



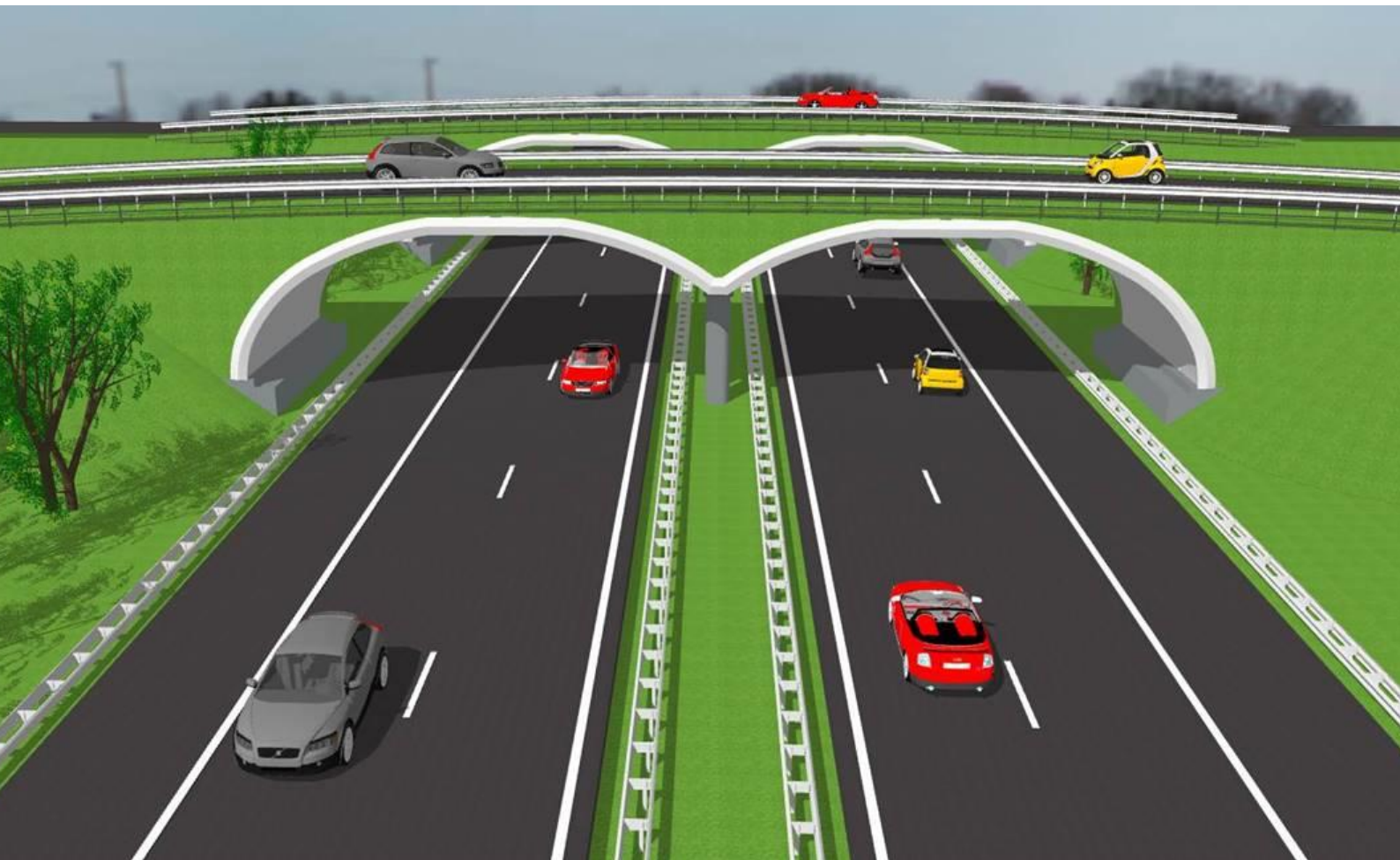
RWS INFORMATIE

Kenmerk: AT/2020/03

Versie 2.0 16-11-2020

EINDRAPPORT FASE 1 - HAALBAARHEIDSONDERZOEK

SBIR Circulaire viaducten



1 MANAGEMENTSAMENVATTING

Onze ontwerpinnovatie biedt een totaaloplossing voor een circulair bouwsysteem voor viaducten. Het systeem bestaat uit een volledig terugwinbare, modulaire boogconstructie en onderbouw. De oplossing is demontabel en herbruikbaar op elementenniveau en heeft een 57% lagere milieu-impact en 58% lagere levensduurkosten ten opzichte van de huidige gevalideerde toepassingen. Het bouwsysteem is een combinatie van gevalideerde, in de markt beschikbare technieken en innovatieve deeloplossingen.

Doelstelling en probleemstelling van het haalbaarheidsonderzoek

Om het totaalconcept mogelijk te maken is een haalbaarheidsonderzoek noodzakelijk. De doelstelling van het haalbaarheidsonderzoek is de validatie van de impact en haalbaarheid op het gebied van milieu-impact (MKI), circulariteit (MCI en LI), levensduurkosten (LCC) en toepasbaarheid in het areaal van Rijkswaterstaat. Het resultaat van dit haalbaarheidsonderzoek is een gevalideerde innovatie op TRL niveau 5. Dit betekent concreet dat de benodigde technologieën voor het prototype werken onder relevante omstandigheden. Ons einddoel van dit SBIR traject is een grootschalig en direct toepasbaar circulair bouwsysteem voor viaducten met lage milieu-impact en lage kosten over de gehele levensduur.

De probleemstelling is geformuleerd in de onderstaande onderzoeksvragen:

1. Hoe maken wij de verbindingen van de modulaire boogconstructie en onderbouw demontabel? Het gaat hierbij specifiek om de volgende verbindingen:
 - a. tussen de elementen van de boogconstructie onderling,
 - b. tussen de elementen van de boogconstructie en het landhoofd,
 - c. tussen de elementen van de boogconstructie en het tussensteunpunt.
2. Hoe maken wij de onderbouw voor een betonnen boogconstructie demontabel en terugwinbaar?

Impact

De ambitie van de Rijksoverheid is: het gebruik van primaire grondstoffen in 2030 met 50% te verminderen; in 2050 dient 100% van de toegepaste materialen hernieuwbaar of gerecycled te zijn. Rijkswaterstaat heeft de ambitie om in 2030 klimaatneutraal en circulair te werken en maximaal bij te dragen aan het terugdringen van de CO₂-uitstoot en materiaalgebruik.

Wij realiseren voor viaducten in het areaal van Rijkswaterstaat een reductie van minimaal 57% van het gebruik van primaire grondstoffen en geven hiermee invulling aan de ambitie voor 2030. In combinatie met andere autonome ontwikkelingen (zoals hoogwaardig hergebruik van vrijkomend beton of geopolymeerbeton) zijn er mogelijkheden om het gebruik van primaire grondstoffen en de milieu-impact verder te reduceren.

Prestatie indicator	Verbetering t.o.v. traditioneel viaduct	Toelichting
Gebruik primaire grondstoffen	56%	Hergebruik van alle bouwdelen op elementenniveau
Milieu kosten indicator (MKI)	57%	Minder en ander materiaalgebruik (efficiëntere krachtsafdracht boogconstructie, geen stootplaten en het toepassen van meer grond en minder staal en beton)
Material Circularity Indicator (MCI)	38%	Hergebruik van alle bouwdelen op elementniveau
Losmaakbaarheidsindex (LI)	79%	Demontabele verbindingen
Life Cycle Costs (LCC)	58%	Geen voegovergangen en oplegblokken
Toepasbaarheid in RWS-areaal	40%	Economisch meest aantrekkelijk alternatief op basis van data-analyse van RWS viaducten

Tabel 1: Prestatie indicatoren voor impact van onze innovatie

Haalbaarheid

Het bouwsysteem bestaat uit een terugwinbare modulaire betonnen boogconstructie en onderbouw. De betonnen boogconstructie zorgt voor een efficiënte krachtsafdracht en maakt stootplaten overbodig. Dit zorgt voor materiaalreductie. Ook zijn geen voegovergangen en oplegblokken benodigd. Dit resulteert in een onderhoudsarm systeem met lage kosten over de gehele levensduur. Ook levert dit een verdere materiaalreductie op en reductie van geluidsoverlast. Alle elementen zijn demontabel en hebben gestandaardiseerde afmetingen en verbindingen. Hierdoor is het systeem herbruikbaar en uitwisselbaar op elementenniveau. De asfaltverharding, hemelwaterafvoer en kabel- en leidingen liggen op en in het grondpakket op de boogconstructie en vormen geen belemmering bij hergebruik van het systeem.

De innovatieve onderdelen die een totaaloplossing voor een circulair bouwsysteem voor viaducten mogelijk maken zijn de demontabele verbindingen van de boogconstructie en de terugwinbare, demontabele onderbouw. Uit het onderzoek tijdens deze haalbaarheidsfase blijkt dat de demontabele verbindingen van de boogconstructie en de terugwinbare onderbouw haalbaar is.

