/s duikerconstructie is niet toekomstbestendig en moet worden vervangen door een watergang met 10m³/s. Voor de brug over deze watergang en de fundering van deze brug is nog geen ontwerp. Probleem is dat deze ontwerpen nog gemaakt moeten worden.

1.3 Doelstelling, Onderzoeksvraag en deelvragen

1.3.1 Doelstelling

Doel van dit onderzoek is een advies geven over welk type brugdek het best kan worden toegepast voor de Langewegbrug. Daarnaast is het doel van dit onderzoek een constructief ontwerp maken van de fundering van deze brug.

1.3.2 Onderzoeksvraag

Welk type brugdek kan het best worden toegepast voor de Langewegbrug te Zevenbergen op basis van kosten, duurzaamheid, omgevingshinder, stedelijke inpassing, beheer en onderhoud en levensduur, en hoe ziet het constructief ontwerp van de fundering van deze brug eruit?

1.3.3 Deelvragen

1. Hoe ziet de huidige situatie eruit van het onderzoeksgebied?

- 2a. Welke stakeholders zijn er betrokken in dit project?
- 2b. Welke acties dienen per stakeholder te worden uitgevoerd?
- 2c. Hoe zijn de belangen van de stakeholders vertaald in het ontwerp?
- 3. Wat zijn de randvoorwaarden voor dit onderzoek?
- 4. Hoe ziet het programma van eisen (PvE) eruit voor dit onderzoek?
- 5a. Welke verschillende type brugdekken zijn er mogelijk voor de Langewegbrug te Zevenbergen, kijkend naar kosten, duurzaamheid, omgevingshinder, stedelijke inpassing, beheer en onderhoud en levensduur?
- 5b. Welk type brugdek is het meest geschikt voor de Langewegbrug te Zevenbergen, kijkend naar kosten, duurzaamheid, omgevingshinder, stedelijke inpassing, beheer en onderhoud en levensduur?
- 6a. Wat is het meest optimale ontwerp voor de landhoofden van de Langewegbrug?
- 6b. Wat is het meest optimale ontwerp voor de paalfundering van de Langewegbrug?

1.4 Scope

De scope van deze thesis richt zich op het ontwerp van de Langewegbrug in Zevenbergen. Dit voor de situatie nadat de tijdelijke duikerconstructie wordt vervangen door een watergang.

Er moet een verkeersbrug komen die deze watergang kruist. De waterkerende functie van de duiker vervalst terwijl de nieuwe situatie ook over een waterkering moet beschikken. Hierdoor moet een nieuwe waterkering worden ontworpen. De scope van deze thesis richt zich tot het ontwerp van de brug inclusief de fundering. Het onderzoek gaat verder niet in op de waterkering. De Langewegbrug en waterkerende structuur zijn niet gecombineerd, er zit een afstand tussen beide structuren waardoor het ontwerp van de Langewegbrug en de waterkerende structuur los van elkaar staan. Hierdoor is het mogelijk om de scope alleen te richten op het ontwerp van de Langewegbrug inclusief fundering.

De scope van deze thesis richt zich op het onderzoek doen naar verschillende typen brugdekken die toepasbaar zijn voor deze brug. Daarnaast richt dit onderzoek zich op het ontwerp van de fundering voor deze brug.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 1 is de inleiding van het onderzoek opgenomen. In dit hoofdstuk is de achtergrondinformatie, de probleemstelling, de scope, doelstellingen, hoofd- en deelvragen opgenomen. De inleiding geeft de lezer een beknopte inkijk waar het onderzoek over gaat.

In hoofdstuk 2 is het theoretisch kader uiteengezet, met de theoretische informatie die benodigd is voor dit onderzoek. De volgende aspecten zijn in dit hoofdstuk weggezet: de huidige situatie, stakeholderanalyse, de randvoorwaarden, het programma van eisen, omschrijving duurzaamheid en typen bruggen. In het theoretisch kader staat alle theoretische input die benodigd is voor het onderzoek.

In hoofdstuk 3 is de methode uiteengezet. Hierin zijn de projectactiviteiten, onderzoeksmethoden, en onderzoeksinstrumenten opgenomen. Dit hoofdstuk beschrijft hoe het onderzoek is uitgevoerd.

In hoofdstuk 4 worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd.

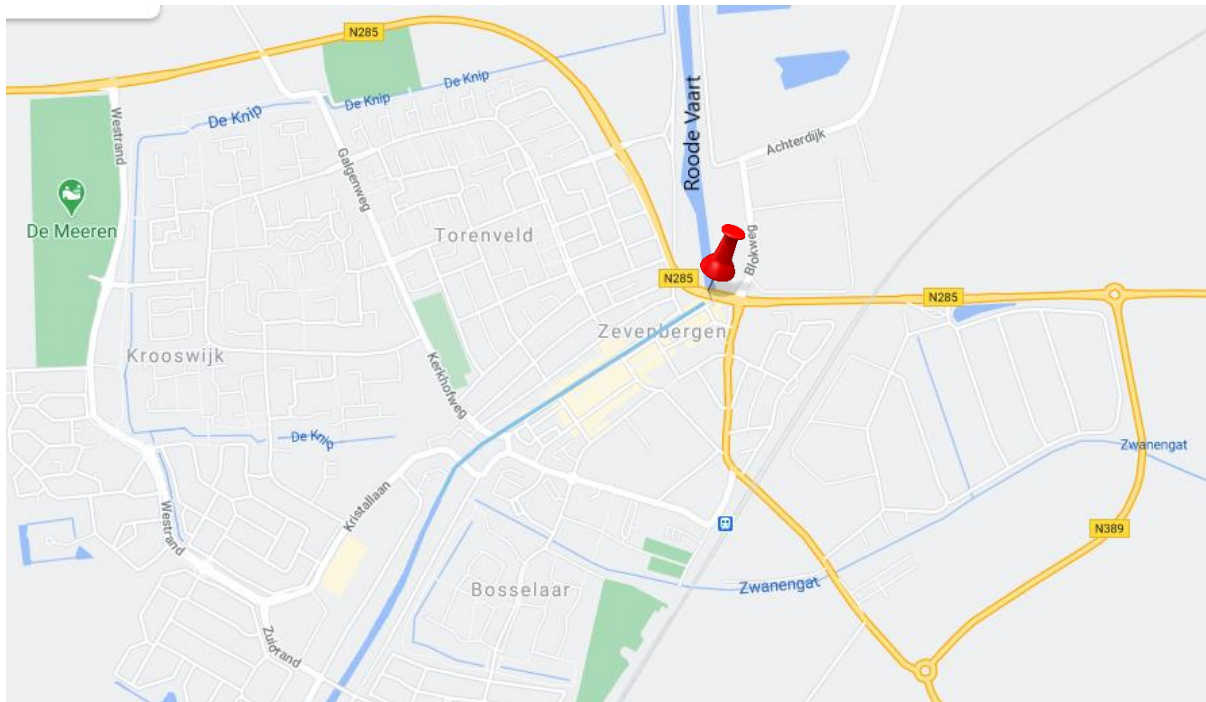
In hoofdstuk 5 worden conclusies gepresenteerd over het onderzoek.

In hoofdstuk 6 wordt de discussie over het onderzoek gepresenteerd. Daarnaast worden de aanbevelingen aan de hand van het onderzoek gepresenteerd.

2. Theoretisch kader

2.1 Projectlocatie

De projectlocatie ligt in de stad Zevenbergen op de plek waar nu de N285 en de Roode Vaart elkaar kruisen. In Figuur 6 is de exacte projectlocatie in Zevenbergen aangegeven. De N285 die over de projectlocatie heen loopt wordt nu gebruikt als provinciale weg om Klundert te verbinden met Breda. De verkeersintensiteit over de N285 bedraagt 6.750 voertuigen/etmaal.



Figuur 6, Projectlocatie (Google Maps, 2021)

2.2 Huidige situatie / Randvoorwaarden

2.2.1 N285

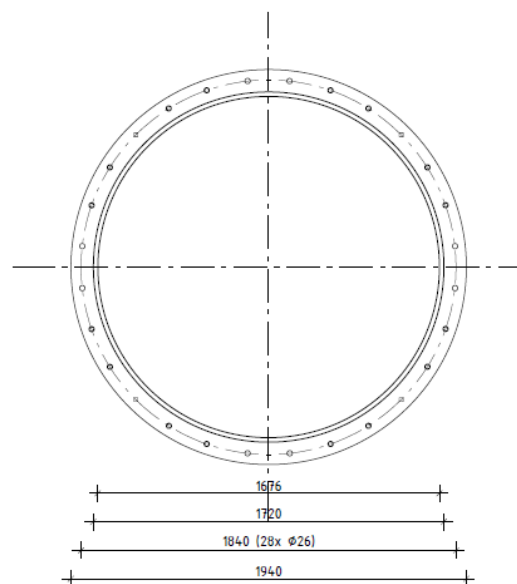
Op de huidige projectlocatie kruisen de N285 en de Roode Vaart elkaar. De N285 is op dit moment een provinciale weg met 4 rijstroken met aanvullend één fietspad in twee richtingen en een stoep voor voetgangers. Dit is weergegeven in Figuur 7. De 4 rijstroken verlenen hun oorsprong aan het feit dat de projectlocatie voor een kruispunt ligt. Het verkeer wat zich over de N285 van west naar oost beweegt, kan zich op de projectlocatie in 3 rijstroken voegen om verschillende kanten uit te gaan op het kruispunt. De vierde rijstrook dient als rijstrook voor verkeer wat zich van oost naar west beweegt langs Zevenbergen.



Figuur 7, Huidige verkeerssituatie N285 (Google Maps, 2021)

2.2.2 Tijdelijke duikerconstructie

Onder de N285 ligt nu een tijdelijke duikerconstructie genaamd OKN (overkluizing Noord) met een diameter van 1720mm, de lengte van de duiker is 12000mm. Deze duikerconstructie is aangelegd om de aansluiting tussen de haven aan de zuidkant, met de Roode Vaart aan de noord zijde te maken. De duikerconstructie is ontworpen voor een aanvoerdebiet van 3,5 m³/s. De stroomrichting is van noord naar zuid. Het water stroomt dus vanuit de Roode Vaart door de tijdelijke duikerconstructie naar de haven in Zevenbergen. In Figuur 8 is het vooraanzicht van de duiker zichtbaar deze doorsnede is hetzelfde voor de gehele lengte van de duiker.



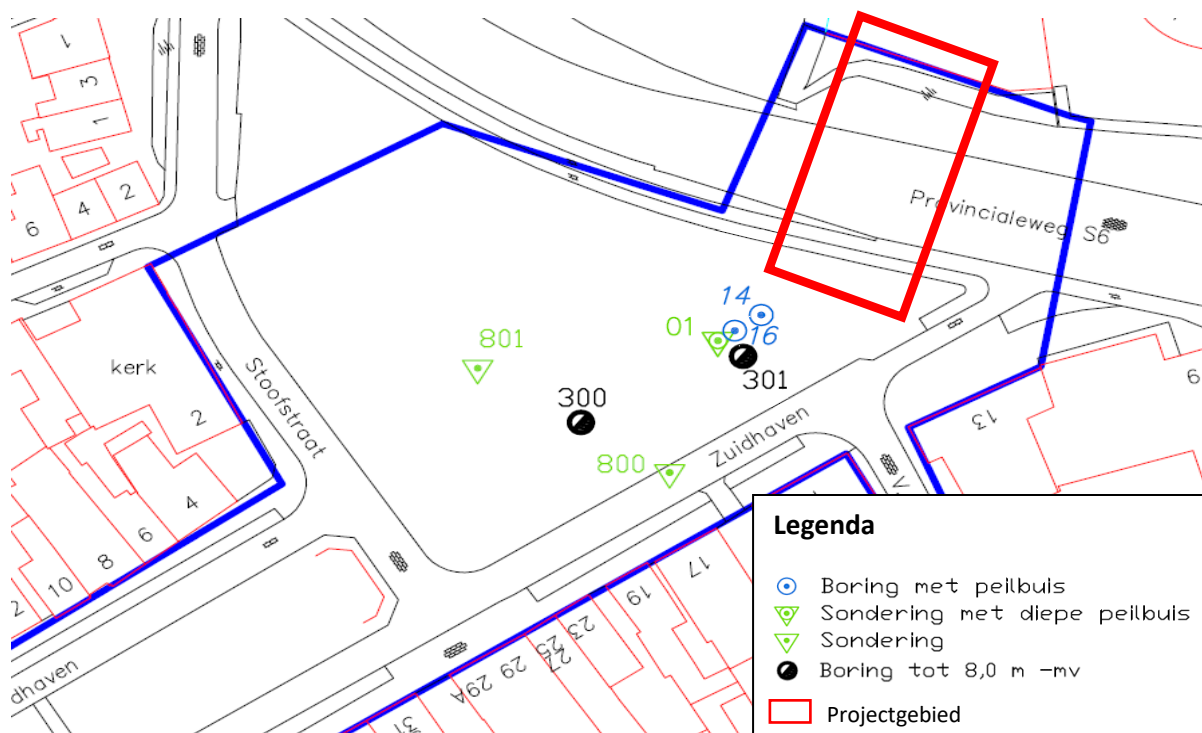
Figuur 8, Vooraanzicht duiker OKN (Strukton Civiel, 2020)

2.2.3 Bodemgegevens

2.2.3.1 Bodemprofiel

Om het project 'Heropenen Roode Vaart' te kunnen realiseren zijn er diverse bodemonderzoeken uitgevoerd op deze locatie. Het noordelijke eind van de haven is het projectgebied van dit onderzoek. De bodemonderzoeken van het project 'Heropen Roode Vaart' kunnen deels worden gebruikt als uitgangspunten om de bodemopbouw van de projectlocatie van dit onderzoek te bepalen.

Moerdijk Bodemsanering B.V. heeft in opdracht van de gemeente Moerdijk verschillende bodemonderzoeken uitgevoerd. De boringen en sonderingen die Moerdijk Bodemsanering B.V. heeft uitgevoerd die relevant zijn voor dit onderzoek zijn zichtbaar in Figuur 9. Hier zijn de verschillende bodemonderzoeken zichtbaar evenals de projectlocatie.



Figuur 9, Bodemonderzoeken op projectlocatie (Moerdijk Bodemsanering B.V., 2017)

Bodemsondering 01, 800, 801 en boorprofielen 300 en 301 zijn opgenomen in Bijlage A - Bodemrapport. Aan de hand van deze bodemgegevens kan één globaal bodemprofiel worden opgemaakt voor het bodemprofiel op de projectlocatie. In Tabel 1 is dit bodemprofiel weergegeven. Zichtbaar is dat laag 4 en 6 vaste zandlagen zijn met een hoge conusweerstand. Bodemlagen met deze eigenschappen worden doorgaans gebruikt om de paalvoet van paalfundering in te plaatsen. Echter is in deze situatie laag 4 slechts 1,50m dik. Omdat deze laag zo smal is en de verschillende sonderingen lichtelijk variëren is het niet aannemelijk om deze laag als dragende laag te beschouwen. Laag 6 is een stuk dikker en kan worden beschouwd als dragende laag. Laag 5 is een vaste kleilaag, deze eigenschappen zorgen ervoor dat de grond rond de palen hieraan gaat hangen. Als gevolg van de grondlaag die aan de paal gaat hangen, ontstaat negatieve kleef die de paal verder de grond in wil duwen. Laag 5 kan beschouwd worden als een laag waar negatieve kleef kan optreden.

Tabel 1, Bodemprofiel projectlocatie (Moerdijk Bodemsanering B.V., 2017)

Laag	Grondsoort	Consistentie (Los/matig/vast)	Conusweerstand (MPa)	Bovenkant laag (in (m) t.o.v. NAP)	Onderkant laag (in (m) t.o.v. NAP)
1	Klei, zwak zandig	Matig	0 - 1	2,50	-3,25
2	Zand, schoon	Los	5 - 8	-3,25	-6,00
3	Klei, zwak zandig	Vast	2 - 4	-6,00	-8,00
4	Zand, schoon	Vast	12 - 14	-8,00	-9,50
5	Klei, schoon	Vast	2 - 8	-9,50	-14,20
6	Zand, schoon	Vast	26	-14,20	-17,00
7	Zand, zwak kleiig	Matig	10	-17,00	-20,00

2.2.3.2 Grondwaterpeil

Nabij de onderzoek locatie zijn tijdens het bodemonderzoek 3 peilbuizen in de grond gebracht om het grondwaterpeil te meten gedurende het jaar. Deze metingen dateren van het jaar 2016 tot 2018 en zijn weergegeven in Tabel 2. De metingen zijn niet recentelijk en daarnaast zijn er slechts gegevens bekend over een periode van 2 jaar. Op basis van deze feiten kan hier geen betrouwbare conclusie getrokken worden over het grondwaterpeil. Enkel kan hiervoor een voorlopige aanname gedaan worden omdat er verder geen beschikbare data is over het grondwaterpeil. Als voorlopige aanname wordt aangenomen dat het grondwaterpeil lokaal over het jaar fluctueert tussen NAP-0,40m en NAP-1,00m, echter is dit een voorlopige aanname en dient er kritisch naar resultaten gekeken te worden waarvoor deze aanname als input is gebruikt.

Tabel 2, Grondwaterstanden (Konings Grondboorbedrijf BV, 2018)

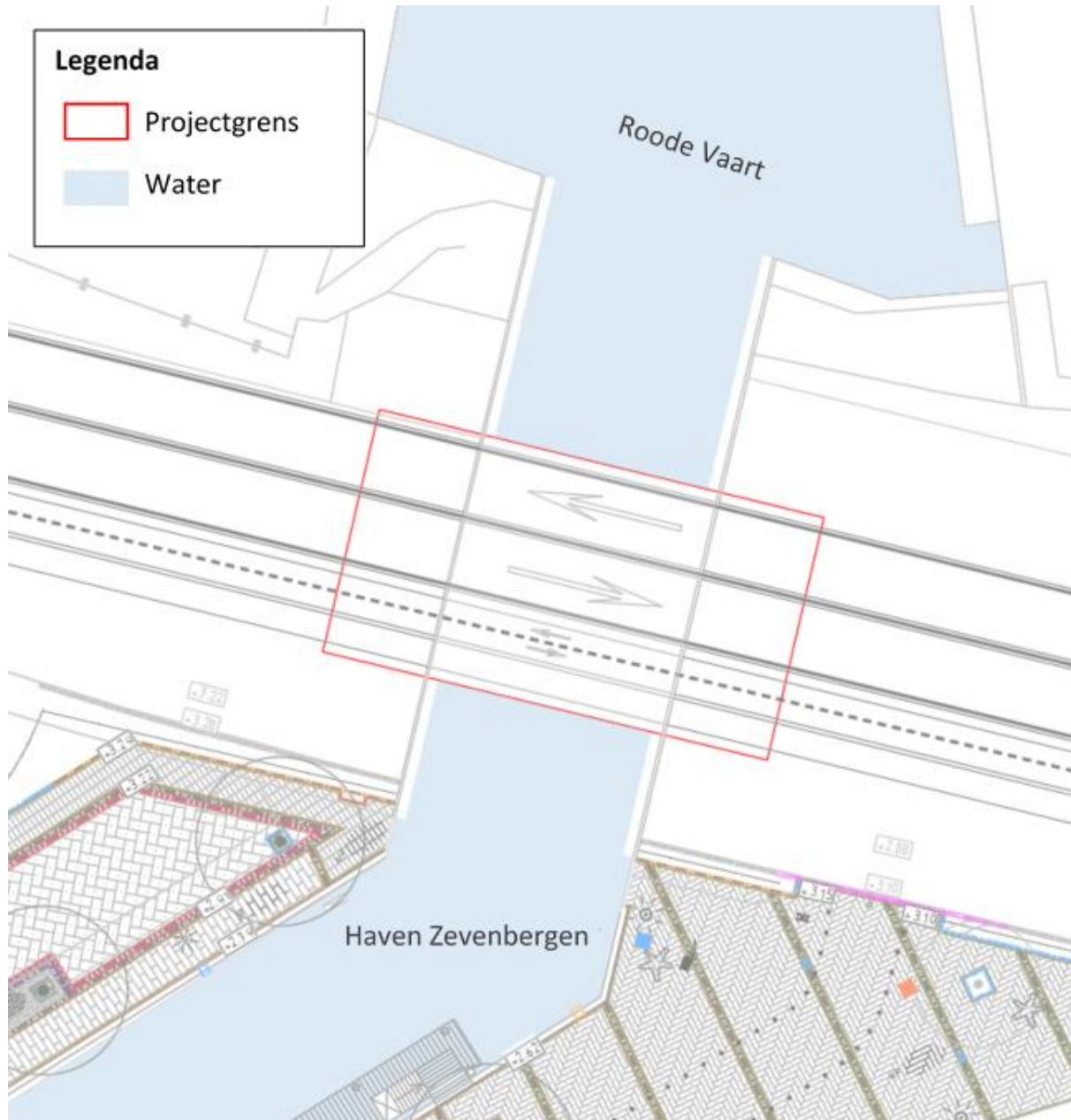
Waterstanden in (m) t.o.v. NAP										
Peilbuis	16-mrt-2016	13-apr-2016	24-jul-2016	07-okt-2016	13-nov-2016	24-feb-2017	01-jun-2017	09-sep-2017	09-dec-2017	17-mei-2018
1	-0,65	-0,43	-0,77	-0,50	-0,66	-0,46	-0,70	-0,72	-0,83	-0,81
14	-0,66	-0,65	-0,98	-0,74	-0,76	-0,57	-0,71	-0,92	-0,73	-0,58
16	-0,67	-0,53	-0,80	-0,55	-0,66	-0,34	-0,79	-0,74	-0,76	-0,64

2.2.3.3 Waterstand Roode Vaart

Streefpeil: NAP+0,55m
 Maximaal waterpeil: NAP+1,00m
 Minimaal waterpeil: NAP+0,00m

2.3 Projectgrens

De projectgrens geeft de begrenzing aan voor welk object wel, en welk object niet tot dit onderzoek behoort. Alle objecten binnen de projectgrens behoren tot dit onderzoek. In Figuur 10 is de projectgrens aangegeven op de nieuwe situatie. Hierin is zichtbaar dat de brug inclusief fundering over de Roode Vaart binnen de projectgrenzen ligt.