Economisch perspectief

De innovatie is toepasbaar op circa 40% van de viaducten binnen het areaal van Rijkswaterstaat. Wij hebben dit percentage bepaald op basis van een analyse van de aangeleverde dataset gecombineerd met gegevens van overheid.nl. Daarnaast is het systeem breed toepasbaar binnen de arealen van provincies, gemeentes en ProRail. Deze toepasbaarheid is echter moeilijk te kwantificeren, omdat wij niet beschikken over de areaalgegevens van deze beheerders.

Onze innovatie biedt een totaaloplossing met 58% lagere life cycle kosten. De lage kosten over de gehele levensduur zorgt dat het systeem een aantrekkelijke oplossing vormt voor de opdrachtgever. Wij maken het concept beschikbaar voor alle partijen, zonder gebruiksrecht of tegenprestatie (Open licentie). Daarnaast is het succes onafhankelijk van langdurige materiaalontwikkelingen, waarmee de doorontwikkeling en validatie in de periode tot 2022 realistisch is.

De betrokken partijen vullen elkaar aan tot een compleet en integraal team met alle benodigde expertise op het gebied van techniek, duurzaamheid en ondernemerschap. Wij werken schouder aan schouder vanuit één consortium aan één gezamenlijk doel: een maximale reductie van het gebruik van primaire grondstoffen voor viaducten. We houden oog voor nieuwe technieken en ontwikkelingen om het gebruik van primaire grondstoffen verder te reduceren.

Vervolg fase 2: van prototype naar inkoopklare, gevalideerde, circulaire oplossing!

Voor fase 2 voorzien wij een risico- en kansgestuurde aanpak voor de ontwikkeling, het testen en valideren van het prototype van de innovatie. Dit betekent dat wij de middelen voor fase 2 gericht inzetten op de onzekere en te optimaliseren onderdelen van het bouwsysteem. Daarnaast hanteren wij een gefaseerde aanpak voor fase 2. Wij voeren in fase 2a de 'binnen'-activiteiten uit. Hierdoor kunt u op basis van deze tussenresultaten een zorgvuldige afweging maken (Go/No Go moment) om de opdracht te verlengen en te besluiten tot uitvoering van fase 2b met de fysieke 'buiten'-activiteiten. Op deze wijze zorgen wij voor een sluitend validatieproces en realiseren een inkoopklare oplossing voor circulaire viaducten welke herhaaldelijk ingekocht en toegepast kan worden!

INHOUDSOPGAVE

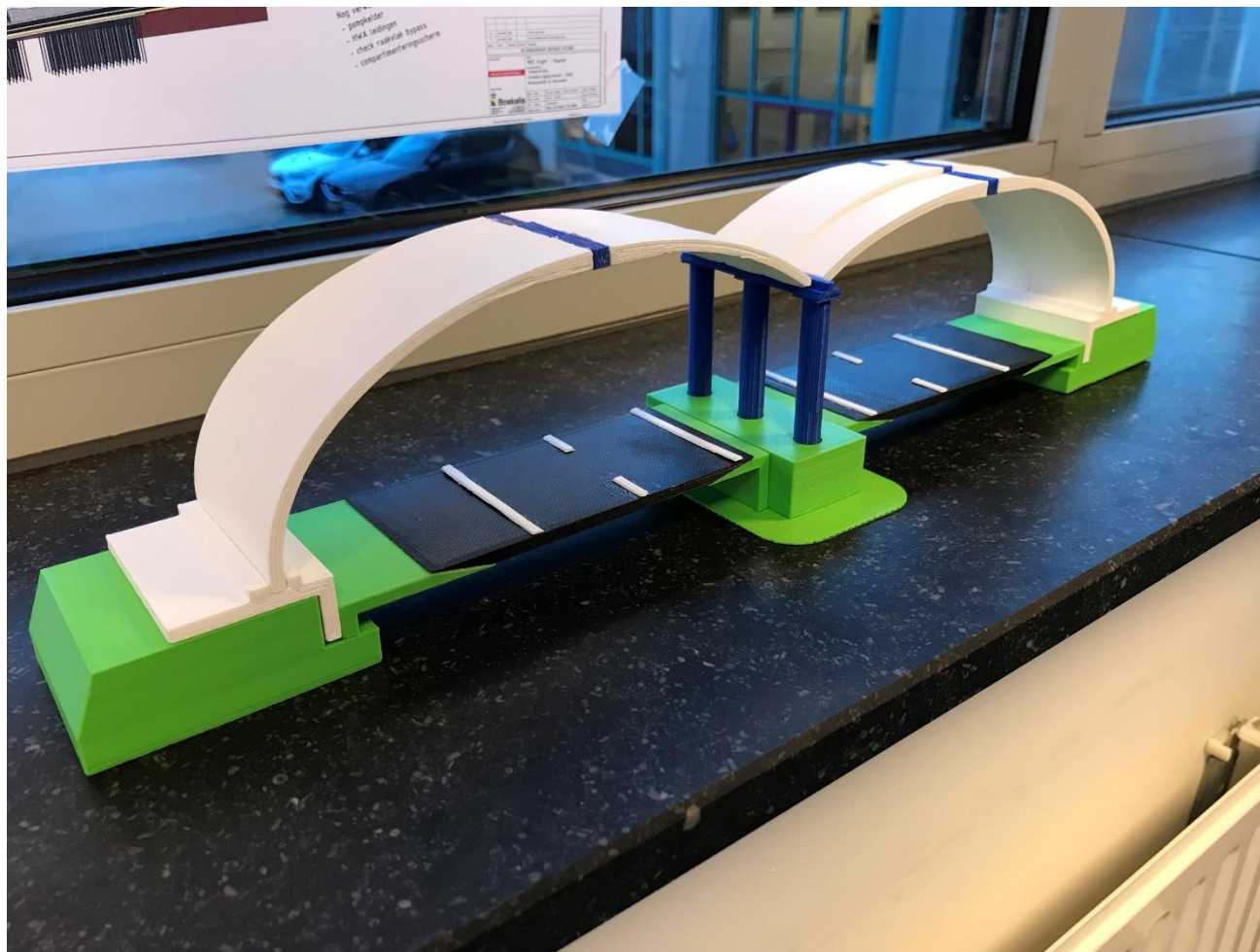
1	Managementsamenvatting	2
2	Uitvoering van het haalbaarheidsonderzoek	5
2.1	Doelstelling, probleemstelling en wijzigingen ten opzichte van het projectvoorstel	5
2.1.1	<i>Doelstelling.....</i>	5
2.1.2	<i>Probleemstelling.....</i>	6
2.1.3	<i>Wijzigingen ten opzichte van het projectvoorstel</i>	6
2.2	Toelichting op de uitvoering van het onderzoek.....	6
2.2.1	<i>Onze projectorganisatie.....</i>	6
2.2.2	<i>De activiteiten die zijn uitgevoerd in fase 1</i>	6
2.2.3	<i>De taakverdeling</i>	7
2.2.4	<i>Reflectie op de samenwerking en taakverdeling.....</i>	7
3	Inhoudelijke bevindingen	8
3.1	Impact.....	8
3.1.1	<i>Uitgangspunten en scenario's voor het bepalen van de impact</i>	9
3.1.2	<i>Onderbouwing milieu-impact (MKI).....</i>	9
3.1.3	<i>Onderbouwing recyclebaarheid en primair materiaal (MCI)</i>	11
3.1.4	<i>Onderbouwing losmaakbaarheid (LI).....</i>	12
3.1.5	<i>Onderbouwing toepasbaarheid</i>	14
3.2	Haalbaarheid	16
3.2.1	<i>Systeembeschrijving.....</i>	16
3.2.2	<i>Eisen en uitgangspunten</i>	16
3.2.3	<i>Varianten afweging.....</i>	17
3.2.4	<i>Systeemspecificatie</i>	21
3.2.5	<i>Raakvlakken</i>	26
3.2.6	<i>Risico's en kansen</i>	26
3.2.7	<i>Validatie.....</i>	27
3.3	Economisch perspectief.....	28
3.3.1	<i>Lifecycle costs (LCC)</i>	28
3.3.2	<i>Direct opschalen binnen D&C met EMVI.....</i>	29
3.3.3	<i>Brede toepasbaarheid binnen en buiten de GWW-sector.....</i>	30
3.3.4	<i>Onze visie op het gebruiksrecht van de innovatie: vrij van gebruiksrecht.....</i>	31
3.3.5	<i>Onze samenwerking als succesfactor voor opschaling.....</i>	31
4	Voorstel voor fase 2	32
5	Begroting fase 2.....	33
6	Colofon.....	34

BIJLAGE 1: Effectiviteitsmeting

BIJLAGE 2: Format 'milieu-impact en circulariteit SBIR CiVi'

2 UITVOERING VAN HET HAALBAARHEIDSONDERZOEK

In dit hoofdstuk beschrijven wij de doelstelling en probleemstelling van het haalbaarheidsonderzoek inclusief wijzigingen ten opzichte van het projectvoorstel. Daarnaast gaan we kort in op onze projectorganisatie, activiteiten, taakverdeling en reflecteren wij op de uitvoering van het haalbaarheidsonderzoek.