Figuur 10, Projectgrens (Goedemondt, 2021)

2.4 Stakeholderanalyse

In deze paragraaf is een stakeholderanalyse over dit project uitgewerkt. Een stakeholderanalyse is een techniek om belanghebbenden en hun behoeften te identificeren in een bedrijf, systeem, project of ander proces (Janse, 2019). In dit geval gaat het om een project. Het doel van een stakeholderanalyse is het categoriseren van stakeholders doormiddel van verschillende stappen. Om vervolgens een strategie te baseren per categorie om alle stakeholders juist mee te nemen in het project.

2.4.1 Belangen stakeholders

Om de belangen van alle stakeholders juist in kaart te brengen zijn alle stakeholders uiteengezet in Tabel 3 met daarbij het belang per stakeholder. Daarnaast staat ook de interesse en macht van alle verschillende stakeholders. Met interesse wordt de mate waarin de stakeholder geïnteresseerd is in het project bedoeld.

Tabel 3, Belangen stakeholders, interesse en macht

Stakeholder	Belang	Interesse (laag 1 – 5 hoog)	Invloed (laag 1 – 5 hoog)
Gemeente Moerdijk	Wordt uiteindelijk beheerder van het project. De gemeente is erg gebaat bij een kwalitatief goede en onderhoudsarme oplossing.	5	5
Provincie Noord-Brabant	Is eigenaar van een deel van de kabels en leidingen in het gebied. Belang van deze organisatie is om deze kabels en leidingen te behouden. Zodra hier dingen aan veranderen moet dit goed gekeurd worden door deze partij.	4	4
Provincie Zeeland	Behartigt zoetwatervoorziening in de toekomst van de eilanden Tholen en Sint Philipsland.	2	3
Waterschap Brabants Delta	Beheert waterstand en watergangen in het gebied. Zodra er werk aan de waterkering op projectlocatie gedaan wordt moet dit worden goedgekeurd door dit Waterschap.	4	4
Ministerie van Infrastructuur en milieu.	Heeft oplossingen nodig om zoetwatervoorziening regionaal in stand te houden omdat partij heeft besloten dat Volkerak-Zoommeer zout moet worden.	2	4
Nutsbedrijven	Beheerders van deel kabels en leidingen op projectlocatie zijn gebaat bij het feit deze goed te kunnen blijven beheren.	3	3
Transport verkeer	Zijn gebaat bij een goede transportroute. Echter wordt er een nieuwe provinciale weg aangelegd waar transport veelal gebruik van gaat maken waardoor interesse zeer laag is.	2	1
Woon-werkverkeer	Burgers zijn gebaat bij comfortabel gebruik van deze route.	4	2
Fietsverkeer	Veilig en comfortabel gebruik kunnen maken van de route.	3	2
Voetgangers	Veilig en comfortabel gebruik kunnen maken van de route.	3	2
Pleziervaart	Roode Vaart wordt verbonden met haven Zevenbergen	3	2
Omwonenden	Inwoners willen dat huizen goed bereikbaar blijven en willen weinig overlast tijdens uitvoering.	4	2
Lokale bedrijven	Goed bereikbaar blijven voor klanten en werknemers.	3	2

Toelichting Tabel 1:

- Gemeente Moerdijk, gaat project grotendeels financieren en wordt beheerder van het grootste deel van het project. Project wordt ook uitgevoerd in opdracht van de gemeente Moerdijk. Gebaseerd hierop heeft de gemeente Moerdijk de grootste invloed en het grootste belang.
- Provincie Noord-Brabant, is gedeeltelijk beheerder van belangrijke kabels en leidingen in het gebied. In projectplan Waterwet staat dat provincie Noord-Brabant leidend is als er aanpassing gedaan worden aan deze kabels en leidingen (Waterschap Brabantse Delta, 2017). Vandaar is interesse en invloed zeer hoog van deze stakeholder.
- Provincie Zeeland, heeft deels het project heropenen Roode Vaart gefinancierd (Ministerie van binnenlandse zaken, 2015). Dit project is hierop een vervolg en provincie Zeeland is gebaat bij een goede uitvoering van dit project. Echter heeft de provincie Zeeland geen grote invloed op de planvorming en financiert het weinig aan dit project, vandaar een kleinere invloed en interesse dan provincie Noord-Brabant.
- Waterschap Brabantse Delta, is beheerder van waterkering en watervoorziening in de regio. Financiert deels mee aan dit project en is leidend op het gebied van waterkeringen (Waterschap Brabantse Delta, 2017). Vandaar is interesse en invloed bijna maximaal.
- Ministerie van infrastructuur en milieu, deze overheidsinstantie financiert een groot deel van het project heropenen Roode Vaart (Ministerie van binnenlandse zaken, 2015). Echter heeft het ministerie zelf weinig aan de uitwerking van het project gedaan. Omdat het ministerie veel financiert is de invloed groot, en vanwege het feit dat ze weinig aan de uitwerking van het project doen is de interesse laag.

Kortom, alle overheidsinstanties die betrokken zijn bij het project hebben de grootste invloed op het project omdat deze instanties het project gaan financieren (Waterschap Brabantse Delta, 2017) en (Ministerie van binnenlandse zaken, 2015). De interesse van deze overheidsinstanties varieert vanwege het feit dat de ene overheidsinstantie meer baat en betrokkenheid heeft bij het project dan een andere overheidsinstantie.

De overheidsinstanties hebben weer hun verplichtingen en taken tegenover de belastingbetaler, de belastingbetaler financiert immers indirect deze instanties. De niet overheidsinstanties komen hier min of meer uit voort. Deze hebben geen grote invloed op het project omdat de besluitvorming bij de overheden ligt en niet bij deze groepen stakeholders. De interesse onder deze verschillende stakeholders varieert op basis van het belang. Bijvoorbeeld, een omwonende heeft veel meer belang bij het feit dat zijn/haar huis niet beschadigd door de aanleg van het project, dan iemand die een dag gaat kanoën in de regio. Hoe groter en urgenter het belang van een stakeholder, hoe hoger de interesse.

2.4.2 Mendelow's Matrix

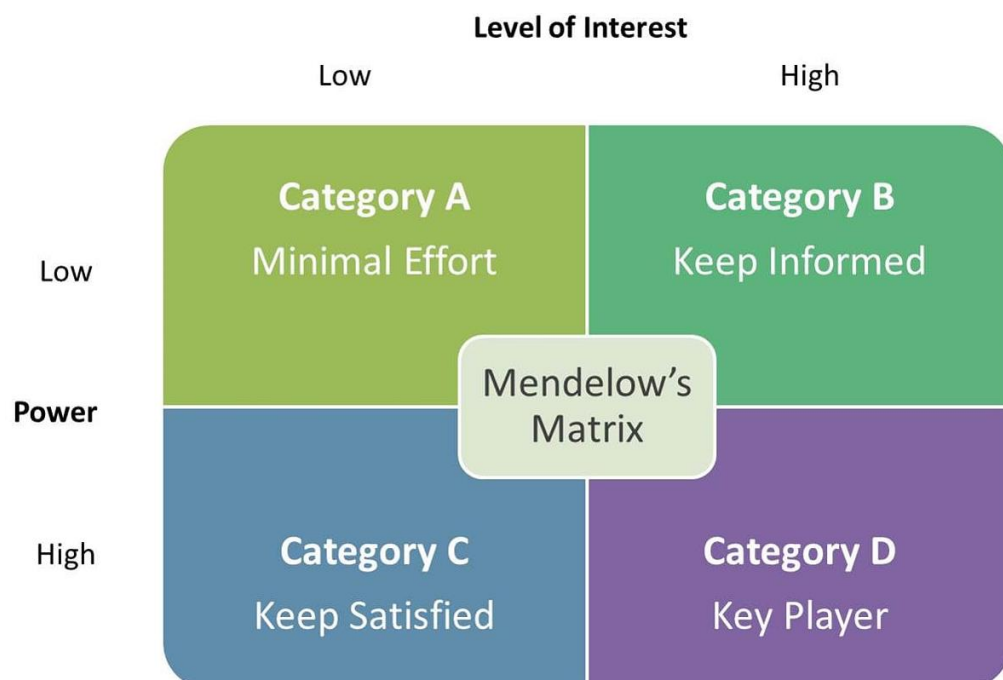
Figuur 11 geeft de Mendelow's Matrix weer. Hierin is te zien dat stakeholders in 4 categorieën kunnen worden ingedeeld aan de hand van level of interest en power. Daarnaast staat er ook beknopt in wat er gedaan moet worden met elke categorie. Een korte toelichting hierop per categorie:

Categorie A: dit is de groep die weinig interesse in het project heeft en daarnaast ook weinig macht heeft. Deze categorie behoeft minimale investering en met deze groep wordt verder weinig tot niks gedaan.

Categorie B: deze groep heeft veel interesse in het project maar weinig macht. Deze groep wordt geïnformeerd over het project. Dit zal gedaan worden door dit onderzoeksrapport openbaar te maken en te plaatsen om de hbo-kennisbank.

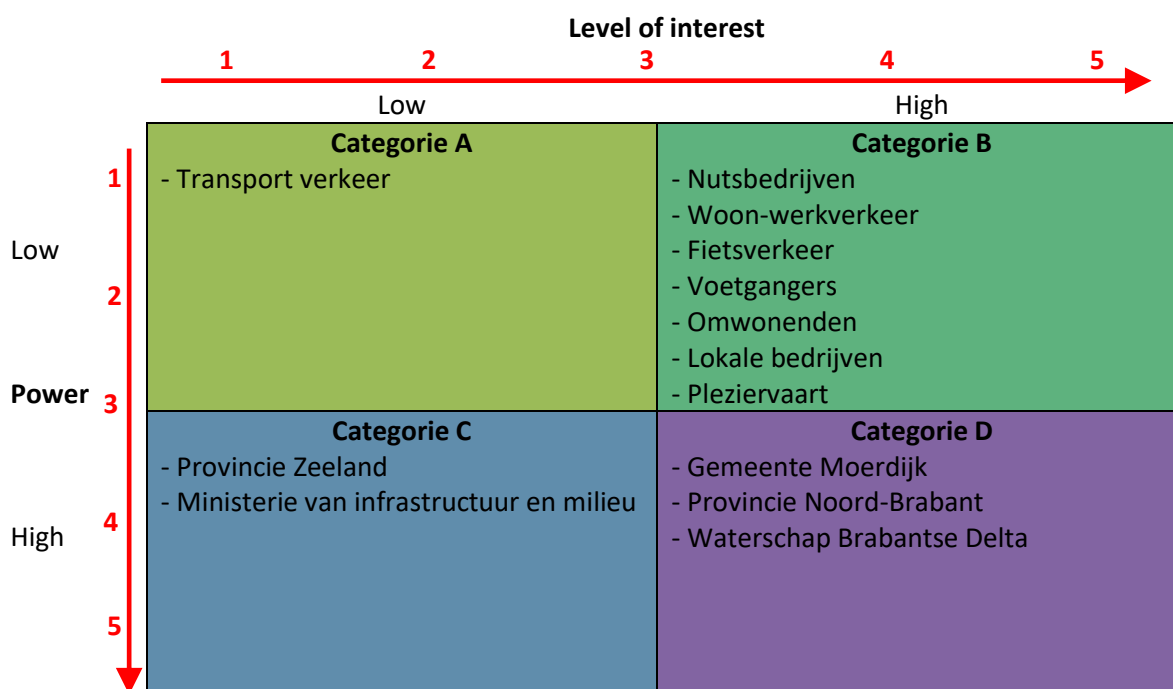
Categorie C: deze groep heeft weinig interesse maar veel macht. Om deze groep juist te behandelen moet deze groep tevreden gehouden worden. Dit wordt gedaan door te voldoen aan hun eisen en wensen omtrent het project.

Categorie D: de belangrijkste groep stakeholders. Deze hebben veel interesse en veel macht bij dit project. Dit zijn de sleutel stakeholders voor het project. Het is van belang om de wensen en eisen van deze stakeholders zeer serieus te nemen en daarnaast een goede afstemming met deze partijen te hebben. Dit zal gedaan worden door deze stakeholders te interviewen en/of nauw te betrekken bij het ontwerp.



Figuur 11, Mendelow's Matrix (Planetarium Institute, 2019)

Tabel 4, Uitgewerkte Mendelow Matrix



Tabel 4 is opgemaakt uit aan de hand van de waarden voor interesse en invloed uit Tabel 3. In tabel 5 is weergegeven welke categorie hoort bij welke scores op interesse en invloed.

Tabel 5, Toelichting uitgewerkte Mendelow Matrix

Score interesse	Score invloed	Categorie
1 of 2	1 of 2	A
1 of 2	3 t/m 5	C
3 t/m 5	1 of 2	B
3 t/m 5	3 t/m 5	D

2.4.3 Stakeholder resultaten analyse

Uit Tabel 4 blijkt dat de Gemeente Moerdijk, Provincie Noord-Brabant en het Waterschap Brabantse Delta de belangrijkste stakeholders zijn en tot categorie D behoren. De stakeholder met de grootste interesse en macht is de Gemeente Moerdijk. Om deze stakeholder correct mee te nemen in het ontwerp wordt deze stakeholder geïnterviewd. Deze interviews/overleggen zijn opgenomen in Bijlage B – Interview Gemeente Moerdijk. Aan de hand van deze interviews worden hun eisen en wensen opgenomen in het onderzoeksrapport. Om deze groep juist mee te nemen wordt dit ook teruggekoppeld aan deze groep om te controleren of alles compleet en naar wens is. De provincie Noord-Brabant wordt benaderd wanneer het ontwerp te doen krijgt met het aspect kabels en leidingen. Wanneer in het ontwerp wordt gewerkt aan de waterkering wordt contact opgenomen met het Waterschap Brabantse Delta en dezelfde procedure doorlopen als die met de Gemeente Moerdijk.

Tot categorie C behoren de Provincie Zeeland en het Ministerie van infrastructuur en milieu. Deze hebben beide belang dat het project gerealiseerd wordt omdat zo de zoetwatervoorziening regionaal

blijft gewaarborgd. Het is belangrijk om te voldoen aan de eisen en wensen van deze partijen. Daarom worden eisen van deze partijen opgenomen in het programma van eisen.

Tot categorie B behoren de nutsbedrijven, woon-werkverkeer, fietsverkeer, voetgangers, omwonenden en lokale bedrijven. Deze categorie wordt op de hoogte gesteld door het uploaden van dit onderzoeksrapport op de hbo-kennisbank.

Tot categorie D behoort het transport verkeer, aan deze groep wordt verder geen aandacht besteed.

2.5 Programma van Eisen

In het programma van eisen zijn alle eisen uiteengezet voor het opzetten van verschillende varianten. Om realistische en haalbare varianten op te stellen moeten alle varianten voldoen aan de eisen opgenomen in het programma van eisen. Het programma van eisen is opgesteld aan de hand van de volgende uitgangspunten.

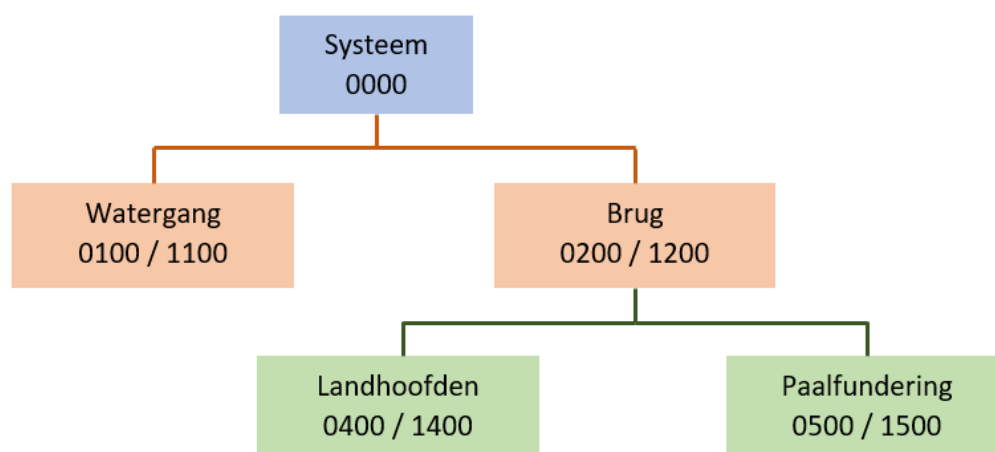
- De gemeente Moerdijk is geïnterviewd om alle wensen en eisen scherp vast te stellen. Uit de stakeholderanalyse kwam naar voren dat dit de belangrijkste stakeholder van het project is. Dit interview is terug te vinden in Bijlage B – Interview Gemeente Moerdijk. Alle wensen en eisen die naar voren kwamen uit dit interview zijn opgenomen, tevens is dit teruggekoppeld aan de gemeente ter goedkeuring.
- Verder zijn de eisen gehaald uit het Projectplan Waterwet Roode Vaart door Zevenbergen. Hierin staan de eisen van de provincie Noord-Brabant en die van het Waterschap Brabantse Delta die betrekking hebben op het project. Deze eisen zijn overgenomen en vertaald in het programma van eisen (Waterschap Brabantse Delta, 2017)
- De eisen van de Provincie Zeeland en het ministerie van infrastructuur komen naar voren uit de bestuursovereenkomst ontwikkeling Grevelingen. Deze eisen hebben vooral betrekking op de lokale zoetwatervoorziening. (Ministerie van binnenlandse zaken, 2015)

Hieruit komt naar voren dat alle eisen van de stakeholders uit categorie C en D zijn opgenomen in het PvE. Daarnaast is extra aandacht geschonken aan de belangrijkste stakeholder de Gemeente Moerdijk doordat deze stakeholder geïnterviewd is.

In het programma van eisen wordt onderscheid gemaakt tussen functionele- en technische eisen. Een functionele eis is een beschrijving van de prestatie die een product of de dienst moet leveren. Bijvoorbeeld, eis 0010: Het systeem dient recreatievaart mogelijk te maken. Technische eisen zijn specifieke eisen. Een voorbeeld hiervan is eis 1220: Ontwerpsnelheid voor wegverkeer op Langewegbrug is 50km/u. Het overzicht van alle eisen is opgenomen in Bijlage C – het programma van eisen.

2.5.1 System Breakdown Structure

Het systeem is opgebouwd uit subsystemen en componenten. Om het systeem, subsystemen en componenten geschematiseerd weer te geven is een objectenboom, ook wel System Breakdown Structure (SBS) opgezet. Aan alle objecten van de SBS zijn eisen gesteld. De eisen zijn hiërarchisch opgebouwd doormiddel van de SBS weergegeven in Figuur 12. De kleuren van de SBS corresponderen met de kleuren van de eisentabellen. De functionele eisen hebben een eis-code van 0000-0500. De technische eisen hebben een eis-code van 1000-1500. In de SBS zijn alleen zaken opgenomen die relevant zijn voor dit onderzoek.



Figuur 12, System Breakdown Structure (Goedemondt, 2021)

2.5.2 Format eisen tabel

De eisen zijn weergegeven conform het onderstaande format.

ID	<eis-code>
Eis	<eis omschrijving>
Toelichting	<toelichting>
Bovenliggende eis(en)	<bovenliggende eis(en)>

- Eis-code: Uniek eisnummer.
- Eisomschrijving: korte omschrijving van de eis.
- Toelichting (optioneel): Bij een aantal eisen is ter informatie een nadere toelichting opgenomen.
- Bovenliggende eis(en) (optioneel): Verwijzing naar Eis-code(s) van bovenliggende eis(en).

2.6 Wet- en Regelgeving

Wet- en regelgeving zijn voorwaarden die beperkingen geven voor de te ontwerpen oplossingen. In Tabel 6 is de wet- en regelgeving weergegeven die van toepassing zijn op dit onderzoek, verder is aangegeven waarop welke wet- en regelgeving betrekking heeft.