Afbeelding 1: Het eerste schaalmodel van onze innovatie

2.1 Doelstelling, probleemstelling en wijzigingen ten opzichte van het projectvoorstel

2.1.1 Doelstelling

De doelstelling van het haalbaarheidsonderzoek is de validatie van de impact en haalbaarheid op het gebied van milieu-impact (MKI), circulariteit (MCI en LI), levensduurkosten (LCC) en toepasbaarheid in het RWS-areaal. Het resultaat is een gevalideerde innovatie op TRL 5: de benodigde technologieën voor het prototype werken onder relevante omstandigheden. Ons einddoel van dit SBIR traject is een grootschalig en direct toepasbaar circulair bouwsysteem voor viaducten met lage milieu-impact en lage kosten over de gehele levensduur.

2.1.2 Probleemstelling

De probleemstelling is geformuleerd in onderstaande onderzoeksvragen:

1. Hoe maken wij de verbindingen van de modulaire boogconstructie en onderbouw demontabel? Het gaat hierbij specifiek om de volgende verbindingen:
 - a. tussen de elementen van de boogconstructie onderling,
 - b. tussen de elementen van de boogconstructie en het landhoofd,
 - c. tussen de elementen van de boogconstructie en het tussensteunpunt.
2. Hoe maken wij de onderbouw voor een betonnen boogconstructie demontabel en terugwinbaar?

2.1.3 Wijzigingen ten opzichte van het projectvoorstel

Wij hebben grotendeels het projectvoorstel gevolgd. Op onderstaande onderdelen hebben wij gekozen voor aanvullingen of aanpassingen in onze aanpak:

- 1) Aanvullend op het projectvoorstel hebben wij een kanseninventarisatie opgesteld voor toekomstige integratie met autonome ontwikkelingen in circulaire materiaaltoepassingen (zoals bijvoorbeeld geopolymeerbeton) en het aangaan van circulaire materiaalstromen buiten de GWW sector om toekomstige potentie voor impact en economisch perspectief verder te onderbouwen.
- 2) Aanvullend op de benoemde verbindingen in de onderzoeksvragen hebben wij demontabele verbindingen voor de onderbouw ontwikkeld.
- 3) De haalbaarheid hebben wij risicogestuurd uitgewerkt en ons gericht op de onzekerheden van de demontabele verbindingen en terugwinbare onderbouw van het bouwsysteem.

2.2 Toelichting op de uitvoering van het onderzoek

2.2.1 Onze projectorganisatie

Wij ontwikkelen onze innovatie vanuit consortium ViCi. ViCi is een samenwerking van Boskalis Nederland, Integraaljagers, ABT en Martens beton. Deze partijen vullen elkaar aan tot een compleet en integraal team met bewezen expertise op het gebied van techniek, duurzaamheid en ondernemerschap. Boskalis brengt als integrale aannemer expertise in op het gebied van civiele constructies, geotechniek, uitvoeringstechniek en duurzaamheid. Vanuit Martens is kennis en ervaring aanwezig met betrekking tot de ontwikkeling, de productie en opschaling van geprefabriceerde betonnen boogconstructies. ABT is specialist op het gebied van het constructief ontwerp van civiele constructies en Life Cycle Cost analyses. Integraaljagers zorgt als aanjager en verbinder voor de integraliteit en de toepasbaarheid van de innovatie.

2.2.2 De activiteiten die zijn uitgevoerd in fase 1

Als onderdeel van het haalbaarheidsonderzoek (fase 1) hebben wij onderstaande activiteiten uitgevoerd.

1. Vastleggen uitgangspunten in het Programma van Eisen (PVE)
 - a. Het bepalen en vastleggen van de uitgangspunten in het PVE.
 - b. Het bespreken van de ontwerp levensduur van 200 jaar met de begeleidingsgroep van Rijkswaterstaat en de betrokken kennisinstellingen aan de hand van de notitie 'ViCi – Circulaire Viaducten RWS | Eis Levensduur 200 jaar – invloed op ontwerp uitgangspunten'.
 - c. Het valideren van het PVE met het begeleidingsteam van Rijkswaterstaat.
2. Het ontwikkelen van demontabele verbindingen voor de betonnen boogconstructie en een demontabele en terugwinbare onderbouw
 - a. Het genereren van varianten in zes brainstormsessies.
 - b. Het afwegen van de varianten en het vaststellen van voorkeursvarianten met behulp van trade off matrices.
 - c. Het valideren van de voorkeursvarianten met het begeleidingsteam van Rijkswaterstaat.
 - d. Het specificeren van de ontwerp oplossingen, het afstemmen en optimaliseren van raakvlakken tussen boven- en onderbouw, het inventariseren van risico's, het verifiëren of de ontwerp oplossingen voldoen aan de eisen en vastleggen in een Integrale ontwerpnota.
3. Het onderzoeken en uitwerken van de analyses ten behoeve van de impact en economisch perspectief
 - a. Het beschouwen van de milieu impact (MKI) op basis van een vergelijking tussen onze innovatie met een traditioneel viaduct aan de hand van een scenario analyse.

- b. Het inventariseren van kansen om onze innovatie te integreren met autonome ontwikkelingen in circulaire materiaaltoepassingen en circulaire materiaalstromen buiten de GWW sector.
 - c. Het beschouwen van de mate van circulariteit en de reductie van het primaire grondstoffengebruik op basis van een vergelijking tussen onze innovatie met een traditioneel viaduct aan de hand van de material circularity indicator (MCI).
 - d. Het beschouwen van de losmaakbaarheid op basis van een vergelijking tussen onze innovatie met een traditioneel viaduct aan de hand van de losmaakbaarheidsindex (LI).
 - e. Het beschouwen van de toepasbaarheid voor de viaducten in het areaal van Rijkswaterstaat en visie op de businesscase.
 - f. Het beschouwen van de life cycle kosten (LCC) op basis van een vergelijking tussen onze innovatie met een traditioneel viaduct aan de hand van een scenario analyse.
4. Het opstellen van het Eindrapport fase 1, waaronder:
 - a. Het uitwerken van het economisch perspectief en het vaststellen van onze omgang met intellectueel eigendom en gebruiksrecht;
 - b. Het vaststellen van onze aanpak voor fase 2 inclusief het opstellen van de bijbehorende kostenbegroting.

2.2.3 De taakverdeling

Wij hebben de projectorganisatie ingericht met een vast kernteam van vier sleutelfunctionarissen: de innovatiemanager (Marc Ensink) is eindverantwoordelijk voor het haalbaarheidsonderzoek en het economisch perspectief, de technisch manager (Martijn Eversdijk) is verantwoordelijk voor de kwaliteit, de integraliteit en de impact van de innovatie, de projectleider demontabele verbindingen (Lode Witteveen) en de projectleider demontabele en terugwinbare onderbouw (Stefan de Jong) zijn verantwoordelijk voor de haalbaarheid en uitvoerbaarheid van de deelinnovaties. Vanuit de achterliggende organisaties betrekken de kernteamleden de benodigde expertise op het gebied van duurzaamheid, constructief ontwerp, geotechniek, productietechniek, uitvoeringstechniek en risicobeheersing. Daarnaast is een stuurgroep aangesteld om het draagvlak en commitment in de achterliggende organisaties te borgen. Voor specialistische productkennis hebben wij partners in de keten betrokken, zoals BEBO op het gebied van betonnen boogelementen, Voets voor gewapende grondconstructies en Huesker voor geotextielen.

Wij werken samen vanuit één gezamenlijk doel volgens ons 'Ronde tafel'-principe. Dit betekent: korte communicatielijnen, het maken van gezamenlijk keuzes om tot een optimale oplossing te komen binnen de randvoorwaarden. Hiervoor gebruiken wij de kennis en kunde van alle teamleden en de achterliggende organisaties.

2.2.4 Reflectie op de samenwerking en taakverdeling

De samenwerking en taakverdeling heeft geresulteerd in het bereiken van de doelstellingen. Gedurende het haalbaarheidsonderzoek hebben wij maandelijks onze samenwerking geëvalueerd en bijgesteld waar nodig. Voorbeelden hiervan zijn het betrekken van specialistische productkennis ten aanzien van geotextielen en gewapende grond en het besteden van extra aandacht aan de integraliteit van ons bouwsysteem.

3 INHOUDELIJKE BEVINDINGEN

Het bouwsysteem is een combinatie van gevalideerde, in de markt beschikbare technieken en innovatieve deeloplossingen. Om het totaalconcept mogelijk te maken is haalbaarheidsonderzoek noodzakelijk in de vorm van doorontwikkeling van de innovatieve deeloplossingen en het nader onderzoeken en uitwerken van de impact, de haalbaarheid en het economisch perspectief. In dit hoofdstuk beschrijven wij de inhoudelijke bevindingen op deze drie aspecten.