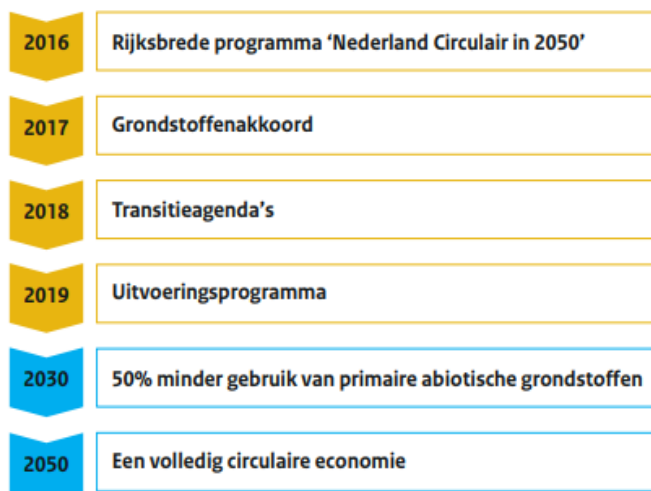
Tabel 6, Wet- en regelgeving

Wet- en regelgeving	Heeft betrekking tot
Projectplan waterwet versie 10 [id-nr 2017 Nvl] van het Waterschap.	- Het opstellen van het programma van eisen. - Het projectontwerp (dwarsdoorsnede haven).
HIOR (Handboek Inrichting Openbare Ruimte) van de Gemeente Moerdijk.	- Het opstellen van het programma van eisen. - Het wegprofiel ontwerp.
NEN-EN 1990+A1+A1/C2 nl Eurocode: Grondslag voor het constructief ontwerp.	- Berekeningen van alle brugdek varianten zie Bijlage F / G / H. - Berekeningen in het funderingsrapport zie Bijlage J.
NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB Nationale bijlage bij NEN-EN 1990+A1:2006+A1:2006/C2:2019 Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp.	- Berekeningen van alle brugdek varianten zie Bijlage F / G / H. - Berekeningen in het funderingsrapport zie Bijlage J.
NEN-EN 1991-2+C1 nl Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen.	- Berekeningen van alle brugdek varianten zie Bijlage F / G / H. - Berekeningen in het funderingsrapport zie Bijlage J.
NEN-EN 1992-2+C1 nl Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Betonnen bruggen – Regels voor ontwerp, berekeningen en detaillering	- Berekening van Rogir-S brugdek zie Bijlage F - Berekeningen in het funderingsrapport zie Bijlage J.
NEN-EN 1993-2+C1 nl Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 2: Stalen bruggen	- Berekening van het stalen brugdek zie Bijlage G.
CROW-CUR-Aanbeveling 96:2019.	- Berekening van het composiet brugdek zie Bijlage H.
CROW ASVV 2021.	- Het wegprofiel ontwerp.

2.7 Duurzaamheid

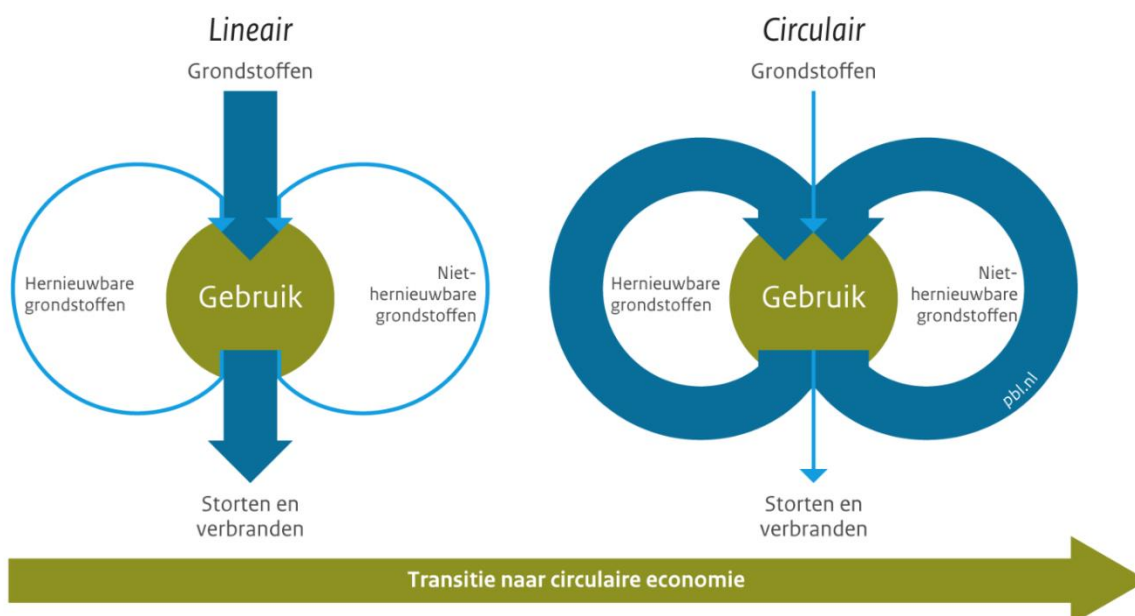
Duurzaamheid is een sterk groeiend thema in de GWW-sector. Het komt steeds meer onder de aandacht van alle betrokken partijen en de bewustwording over het thema duurzaamheid neemt toe. Duurzaamheid is een breed begrip waarvan de exacte betekenis over de jaren heen doorgaans veranderd door nieuwe onderzoeken, inzichten en gebeurtenissen. Het CBS geeft duurzaamheid de volgende betekenis: “Duurzame ontwikkeling is een ontwikkeling die tegemoetkomt aan de levensbehoeften van de huidige generatie, zonder die van de toekomstige generaties tekort te doen. Het gaat hierbij om economische, sociale en leefomgevingsbehoeften. Voorbeelden zijn een schoon milieu, biodiversiteit in de natuur, een hoogopgeleide en gezonde bevolking, goed werkende sociale netwerken en maatschappelijk vertrouwen” (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2020).

In de GWW-sector is duurzaamheid hoofdzakelijk gericht op drie hoofdthema's: het verminderen van de uitstoot schadelijke stoffen, het gebruik van primaire abiotische grondstoffen verminderen en de transitie van een lineaire naar een circulaire economie. Voor het laatstgenoemde thema de transitie van een lineaire economie naar een circulaire economie heeft de overheid een Rijksbrede visie en daarbij een Rijksbreed programma opgesteld. Dit Rijksbrede programma is zichtbaar in Figuur 13. Het einddoel van dit Rijksbrede programma is een volledig circulaire economie in 2050 (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020).



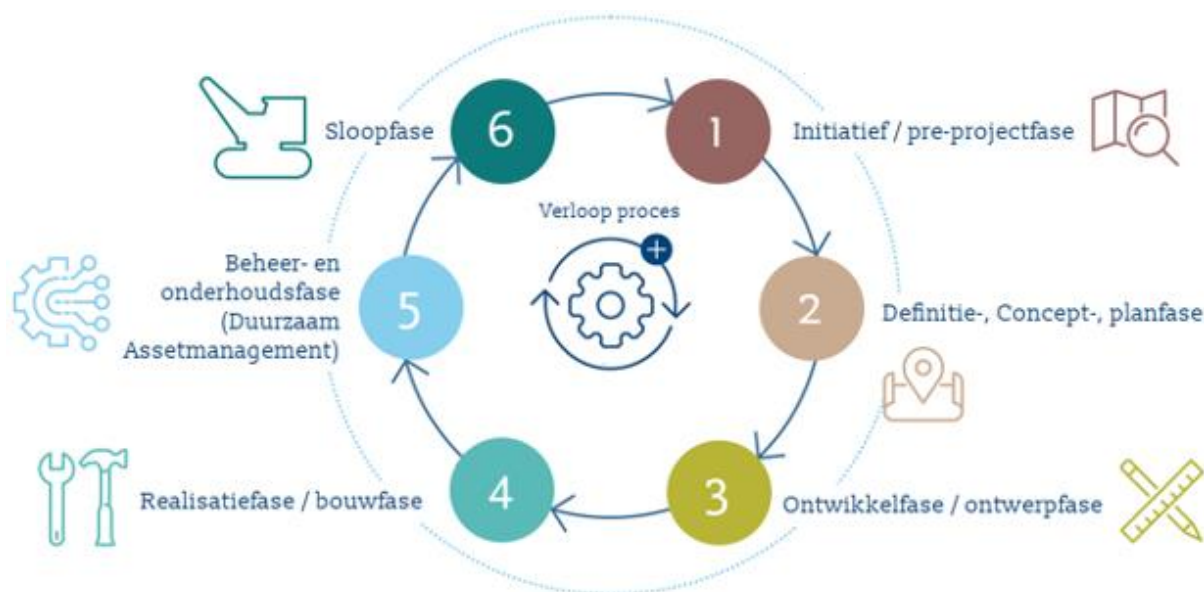
Figuur 13, Het verloop van het Rijksbrede programma waarin de strategische beleidsdoelen zijn geformuleerd (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2020)

Om het einddoel van een volledig circulaire economie in 2050 te bereiken moet de transitie gemaakt worden van een lineaire naar een circulaire economie. Een lineaire economie gaat uit van het principe waarbij de grootste stroom grondstoffen wordt gebruikt en daarna wordt gestort en verbrand. Slechts een klein deel van de grondstoffen wordt na gebruik hergebruikt. Een circulaire economie gaat uit van het principe waarbij, de grootste stroom grondstoffen wordt omgezet tot product. Wanneer het product het einde van zijn service life heeft bereikt worden de grondstoffen hergebruikt. Het principe van de transitie naar een circulair economie is weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14, Transitie naar circulaire economie (BPL, 2016)

De GWW-sector moet in 2050 ook volledig circulair zijn. Om dit te realiseren moet er een transitie komen in de GWW-sector waarbij de duurzaamheidsthema's worden geïmplementeerd in alle projectfasen. Dit onderzoek richt zich vooral tot projectfase 3 'de ontwerpfase'. In Figuur 15 zijn de verschillende projectfasen binnen de GWW-sector zichtbaar. Hierin is ook zichtbaar dat de verschillende projectfasen een circulaire invloed hebben op elkaar. Om een duurzaam ontwerp te maken in 'fase 3' moeten de daaropvolgende fasen worden meegenomen in dit ontwerp. Om een duurzaam ontwerp te maken moet de ontwerper de realisatiefase van dit ontwerp in overweging nemen (fase 4), de ontwerper moet de beheer- en onderhoudsfase (fase 5) van het ontwerp in overweging nemen en de ontwerper moet ook nadenken over de sloopfase (fase 6) van het ontwerp.



Figuur 15, Project fasen GWW-sector (mkb-infra, 2021)

De gemeente Moerdijk ambieert ook duurzaamheidsdoelen voor de GWW-sector binnen de gemeente. Zo staat in de strategische visie voor Moerdijk in 2030 beschreven dat, de gemeente in 2030 de uitstoot van fijnstof en broeikasgassen met 40% ten opzichte van de EU-normen in 2009 heeft gereduceerd (Gemeente Moerdijk, 2009). Daarnaast is het Rijksbrede programma voor een volledig circulaire economie in 2050 ook van toepassing op de gemeente Moerdijk.

Aan de hand van deze ambities, doelen en wetgeving wordt er in dit onderzoek aandacht besteed aan het integreren van duurzaamheid in het project. Duurzaam GWW heeft een aanpak ontwikkeld om duurzaamheid concreet te maken. Dit concreet maken van duurzaamheid gebeurt aan de hand van Dubocalc berekeningen. Dubocalc is een softwareprogramma waar milieueffecten in beeld komen van winning tot aan de sloop- en hergebruikfase van een project. Als resultaat worden de milieueffecten uitgedrukt in euro's, dat noemt men de Milieukostenindicator (MKI) (Duurzaam GWW, 2018).

2.8 Projectontwerp

In dit deel hoofdstuk wordt globaal het projectontwerp beschreven. Hierin wordt op basis van het programma van eisen een globaal projectontwerp gemaakt om de dimensionering te bepalen. Aan de hand van het wegprofiel kan de breedte van het brugdek bepaald worden. Aan de hand van de posities van de landhoofden kan de overspanning van het brugdek bepaald worden. Verder zijn belangrijke zaken uiteengezet zoals, de positionering van de damwand constructies, waterstand, bodempeil en positie van de landhoofden.

2.8.1 Wegprofiel

2.8.1.1 Uitgangspunten

Gemeente Moerdijk, heeft aangegeven dat er twee uitgangspunten mogelijk zijn voor het wegprofiel. Dat de brug voetgangers, autoverkeer en fietsverkeer in beide richtingen mogelijk moet maken staat vast (opgenomen in PvE, eis 0210/0220/0230). Verder geeft gemeente aan dat in het schetsontwerp twee indelingsmogelijkheden kunnen worden toegepast.

1. Twee rijstroken met daarnaast één fietspad voor beide richtingen plus één voetganger pad.
2. Twee rijstroken met aan weerszijden een fietspad en één voetganger pad.

Om het wegprofiel zo smal mogelijk te houden, i.v.m. ruimte en materiaal van de brug is gekozen voor uitgangspunt 1. Hierbij wordt voor de maatvoering HIOR Gemeente Moerdijk gebruikt met als aanvulling CROW ASVV 2012, waarbij HIOR boven CROW ASVV 2012 prevaleert.

2.8.1.2 Classificering weg

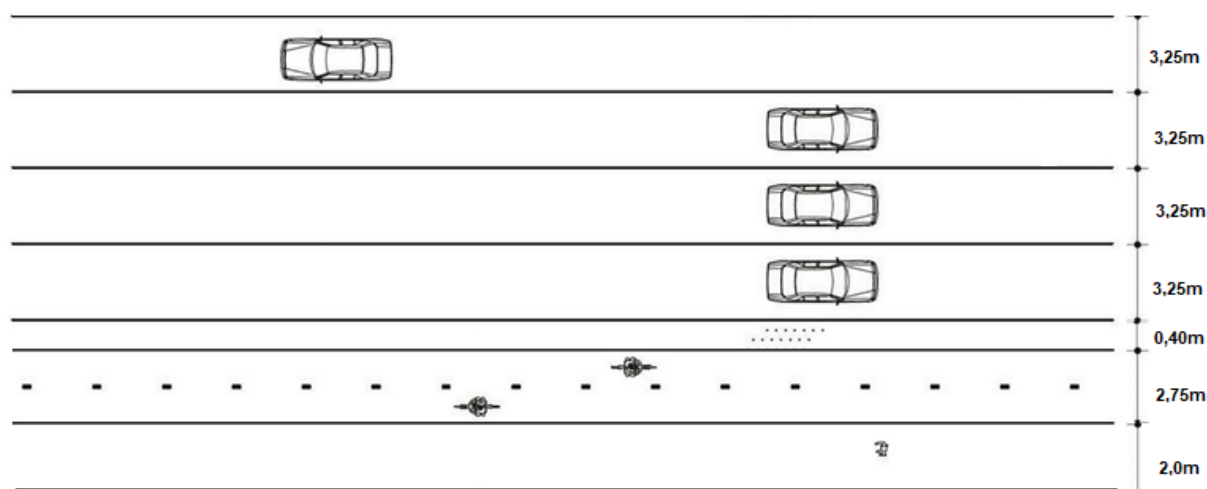
Kenmerken van Langeweg:

- Gemeentelijke weg
- Gebiedsontsluitingsweg (GOW)
- Binnen bebouwde kom (Bibeko)
- Ontwerpsnelheid 50 km/u

Classificering Langeweg: GOW50 Bibeko.

2.8.1.3 Oude wegprofiel

Het oude wegprofiel van de N285 bestaat uit 4 rijstroken, 1 fietspad voor beide richtingen en 1 voetganger pad zie Figuur 16. De totale breedte van dit oude wegprofiel is 18,15m. In de volgende hoofdstukken wordt het nieuwe wegprofiel ontworpen.



Figuur 16, Oude wegprofiel N285 (CROW, 2016)

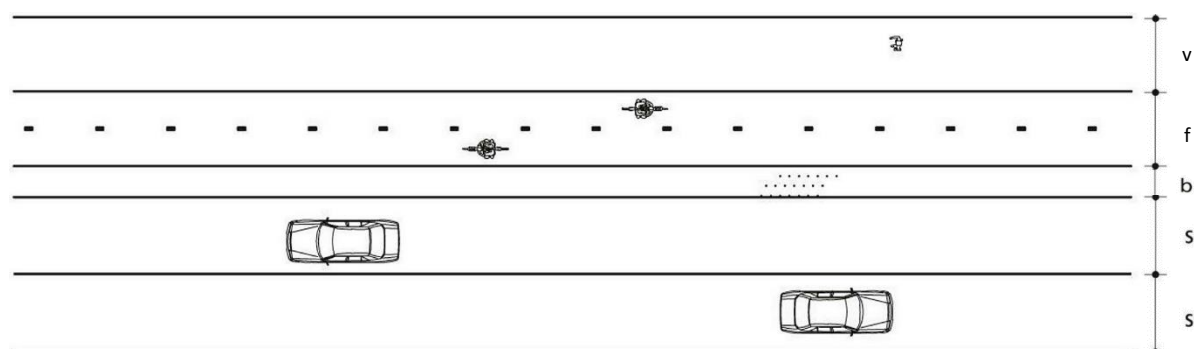
2.8.1.3 HIOR Gemeente Moerdijk

Gemeente Moerdijk heeft in HIOR (handboek inrichting openbare ruimte) richtlijnen voorgeschreven per wegcategorie. In deze richtlijnen worden de volgende kenmerken toegeschreven aan de wegcategorie GOW50 Bibeko:

Tabel 7, Wegkenmerken GOW50 Bibeko (HIOR Gemeente Moerdijk, 2016)

Wegcategorie	GOW50 Bibeko
Max snelheid	50 km/u
Bebording	A1
Kant markering	Onderbr. 3-3 (10)
Blokmarkering	1-3 (40cm)
Rijrichting scheiding	Dub. As markering
Rijstrookbreedte	2,75 – 3,50 m
Breedte rijbaanscheiding	0,10 m
Beheerder	Gemeente
Rijbaan/rijstroken	1x2
Intensiteit motorvoertuigen	4000-8000
Intensiteit vrachtverkeer/bus	10%
Intensiteit fiets	100-800
Fietsvoorziening	Fietspad
Breedte fietsvoorziening	2x2,10 m
Bromfietsvoorziening	Op rijbaan
Voetgangersvoorziening	Niet opgenomen in HIOR

2.8.1.4 CROW ASVV 2012



Figuur 17, Rijbaan voor autoverkeer 50km/h - met vrij liggend fietspad met tweerichtingsverkeer - met voetgangersvoorziening (CROW, 2016)

Maatvoering bij Figuur 17

$s = 2,90 - 3,50 \text{ m}$

$b \geq 0,35 \text{ m}$

$f \geq$

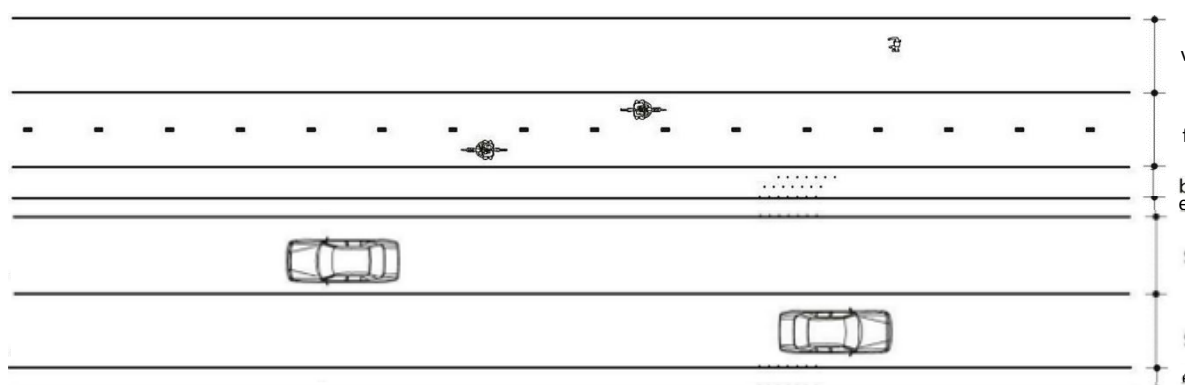
- bij spitsuurintensiteit in twee richtingen 0 – 50 fts/h: 2,50m
- bij spitsuurintensiteit in twee richtingen 50 - 150 fts/h: 2,50 m - 3,00 m
- bij spitsuurintensiteit in twee richtingen > 150 - 350 fts/h: 3,50 m - 4,00 m
- bij spitsuurintensiteit in twee richtingen > 350 fts/h: 4,50 m

$v \geq 1,80 \text{ m}$, vanaf 1,80m kan een rolstoel een tegemoetkomende rolstoel passeren

> 1,20 m, bij vernauwingen korter dan 10 m

> 0,90 m, bij 'harde' puntenvernauwingen (lichtmasten, verkeersborden)

2.8.1.5 Gekozen wegprofiel



Figuur 18, Bovenaanzicht gekozen wegprofiel Langeweg (Goedemondt, 2021)

Tabel 8, Toelichting wegontwerp figuur 19 (Goedemondt, 2021)

Referentie letter Figuur 18	Omschrijving	Maatvoering
e	Redresseerstrook	0,50 m
s	Rijstrook	3,10 m
r	Rijrichting scheiding	0,10 m
b	Midden geleider	0,35 m
f	Fietsstroken	4,20 m
v	Voetganger pad	1,80 m

2.8.1.6 Motivatie maatvoering gekozen wegprofiel

- Maatvoering rijstroken 3,10m breed. HIOR schrijft maatvoering tussen 2,75 – 3,50m voor, en CROW schrijft tussen 2,90 – 3,50m voor. CROW schrijft als aanvulling min. 3,10 voor passerende vrachtwagens. Vrachtwagens kunnen passeren op dit wegprofiel dus maatvoering 3,10m gekozen.
- Maatvoering redresseerstrook 0,50m breed. HIOR schrijft geen redresseerstrook voor, CROW schrijft min. 0,50m tot opsluitband. In dit wegprofiel ligt rijstrook naast opsluitband dus 0,50m brede redresseerstrook.
- Maatvoering rijrichtingscheiding 0,10m breed. HIOR schrijft dit voor dus keuze overgenomen.
- Maatvoering midden geleider 0,35m breed. HIOR schrijft geen midden geleider voor toepasbaar op deze situatie. CROW schrijft min. breedte 0,35m tussen rijbaan en fietsstrook in beide richtingen voor.
- Maatvoering fietsstroken 4,20m breed. CROW schrijft bij intensiteit van 350fiets/h in beide richtingen 4,50m voor. HIOR schrijft 2x2,10m voor fietsstrook in beide richtingen, dus 4,20m overgenomen in ontwerp.
- Maatvoering voetganger pad 1,80m breed. HIOR schrijft geen breedte voor voetganger pad voor. CROW schrijft min. breedte van 1,80m voor voetganger pad waar rolstoelen elkaar kunnen passeren. Dat kan in dit geval voorkomen dus min. breedte van 1,80m overgenomen.

Een dwarsdoorsnede tekening van het wegprofiel op de Langeweg is opgenomen in Bijlage D – Ontwerp wegprofiel & haven. De brugbreedte van de Langewegbrug is 13,65m. Het oude wegprofiel was 18,15m breed. Het nieuwe wegprofiel wordt 4,5m minder breed, dit komt voornamelijk omdat er twee rijstroken minder zijn in het nieuwe wegprofiel.

2.8.2 Dwarsdoorsnede haven

2.8.2.1 Ontwerp nat profiel

- Benodigd aanvoer debiet (Q) = 10 m³/s (eis 0101)
- Max stroomsnelheid (v) = 0,50 m/s (eis 0102)
- Breedte tussen damwanden (b) = 9,00m (eis 1110)
- Waterpeil = NAP+ 0,55m (Randvoorwaarde)

Bodempeil -> ?

$$Q = v * A \quad 10 = 0,50 * 9,00 * h$$

$$A = b * h \quad h = 2,22m \rightarrow 2,25m$$

$$A = 9,00 * h$$

$$\text{Bodempeil} = \text{NAP} + 0,55m - 2,25m$$

$$\text{Bodempeil} = \text{NAP} - 1,70m$$

2.8.2.2 Ontwerp profiel van vrije ruimte

Uitgangspunten:

- Doorvaarhoogte moet minimaal 2,50m zijn bij waterstand van NAP+ 0,55m. (eis 1200)
- In het natte profiel mogen zich geen vaste obstakels bevinden. (eis 0110)
- Breedte tussen damwanden = 9,00m (eis 1110)

$$\text{Onderkant brugdek} = \text{Waterstand} + \text{Doorvaarhoogte} + \text{Veiligheidsmarge}$$

$$\text{Waterstand} = \text{NAP} + 0,55m$$

$$\text{Doorvaarhoogte} = 2,50m$$

$$\text{Veiligheidsmarge} = 0,20m$$

$$\text{Onderkant brugdek} = \text{NAP} + 0,55m + 2,50m + 0,20m$$

$$\text{Onderkant brugdek} = \text{NAP} + 3,25m$$

2.8.2.3 Positionering damwandconstructies en landhoofden

$$\text{Bovenkant damwand Noordhaven} = \text{NAP} + 2,90m \text{ (aansluiten op bestaande situatie)}$$

$$\text{Bovenkant damwand Zuidhaven} = \text{NAP} + 2,80m \text{ (aansluiten op bestaande situatie)}$$

Tussen bovenkant damwand en landhoofden zit een hoogteverschil. De oplegging op de landhoofden voor het brugdek moeten op NAP+3,25m zitten omdat, onderkant van brugdek op deze hoogte moet zitten i.v.m. profiel van vrije ruimte. Om het hoogteverschil tussen bovenkant damwand en landhoofd te overbruggen wordt een talud van 1:2 toegepast voor de grondlaag die daar aanwezig is.

Aan de hand van positie van de landhoofden kan de overspanning van het brugdek worden bepaald. De overspanning van de Langewegbrug tussen de opleggingen is 12,50m.

Een dwarsdoorsnede van de haven ter plaatste van de Langewegbrug is opgenomen in Bijlage D – Ontwerp wegprofiel & haven. In deze tekening zijn zaken als het natte profiel, profiel van vrije ruimte, positionering damwandconstructies, positionering landhoofden en de overspanning van het brugdek zichtbaar.

2.9 Typen bruggen

Een brug is een bouwwerk of constructie als vaste of beweegbare verbinding voor het verkeer over een hindernis zonder de doorgang onder de verbinding te belemmeren. De hindernis kan onder meer bestaan uit een rivier, kanaal, kloof, weg, dal of spoorweg. In dit onderzoek betreft de hindernis de haven van Zevenbergen en de vaste verbinding voor het verkeer betreft de Langeweg in Zevenbergen. In de bruggen wereld zijn diverse verschillende typen bruggen te onderscheiden met ieder verschillende voor- en nadelen. In dit deel hoofdstuk worden de meest voorkomende typen bruggen op globaal niveau beschouwd en beschreven of dat type brug relevant is voor dit onderzoek.

2.9.1 Beweegbare bruggen

Op veel locaties waar het verkeer het water kruist, is het niet mogelijk om een vaste brug hoog genoeg aan te leggen dat al het waterverkeer onder door de brug kan. In deze gevallen is het gewenst of vereist om beweegbare bruggen aan te leggen. Beweegbare bruggen faciliteren een profiel van vrije ruimte met een grotere doorvaarhoogte. Er zijn verschillende typen beweegbare bruggen, voorbeelden hiervan zijn: draaibruggen, ophaalbruggen, hefbruggen en basculebruggen. Echter staat in eis 0240 dat de Langeweg brug een starre brug dient te zijn. Hierdoor dienen alle typen beweegbare bruggen buiten beschouwing gelaten te worden.

2.9.2 Vakwerkbrug

Een vakwerkbrug is een brugtype waarbij het brugdek wordt gedragen door brugpijlers en een vakwerk. Vakwerkbruggen zijn vaak metalen constructies bestaande uit driehoekige delen die de constructie stevigheid geven. Het voordeel van vakwerkbruggen is dat de staven voornamelijk belast worden op trek- en drukkrachten, er komt geen (of weinig) buigend moment voor in de staven. Hierdoor kunnen de staven relatief slank ontworpen worden. Vakwerkbruggen hebben een zeer bepalend karakteristiek uiterlijk, de vakwerken zijn goed zichtbaar en zijn vaak bepalend voor het uiterlijk van de brug. De esthetische uitstraling van vakwerkbruggen sluit niet aan bij eis 0020 waarin staat dat het systeem de uitstraling en beleving moet verbeteren. Vanwege de niet aansluitende esthetische uitstraling van vakwerkbruggen wordt dit type brug verder buiten beschouwing gelaten.



Figuur 19, Vakwerkbrug Anseremme in België (Mapio, 2009)

2.9.3 Liggerbruggen

Een liggerbrug is een brugtype waarbij liggers de overspanning vormen. De liggers worden opgelegd op opleggingen die de krachten van het brugdek en liggers dragen. Het is het meest voorkomende type brug omdat ze snel en goedkoop te bouwen zijn. Liggerbruggen worden vooral gebruikt voor kleinere overspanningen waarbij geen grote doorvaarhoogte is benodigd. Deze eigenschappen sluiten perfect aan bij de eigenschappen van de Langewegbrug. Liggerbruggen worden uitgevoerd in verschillende materialen. Traditioneel worden liggerbruggen vaak uitgevoerd in staal en beton. Tegenwoordig zijn duurzame liggerbruggen van bijvoorbeeld composiet in opkomst.

2.9.3.1 (Voorgespannen) betonnen liggers

Onder liggerbruggen vallen verschillende typen liggerbruggen, waaronder ook voorgespannen betonnen liggers. Dit zijn liggers die op een zeer specifieke manier zijn gemaakt. Staalkabels worden uitgerekt en op spanning gebracht, daarna wordt het beton om het staal heen gestort in de juiste vorm. Na uitharding van het beton worden de spanning van de staalkabels afgehaald. Omdat het beton en de staalkabels aan elkaar gehecht zijn door de uitharding van het beton ontstaat er een drukkracht in de betonnen ligger.

Door de materiaaleigenschappen van beton kan het materiaal goed tegen drukkrachten en relatief slecht tegen trekkrachten. De treksterkte van beton is ongeveer 10% van de druksterkte en dat maakt beton een broos materiaal. De verhouding tussen druksterkte en treksterkte hangt met elkaar samen maar het verband tussen die twee grootheden is niet eenduidig.

NEN-EN 1992-1-1 houdt de onderstaande relatie tussen treksterkte en druksterkte:

$$f_{brep} = 0,7(1,05 + 0,05 f'_{ck}) \text{ N/mm}^2$$

f_{brep} = representatieve waarde van treksterkte

f'_{ck} = karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen

Voorbeeld:

Betonsterkte klasse C20/25

$$f'_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} f_{brep} &= 0,7(1,05 + 0,05 \cdot 20) \text{ N/mm}^2 \\ &= 1,4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$1,4 \text{ N/mm}^2 = 7\% \text{ van } f'_{ck}$$

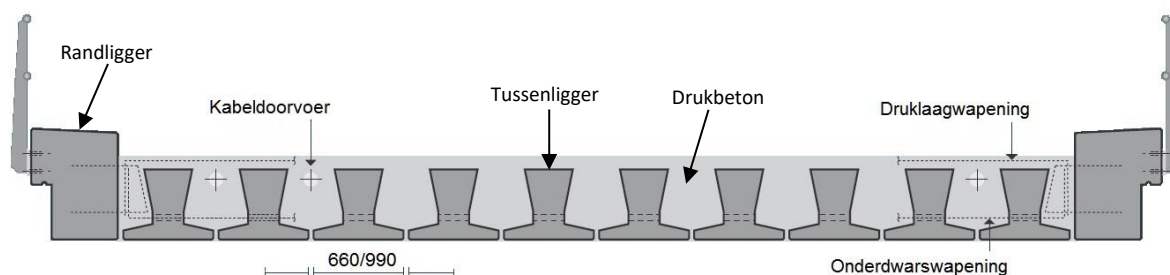
In dit geval is de representatieve treksterkte 7% van de druksterkte.

Figuur 20, Voorbeeld beton druk- en treksterkte (Goedemondt, 2021)

In veel constructies zoals betonnen liggers voor bruggen is er behoefte aan een hogere treksterkte dan beton kan bieden of de betonnen ligger moeten zo groot in dimensie worden gemaakt dat het niet realistisch en toepasbaar is. Om dit probleem tegen te gaan kan het beton worden voorgespannen op de manier hierboven beschreven. Hierdoor ontstaat een extra drukkracht in het beton. Door deze extra van tevoren aangebrachte drukkracht kan het beton meer trekkracht opnemen.

Voorgespannen liggers hebben uiteenlopende profielen en afmetingen afhankelijk van de functie, overspanning en belasting. Deze voorgespannen liggers worden doorgaans geprefabriceerd door beton leveranciers. Een brugdek weergegeven in Figuur 21, Principe dwarsdoorsnede brugdek met voorgespannen liggers (Giverbo, 2021). Figuur 21 is opgebouwd uit een x aantal tussenliggers afhankelijk van de breedte van het brugdek en twee randliggers aan de buitenzijde van het brugdek. Tussen de

verschillende liggers wordt vaak drukbeton of een ander vulmateriaal aangebracht. De tussenliggers en randliggers zijn variabel in afmetingen en vorm.



Figuur 21, Principe dwarsdoorsnede brugdek met voorgespannen liggers (Giverbo, 2021)

Tabel 9, Voor- en nadelen voorgespannen betonnen liggers

Voorgespannen betonnen liggers	
Voordelen	Nadelen
Scheurvorming van beton wordt vermeden of sterk beperkt (Staal gaat in de ligger niet snel roesten).	Extra materiele uitrusting nodig om staal op spanning te rekken voordat beton wordt gestort.
Kleinere hoeveelheden beton t.o.v. traditioneel gewapende liggers.	Voorgespannen beton is duurder dan traditionele bouwmaterialen.
Beton wordt in de fabriek onder de perfecte omstandigheden gefabriceerd draagt toe aan de kwaliteit.	Ontwerpflexibiliteit is in vergelijking tot andere soorten gewapend beton lager.
Visuele aantrekkelijkheid kan uniek gemaakt worden door diversiteit aan randliggers.	Foutmarge bij het maken en voorbereiden van voorgespannen beton is kleiner dan bij andere conventionele materialen.
Minder eigen gewicht.	
Hoeft niet uit te harden op locatie (uitvoeringstijd kan verkort worden).	
Grotere overspanningen mogelijk.	
Kleinere constructiehoogte.	
Kan grotere trekkrachten opnemen.	

Op basis van de eigenschappen van voorgespannen beton liggers is dit een brugtype waarvan de toepassing een haalbare oplossing kan bieden voor de Langewegbrug. Hierop gebaseerd is dit een brugtype waar verder onderzoek naar gedaan wordt in dit onderzoek.

Naast voorgespannen betonnen liggers worden betonnen bruggen ook uitgevoerd met traditionele wapening zie Figuur 22 voor een voorbeeld van dit brugtype. Hierbij wordt het beton in het werk gestort met stalen wapening om het dek te versterken. Bij deze manier van bouwen wordt al het beton in het werk gestort, dit houdt in dat er een bekisting gemaakt moet worden op locatie. Daarna

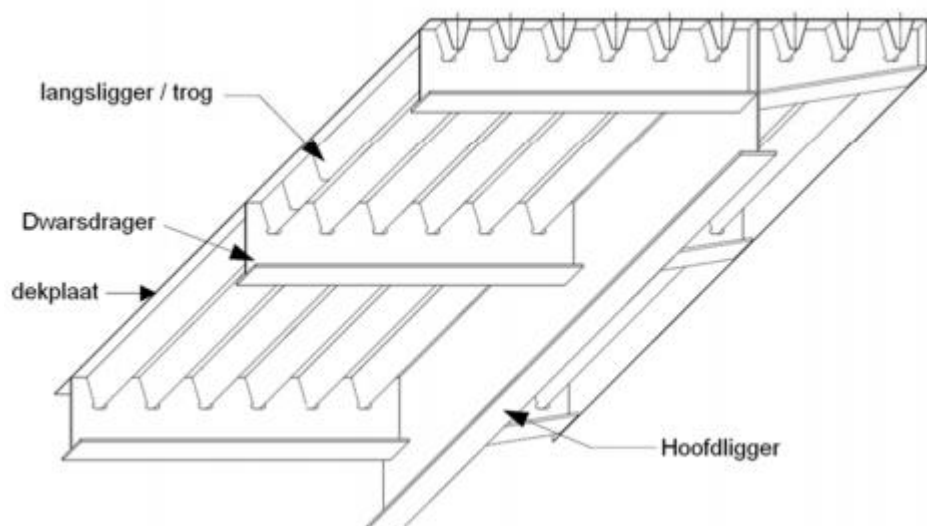


Figuur 22, Traditioneel beton gewapende verkeersbrug kasteelbrug te Zevenbergen (Goedemondt, 2021)

moet alle wapening worden aangebracht, en wordt de bekisting volgestort met beton. Dit beton moet dan op locatie weer ca. 28 dagen uitharden om de benodigde sterkte te krijgen. De uitvoeringstijd van deze werkwijze is hierdoor groter dan met prefab elementen die niet in het werk gestort worden. Bij projecten waar de verkeershinder door aanleg van de brug niet verhinderd wordt is dit een prima oplossing. Bijvoorbeeld bij een nieuwbouwwijk waar nog geen mensen wonen maar de infrastructuur eerst wordt gerealiseerd. In deze situatie is het niet noodzakelijk om de uitvoeringstijd kort te houden en kan een in het werk gestorte brug prima gerealiseerd worden. Echter voor de Langewegbrug is er sprake van verkeershinder tijdens uitvoering van de brug, hierdoor is het van belang uitvoeringstijd zo kort mogelijk te houden. Gebaseerd op dit feit is het niet aannemelijk om de Langewegbrug uit te voeren als traditioneel beton gewapende brug. Traditioneel gewapende beton bruggen worden niet verder onderzocht in dit onderzoek.

2.9.3.2 Stalen liggerbruggen

Staal kan in tegenstelling tot beton, zowel goed op trek als op druk belast worden. Staal is vele malen sterker dan beton. Bij stalen bruggen kan men slankere constructies realiseren en grote overspanningen. Dit kan interessant zijn wanneer het profiel van vrije ruimte in gedrang komt door de constructie hoogte van de brug.



Figuur 23, Stalen liggerbrug (Royal Hashkoning, 2018)

De stalen constructie van de brug is grotendeels opgebouwd uit liggers. Deze liggers zijn gewalst of samengesteld uit plaatprofielen. De stalen langs liggers kunnen door dwarsliggers of door platen verbonden zijn afhankelijk van de brug. Boven op de liggers kan een brugdek worden aangebracht, dit kan doormiddel van een trogplaat, een stalen dek, een betonnen dek of ander materiaal. Stalen bruggen kunnen worden uitgevoerd met diverse profielen. Ook trogbruggen worden vaak gemaakt van deels staal.

Om de dimensies grofweg van een stalenbrug te bepalen is de dokbrug in Vlissingen ter inspiratie aangenomen. Deze stalenbrug is ontworpen in 2020 en voldoet dus aan de nieuwste normen. Aan de hand van deze brug kan de h.o.h. afstand van de dwarsliggers worden bepaald en de h.o.h. afstand van de langs liggers. Later worden de profielen van deze dwarsliggers en langsliggers bepaald aan de hand van berekeningen.

Tabel 10, Voor- en nadelen stalen ligger bruggen

Stalen liggerbruggen	
Voordelen	Nadelen
Brug kan geheel bij fabrikant gemaakt worden en daarna in geheel op transport via het water. Brug kan op locatie in zijn geheel in een keer op de juiste plek worden gehesen.	Staal kan minder goed tegen de elementen en gaat relatief snel verweren corroderen of roesten. Dit behoeft relatief veel onderhoud.
Stalen liggers kunnen makkelijker hergebruikt worden omdat brugdek en liggers vaak niet volledig samengevloeid zijn.	Esthetica is erg bepalend omdat stalen liggers vaak in het gezichtsveld zitten en daardoor bepalend zijn voor het uiterlijk.
Staal heeft hoge sterkte / gewichtsverhouding, dit resulteert in relatief klein eigen gewicht.	Stalen liggers zijn gevoelig voor vermoeiing op de lange termijn.
Staal kan relatief grote plastische vervorming ondergaan voordat het bezwijkt. Waardoor een reservesterkte aanwezig is.	
Slanke structuur mogelijk.	
In combinatie met andere materialen mogelijk, dit bied ontwerpmogelijkheden.	

Op basis van de eigenschappen van stalen liggerbruggen is dit een brugtype waarvan de toepassing een haalbare oplossing kan bieden voor de Langewegbrug. Hierop gebaseerd wordt naar een stalen liggerbruggen verder onderzoek gedaan in dit onderzoek.

2.9.3.3 Composietbruggen

Bouwen met composiet in de GWW wordt steeds groter. Het bouwen met composiet is nog niet zo groot en wordt nog lang niet zo vaak toegepast als het bouwen met traditionele materialen zoals staal en beton. Echter heeft het bouwen met composiet voordelen ten opzichte van het bouwen met staal en beton. Het bouwen met composiet kan vooral veel voordeel opleveren in de duurzaamheid van constructies.

Composiet is een van de materialen van de toekomst, het wordt nu vooral gebruikt als constructiemateriaal van windmolens, vliegtuigen en F1-auto's. Het materiaal is zeer licht en sterk en wordt steeds meer toegepast als materiaal voor bruggen.

Een composiet is een vezelversterkte kunststof. Het is een materiaal wat is opgebouwd uit verschillende componenten. Een composiet bestaat uit een kunststof (de matrix) en uit vezels. De matrix dient als raamwerk voor de vezels, en zorgt voor ondersteuning of omringing van de vezels. De vezels zorgen voor het overbrengen van trekkrachten. De kunststof zorgt ervoor dat drukkrachten en schuifspanning worden opgenomen en overgebracht. Hierdoor kan het materiaal goed trekkracht, drukkrachten en schuifspanningen opnemen.



Figuur 24, Composietbrug in Dieren (FiberCore europe, 2019)

Het type composiet wat voornamelijk gebruikt wordt voor brugdekken bestaat uit een samenvoeging van glas- en/of koolvezels met thermohardende hars. Hierin is de thermohardende hars de kunststof/ de matrix. Door de thermohardende hars te vermengen met glas- en/of koolvezels ontstaat de vezelversterkte kunststof.