3.1 Impact

In deze paragraaf onderbouwen wij de impact van onze innovatie ten opzichte van een traditioneel liggerviaduct met behulp van prestatie indicatoren (zie tabel 2). De milieu-impact kwantificeren wij met de Milieukostenindicator (MKI). Hoe lager de MKI, hoe lager de milieu-impact. De mate van circulariteit kwantificeren wij met de Material Circularity Indicator (MCI) [bron: CB'23] en de Losmaakbaarheidsindex (LI) [bron: Losmaakbaarheid voor GPR gebouw en BREEAM-NL / Alba Concepts]. Tenslotte hebben wij de toepasbaarheid van onze innovatie binnen het areaal van Rijkswaterstaat in beeld gebracht.

Prestatie indicator	Verbetering t.o.v. een traditioneel viaduct	Toelichting
Gebruik primaire grondstoffen	56%	Hergebruik van alle bouwdelen op elementniveau
Milieu kosten indicator (MKI)	57%	Minder en ander materiaalgebruik (efficiëntere krachtsafdracht boogconstructie, geen stootplaten en het toepassen van meer grond en minder staal en beton)
Material Circularity Indicator (MCI)	38%	Hergebruik van alle bouwdelen op elementniveau
Losmaakbaarheidsindex (LI)	79%	Demontabele verbindingen
Life Cycle Costs (LCC)	58%	Geen voegovergangen en oplegblokken
Toepasbaarheid in RWS-areaal	40%	Economisch meest aantrekkelijk alternatief op basis van data-analyse van RWS viaducten

Tabel 2: Prestatie indicatoren voor impact van onze innovatie

De ambitie van de Rijksoverheid is het gebruik van primaire grondstoffen in 2030 met 50% te verminderen; in 2050 dient 100% van de toegepaste materialen hernieuwbaar of gerecycled te zijn. Rijkswaterstaat heeft de ambitie om in 2030 klimaatneutraal en circulair te werken en maximaal bij te dragen aan het terugdringen van de CO₂-uitstoot en materiaalgebruik. Wij realiseren voor viaducten in het areaal van Rijkswaterstaat een reductie van minimaal 56% van het gebruik van primaire grondstoffen en geven hiermee invulling aan de ambitie voor 2030. In combinatie met andere autonome ontwikkelingen zijn er mogelijkheden om het gebruik van primaire grondstoffen en de milieu-impact verder te reduceren.

Kans: integratie van autonome ontwikkelingen in het circulaire viaduct

De integratie van autonome ontwikkelingen in het circulaire viaduct biedt kansen voor de verdere reductie van primaire grondstoffen en de milieu-impact. Hierbij kan gedacht worden aan materiaalinnovaties zoals geopolymeerbeton, waarbij gebruik wordt gemaakt van duurzame cementvervangers. Maar ook slimme breek- en filtertechnieken om ongebonden cement (Freement) uit bestaand beton te halen, zoals de 'Smart Liberator' doet, kunnen een bijdrage gaan leveren aan dit reductieproces. Ook zal de milieu-impact verder worden gereduceerd door een verdere elektrificering van het materieel. De voordelen van deze innovaties zijn generiek en hebben zowel invloed op traditionele liggerviaducten als op onze innovatie. Daarom beschouwen wij deze autonome innovaties

verder niet in ons onderzoek. We zien hierbij wel kansen om deze ontwikkelingen in de toekomst volledig te integreren in onze innovatie.

3.1.1 Uitgangspunten en scenario's voor het bepalen van de impact

Ten behoeve van het bepalen van de impact hebben wij onze innovatie vergeleken met een traditioneel liggerviaduct. Wij hebben deze vergelijking uitgewerkt voor een viaduct van 10 meter breed dat een profiel van 2 rijbanen met 2 rijstroken plus vluchtstrook overspant onder een kruisingshoek van 100 gon (90 graden). Deze situatie komt het meeste voor en is representatief voor het areaal van Rijkswaterstaat. Wij zijn hierbij uitgegaan van een 'slappe' ondergrond met fundering op palen. Hiermee hanteren wij voor de technische haalbaarheid de maatgevende situatie en tonen wij aan dat ons concept bij alle grondslagen toepasbaar is. Ten aanzien van de impact vormt dit een conservatief uitgangspunt: bij toepassing van het bouwsysteem op een draagkrachtige ondergrond zijn geen palen benodigd en zullen de prestaties op MKI, MCI en LCC een verdere verbetering laten zien.

Voor onze innovatie hanteren wij een technische levensduur van 200 jaar. Dit is de maximaal toegestane technische levensduur zoals opgenomen in de SBIR uitvraag. De invulling en haalbaarheid van deze technische levensduur hebben wij uitgewerkt in de opvraagbare notitie 'ViCi – Circulaire Viaducten RWS | Eis Levensduur 200 jaar – invloed op ontwerpuitgangspunten'. Voor het traditioneel liggerviaduct is een technische levensduur aangehouden van 100 jaar conform de eisen uit de ROK.



Afbeelding 2: Impact op basis van vergelijking tussen een traditioneel liggerviaduct en ons circulair viaduct

De prestaties van onze innovatie op de milieu-impact (MKI) en de levenscyclus kosten (LCC) zijn afhankelijk van de functionele levensduur van een viaduct. Om deze afhankelijkheid inzichtelijk te maken hebben wij een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op basis van de scenario's uit tabel 3. De functionele levensduur van 200 jaar (scenario 1) is het meest conservatieve scenario binnen de randvoorwaarden van de SBIR uitvraag. Hierbij is er functioneel geen aanleiding tot aanpassing van het viaduct. Daarnaast hebben wij de impact berekend op basis van een functionele levensduur van 50 jaar. Dit is de gemiddelde levensduur van een viaduct binnen het areaal van Rijkswaterstaat op basis van de 'Datafile DISK tbv SBIR' en vormt daarmee het realistische scenario.

	Onze innovatie (circulair viaduct) Technische levensduur: 200 jaar	Referentie (traditioneel liggerviaduct) Technische levensduur: 100 jaar
Scenario 1: functionele levensduur 200 jaar	geen vervangingen	1x sloop en 1x nieuwbouw
Scenario 2: functionele levensduur 50 jaar	3x demontage en 3x herbouw	3x sloop en 3x nieuwbouw

Tabel 3: Hoofduitgangspunten van scenario 1 (hoofdroplossing) en scenario 2 (gevoeligheidsanalyse)

3.1.2 Onderbouwing milieu-impact (MKI)

De milieu-impact (MKI) hebben wij uitgewerkt in bijlage 2 Format milieu-impact en circulariteit. De MKI wordt bepaald door de hoeveelheid materiaal, de levensduur en de milieuprestatie per eenheid. Hierna volgt een onderbouwing van deze drie parameters voor de referentie en onze innovatie.

Onderbouwing hoeveelheden materiaal

De hoeveelheden voor het circulair viaduct zijn bepaald op basis van onderliggende ontwerpbeschoouwingen. In het hoofdstuk haalbaarheid gaan wij hier verder op in. De gehanteerde hoeveelheden voor het traditionele liggerviaduct zijn bepaald op basis van expert judgement en gecontroleerd aan de hand van referentieprojecten.

Onderbouwing milieuprestatie per eenheid

De milieuprestaties per eenheid die wij hebben aangehouden zijn gebaseerd op de standaardwaarden uit DuboCalc 5.1.1. Een overzicht hiervan is opgenomen in de tab 'SBIR algemene documentatie' van bijlage 2. Voor een eerlijke vergelijking passen we bij de referentie dezelfde soorten materiaal toe als bij onze innovatie. De MKI-waarde voor betonmortel C35/45 is dus voor de innovatie en de referentie gelijk. Verder hanteren wij de default transportafstanden uit DuboCalc en houden ook deze gelijk voor de innovatie en de referentie.

Onderbouwing technische levensduur

Voor het vaststellen van de technische levensduur hebben wij zowel het circulaire viaduct als het traditionele liggerviaduct verdeeld in bovenbouw, onderbouw en afbouw. De bovenbouw omvat grofstoffelijk de hoofdconstructie die de overspanning mogelijk maakt. De onderbouw omvat de hoofdconstructie van de fundatie inclusief paalfundering. Onder de afbouw vallen onder andere grondaanvullingen, wegverhardingsconstructies, dekindelingselementen, bermbeveiling, kabel- en leidingvoorzieningen en hemelwaterafvoorzieningen.

Scenario 1: conservatieve functionele levensduur (200 jaar)

De reductie in milieu-impact (MKI) ten opzichte van de referentie door de technische levensduur van 200 jaar van de hoofdconstructie maximaal uit te nutten komt op 49%. De winst zit met name in de materiaalbesparing doordat het circulaire viaduct niet vervangen hoeft te worden gedurende de functionele levensduur van 200 jaar. Ook gaat onze innovatie efficiënter om met materialen met een hoge milieu-impact: ons concept voor 70% opgebouwd uit grond terwijl de referentie is opgebouwd uit 60% beton.