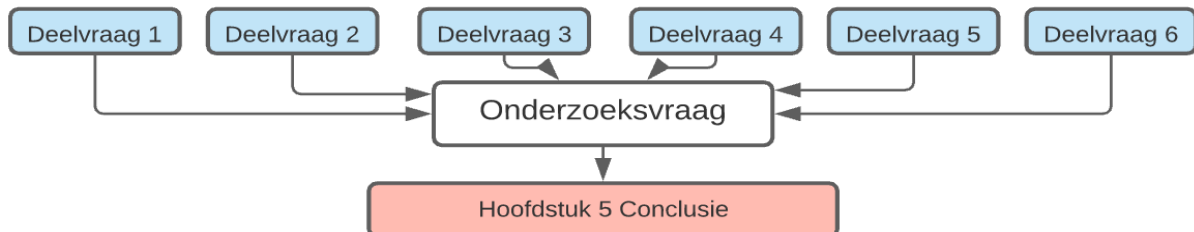
Tabel 11, voor- en nadelen composietbrug

Composietbrug	
Voordelen	Nadelen
Brug kan geheel bij fabrikant gemaakt worden en daarna in geheel op transport via het water. Brug kan op locatie in zijn geheel in een keer op de juiste plek worden gehesen.	Relatief nieuw materiaal om te gebruiken voor deze toepassing.
Onderhoudsarm, composiet is ongevoelig voor schimmels en vocht. Uv-stralen en temperatuurwisseling hebben geen invloed op composiet. Ook is materiaal bestand tegen graffiti.	Composiet is als materiaal relatief duur in vergelijking tot andere materialen.
Groot gedeelte van materiaal kan worden hergebruikt.	Stijfheid van composiet is relatief laag. (Hierdoor is de overspanning van composiet bruggen beperkt)
Brugdek is volledig demontabel, hierdoor kunnen prefab-constructie makkelijk worden afgebroken en verplaatst.	Thermohardende hars is moeilijk te verwerken om hergebruikt te worden als los materiaal.
Weinig grondstoffen benodigd voor het maken van brugdek.	De winning van het materiaal hars is schadelijk voor het milieu.
Visuele aantrekkelijkheid kan uniek gemaakt worden doordat composiet goed te bewerken is in vorm en uiterlijk.	
Materiaal kan goed tegen verschillende soorten krachten zoals trekkracht, drukkracht en schuifspanningen.	

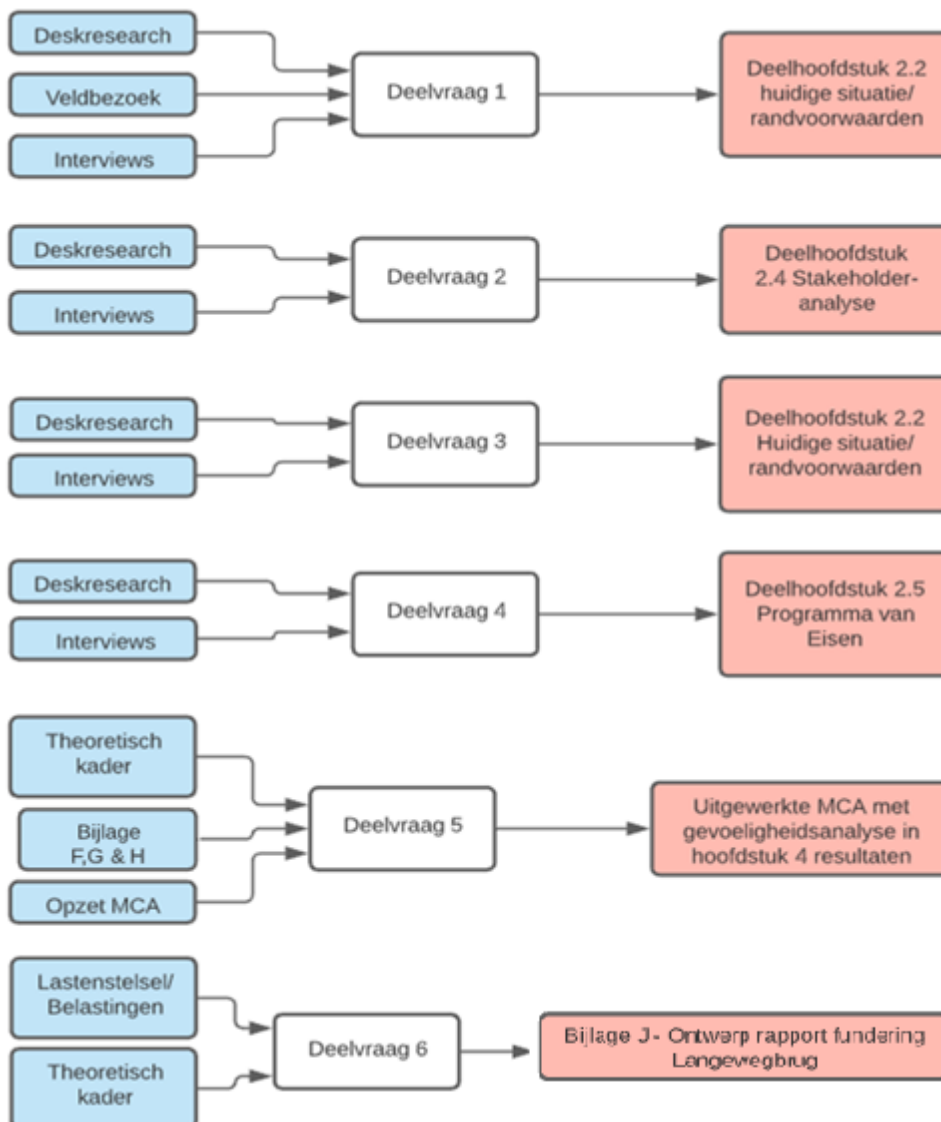
Op basis van de eigenschappen van composietbruggen is dit een brugtype waarvan de toepassing een haalbare oplossing kan bieden voor de Langewegbrug. Hierop gebaseerd wordt in dit onderzoek verder onderzoek gedaan naar composietbruggen.

3. Methode

In het hoofdstuk methode wordt beschreven op welke manier er onderzoek gedaan wordt om de onderzoeksvraag ‘Wat zijn de beste ontwerpkeuzes voor de nieuwe situatie kruising Roode Vaart met de Langeweg te Zevenbergen op basis van duurzaamheid, kosten, uitvoerbaarheid, haalbaarheid en stedelijke inpassing binnen de scope van het onderzoek?’ te beantwoorden. Om antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag zijn deelvragen opgesteld. In Figuur 25 is het stroomschema voor de uitwerking van de hoofdvraag zichtbaar. Waarin de blauw gearceerde blokken input weergeven en de rode blokken output weergeven. In Figuur 26 is het stroomschema weergegeven voor alle deelvragen.



Figuur 25, Stroomschema uitwerking onderzoeksvraag (Goedemondt, 2021)



Figuur 26, Stroomschema deelvragen (Goedemondt, 2021)

3.1 Projectactiviteiten

Om deelvragen te beantwoorden zijn verschillende activiteiten uitgevoerd, de zogenaamde projectactiviteiten. Per deelvraag worden de projectactiviteiten en bijbehorende onderzoeksmethoden beschreven ook staat er beschreven waar de uitwerking van de deelvraag terug te vinden is. Uit de projectactiviteiten worden (tussen)producten opgesteld. Deze producten worden gebundeld tot een eindproduct in de vorm van dit onderzoeksrapport. Dit eindproduct geeft uiteindelijk antwoord op de onderzoeksvraag.

3.1.1 Deelvraag 1

Deelvraag 1: Hoe ziet de huidige situatie eruit van het onderzoeksgebied?

Projectactiviteiten:

- 1.1 Er wordt deskresearch gedaan naar het project heropenen Roode Vaart en specifiek naar locatie overkluizing noord uit dit project.
- 1.2 De projectlocatie wordt bezocht en de huidige situatie wordt visueel in beeld gebracht doormiddel van het maken van foto's.
- 1.3 De beheerders van het projectgebied worden geïnterviewd, daarnaast worden betrokken collega's en experts geïnterviewd.
- 1.3 De ondergrondse en bovengrondse infra wordt in kaart gebracht aan de hand van tekeningen en visualisatie tekeningen.
- 1.4 Er wordt deskresearch gedaan naar lokale bodemgegevens en grondwaterstanden.
- 1.5 De bodemgegevens worden in een kort bodemrapport verwerkt, en er wordt een conclusie opgenomen over grondwaterpeil.

Tussenproduct: Deelvraag 1 wordt uitgewerkt in hoofdstuk 2.2 Huidige situatie / Randvoorwaarden van het onderzoeksrapport.

Onderzoeksmethode(n): Om deze deelvraag te beantwoorden wordt beschrijvend/visualiserend onderzoek gedaan. De onderzoeksmethoden die hiervoor worden toegepast zijn deskresearch, veldbezoek en het afnemen van interviews.

Onderzoeksinstrument(en): - Interviews

3.1.2 Deelvraag 2

Deelvraag 2a: Welke stakeholders zijn er betrokken in dit project?

Deelvraag 2b: Welke acties dienen per stakeholder te worden uitgevoerd?

Deelvraag 2c: Hoe zijn de belangen van de stakeholders vertaald in het ontwerp?

Projectactiviteiten:

- 2a.1 Er wordt onderzoek naar stakeholders die nu of in de toekomst betrokken zijn bij het project.
- 2a.2 Er wordt onderzoek naar de belangen, interesse en macht van verschillende stakeholders.
- 2a.3 Bovenstaande onderzoeken worden in een tabel met stakeholders verwerkt.
- 2b.1 Er wordt onderzoek gedaan naar verschillende modellen om stakeholders te categoriseren.
- 2b.2 Mendelow's Matrix wordt uitgewerkt voor de stakeholders van dit project.
- 2c.1 Er wordt aan de hand van categoriseerde stakeholders beschreven hoe de eisen van deze stakeholders worden meegenomen in het ontwerp.

Tussenproduct: Deelvraag 2 wordt uitgewerkt in het hoofdstuk 2.4 Stakeholderanalyse in het onderzoeksrapport.

Onderzoeksmethode(n): Om deze deelvraag te beantwoorden wordt beschrijvend onderzoek gedaan. De onderzoeksmethoden die hiervoor worden toegepast zijn deskresearch, en het afnemen van interviews.

Onderzoeksinstrumenten: - Mendelow's Matrix
- Interviews

3.1.3 Deelvraag 3

Deelvraag 3: Wat zijn de randvoorwaarden voor dit onderzoek?

Projectactiviteiten:

- 3.1 Er wordt deskresearch naar randvoorwaarden.
- 3.2 De gemeente Moerdijk wordt geïnterviewd voor aanvullende randvoorwaarden.
- 3.3 Er wordt overlegd met constructeurs over randvoorwaarden.
- 3.4 Er wordt een lijst gemaakt met alle randvoorwaarden van toepassing op dit project.

Tussenproduct: Deelvraag 3 wordt uitgewerkt in hoofdstuk 2.2 Huidige situatie / Randvoorwaarden in het onderzoeksrapport.

Onderzoeksmethode(n): Om deze deelvraag te beantwoorden wordt beschrijvend onderzoek gedaan. De onderzoeksmethoden die hiervoor worden toegepast zijn deskresearch, en het afnemen van interviews.

Onderzoeksinstrument(en): - Interviews

3.1.4 Deelvraag 4

Deelvraag 4: Hoe ziet het programma van eisen (PvE) eruit voor dit onderzoek?

Projectactiviteiten:

- 4.1 Collega's die betrokken zijn bij project haven Zevenbergen worden geïnterviewd.
- 4.2 De gemeente Moerdijk wordt geïnterviewd over eisen en wensen.
- 4.3 Er wordt literatuuronderzoek gedaan naar vergelijkbare projecten van de gemeente Moerdijk en er wordt specifiek onderzoek gedaan naar het PvE van deze projecten.
- 4.4 Er wordt een format voor het opstellen van het PvE gemaakt.
- 4.5 Alle eisen overzichtelijk verwerkt in het PvE.

Tussenproduct: Deelvraag 4 wordt uitgewerkt in hoofdstuk 2.5 Programma van Eisen. Hier wordt de opzet van het PvE uiteengezet. Een compleet overzicht van het PvE is terug te vinden in Bijlage C – het programma van eisen.

Onderzoeksmethode(n): Om deze deelvraag te beantwoorden wordt beschrijvend onderzoek gedaan. De onderzoeksmethoden die hiervoor worden toegepast zijn deskresearch, en het afnemen van interviews.

Onderzoeksinstrument(en): - Interviews

3.1.5 Deelvraag 5

Deelvraag 5a: Welke verschillende type brugdekken zijn er mogelijk voor de Langewegbrug te Zevenbergen, kijkend naar kosten, duurzaamheid, omgevingshinder, stedelijke inpassing, beheer en onderhoud en levensduur

Deelvraag 5b: Welk type brugdek is het meest geschikt voor de Langewegbrug te Zevenbergen, kijkend naar kosten, duurzaamheid, omgevingshinder, stedelijke inpassing, beheer en onderhoud en levensduur

Projectactiviteiten:

- 5a.1 Er wordt deskresearch gedaan naar verschillende typen bruggen.
- 5a.2 Aan de hand van vuistregels en basis handvaten wordt er naar verschillende typen bruggen gekeken of het een haalbare oplossing zou kunnen zijn voor de Langewegbrug.
- 5a.3 Er wordt beschreven welke typen bruggen op basis van haalbaarheid worden geëlimineerd voor verder onderzoek, en er wordt kort beschreven welke typen bruggen op basis van haalbaarheid wel verder onderzocht dienen te worden.

- 5b.1 Er wordt een wegprofielontwerp gemaakt aan de hand van eisen.
- 5b.2 Er wordt een dwarsprofiel getekend van wegprofiel in AutoCAD.
- 5b.3 Er wordt een ontwerp van nat profiel Roode Vaart gemaakt.
- 5b.4 Er wordt een ontwerp voor het profiel van vrije ruimte gemaakt.
- 5b.5 Er wordt een langs aanzicht schets van de brug in AutoCAD gemaakt.
- 5b.6 De X,Y,Z coördinaten van landhoofden worden bepaald.
- 5b.7 Er wordt gedetailleerd deskresearch naar voorgespannen betonnen liggers gedaan en de brugdikte wordt bepaald.
- 5b.8 Er wordt een globaal ontwerp gemaakt van een voorgespannen betonnen ligger brug.
- 5b.9 Er wordt een kort rapport geschreven over de uitvoering, duurzaamheid, kosten en stedelijke inpassing van een voorgespannen betonnen ligger brug.
- 5b.10 Er wordt een globaal ontwerp gemaakt van een stalen ligger brug.
- 5b.11 Er wordt een kort rapport geschreven over de uitvoering, duurzaamheid, kosten en stedelijke inpassing van een stalen ligger brug.
- 5b.12 Er wordt onderzoek gedaan naar composiet verkeersbruggen en er wordt informatie vergaard door het bijwonen van een Webinar gegeven door FiberCore Europe.
- 5b.13 Er wordt een globaal ontwerp gemaakt van een composiet verkeersbrug.
- 5b.14 Er wordt een kort rapport geschreven over de uitvoering, duurzaamheid, kosten en stedelijke inpassing van een composiet verkeersbrug.
- 5b.15 De criteria op waar verschillende brugtype aan getoetst moeten worden als input van de MCA (Multicriteria-analyse) worden opgesteld.
- 5b.16 De MCA wordt uitgewerkt en de MCA wordt ingevuld.
- 5b.17 Er wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de MCA om de uitkomst te verifiëren. Aan de hand van de MCA en de gevoeligheidsanalyse wordt bepaald welk type brug het meest geschikt is voor de Langewegbrug.

Tussenproduct: De ontwerprapporten van de drie brugdekken worden opgenomen in bijlage F, G en H. De opzet van de MCA is opgenomen in hoofdstuk 3.3 MCA brugtypen van het onderzoeksrapport. De uitwerking van de MCA is terug te vinden in hoofdstuk 4.4 MCA. De samenvatting van de gevoeligheidsanalyse is opgenomen in hoofdstuk 4.5 Gevoeligheidsanalyse. De complete gevoeligheidsanalyse is opgenomen in Bijlage I – Gevoeligheidsanalyse.

Onderzoeksmethode(n): Om deze deelvraag te beantwoorden wordt beschrijvend en toetsend onderzoek gedaan. De onderzoeksmethoden die hiervoor worden toegepast zijn deskresearch, en het maken van berekeningen.

Onderzoeksinstrument(en):

- Technosoft liggers/raamwerken
- AutoCAD
- MCA
- DuboCalc

3.1.6 Deelvraag 6

Deelvraag 6a: Wat is het meest optimale ontwerp voor de landhoofden van de Langewegbrug?

Deelvraag 6b: Wat is het meest optimale ontwerp voor de paalfundering van de Langewegbrug?

Projectactiviteiten:

- 6a.1 Het lastenstelsel van het brugdek op landhoofden wordt bepaald/berekend.
- 6a.2 De belastingen op de landhoofden worden bepaald/berekend.
- 6a.3 De landhoofden worden in technosoft liggers/raamwerk berekend.
- 6a.4 Er worden handberekeningen gemaakt van de wapening in de landhoofden.
- 6a.5 De landhoofden worden in AutoCAD getekend.
- 6a.6 Er wordt een rapport opgesteld over het landhoofd ontwerp.
- 6b.1 De belastingen op paalfundering worden bepaald/berekend.
- 6b.2 GEF-bestanden worden ingevoerd in technosoft palen.
- 6b.3 Paalfundering wordt berekend met technosoft palen.
- 6b.4 Er wordt een handberekening van de paalfundering gemaakt ter controle van berekening in technosoft palen.
- 6b.5 Er worden tekening van paalfunderingen gemaakt in AutoCAD.
- 6b.6 Er wordt een rapport opgesteld over het paalfunderingsontwerp.

Onderzoeksmethode(n): Om deze deelvraag te beantwoorden wordt beschrijvend en toetsend onderzoek gedaan. De onderzoeksmethoden die hiervoor worden toegepast zijn deskresearch, en het maken van berekeningen.

Tussenproduct: In Bijlage J wordt het ontwerprapport van de landhoofd en de paalfundering opgenomen. Verder wordt hiervan een samenvatting gegeven in hoofdstuk 4.6 Funderingsontwerp.

Onderzoeksinstrument(en):

- Technosoft liggers/raamwerken
- Technosoft palen
- AutoCAD.

3.2 Onderzoeksinstrumenten

Om antwoord te geven op de onderzoeksvraag worden gedurende dit onderzoek verschillende onderzoeksinstrumenten toegepast en gebruikt. Hieronder worden alle onderzoeksinstrumenten uiteengezet die gebruikt zijn gedurende dit onderzoek. Voor een nadere toelichting en uitwerking van de onderzoeksinstrumenten zie Bijlage E – Onderzoeksinstrumenten.

Toegepaste onderzoeksinstrumenten:

- Interviews
- Mendelow's Matrix
- Technosoft liggers/raamwerken
- Technosoft palen
- AutoCAD
- MCA
- DuboCalc

3.3 MCA Brugdektype

In dit hoofdstuk wordt de opzet weergegeven voor de Multi-criteria analyse (MCA) van toepassing op de verschillende brugdekken. Allereerst worden de criteria beschreven waar de verschillende brugdekken aan getoetst worden. Aan de hand van de criteria wordt weergegeven op welke niveaus erop dat criteria gescoord kan worden.

3.3.1 Criteria Varianten

Hier worden alle criteria uiteengezet doormiddel van het volgende format. Eerst wordt het criterium genoemd, daarna de factor die aan dat criterium hangt. En een onderbouwing waarom een criterium die specifieke factor heeft.

Criterium	Factor
Onderbouwing	

Kosten	30% / 0,30
Gemeente Moerdijk heeft tijdens overleg aangegeven dat er een bepaald budget is gereserveerd voor de definitieve situatie kruising Roode Vaart met de Langeweg. Dit gereserveerde bedrag is in het verleden vastgesteld in de samenwerkingsovereenkomst met de Provincie Noord-Brabant, provincie Zeeland, het waterschap Brabantse Delta en het ministerie van infrastructuur en milieu. Gemeente heeft aan marktpartijen gevraagd om deze raming te actualiseren. Hieruit is gebleken dat er een verschil zit tussen het gereserveerde bedrag, en het benodigde bedrag. De exacte getallen over deze ramingen zijn vertrouwelijke informatie binnen de gemeente en kunnen verder niet worden vermeld in dit onderzoek. Feit is wel dat er een verschil zit in het gereserveerde budget en het benodigde budget. De gemeente geeft aan dat dit de grootste uitdaging wordt voor het project, hier op gebaseerd is kosten het belangrijkste criterium.	

Duurzaamheid	20% / 0,20
Project kruising Roode Vaart met N285 staat gepland om uitgevoerd te worden in 2023/2024. Beschreven in theoretisch kader staan een aantal doelen, ambities en visies vanuit zowel de gemeente als het rijk op het gebied van duurzaamheid. Daarnaast is CB23 opgericht waarin als richtlijn staat dat de overheid vanaf 2023 in ieder project een deel circulair moet aanbesteden. Dit is ook van toepassing op dit project, daarom moet er in de ontwerpfase nagedacht worden over duurzaamheid. Het speelt als criterium dan ook een essentiële rol.	

Omgevingshinder	15% / 0,15
Fasering voor het project is in grote lijnen bekend, zo wordt het project uitgevoerd nadat project Noordelijke Randweg Zevenbergen is gerealiseerd. Hierna is de verkeersintensiteit over de Langeweg aanzienlijk afgenomen. Hierdoor is de overlast tijdens uitvoering weliswaar verminderd maar niet compleet uitgesloten. Nog altijd moet verkeer tijdens uitvoering worden omgeleid of verhindert. Omwille van de uitvoeringstijd en hinder moet er in het ontwerp nagedacht worden over de uitvoering. Het speelt dan weliswaar geen cruciale rol, toch kan dit voordelige al dan niet nadelige effecten hebben waardoor dit criterium een riante factor krijgt.	

Stedelijke inpassing	15% / 0,15
Gemeente Moerdijk heeft voor centrum ontwikkeling Zevenbergen zeer sterk ingezet op uitstraling en beleving voor de uitvoering van deze projecten. Zo is er geïnvesteerd in groengebieden met daarin verwerkt honderden parkeerplaatsen om auto's te weren uit het centrum. Het gebied is ingericht doormiddel van uniformiteit om een prettige verblijfsplaats te creëren. Over de haven van Zevenbergen loopt momenteel één verkeersbrug (de Kasteelbrug over de brouwerstraat) met een typische uitstraling zie Figuur 22. Dit is een massief betonnen brug met een constructiehoogte van 550mm. In het PvE staat ook beschreven dat het project dient bij te dragen aan de uitstraling en beleving van het centrum van Zevenbergen (eis 0020). Dit is één van de toepisen in het PvE. Daarom dient de nieuw te realiseren verkeersbrug zoveel mogelijk qua uiterlijk te lijken op de Kasteelbrug om de uniformiteit van de haven door te voeren in dit project. Omdat de gemeente in heeft gezet op uitstraling en uniformiteit is het van belang dat dit wordt doorgevoerd in dit project, hierop gebaseerd krijgt dit criterium een riante factor.	

Beheer en onderhoud	15% / 0,15
Uiteindelijk wordt gemeente Moerdijk beheerder van de Langewegbrug na oplevering. De gemeente is dan verantwoordelijk voor beheer en onderhoud. Door in het ontwerp slimme ontwerp keuzes te maken kunnen de beheer en onderhoud kosten minder worden. Het is van belang om hier rekening mee te houden, belangrijkste criterium is kosten omdat er voor dit project te weinig budget is. Dit neemt niet weg dat zomaar het economisch beste ontwerp uitgevoerd moet worden. Dit kan betekenen dat de beheer en onderhoud kosten enorm oplopen waardoor het op de lange termijn niet economisch het beste ontwerp is. Omdat dit criterium verhouding heeft tot de kosten moet het worden meegenomen in de overweging en krijgt het een rante factor.	

Levensduur	5% / 0,05
Uitgangspunt is dat alle brugdekken voor dezelfde levensduur van 80 jaar worden ontworpen (eis 0030). Het kan echter voorkomen dat een bepaald type brugdek langer of korter mee gaat dan voorspeld. Dit kan worden gemonitord. Aan de hand van monitoring, voorspelling en data kan er iets gezegd worden over hoe lang een structuur daadwerkelijk mee gaat. In principe is de eis dat de structuur 80 jaar mee moet gaan, een structuur die langer meegaat heeft dus een voordeel maar het is geen must vandaar dat dit criterium een lage factor heeft.	

Veiligheid is bewust buiten beschouwing gelaten als criterium. De variantenstudie richt zich tot verschillende typen brugdekken. Al deze brugdekken worden berekend aan dezelfde gevolgklasse CC2 (eis 1210). Dit houdt in dat alle brugdekken dezelfde veiligheidsklassen hebben. Daarnaast richt het ontwerp van de brugdekken zich niet tot het verkeerskundig aspect waar er gevarieerd kan worden in verschillende wegprofielen. Kortom de veiligheid van alle varianten is min of meer hetzelfde en is daarom buiten beschouwing gelaten als criterium omdat alle varianten hier hetzelfde zouden scoren.

3.3.2 Indeling scoreniveaus criteria

Op alle criteria kunnen de varianten op 4 niveaus scoren. Bij elk criterium staat per niveau een omschrijving wat correspondeert aan het criterium en dat niveau. Op deze manier kunnen verschillende varianten scoren per criterium verschillend scoren om zo uiteindelijk tot een eindscore te komen over welke variant het best kan worden toegepast.

Tabel 12, Indeling score niveaus MCA (Goedemondt, 2021)

Criterium	1 – slecht	2 – matig	3 – goed	4 – heel goed
Kosten	> €200.000	€150.000 - €200.000	€100.000 - €150.000	< €100.000
Duurzaamheid	MKI > 30.000	30.000 > MKI < 20.000	20.000 > MKI < 10.000	MKI < 10.000
Omgevingshinder	Uitvoeringstijd > 21 dagen	21 dagen > Uitvoeringstijd > 14 dagen	14 dagen > Uitvoeringstijd > 7 dagen	Uitvoeringstijd < 7 dagen
Stedelijke inpassing	- Niet massief brugdek - Constructiehoogte (H) 450mm < H < 650mm	- Niet massief brugdek - Constructiehoogte (H) 450mm > H < 650mm	- Massief brugdek - Constructiehoogte (H) 450mm < H < 650mm	- Massief brugdek - Constructiehoogte (H) 450mm > H < 650mm
Beheer en onderhoud	- Inspectie eens per jaar. - Grote onderhoudswerkzaamheden benodigd gedurende levensduur.	- Inspectie eens per twee jaar. - Geen grote onderhoudswerkzaamheden gedurende levensduur.	- Inspectie eens per jaar. - Geen grote onderhoudswerkzaamheden gedurende levensduur.	- Inspectie eens per 5 jaar. - Geen grote onderhoudswerkzaamheden gedurende levensduur.
Levensduur	Levensduur is 80 jaar	Levensduur kan met maatregelen worden verlengd tot 100 jaar.	Levensduur is zonder extra maatregelen tussen de 90 en 100 jaar.	Levensduur is > 100 jaar of kan met extra maatregelen worden verlengd tot groter dan 100 jaar.

Voorbeeld 1: De kostenraming van variant 1 bedraagt een totaal bedrag van €132.000. Dan scoort variant 1 op het criterium kosten een 3, omdat het bedrag tussen de €100.000 en €150.000 ligt.

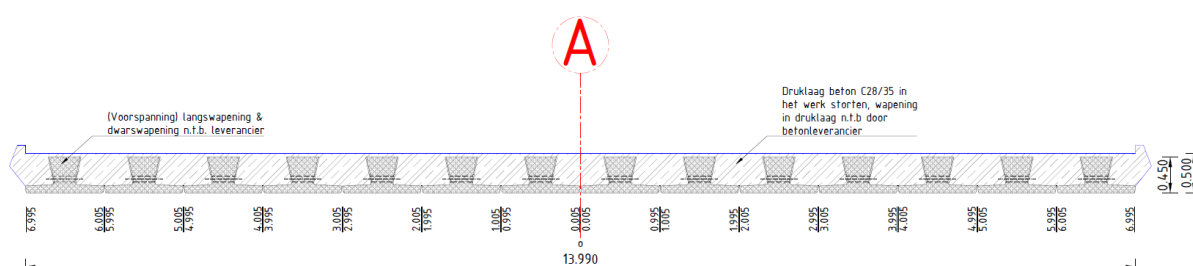
Voorbeeld 2: De totale MKI-waarde van variant 2 is 7,000. Dan scoort variant 2 een 4 op het criterium duurzaamheid, omdat de MKI < 10.000 is.

4. Resultaten

Aan de hand van het theoretisch kader en de uitgevoerde methode zijn de resultaten van het onderzoek opgesteld. Deze resultaten worden in dit hoofdstuk uiteengezet. Per brugdek variant wordt een korte toelichting gegeven over het ontwerp, de kostenraming, de uitvoering, de stedelijke inpassing, het beheer en onderhoud en de levensduur. Aan de hand van deze resultaten wordt de MCA ingevuld, op deze MCA wordt tevens een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om het resultaat van de MCA te verifiëren.

4.1 Voorgespannen beton brugdek

Voor brugdekken met prefab voorgespannen liggers kunnen verschillende typen liggers met verschillende afmetingen worden toegepast. Prefab Rogir-S liggers (ook wel t-liggers genoemd) zijn de type liggers waarvan de economische toepassing het best aansluit bij de afmetingen en belastingen op de Langewegbrug zie Bijlage F – Voorgespannen beton brugdek, hoofdstuk 2 t/m 4 voor een nadere toelichting. Het ontwerp bestaat uit prefab Rogir-S liggers in combinatie met een druklaag zie Figuur 27 voor de dwarsdoorsnede van het brugdek. De combinatie van Rogir-S liggers met een druklaag zorgt ervoor dat het brugdek een massief geheel is met een constructie hoogte van 500mm. Voor een compleet overzicht van alle tekeningen zie Bijlage F.3 – Tekening Rogir-S brugdek. Voor een compleet overzicht van het ontwerprapport zie Bijlage F – voorgespannen beton brugdek.



Figuur 27, Dwarsdoorsnede Rogir-S brugdek (Goedemondt, 2021)

De belangrijkste uitvoeringswerkzaamheden van het Rogir-S brugdek bestaan uit het plaatsen van de prefab Rogir-S liggers, en het aan brengen van de druklaag. Een complete beschrijving van de uitvoeringswerkzaamheden is opgenomen in Bijlage F – voorgespannen beton brugdek, hoofdstuk 5 – Uitvoering Rogir-S brugdek. Daarnaast is een uitvoeringsplanning opgenomen in Bijlage F.1 – Uitvoeringsplanning Rogir-S brugdek. Deze uitvoeringsplanning duurt in totaal 39 dagen.

De kostenraming van het Rogir-S brugdek is opgenomen in Bijlage F.2 – Kostenraming Rogir-S brugdek. Het totale bedrag van deze raming bedraagt circa €80.000. In de bijlage is een totaaloverzicht van de raming opgenomen inclusief uitgangspunten en onderbouw.

Aan de hand van DuboCalc berekeningen is de duurzaamheid van het Rogir-S brugdek berekend en bepaald. In DuboCalc is het totale Rogir-S brugdek ingevoerd met juiste hoeveelheden. Aan de hand hiervan heeft het programma een MKI-waarde (milieu kosten indicatie) bepaald. De totale MKI-waarde van het Rogir-S brugdek is circa 6.500 zie Figuur 28. Voor een verdere toelichting over deze berekening zie Bijlage F – Voorgespannen beton brugdek, hoofdstuk 7. Duurzaamheid. Hier wordt een verdere toelichting gegeven over waar deze MKI precies vandaan komt en hoe deze berekend is.

MKI waarden Rogir-S brugdek

MKI	6.257,68
Bijdrage	100 %
MKI Bouw (A1-A5)	2.243,39
MKI Gebruik (B1)	0
MKI Onderhoud (B2-B5)	1.692,76
MKI Einde Levensduur (C1-C4)	877,46
MKI Toeslag	 1.444,08
CO2 (kg CO2-eq)	 52.116,63

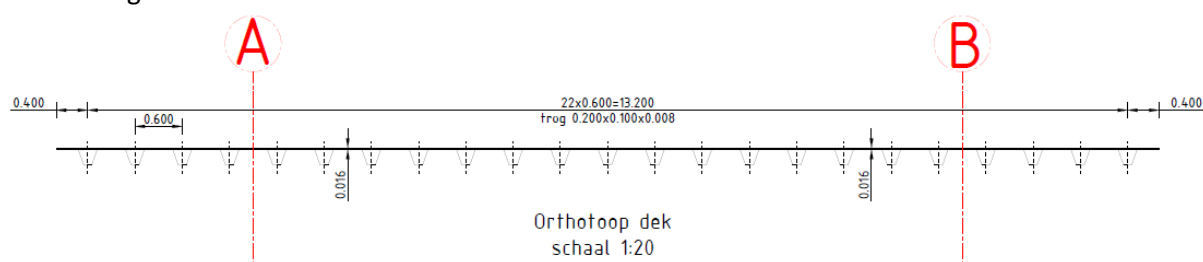
Figuur 28, MKI-waarde Rogir-S brugdek (DuboCalc, 2021)

Het beheer en onderhoud aan het Rogir-S brugdek is zeer minimaal, verschillende beton leveranciers geven aan dat groot onderhoud aan dit type brugdek niet benodigd zijn gedurende de service life time van het brugdek. Het enige op voorhand vastgestelde onderhoud is het vervangen van de slijtlaag elke 10 jaar. Daarnaast dient er eens in de twee jaar een inspectie uitgevoerd te worden om mankementen vroegtijdig te signaleren. Voor een gedetailleerde toelichting over het beheer en onderhoud zie Bijlage F – Voorgespannen beton brugdek, hoofdstuk 8. Beheer & Onderhoud.

Het Rogir-S brugdek heeft een ontwerp levensduur van 80 jaar, deze levensduur zal in werkelijkheid langer zijn. Daarnaast zijn er levensduur verlengde maatregelen die genomen kunnen worden aan het einde van de levensduur zoals, het toepassen van shotconcrete of FRP strips zie Bijlage F – Voorgespannen beton brugdek, hoofdstuk 9 – Levensduur voor een nadere toelichting. Voor een gedetailleerde toelichting over deze maatregelen en de levensduur van het Rogir-S brugdek zie Bijlage F – Voorgespannen beton, hoofdstuk 9. Levensduur.

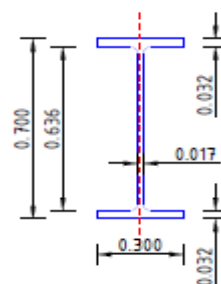
4.2 Stalen brugdek

Het stalen brugdek is opgebouwd uit drie componenten, allereerst het bovenste element, het orthotope dek. Dit zijn stalen platen van 16mm dik met daaronder troggen in overspanningsrichting zie Figuur 29. Voor een compleet overzicht van alle tekeningen op juiste schaal zie Bijlage G.3 – Tekening stalen brugdek.

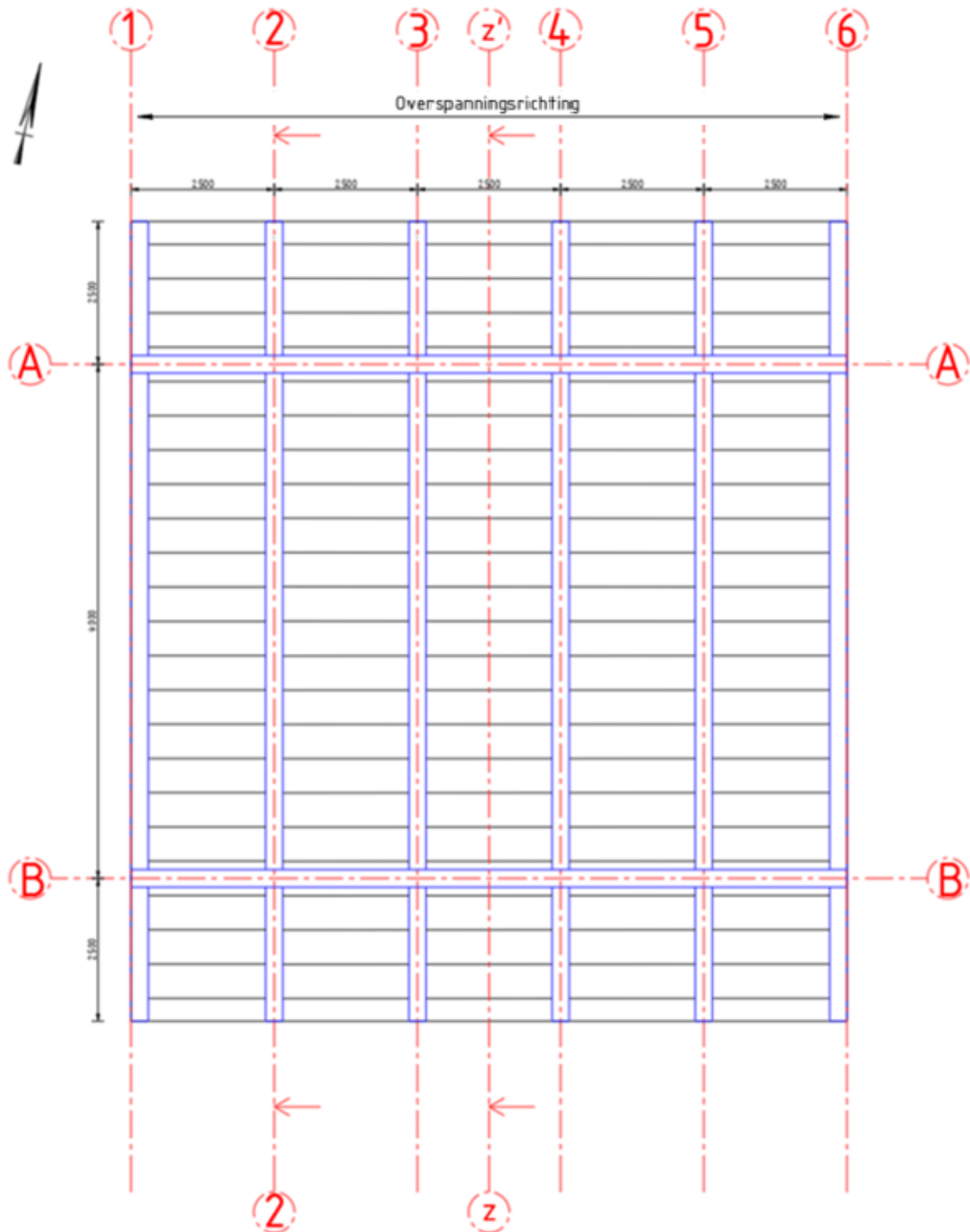


Figuur 29, Orthotoop stalen dek (Goedemondt, 2021)

Onder het orthotoop dek bevinden zich de dwarsliggers. De dwarsliggers hebben een HEB700 S355 profiel zie Figuur 30. Dit profiel is berekend aan de hand van sterkteberekeningen, vervormingsberekeningen voor een gedetailleerd overzicht van deze berekeningen en toelichtingen over de dwarsliggers zie Bijlage G – Stalen brugdek, hoofdstuk 3. Berekening dwarsliggers. In totaal zijn er 6 dwarsliggers h.o.h. 2,50m toegepast voor het ontwerp van de Langewegbrug zie Figuur 31.

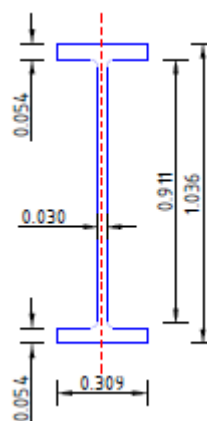


Figuur 30, Staalprofiel HEB700 (Goedemondt, 2021)



Figuur 31, Onder aanzicht stalen brugdek Langewegbrug (Goedemondt, 2021)

De laatste elementen van het stalen brugdek zijn de twee hoofdliggers h.o.h. 9,00m zie Figuur 31. Deze hoofdliggers liggen in overspanningsrichting en zorgen ervoor dat alle belastingen van het stalen brugdek worden afgedragen naar de fundering. De hoofdliggers hebben een UB1016x305x487 S355 staalprofiel zie Figuur 32. Uiteindelijk vormen het orthotoop dek, de dwarsliggers en de hoofdliggers één stalen geheel. Het stalen brugdek is niet massief en de constructiehoogte is 1062mm.



Figuur 32, Staalprofiel UBx1016x305x487 (Goedemondt, 2021)

Het stalen brugdek wordt in zijn geheel gefabriceerd en vervolgens getransporteerd over het water. Het stalen brugdek wordt op locatie in zijn geheel direct op de juiste positie gehesen. Een complete beschrijving van de uitvoeringswerkzaamheden voor het stalen brugdek is opgenomen in Bijlage G – Stalen brugdek, hoofdstuk 5. Uitvoering stalen brugdek. Daarnaast is uitvoeringsplanning opgenomen in Bijlage G.1 – Uitvoeringsplanning stalen brugdek. Deze uitvoeringsplanning duurt in totaal 9 dagen.

De kostenraming van het stalen brugdek is opgenomen in Bijlage G.2 – Kostenraming stalen brugdek. Het totale bedrag van deze raming bedraagt circa €165.000. In de bijlage is een totaaloverzicht van de raming opgenomen inclusief uitgangspunten en onderbouwing.

Aan de hand van DuboCalc berekeningen is de duurzaamheid van het stalen brugdek berekend en bepaald. In DuboCalc is het totale stalen brugdek ingevoerd met juiste hoeveelheden. Aan de hand hiervan heeft het programma een MKI-waarde bepaald. De totale MKI-waarde van het stalen brugdek is circa 30.000 zie Figuur 33. Voor een verdere toelichting over deze berekening zie Bijlage G – Stalen brugdek, hoofdstuk 7. Duurzaamheid. Hier wordt een verdere toelichting gegeven over waar deze MKI-waarde precies vandaan komt, en hoe deze berekend is.