Scenario 1: Reductie MKI 49%					
Referentie (traditioneel liggerviaduct)			Innovatie ViCi (circulair viaduct)		
Onderdeel	Vervangingen	MKI	Onderdeel	Vervangingen	MKI
Onderbouw	Aanleg, sloop en herbouw	28.309	Onderbouw	Aanleg	16.491
Bovenbouw	Aanleg, sloop en herbouw	35.462	Bovenbouw	Aanleg	10.747
Afbouw	Variabel	53.173	Afbouw	Variabel	32.762
Totale impact over 200 jaar		116.944	Totale impact over 200 jaar		59.999

Tabel 4: MKI scenario 1

Scenario 2: realistische functionele levensduur (50 jaar)

Het hanteren van een realistische functionele levensduur van 50 jaar levert een reductie in milieu-impact van 57% ten opzichte van de referentie. Doordat het circulaire viaduct demontabel is, behoudt het gedurende de gehele technische levensduur van 200 jaar haar waarde. De constructieonderdelen zijn immers steeds opnieuw toepasbaar in een nieuw viaduct. Ten opzichte van de referentie geldt: hoe vaker demontage en herbouw plaatsvindt, hoe groter de reductie in MKI.

Scenario 2: Reductie MKI 57%					
Referentie (traditioneel liggerviaduct)			Innovatie ViCi (circulair viaduct)		
Onderdeel	Vervangingen	MKI	Onderdeel	Vervangingen	MKI
Onderbouw	3x	56.618	Onderbouw	3x	23.895
Bovenbouw	3x	70.079	Bovenbouw	3x	13.677
Afbouw	Variabel	57.157	Afbouw	Variabel	41.862
Totale impact over 200 jaar		183.854	Totale impact over 200 jaar		79.435

Tabel 5: Resultaten MKI berekening scenario 2 op basis van functionele levensduur van 50 jaar

3.1.3 Onderbouwing recyclebaarheid en primair materiaal (MCI)

De MCI is de mate van circulariteit voor een object gezien vanuit het materiaal. Bij een MCI van 0 is het object 0% circulair en bij een waarde van 1 MCI is het materiaal 100% circulair. De MCI wordt (globaal) berekend door de volgende de circulaire impactcategorieën:

- 1) aandeel primair-, hergebruikt- en gerecycled- materiaal bij productie
- 2) aandeel afval-, her-te-gebruiken-, en recyclebaarheid van het materiaal bij sloop.

In onderstaande tabel hebben wij een overzicht gemaakt de toegepaste materialen met bijbehorende MCI-waarde. Per materiaal hebben wij geanalyseerd wat het aandeel (%) in gewicht (kg) is voor zowel de referentie als onze innovatie. Wat opvalt is dat het referentieviaduct voor ruim 60% is opgebouwd uit beton en het circulaire viaduct bestaat uit 70% grond/zand. De MCI van beton is 0,54 tegenover een MCI van 1,00 voor grond/zand. Het circulaire viaduct is verder voor 13% opgebouwd uit menggranulaat dat eveneens een MCI heeft van 1,0. Dat betekent dat het circulaire viaduct voor bijna 75% is opgebouwd uit materialen met een maximale MCI-score van 1,0. Het traditionele viaduct bestaat voor slechts 25% uit materialen met de maximale MCI-waarde van 1,0. De gemiddelde MCI van het circulaire viaduct is 0,94 tegen een waarde van 0,68 voor de referentie.

Materiaal	Referentie (traditioneel liggerviaduct)			Innovatie ViCi (circulair viaduct)		
	Hoeveelheden		Impact	Hoeveelheden		Impact
	Gewicht (kg)	Aandeel gewicht (%)	MCI	Gewicht (kg)	Aandeel gewicht (%)	MCI
Beton	1.703.218	63,54%	0,54	513.360	9,79%	0,54
Staal	138.138	5,15%	0,84	221.366	4,22%	0,84
Grond/Zand	546.750	20,40%	1,00	3.645.000	69,53%	1,00
Asfalt/Bitumen	165.801	6,19%	0,68	165.000	3,15%	0,68
Geotextiel	-	0,00%	0,91	2.304	0,04%	0,91
Menggranulaat	-	0,00%	1,00	695.600	13,27%	1,00
Zandcementstabilisatie	126.000	4,70%	1,00	-	0,00%	1,00
Rubber	611	0,02%	0,98	-	0,00%	0,98
	2.680.518	100,00%	0,68	5.242.630	100%	0,94

Tabel 6: Material Circularity Indicator (MCI)

Een ander belangrijk aspect dat wij uit deze MCI beschouwing kunnen concluderen is dat wij 'efficiënter' omgaan met materialen met een hoge milieu-impact. Dit is te zien aan het aandeel toegepaste hoogwaardig hergebruikte materialen (70%) en het grote aandeel her-te-gebruiken materialen (70%) bij einde levensduur. Dit is in beide gevallen 50% meer dan de referentie. Slechts 13% van het materiaalgebruik komt uit primaire grondstoffen, een reductie van 56% ten opzichte van de referentie. Tot slot is te zien dat er bij einde levensduur nagenoeg geen afval ontstaat bij het hergebruiken of recyclen van de materialen.

	Referentie (traditioneel liggerviaduct)		Innovatie ViCi (circulair viaduct)		
	Hoeveelheden		Hoeveelheden		Impact
Productie	Gewicht (kg)	Aandeel gewicht (%)	Gewicht (kg)	Aandeel gewicht (%)	
Hergebruikt (kg)	596.490	22%	3.694.500	70%	+48%
Gerecycled (kg)	221.926	8%	850.646	16%	+8%
Primair (kg)	1.862.101	69%	697.483	13%	-56%
Einde levensduur					
Herbruikbaar (kg)	546.750	20%	3.645.000	70%	+49%
Recyclebaar (kg)	2.115.277	79%	1.587.963	30%	-49%
Afval (kg)	18.491	0,7%	9.667	0,2%	-0,5%

Tabel 7: Materiaal efficiëntie

3.1.4 Onderbouwing losmaakbaarheid (LI)

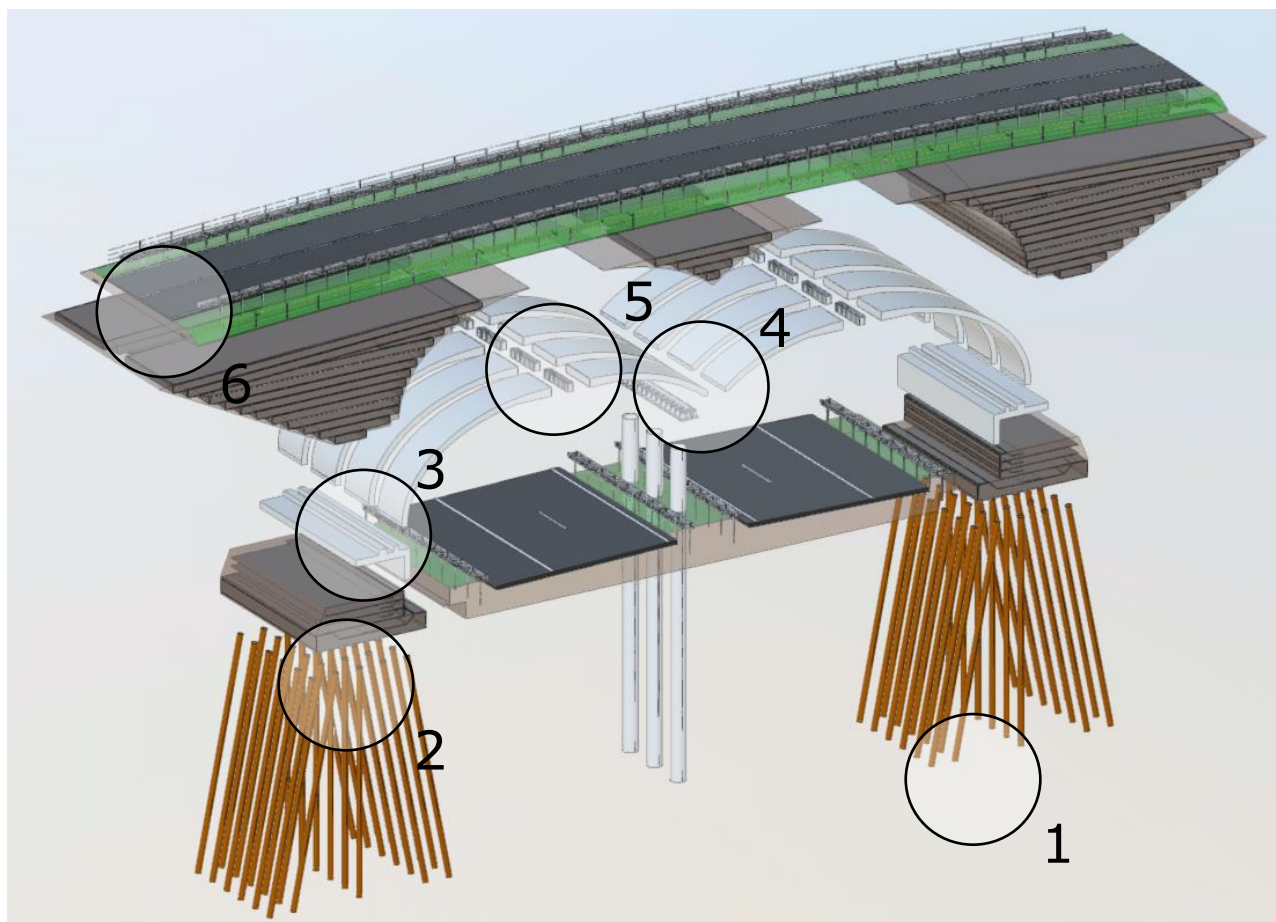
De losmaakbaarheid LI is een mate van circulariteit voor een object gezien vanuit de losmaakbaarheid van de onderlinge elementen. De index is afhankelijk van het type verbinding, de toegankelijkheid van de verbinding de doorkruisingen en de vorminsluiting.