MKI waardes  Stalen brugdek	
MKI	32.989,30
Bijdrage	100 %
MKI Bouw (A1-A5)	10.203,18
MKI Gebruik (B1)	0
MKI Onderhoud (B2-B5)	15.242,78
MKI Einde Levensduur (C1-C4)	-69,58
MKI Toeslag	7.612,92
CO2 (kg CO2-eq)	251.923,41

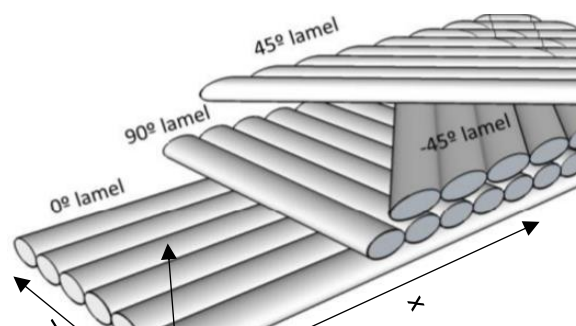
Figuur 33, MKI-waarde stalen brugdek (DuboCalc, 2021)

Het vastgestelde beheer en onderhoud aan het stalen brugdek bestaat voornamelijk uit de conserveringswerkzaamheden aan het staalwerk. Elke 20 jaar dient het staalwerk geconserveerd te worden om corrosie voorkomen. Verder dient de slijtlaag iedere 10 jaar vervangen te worden, en dient er een jaarlijkse visuele inspectie te worden uitgevoerd. Voor een gedetailleerde toelichting over het beheer en onderhoud zie Bijlage G – stalen brugdek, hoofdstuk 8. Beheer en Onderhoud.

De ontwerp levensduur van het stalen brugdek is 80 jaar. Het is op voorhand niet aannemelijk om te zeggen dat deze levensduur langer is dan 80 jaar, dit komt omdat het stalen brugdek gevoelig is voor vermoeiing. Er bestaat een kans dat er vermoeiing optreedt ergens in het stalen brugdek. Voor een verdere toelichting over de levensduur van het stalen brugdek zie Bijlage G – Stalen brugdek, hoofdstuk 9. Levensduur.

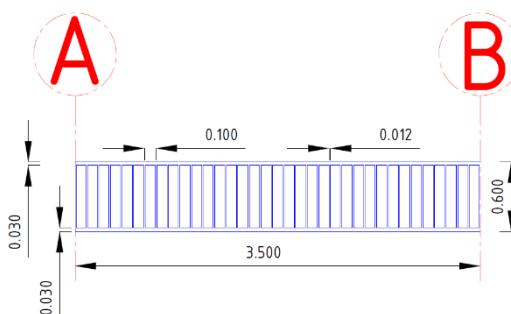
4.3 Composiet brugdek

Het brugdek van de Langewegbrug kan mogelijk ook worden uitgevoerd in composiet. Het type composiet wat hiervoor gebruikt wordt is een



Figuur 34, Composiet lagen gestapeld in verschillende richtingen (INHOLLAND, 2015)

combinatie van glasvezel met een polyester hars. Uit dit composiet worden lagen gefabriceerd, deze lagen worden in verschillende richtingen gestapeld om één geheel te vormen zie Figuur 34. Voor een gedetailleerde beschrijving over hoe de lagen exact gestapeld zijn en in welke richtingen zie Bijlage H – Composiet brugdek, hoofdstuk 2. Samenstelling composiet. Aan de hand van het type composiet en de samenstelling van de lagen is een E_{modulus} van 28GPa of $28 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$. In Figuur 35 is weergegeven hoe het composiet brugdek is opgebouwd, het bestaat uit een boven- en onderhuid met daartussen lijven. Hiertussen zitten holle ruimten gevuld met opvulmateriaal PUR35. De maximaal toelaatbare doorbuiging $U_{\text{norm}} = 50\text{mm}$. Aan de hand van de verkeersbelasting uit NEN-EN 1991-2+C1-2015 en U_{norm} is een minimaal benodigd traagheidsmoment I_y berekend van de doorsnede berekend op $2,38 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$. Om ervoor te zorgen dat de doorsnede een minimale I_y van $2,38 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$ heeft is een Excel-sheet uitgewerkt zie Bijlage H.1 – Excelsheet bepalen afmetingen dwarsdoorsnede composiet brugdek. Hierin zijn de dimensies van de dwarsdoorsnede bepaald en geoptimaliseerd, de doorsnede heeft een I_y van $2,66 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$. De verkeersbelasting uit NEN-EN 1991-2+C1-2105, de E_{modulus} van 28 N/mm² en de I_y van $2,66 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$ resulteren in een doorbuiging U_{max} van 46,4mm. Uit de unity check $U_{\text{max}} / U_{\text{norm}} = 46,4\text{mm} / 50\text{mm} = 0,93$ blijkt dat dit voldoet. Voor een volledig overzicht van de berekening zie Bijlage H – Composiet brugdek, hoofdstuk 3. Stijfheidsberekening composiet brugdek. Voor gedetailleerde toelichting over de dimensionering van de doorsnede zie Bijlage H – Composiet brugdek, hoofdstuk 4. Dimensionering dwarsdoorsnede en Bijlage H.1 – Excelsheet bepalen afmeting dwarsdoorsnede composiet brugdek. Daarnaast zijn de tekeningen van het composiet brugdek opgenomen in Bijlage H.4 – Tekening composiet brugdek.



Figuur 35, Opbouw composiet brugdek (Goedemondt, 2021)

Een compleet overzicht van alle uitvoeringswerkzaamheden is opgenomen in Bijlage H – Composiet brugdek, hoofdstuk 5. Uitvoering composiet brugdek. Daarnaast is een uitvoeringsplanning opgenomen in Bijlage H.2 – Uitvoeringsplanning composiet brugdek. Deze uitvoeringsplanning duurt in totaal 15 dagen.

De kostenraming van het composiet brugdek is opgenomen in Bijlage H.3 – Kostenraming composiet brugdek. Het totale bedrag van deze raming bedraagt circa €200.000. In de bijlage is een totaaloverzicht van de raming opgenomen inclusief uitgangspunten en onderbouwing.

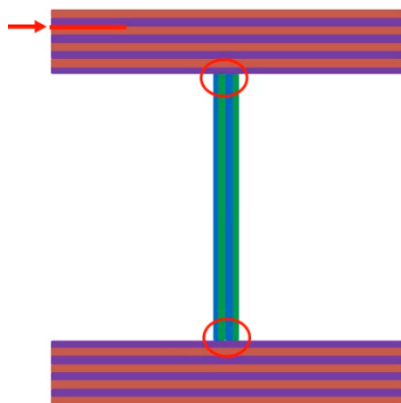
Aan de hand van DuboCalc berekeningen is de duurzaamheid van het composiet brugdek berekend en bepaald. In DuboCalc is het totale composiet brugdek ingevoerd met juiste hoeveelheden. Aan de hand hiervan heeft het programma een MKI-waarde bepaald. De totale MKI-waarde van het composiet brugdek is circa 12.000 zie Figuur 36. Voor een verdere toelichting over deze berekening zie Bijlage H – Composiet brugdek, hoofdstuk 7. Duurzaamheid. Hier wordt een nadere toelichting gegeven over waar deze MKI precies vandaan komt en hoe deze berekend is.

MKI waarden  Composiet brugdek	
MKI	12.355,98
Bijdrage	100 %
MKI Bouw (A1-A5)	7.446,76
MKI Gebruik (B1)	0
MKI Onderhoud (B2-B5)	1692,76
MKI Einde Levensduur (C1-C4)	365,68
MKI Toeslag	2851,38
CO2 (kg CO2-eq)	62.351,59

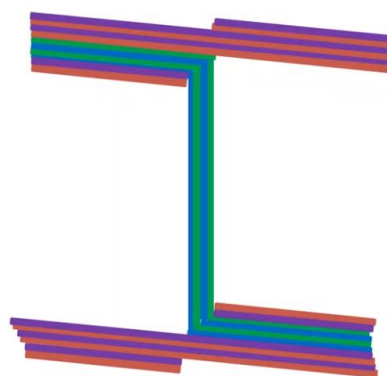
Figuur 36, MKI-waarde composiet brugdek (DuboCalc, 2021)

Het beheer en onderhoud aan het composiet materiaal behoeft geen onderhoud gedurende de service life time van het brugdek. Dit komt voornamelijk door de manier hoe de doorsnede is opgebouwd.

In Figuur 37 is een schets doorsnede weergegeven waarbij de boven- en onderhuid niet verbonden zijn met de lijven. Hierdoor ontstaan zwakke onderhoudsgevoelige plekken op de rood omcirkelde plekken in de doorsnede. Deze opbouw heeft veel onderhoud en wordt niet toegepast. In Figuur 38 is de doorsnede weergegeven die wordt toegepast. Hierin is te zien dat de lagen vanuit de bovenhuid doorlopen naar de lijven en in de onderhuid. Hierdoor zijn de huiden verbonden met de lijven waardoor de zwakke plekken verdwijnen. Op deze manier is de doorsnede opgebouwd waardoor het onderhoud wordt verminderd. Voor het composiet materiaal is weinig tot geen onderhoud benodigd, het brugdek dient wel eens in de twee jaar geïnspecteerd te worden. Daarnaast dient de slijtlaag iedere 10 jaar vervangen te worden. Voor een gedetailleerde toelichting over het beheer en onderhoud zie Bijlage H – Composiet brugdek, hoofdstuk 8. Beheer & Onderhoud.



Figuur 37, Doorsnede composiet zonder doorlopende lagen in huid en lijven (InfraCore, 2021)



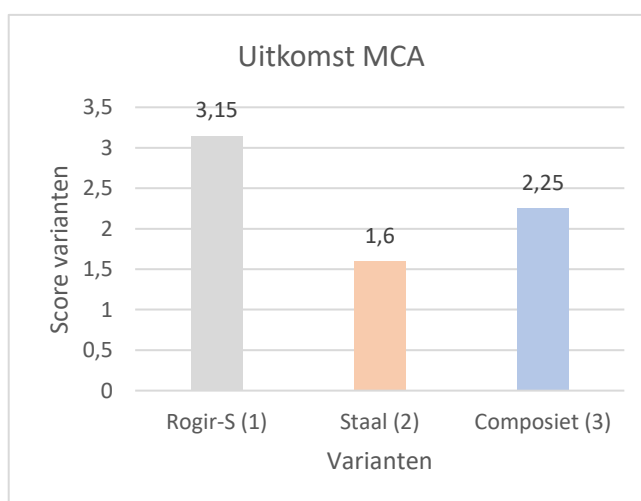
Figuur 38, Doorsnede composiet met doorlopende lagen in de boven- en onderhuid en lijven (InfraCore, 2021)

Het composiet brugdek heeft een ontwerp levensduur van 100 jaar. Modellen voorzien dat deze levensduur langer is dan 100 jaar. Echter wordt dit type brugdek nog geen 100 jaar toegepast. Het is niet aannemelijk om op voorhand aan te nemen dat het brugdek langer dan 100 jaar mee gaat. Voor een gedetailleerde toelichting over de levensduur zie Bijlage H – Composiet brugdek, hoofdstuk 9. Levensduur.

4.4 MCA

Om te bepalen welk type brugdek het best kan worden toegepast voor de Langewegbrug, wordt Tabel 12 nader ingevuld aan de hand van de resultaten van de verschillende brugdekken. In hoofdstuk 4.1 t/m 4.3 zijn alle resultaten weergegeven van de 3 brugdekvarianten. Uit deze hoofdstukken is af te leiden welke variant op welk niveau scoort per criterium. Alle criteria zijn eerder toegelicht in hoofdstuk 3.3.1.

In Tabel 13 is de MCA ingevuld met alle correcte scores per brugdek type. Uit deze tabel is af te leiden dat het Rogir-S brugdek (variant 1) overal het beste scoort met een totaal



Figuur 39, Grafiek uitkomst MCA

score van 3,15. Als tweede scoort het composiet brugdek (variant 3) met een score van 2,25. Het stalen dek (variant 2) scoort de laagste score van 1,60 zie Figuur 39. Het Rogir-S brugdek scoort 2x zo goed t.o.v. het stalen brugdek. Daarnaast scoort het Rogir-S brugdek bijna anderhalf keer zo goed t.o.v. het composiet brugdek.

Tabel 13, Uitwerking MCA

Criterium	Factor	Rogir-S (1)		Staal (2)		Composiet (3)	
		Niveau	Score	Niveau	Score	Niveau	Score
Kosten	0,30	4	1,20	2	0,60	1	0,30
Duurzaamheid	0,20	4	0,80	1	0,20	3	0,60
Omgevingshinder	0,15	1	0,15	3	0,45	2	0,30
Stedelijke inpassing	0,15	4	0,60	1	0,15	4	0,60
Beheer en onderhoud	0,15	2	0,30	1	0,15	2	0,30
Levensduur	0,05	2	0,10	1	0,05	3	0,15
Totaal	1,00		3,15		1,60		2,25

4.5 Gevoeligheidsanalyse

De uitgewerkte MCA uit Tabel 13 laat zien dat het Rogir-S brugdek (variant 1) overal de beste variant is. Echter is het van belang om te verifiëren of deze variant in verschillende situatie altijd het beste scoort. Er dient geverifieerd te worden of variant 1 de voorkeursvariant is wanneer er aanpassing worden gedaan aan het MCA zoals, het aanpassen van de wegingen van de factoren, de bandbreedte aanpassen van verschillende score niveaus of wanneer extreme situaties worden beschouwd. Er dienen verschillende situaties beschouwd te worden om te kunnen concluderen of de Rogir-S brug daadwerkelijk de voorkeur heeft zoals Tabel 13 laat blijken. In deze gevoeligheidsanalyse worden deze verschillende situaties beschouwd, waarbij een korte toelichting wordt gegeven waarom het van belang is om die specifieke situatie in overweging te nemen. Er wordt bij deze situatie gekeken welke resultaten naar voren komen.

In Bijlage I – Gevoeligheidsanalyse is de volledige gevoeligheidsanalyse opgenomen. Hierin zijn 7 verschillende situaties opgenomen. In al deze 7 situaties is een onderbouwing gegeven waarom het relevant is, dat die specifieke situatie getoetst en beschouwd is. Hieronder wordt per situatie een korte samenvatting gegeven.

Situatie 1 – Originele situatie: Dit is de originele MCA, deze is opgenomen in de gevoeligheidsanalyse ter vergelijking van andere situaties.

Situatie 2 – Gelijke wegingsfactoren: Het opstellen van de factoren voor alle criteria is zo nauwkeurig mogelijk gedaan, echter kan er in dit opstel proces altijd enige vorm van interpretatie aanwezig zijn. Om het effect te toetsen waarbij de kans op interpretatie volledig te elimineren is de situatie beschouwd waarbij alle criteria dezelfde factor hebben gekregen.

Situatie 3 – Aanpassing bandbreedte kosten: Tijdens het opstellen van de kostenramingen van de varianten zijn foutmarges opgenomen. Echter bestaat de kans dat deze ramingen nog steeds niet volledig accuraat zijn. Voornamelijk de materiaalkosten in de ramingen kunnen inaccuraat zijn. Bijvoorbeeld, de staalprijs kan sterk fluctueren. In deze situatie wordt de bandbreedte van het criterium kosten aangepast. Hoe deze bandbreedte exact is aangepast en waarop dit gebaseerd is staat beschreven in Bijlage I – Gevoeligheidsanalyse – Situatie 3.

Situatie 4 – Aanpassing bandbreedte duurzaamheid: Alle duurzaamheidsberekeningen zijn gemaakt in DuboCalc. De input is zo nauwkeurig mogelijk ingevoerd, vervolgens produceert DuboCalc een output. Echter is de achterliggende data van deze berekeningen niet zichtbaar. De kans bestaat dat deze berekeningen niet volledig accuraat zijn. In deze situatie wordt de bandbreedte van het criterium duurzaamheid aangepast. Hoe deze bandbreedte exact is aangepast en waarop dit gebaseerd is staat beschreven in Bijlage I – Gevoeligheidsanalyse – Situatie 4.

Situatie 5 – Extreme situatie A: In deze situatie heeft het criterium omgevingshinder de grootste factor gekregen. Deze situatie is getoetst omdat er mogelijk in de toekomst een situatie ontstaat waarbij de verkeersintensiteit op de Langeweg toeneemt. Wanneer verkeersintensiteit op de Langeweg toeneemt wordt het noodzakelijk om de uitvoeringstijd tot een minimum te beperken. Wanneer dit gebeurt wordt het criterium omgevingshinder het belangrijkste criterium. Hoe de factoren van verschillende criteria zijn aangepast en waarop dit gebaseerd is staat beschreven in Bijlage I – Gevoeligheidsanalyse – Situatie 5.

Situatie 6 – Extreme situatie B: In deze situatie heeft het criterium duurzaamheid de grootste factor gekregen. Deze situatie is getoetst omdat er in de toekomst nieuwe wet- en regelgeving is op het gebied van duurzaamheid. Wanneer het project een aantal jaar vertraagd is, is er mogelijk nieuwe wet- en regelgeving op het gebied van duurzaamheid. Deze nieuwe wet- en regelgeving zorgt ervoor dat duurzaamheid belangrijker wordt in het project. Het is daarom van belang om de situatie te toetsen waarbij duurzaamheid het belangrijkste criterium is. Hoe de factoren van verschillende criteria zijn aangepast en waarop dit gebaseerd is staat beschreven in Bijlage I – Gevoeligheidsanalyse – Situatie 6.

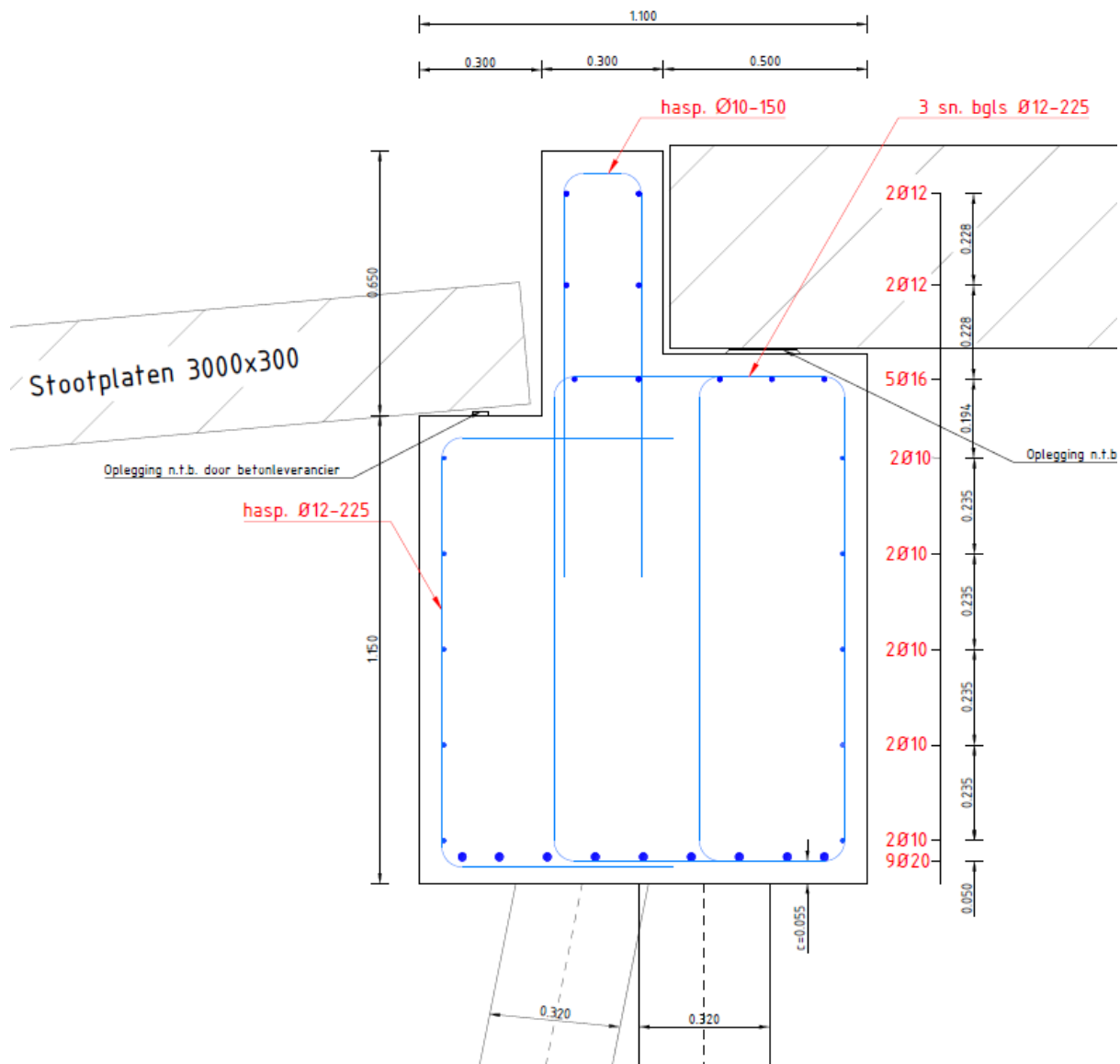
Situatie 7 – Extreme situatie C: In deze situatie is de factor van het criterium stedelijke inpassing tot een minimum verlaagd. Deze situatie is beschouwd omdat de kans aanwezig is dat het budget van het project in het gedrang komt. Wanneer dit gebeurt dient er opnieuw een kosten baten analyse uitgevoerd te worden. Voornamelijk de kosten baten analyse van het criterium stedelijke inpassing veranderd hierdoor. Stedelijke inpassing heeft als baten dat het sterk bijdraagt aan de uitstraling en het visuele aspect. Echter levert het weinig kostenvoordeel op. Er kan dus bezuinigd worden op stedelijke inpassing wanneer de kosten baten analyse opnieuw wordt uitgevoerd. Wanneer deze situatie optreedt, wordt het criterium stedelijke inpassing minder belangrijk. Daarom is situatie 7 beschouwd waarbij de factor van het criterium stedelijke inpassing tot een minimum is beperkt. Hoe de factoren van verschillende criteria zijn aangepast en waarop dit gebaseerd is staat beschreven in Bijlage I – Gevoeligheidsanalyse – Situatie 7.