Deze meetmethode is relatief nieuw: er loopt momenteel een traject binnen Rijkswaterstaat om deze meetmethode toepasbaar te maken voor de GWW. De gehanteerde meetmethode is specifiek gericht op gebouwen, maar geeft wel de mogelijkheid de losmaakbaarheid van onze innovatie inzichtelijk te maken.

Om maximaal hergebruik van de constructieonderdelen mogelijk te maken dienen deze demontabel te zijn. Ons concept is aantoonbaar demontabel op zes kritische verbindingen in de constructie (zie afbeelding 3). Deze verbindingen zijn verder toegelicht in paragraaf 3.2.4. De totale losmaakbaarheidsindex van de beschouwde verbindingen van het circulaire viaduct is 77%. Dit is een verbetering van 79% ten opzichte van de referentie.

Detail	Variant	Verbinding	Vorminsluiting	Doorkruisingen	Type verbinding	Toegankelijkheid	LI _n
1	Traditioneel	Prefab betonpaal - Grond	0,1	1,0	1,0	0,1	0,55
	ViCi	Stalen buispaal - Grond	0,1	1,0	1,0	0,6	0,68
2	Traditioneel	Landhoofd - Prefab betonpaal	0,1	0,1	0,1	0,1	0,10
	ViCi	Gewapende grond - Stalen buispaal	0,1	1,0	1,0	0,8	0,73
3	Traditioneel	Prefab ligger - Landhoofd	0,2	1,0	1,0	1,0	0,80
	ViCi	Boogelement - Landhoofd	0,2	1,0	1,0	0,8	0,75
4	Traditioneel	Prefab ligger - Tussensteunpunt	0,2	1,0	1,0	1,0	0,80
	ViCi	Boogelement - Tussensteunpunt	0,2	1,0	1,0	1,0	0,80
5	Traditioneel	Onderlinge verbinding liggers (druklaag)	0,1	0,1	0,1	0,6	0,23
	ViCi	Onderlinge verbinding boogelement (hoedligger)	1,0	1,0	0,8	1,0	0,95
6	Traditioneel	Mantelbuizen - Schampkant	0,1	0,1	0,1	0,1	0,10
	ViCi	Mantelbuizen - Grondberm	0,1	1,0	1,0	0,8	0,73
LI _p	Traditioneel	Losmaakbaarheidsindex van totaal beschouwde specifieke verbindingen					0,43
	ViCi	Losmaakbaarheidsindex van totaal beschouwde specifieke verbindingen					0,77

Tabel 8: Totaaloverzicht losmaakbaarheidsindex (LI) vergelijking op zes kritische knooppunten



Afbeelding 3: Verbindingen waarvan wij de losmaakbaarheid hebben vergeleken met het traditionele liggerviaduct

3.1.5 Onderbouwing toepasbaarheid

De toepasbaarheid, of brede inzetbaarheid, is essentieel omdat de beoogde impact van een circulaire viaduct die beperkt toepasbaar alsnog laag uitvalt. Daarnaast is een bredere toepasbaarheid nodig voor het economische perspectief van het concept. Door opschaling ontstaat een efficiëntere productie en een groter volume van uitwisselbare elementen in omloop, zodat hergebruik mogelijk is. In deze paragraaf onderbouwen wij de toepasbaarheid van ons bouwsysteem.

Methode

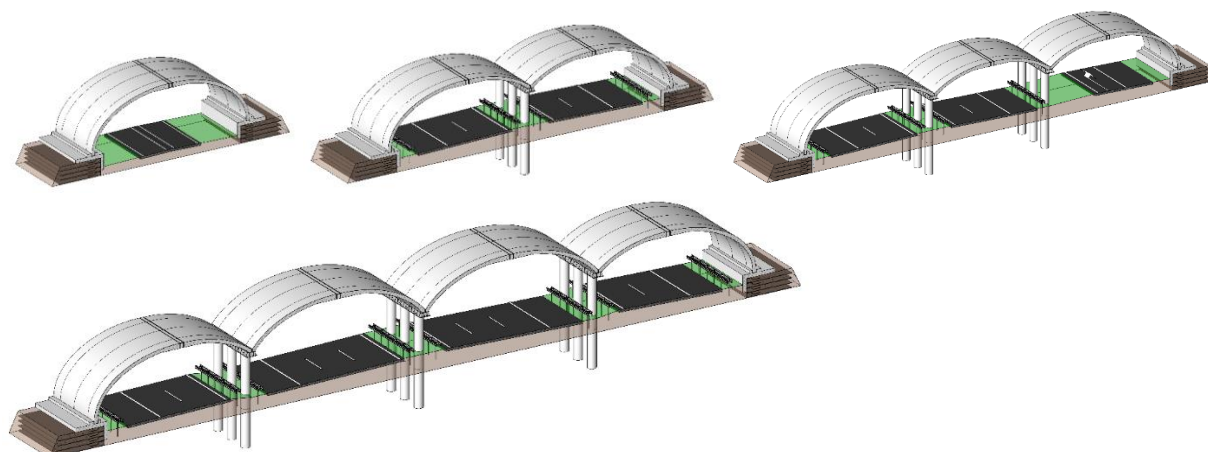
Voor het bepalen van de toepasbaarheid hebben wij eerst onderstaande criteria vastgesteld. Hierbij is ons uitgangspunt om de toepasbaarheid te bepalen waar ons bouwsysteem ook zowel technisch als economisch het meest aantrekkelijke alternatief in de markt is.

- 1) Het bouwsysteem is inzetbaar voor alle belastingklassen (NEN-EN 1991-2). De overdimensionering in het geval van voetgangers en fietsviaducten (met een lagere belastingklasse) is beperkt door efficiënte krachtsafdracht van de boogconstructie en resulteert ten opzichte van een prefab ligger viaduct nog steeds in een reductie van materiaalgebruik.
- 2) Het bouwsysteem is vrij uitbreidbaar dwars op de overspanningsrichting. De breedte van het bovenlangs kruisende profiel vormt geen beperking op het toepassingsgebied.
- 3) Het bouwsysteem is toepasbaar voor overspanningsvelden tot en met 3 rijstroken en één vluchtstrook. Toepassing voor een overspanningsveld over drie rijstroken plus vluchtstrook vergt nog wel een ontwikkelslag ten opzichte van het ontwerp dat als onderdeel van dit haalbaarheidsonderzoek is uitgewerkt (2 rijstroken plus vluchtstrook). De verwachting is echter dat de overspanning over een rijbaan met 3 rijstroken plus vluchtstrook te realiseren is op basis de overspanningslengtes die met het traditionele BEBO systeem haalbaar zijn. Overspanningsvelden voor meer dan 3 rijstroken en vluchtstroken zijn minder geschikt door de extra hoogte voor de boogconstructie ten opzichte van een prefab ligger viaduct.
- 4) Het bouwsysteem is optimaal toepasbaar voor kruisingshoeken van 80 tot 100 gon. Kleinere kruisingshoeken zijn technisch haalbaar, maar leiden tot een breder boogviaduct en extra materiaalgebruik.
- 5) Het bouwsysteem kent door de boogconstructie een grotere hoogte ten opzichte van een plaat- of liggerviaduct. Dit resulteert in een groter ruimtebeslag van de toeleidende hellingbanen. Het exact vaststellen van de inpassingsmogelijkheden is zeer bewerkelijk door de beperkte beschikbaarheid van gegevens en de zeer locatiespecifieke afhankelijkheden. Op basis van casestudies voor het project InnovA58 en de N33 hebben wij hiervoor onderstaande uitgangspunten geformuleerd:
 - a. Voor ongelijkvloerse kruisingen binnen de bebouwde kom is er een beperkte toepasbaarheid van 20% door nabije bebouwing, eigendomsgrenzen en dwangpunten in wegalignmenten.
 - b. Voor de ongelijkvloerse kruisingen in het buitengebied (buiten de bebouwde kom) zijn er minder beperkingen in de inpassing van het viaduct en is de toepasbaarheid 80%.

Vervolgens hebben wij op basis van de gegevens uit onderstaande bronnen het aantal ongelijkvloerse kruisingen binnen het areaal van Rijkswaterstaat bepaald, waar het concept toepasbaar is.