Uit de gevoeligheidsanalyse komen voor de verschillende situaties, verschillende resultaten naar voren. Echter zijn er ook overkoepelende resultaten over de gehele gevoeligheidsanalyse. Zo scoort variant 1 (Rogir-S brugdek) in alle afzonderlijke situaties het hoogste. Deze variant blijft in elke beschouwde situatie de voorkeursvariant. Variant 3 (composiet brugdek) scoort in alle situaties de tweede score. Variant 2 (Stalen brugdek) scoort in alle situaties de laagste score. Het belangrijkste resultaat van de gevoeligheidsanalyse is dat variant 1 in alle situaties de voorkeursvariant is. Dit resultaat verifieert het resultaat uit Figuur 39 & Tabel 13.

4.6 Funderingsontwerp

De fundering van de Langewegbrug bestaat uit twee landhoofden aan beide kanten van het brugdek met daaronder een paalfundering.

De landhoofden zijn betonnen balken waarvan de exacte afmetingen zichtbaar zijn in Figuur 40. In deze landhoofden bevindt zich verschillende wapening. Onderin liggen 9staven $\phi 20$ h.o.h. 118mm om



Figuur 40, Dwarsdoorsnede landhoofd Langewegbrug (Goedemondt, 2021)

de optredende momenten op te nemen. Verder zijn er 3-snedige beugels $\phi 12-225$ toegepast om de dwarskrachten op te nemen. Als toevoeging is er extra haarspeld wapening $\phi 12-225$ toegepast. Om praktische redenen is flankwapening $\phi 10$ toegepast. Daarnaast is extra haarspeld wapening $\phi 10-150$ toegepast in de bovenste opstort, in combinatie met plaatselijk 4staven $\phi 12$. Verder wordt er onder de oplegging van het brugdek 5staven $\phi 12$ toegepast om optredende momenten in de bovenkant op te nemen. Voor een volledig overzicht van het ontwerp rapport van de landhoofden zie Bijlage J – Ontwerprapport fundering Langewegbrug, hoofdstuk 2 – Landhoofden. Verder zijn de volledige tekeningen van de landhoofden opgenomen in Bijlage J.1 – Tekening fundering Langewegbrug.

Onder de landhoofden bevindt zich de paalfundering. Deze paalfundering bestaat uit 9 palen per landhoofd. 5 van deze palen staan loodrecht in de grond, 4 van deze palen staan 5:1 geschoord in de grond. Het type paal wat is toegepast zijn geheide palen 320x320. De palen staan h.o.h. 1,60m en het paalpuntniveau is NAP-18,00m. Voor de volledige berekening van de paalfundering zie Bijlage J – Ontwerprapport fundering Langewegbrug, hoofdstuk 3 – Paalfundering. Verder is de volledige tekening van het palenplan opgenomen in Bijlage J.1 – Tekening fundering Langewegbrug.

5. Conclusie

Op de huidige projectlocatie is een provinciale weg aanwezig met 4 rijstroken. Onder deze provinciale weg ligt een tijdelijke duikerconstructie met een diameter van 1720mm. De grondopbouw op de projectlocatie bestaat uit verschillende typen grondlagen. De dragende schone zandlaag bevindt zich ongeveer op NAP -14,20m. Het grondwaterpeil fluctueert gedurende het jaar tussen de NAP-0,40m en NAP-1,00m.

Er zijn 4 categorieën stakeholders geïdentificeerd voor het project. De gemeente Moerdijk valt in de belangrijkste categorie A. Aan de hand van het interviewen van de gemeente Moerdijk en deskresearch zijn de eisen en wensen van deze stakeholder vastgesteld. Deze eisen en wensen zijn opgenomen en vertaald in het programma van eisen. Onder stakeholder categorie C vallen voornamelijk overheidsinstanties, aan de eisen van deze stakeholders is voldaan door hun eisen op te nemen in het programma van eisen aan de hand van vastgestelde besluitvorming. Onder stakeholder categorie B vallen de burgers, en particuliere bedrijven. Om deze categorie stakeholders juist mee te nemen wordt dit onderzoeksrapport geüpload om de hbo-kennisbank. Onder stakeholder categorie D valt het transport verkeer, deze categorie heeft geen invloed op het onderzoek gehad.

De randvoorwaarden van het project bestaan uit de lokale grond opbouw. Verder vormen de aanwezige ondergrondse- en bovengrondse infra randvoorwaarden voor het project.

Het programma van eisen is opgesteld aan de hand van het interviewen van de Gemeente Moerdijk en deskresearch naar bestaande projectplannen en besluitvorming. In het programma van eisen zijn technische- en functionele eisen opgenomen voor het systeem, de subsystemen watergang en brug en de componenten landhoofden en paalfundering. In het programma van eisen zijn alle eisen uiteengezet voor het opstellen van verschillende brugdek varianten.

Brugdek variant 1 (het voorgespannen beton brugdek) is economisch gezien de beste variant dit komt voornamelijk doordat de materiaal prijzen laag zijn t.o.v. andere varianten. Op het gebied van duurzaamheid is variant 1 de beste variant de MKI-waarde van deze variant is laag omdat het brugdek geen onderhoud behoeft. Ook is de MKI-waarde voor de bouw van het brugdek laag t.o.v. andere varianten. Voor het criterium omgevingshinder is variant 2 (het stalen brugdek) de beste variant. Dit komt omdat het stalen brugdek volledig prefab gemaakt wordt, het brugdek wordt via het water aangevoerd. Daarnaast wordt het brugdek in zijn geheel direct op de juiste positie gehesen waardoor de uitvoeringstijd beperkt blijft. Variant 1 & 3 zijn de beste varianten op het gebied van stedelijke inpassing. Dit komt omdat deze brugdekken het meest qua uiterlijk lijken op de al bestaande kasteelbrug in Zevenbergen. Op het gebied van beheer en onderhoud zijn variant 1 en variant 3 (het composiet brugdek) de beste varianten, dit komt voornamelijk doordat het materiaal van deze varianten weinig onderhoud behoeft. Variant 2 behoeft veel onderhoud in de vorm van conserveringswerkzaamheden aan het staalwerk. Wanneer wordt gekeken naar de levensduur van de varianten is variant 3 de beste variant dit komt omdat het composiet brugdek langere ontwerp levensduur heeft van standaard 100 jaar.

De fundering van de Langewegbrug bestaat uit twee landhoofden aan beide oplegkanten van de brug. Deze landhoofden zijn betonnen balken met daarin wapening. De hoofdwapening bestaat uit 9staven $\phi 20$ onderin de balk en 3-snedige beugels $\phi 12-225$. Onder de landhoofden is een paalfundering aanwezig. Deze paalfundering bestaat uit 9 palen per landhoofd. 5 van deze palen staan loodrecht in de grond, en 4 van deze palen staan 5:1 geschoord in de grond. De palen staan h.o.h. 1,60m en het paalpuntniveau is NAP-18,00m. Het type paal wat is toegepast zijn geheide prefab betonnen palen 320x320.

De onderzoeksvraag van dit onderzoek was:

Welk type brugdek kan het best worden toegepast voor de Langewegbrug te Zevenbergen op basis van kosten, duurzaamheid, omgevingshinder, stedelijke inpassing, beheer en onderhoud en levensduur, en hoe ziet het constructief ontwerp van de fundering van deze brug eruit?

Het antwoord op deze onderzoeksvraag is dat op basis van kosten, duurzaamheid, omgevingshinder, stedelijke inpassing, beheer en onderhoud en levensduur het best een Rogir-S brugdek kan worden toegepast voor de Langewegbrug te Zevenbergen. Het constructief ontwerp van de fundering bestaat uit twee betonnen landhoofd balken, met daaronder een paalfundering bestaande uit totaal 18 geheide prefab betonnen palen 320x320, paalpuntniveau NAP-18,00m.

6. Discussie & Aanbevelingen

In het onderzoek is alles zo nauwkeurig mogelijk uitgewerkt. Echter zijn er gedurende het onderzoek een aantal aannames gedaan, daarnaast zijn er onvolledigheden en andere discussiepunten. In dit hoofdstuk wordt eerst de discussie uiteengezet. Hierin worden alle zaken in het onderzoek nog een keer tegen het licht gehouden. Er wordt gekeken of alle uitkomsten, resultaten en conclusies volledig juist zijn of ter discussie kunnen worden gesteld. Daarna worden een aantal aanbevelingen aan de hand van dit onderzoek uiteengezet.

6.1 Discussie

In de discussie worden alle uitkomsten, resultaten en conclusies geanalyseerd. Er wordt gekeken of deze volledig zijn, verder wordt gekeken of er nog zaken discutabel zijn en waarom.

- Voor het stalen dek en het composiet dek is de zwaarste belasting doorgerekend over de gehele breedte van het dek. Dat wil zeggen dat de zwaarste verkeersbelasting is getoetst. Vervolgens is deze belasting in de berekeningen toegepast over de gehele breedte. In werkelijkheid mag er ter plaatse van het fietspad lichter gerekend worden omdat de zware as-lasten hier niet frequent aanwezig zijn. Echter is gekozen om de gehele breedte van het brugdek te berekenen met de zwaarste belasting. Er is gekozen om deze brugdekken op deze manier door te rekenen omdat het wegprofiel nog niet definitief is. Gemeente geeft aan dat dit later nog nader bepaald dient te worden. Doordat het brugdek nu over de volledige breedte is doorgerekend met de zwaarste belasting, kan het wegprofiel makkelijk later worden aangepast zonder dat dit gevolgen heeft voor het ontwerp van de brugdekken. Doordat de brugdekken dezelfde sterkte hebben over de volledige breedte, is het een flexibel ontwerp waarbij in het wegprofiel nog alle keuzes mogelijk blijven.
- Uit het MCA komt het stalen dek als slechtste naar voren. Het scoort op bijna alle criteria laag. Stalen bruggen worden tegenwoordig nog steeds toegepast, hoe kan het dan dat staal op bijna alle criteria slecht scoort. Dit komt voornamelijk omdat de overspanning en het type brug niet aansluit bij staal als constructie materiaal. De overspanning is slechts 12,50m en het is een starre brug. Doordat het een starre brug is met een kleine overspanning prevaleert een robuuste oplossing met weinig onderhoud. Staal sluit niet aan bij deze oplossing omdat het veel onderhoud behoeft en de levensduur niet gunstig is. Daarnaast is de stedelijke inpassing van een stalen brug in deze situatie niet gewenst, omdat het niet aansluit bij het uiterlijk van een massieve brug. In een andere situatie waarbij de brug een beweegbare brug zou zijn was staal vele malen competitiever geweest. In een dergelijke situatie is een licht en stijf brugdek benodigd. Bij deze uitgangspunten sluit een stalen brugdek perfect aan omdat het in vergelijking tot beton ruim 3 keer zo licht is.
- Het composiet brugdek komt als tweede beste variant naar voren uit het onderzoek. Dit wil niet zeggen dat dit brugdek in geen enkele situatie moet worden toegepast. Het brugdek is redelijk innovatief en wordt nog niet doorgaans gebruikt. Echter kan er in de toekomst een transitie optreden waarbij dit type brugdek vaker wordt toegepast. Wanneer een groot deel van het areaal bruggen in composiet wordt uitgevoerd worden de beheer en onderhoudskosten lager. Ook de herbruikbaarheid van dit brugdek is groot. Het kan in grote delen worden ontmanteld, deze onderdelen kunnen direct worden hergebruikt voor bijvoorbeeld een tijdelijke brug. Voornamelijk wanneer er wordt gekeken naar de toekomst en innovatie kan het composiet brugdek een mogelijke oplossing bieden.
- De duurzaamheidsberekeningen zijn volledig gebaseerd op berekeningen in DuboCalc. Er wordt data ingevoerd en vervolgens wordt er een MKI berekend. Echter is de achterliggende data in DuboCalc niet zichtbaar. Omdat er niet volledig gecontroleerd kan worden of de

uitkomst volledig accuraat is, dient er kritisch omgegaan te worden met deze uitkomsten. Verder is het criterium duurzaamheid volledig gebaseerd op deze DuboCalc berekeningen, dit geeft slechts één indicatie weer voor duurzaamheid. Het begrip duurzaamheid is in definitie zeer breed en er zijn meerdere indicatie om duurzaamheid te bepalen. Dat is in dit onderzoek niet gedaan, het is daarom niet juist om te zeggen dat duurzaamheid in dit onderzoek compleet en volledig juist is verwerkt.

- In de kostenramingen van alle brugdekken zijn materiaalprijzen opgenomen. Daarnaast zijn ook de risico's en onzekerheden aangegeven bij deze kostenramingen. Voornamelijk de materiaalprijs van staal is een grote onzekerheid. De staalprijs fluctueert sterkt waardoor de kosten van het stalen brugdek sterk kunnen variëren. In het onderzoek is de staalprijs van 04-2021 gebruikt, echter wil dit niet zeggen dat deze prijs over een aantal jaar nog hetzelfde is. Het is daarom van belang om kritisch om te gaan met de uitkomst van de kostenramingen.
- Paalfundering bestaat uit prefab geheide betonpalen 320x320mm met paalpuntniveau NAP-18,00m. De gebruikte sonderingen verschillen deels van elkaar. De verschillende sonderingen vermoeden dat de grond lokaal erg grillig kan zijn. Nadeel van deze grillige grond is dat de dragende laag op verschillende diepte kan zitten voor verschillende palen. Wanneer de dragende grond op verschillende dieptes kan zitten, zijn ook verschillende paallengtes benodigd. Omdat de toegepaste palen prefab palen zijn, is het de vraag of dit type paal daadwerkelijk het beste type paal is.

6.2 Aanbevelingen

Op basis van het onderzoeken zijn er een aantal zaken nog niet volledig duidelijk of compleet onderzocht. Deze zaken dienen verder worden uitgezocht, of te worden gecomplementeerd. Tevens zijn er zaken die relevant zijn voor het project maar buiten de scope van dit onderzoek vallen. Alle deze zaken en aandachtspunten worden hieronder beschreven.

- Beheer- en onderhoudskosten berekenen, in dit onderzoek is alleen gekeken naar het type en hoeveelheid beheer en onderhoud. Verder is er niet onderzocht wat de exacte kosten zijn van de beheer en onderhoud werkzaamheden. Om alle varianten exacter op kosten met elkaar te vergelijken dienen de beheer- en onderhoudskosten meegenomen te worden. Deze beheer- en onderhoudskosten dienen daarom nader berekend te worden.
- Nadere detaillering van het voorgespannen beton brugdek, in het onderzoek is gekeken naar de economische toepasbaarheid van verschillende typen voorgespannen liggers. Op basis hiervan is het ontwerp gemaakt van het voorgespannen beton brugdek. Echter is dit brugdek niet volledig doorgerekend en dienen hier zaken nog nader te worden bepaald. Om de exacte detaillering en berekeningen van het betonnen brugdek in beeld te krijgen dient hier nader onderzoek naar gedaan te worden.
- Nadere detaillering/optimalisatie van het stalen brugdek, in het onderzoek is de Dokbrug als referentie gebruikt. Deze stalen brug heeft ongeveer dezelfde afmetingen en voldoet aan de nieuwste eisen. De afmetingen zijn gebruikt als referentie, echter is er wellicht nog een andere opbouw van het stalen brugdek waarbij h.o.h. afstanden van de dwars- en/of hoofdliggers waarbij het stalen brugdek geoptimaliseerd kan worden. Daarnaast is het stalen brugdek doorgerekend op sterkte van de doorsnede, vervorming en kipstabiliteit. Echter zijn de details van de verbindingen niet volledig doorgerekend. Om de exacte detaillering en berekeningen van het stalen brugdek in beeld te krijgen is nader onderzoek benodigd.
- Nader onderzoek naar het composiet brugdek, in het onderzoek zijn stijfheidsberekeningen gemaakt van het composiet dek. Deze stijfheidsberekeningen hebben de afmetingen van de doorsnede bepaald. De sterkte berekeningen van het composiet brugdek zijn niet uitgevoerd

omdat deze zeer complex zijn en doorgaans niet maatgevend. Om de exacte detaillering en berekeningen van het composiet in beeld te krijgen dient nader onderzoek gedaan te worden.

- In het onderzoek is het wegprofiel bepaald aan de hand van HIOR en de CROW ASVV 2012, aan de hand hiervan is een wegprofielbreedte (brugdekbreedte) bepaald. Wellicht zijn er nog optimalisaties mogelijk in dit wegprofiel. Het onderzoek heeft zich niet tot in detail gericht op deze optimalisaties. Wanneer de breedte van het brugdek volledig tot een minimum geoptimaliseerd dient te worden is extra nader onderzoek benodigd.
- De waterkerende constructie is in dit onderzoek niet beschouwd omdat deze buiten de scope valt. Deze waterkerende constructie dient nog te worden ontworpen, wanneer het project wordt uitgevoerd. Er dient dus nader onderzoek gedaan te worden naar de waterkerende constructie.
- Ondergrondse infra is niet volledig in kaart gebracht in het onderzoek. Zo ligt er lokaal nog een areaal aan kabels en leidingen in de grond. Hier dient nader onderzoek naar gedaan te worden, wellicht is dit bepalend voor de positionering van de Langewegbrug.

Bibliografie

- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2020, maart 03). *Wat is duurzaamheid*. Opgehaald van <https://www.cbs.nl/nl-nl/faq/specifiek/wat-is-duurzaamheid->
- Duurzaam GWW. (2018, juni 12). *DuboCalc*. Opgehaald van <https://www.duurzaamgww.nl/dubocalc/>
- Gemeente Moerdijk. (2009, december 01). *De strategische vise Moerdijk 2030*. Opgehaald van https://www.moerdijk.nl/Docs/100954_De%20strategische%20visie%20voor%20Moerdijk%202030.pdf
- Gemeente Moerdijk. (2017, november 02). *Gewijzigde vaststelling bestemmingsplan Noordelijke Randweg Zevenbergen*. Opgehaald van https://www.ruimtelijkeplannen.nl/documents/NL.IMRO.1709.NoordelijkeRandweg-BP40/vb_NL.IMRO.1709.NoordelijkeRandweg-BP40.pdf
- Gemeente Moerdijk. (2020, september 2). *Ontwikkeling Noordrand Zevenbergen*. Opgehaald van Gemeente Moerdijk: <https://www.moerdijk.nl/web/mmm-de-9-plannen/Ontwikkeling-Noordrand-Zevenbergen.html>
- Janse, B. (2019, september 27). *Stakeholderanalyse*. Opgehaald van <https://www.toolshero.nl/verandermanagement/stakeholderanalyse/>
- Ministerie van binnenlandse zaken. (2015, april 1). Bestuursovereenkomst Ontwikkeling Grevelingen / Volkerak-Zoommeer. *Staatscourant 2015 nr 8633*, pp. 1-10.
- Ministerie van binnenlandse zaken. (2017, november 21). Bestemmingsplan "Noordelijke Randweg Zevenbergen" Gemeente Moerdijk. *Staatscourant 2017 66343*, p. 1.
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020, september 01). *Uitvoeringsprogramma Circulaire Economie 2020-2023*. Opgehaald van <file:///C:/Users/NLREGI/Downloads/bijlage-1-uitvoeringsprogramma-circulaire-economie-2020-2023.pdf>
- Ommen, J. v. (2019, april 25). *Groen licht voor Noordelijke Randweg Zevenbergen*. Opgehaald van BN de stem: <https://www.bndestem.nl/moerdijk/groen-licht-voor-noordelijke-randweg-zevenbergen~a19f719f/?referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>
- Rijkswaterstaat. (2020, december 10). *DuboCalc*. Opgehaald van <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/zakendoen-met-rijkswaterstaat/inkoopbeleid/duurzaam-inkopen/dubocalc/index.aspx#:~:text=DuboCalc%20is%20een%20rekeninstrument%20dat,tot%20en%20met%20de%20sloop.>
- Scheppers, B. (2009, oktober 1). *Centrum visie Zevenbergen*. Opgehaald van <file:///C:/Users/NLREGI/Downloads/Centrumvisie%20Zevenbergen.%20Ruimte%20voor%20kwaliteit,%20sfeer%20en%20uitstraling.pdf>
- Stuurgroep Zuidwestelijke Delta. (2014, mei 22). *Integrale Voorkeursstrategie van de Stuurgroep Zuidwestelijke Delta*. Opgehaald van https://www.zwdelta.nl/sites/all/files/default/integrale_voorkeursstrategie_zuidwestelijke_delta.pdf

Waterschap Brabantse Delta. (2017, oktober 10). *Projectplan Waterwet Roode vaart door Zevenbergen*. Opgehaald van <https://repository.officiële-overheidspublicaties.nl/externebijlagen/exb-2017-56574/1/bijlage/exb-2017-56574.pdf>

Zwdelta. (2018, maart 3). *Blauwalg in het Volkerak-Zoommeer*. Opgehaald van Zuidwestelijke delta: <https://www.zwdelta.nl/nieuws/blauwalg-in-het-volkerak-zoommeer>