Bron	Eigenaar	Datum
SBIR Circulaire viaducten – Dataset viaducten	Rijkswaterstaat	23-4-2020
Datafile DISK tbv SBIR	Rijkswaterstaat	8-1-2021
Areaalgegevens in GIS omgeving	Rijkswaterstaat	8-2-2021
Open data (www.overheid.nl)	Rijksoverheid	Diverse

Tabel 9: Gebruikte bronnen voor het bepalen van de toepasbaarheid



Afbbeelding 4: Toepasbaarheid in verschillende situaties

Resultaten

Op basis van een data analyse van de areaalgegevens hebben wij per criterium de toepasbaarheid bepaald binnen het huidige areaal van Rijkswaterstaat.

criterium voor toepasbaarheid	Toepasbaarheid	Onderbouwing
Belastingsklasse	100%	Op basis van NEN-EN 1991-2
Breedte bovenlangs kruisend profiel	100%	Geen beperkingen door uitbreidbaarheid in dwarsrichting van de overspanning
Breedte onderlangs kruisend profiel	90%	Onderlangs kruisende rijbanen tot drie rijstroken met vluchtstrook
Kruisingshoek	75%	Kruisingshoeken van 80 tot en met 100 gon
Inpassingsruimte	60%	30% van de ongelijkvloerse kruisingen binnen de bebouwde kom (circa 40% van het totaal); 80% van de ongelijkvloerse kruisingen buiten de bebouwde kom (circa 60% van het totaal).
TOTALE TOEPASBAARHEID BINNEN HET RWS-AREAAL	40%	

Tabel 10: Toepasbaarheid per criterium en in totaal voor het areaal van Rijkswaterstaat

Dit resulteert in een toepassingsgebied van ongeveer 40% van de viaducten binnen het areaal van Rijkswaterstaat. Ook zijn er toepassingsmogelijkheden voor viaducten in Nederland die in beheer zijn bij andere beheerders, zoals ProRail, provincies en gemeentes. Hiervan is minder informatie beschikbaar ten aanzien van de specifieke kenmerken en de samenstelling van de viaducten binnen deze arealen.

Conclusies

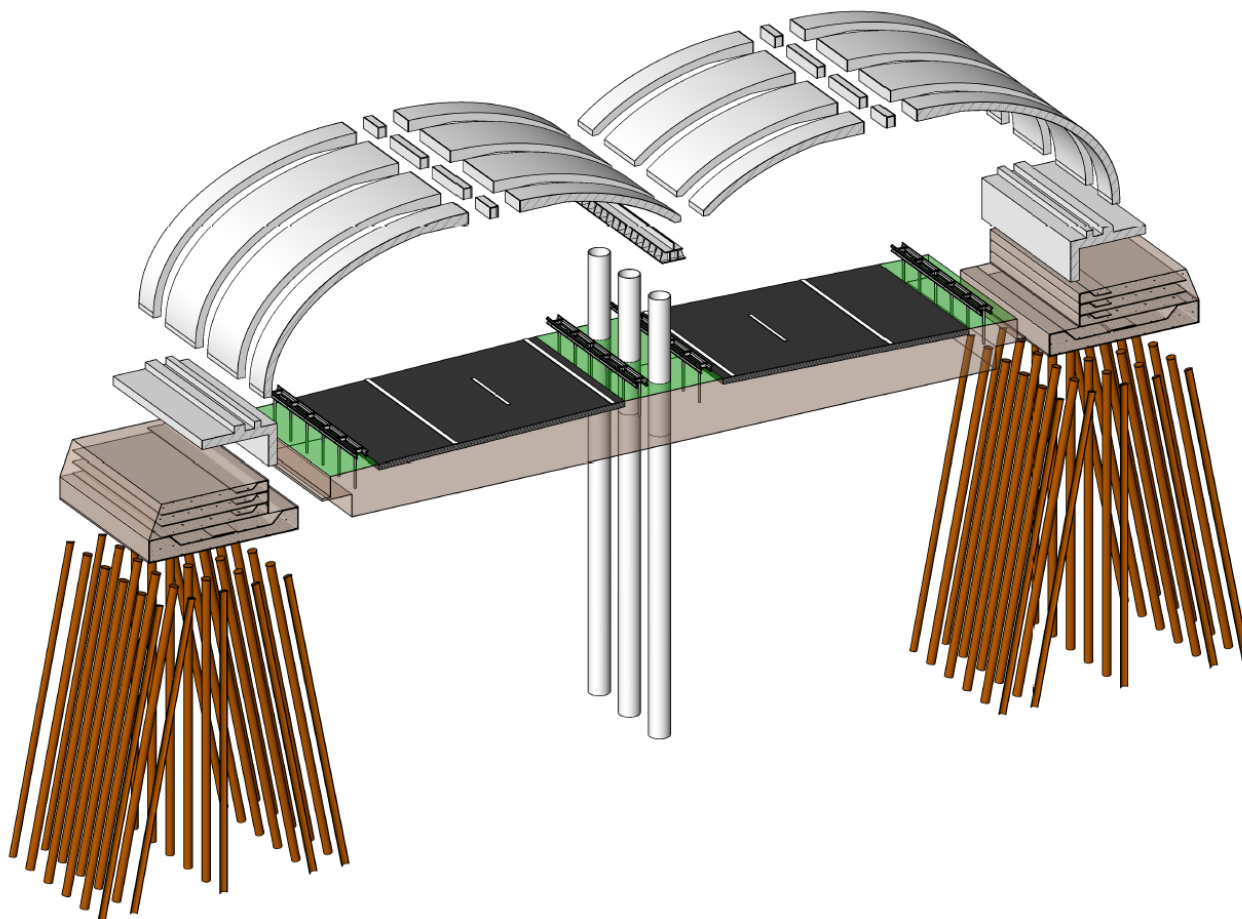
Ons concept voor circulaire viaducten is toepasbaar voor ongeveer 40% van de viaducten binnen het areaal van Rijkswaterstaat. Bij een huidig aantal van 2.760 viaducten binnen het areaal van Rijkswaterstaat levert dit circa 1.100 ongelijkvloerse kruisingen op. Met name voor de viaducten in het buitengebied, waar voldoende ruimte beschikbaar is voor de inpassing, vormt ons bouwsysteem een voordehand liggend alternatief. Bijkomend voordeel bij toepassing in het buitengebied is de ecologische meerwaarde van de bermen van het concept, die als groene verbinding een positieve bijdrage levert aan de ontsnippering van natuurgebieden en het vergroten van de biodiversiteit.

3.2 Haalbaarheid

Het bouwsysteem is een combinatie van gevalideerde, in de markt beschikbare technieken en innovatieve deeloplossingen. Om de haalbaarheid van het modulaire, demontabele viaduct nader te onderzoeken is het ontwerp risicogestuurd uitgewerkt op de innovatieve onderdelen. In dit hoofdstuk beschrijven wij de systeembeschrijving (§3.2.1), de eisen en uitgangspunten (§3.2.2), de variantenafwegingen (§3.2.3), de ontwerpspecificatie (§3.2.4), de raakvlakken (§3.2.5), de risico's en kansen (§3.2.6) en validatie (§3.2.7).

3.2.1 Systeembeschrijving

Het bouwsysteem ViCi betreft een modulaair, demontabel viaduct. In de onderstaande afbeelding zijn de componenten weergegeven. In paragraaf 3.2.4 worden alle componenten nader toegelicht.



Afbeelding 5: Modulair en demontabel bouwsysteem ViCi voor circulaire viaducten

3.2.2 Eisen en uitgangspunten

De eisen en uitgangspunten zijn opgenomen in het opvraagbare document Programma van Eisen ViCi. De eisen en uitgangspunten zijn gebaseerd op de Basisspecificatie Vaste brug van Rijkswaterstaat en de ROK. Deze is aangevuld met specifieke eisen volgend uit het concept van onze innovatie.

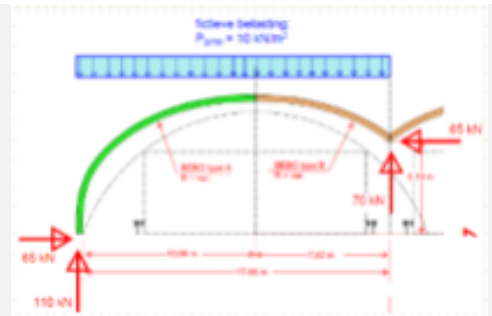
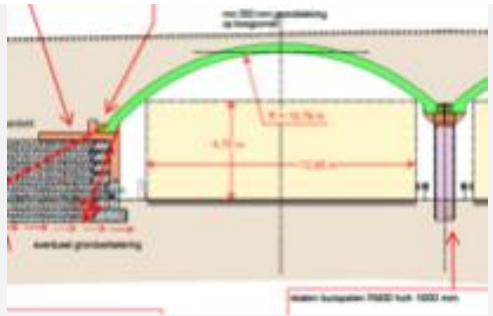
ViCi stelt dat de componenten een ontwerp levensduur kennen van 200 jaar. Om deze levensduur te bereiken zijn aannames gedaan door de belangrijkste ontwerpbelastingen te extrapoleren van 100 naar 200 jaar. Deze aannames zijn vastgelegd in 'ViCi – Circulaire Viaducten RWS | Eis Levensduur 200 jaar – invloed op ontwerputgangspunten'. Deze notitie is tijdens het haalbaarheidsonderzoek met de begeleidingsgroep van Rijkswaterstaat en de kennisinstellingen gevalideerd.

3.2.3 Varianten afweging

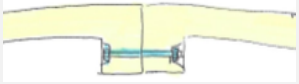
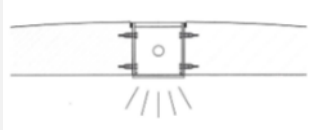
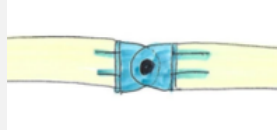
Voor de variantenafweging van het circulaire viaduct hebben wij een aantal brainstormsessies georganiseerd. De kansrijke varianten zijn in een trade-off-matrix tegen elkaar afgewogen op de volgende aspecten:

- Milieu-impact
- Circulariteit
- Losmaakbaarheid (demontabel en herbruikbaar)
- Toepasbaarheid en schaalbaarheid
- Levensduurkosten
- Uitvoerbaarheid
- Beheer en onderhoud
- Risico's

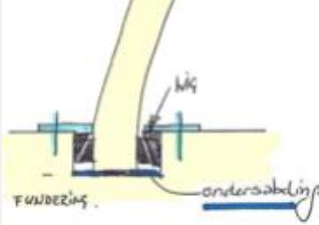
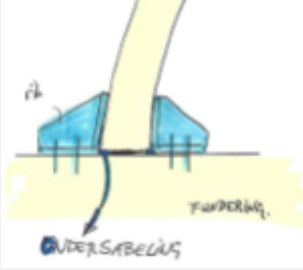
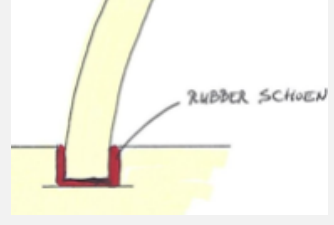
Onderstaand zijn de trade-off-matrices die wij hebben uitgewerkt in een samengevatte vorm opgenomen.

Onderdeel	Variant 1	Variant 2
Totaal concept	Laaggefundeerd landhoofd met tussenpijler	Hooggefundeerd landhoofd met tussenpijler
Geometrie		
Bevindingen	++ Gunstige krachtswerking	-- grote spatkrachten
Keuze	X	

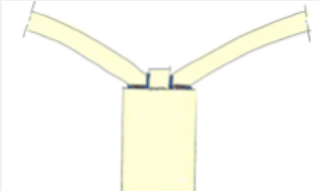
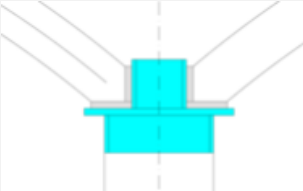
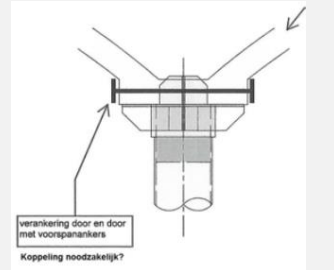
Tabel 11: Trade-off matrix hoog- en laaggelegen landhoofd

Onderdeel	Variant 1	Variant 2	Variant 3
knoopverbinding bovenin	Nok met (voorspan)-boutverbinding	Stalen boxligger	Scharnierkoppeling
Kroonknoop (verbinding tussen twee boogelementen)			
Bevindingen	++ inspecteerbaar -- krachtsoverdracht beperkte capaciteit	++ Robuuste verbinding ++ Inspecteerbaar vanaf onderzijde	--Geen opname moment mogelijk
Keuze		X	

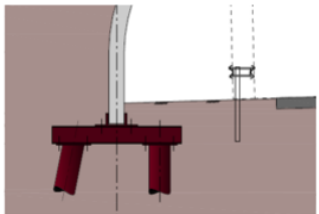
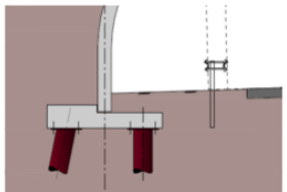
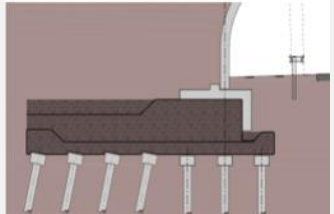
Tabel 12: Trade-off matrix demontabele verbinding tussen boogelementen

Onderdeel	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Landhoofdknoop	Gewigde inklemming	Staalprofiel-inklemming	Rubberschoen
Verbinding tussen boegelementen en landhoofd			
Bevingingen	++ eenvoudige (de)montage (staalprofielen niet nodig) ++ toleranties goed op te vangen	++ toleranties goed op te vangen -- extra onderdelen staalprofielen met verankering	-- vraagt nauwe toleranties -- rubber: levensduur / mki
Keuze	X		

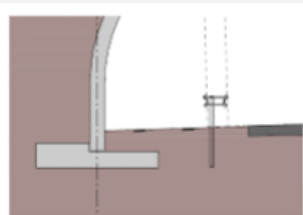
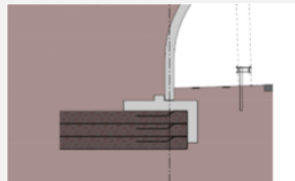
Tabel 13: Trade-off matrix demontabele verbinding landhoofd – boegelement

Onderdeel	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Pijlerknoop	Betonoplegging	Stalen hoedligger	Stalen buispaalkop Stalen cap valt in buispaal
Verbinding tussen boegelementen en tussenpijler			
Bevingingen	++ eenvoudige constructie -- forse betonwand nodig ++ maatvaste constructie	++ uniform, robuust en maatvaste constructie ++ opvang toleranties (paalafwijking) goed op te vangen	-- vraagt nauwe toleranties -- veel onderdelen
Keuze		X	

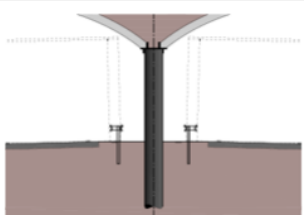
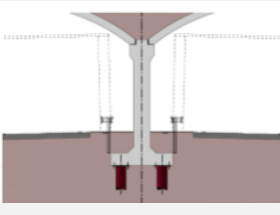
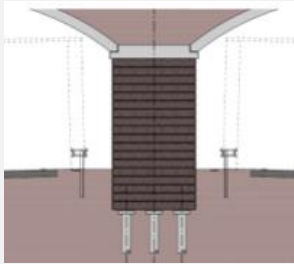
Tabel 14: Trade-off matrix demontabele verbinding tussensteunpunt – boegelement

Onderdeel	Variant 1	Variant 2	Variant 3
Landhoofd	Staalconstructie op buispalen	Betonpoer op buispalen	Beton L-element op paalmatras (stalen buispalen)
Landhoofd fundatie -op palen-			
Bevindingen	-- stalen verbinding onder de grond, niet regulier inspecteerbaar --onzekerheid over levensduur	--verbinding tussen stalen palen en betonpoer is complex en niet eenvoudig inspecteerbaar	++ goede krachtoverdracht via gewapende grond en paalmatras ++ beton L-elementen toepasbaar voor fundatie - op staal- en fundatie - op palen
Keuze			X

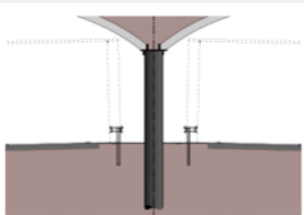
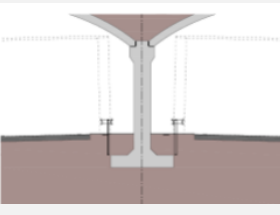
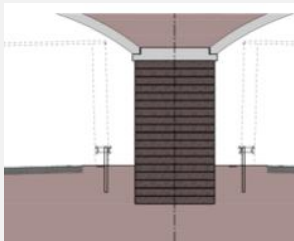
Tabel 15: Trade-off matrix landhoofd weinig draagkrachtige ondergrond

Onderdeel	Variant 1	Variant 2
Landhoofd	Beton fundatie op zand	Beton L-element op gewapende grond
Landhoofd fundatie -op staal-		
Bevindingen	-- groot oppervlak poer nodig --hoge eisen aan draagkracht ondergrond	++ goede krachtoverdracht via gewapende grond ++ beton L-elementen toepasbaar voor fundatie -op staal- en fundatie - op palen
Keuze		X

Tabel 16: Trade-off matrix landhoofd draagkrachtige ondergrond

Onderdeel	Variant 1	Variant 2	Variant 3
Tussenpijler	Stalen buispalen met hoedligger	Beton wand/poer op buispalen	Beton fundatie op gewapende grondconstructie op paalmatras met stalen buispalen
Fundatie -op palen-			
Bevingingen	++ slanke en sterke constructie	--zware betonconstructie nodig --verbinding tussen stalen palen en betonpoer is complex	++ goede krachtoverdracht via gewapende grond en paalmatras --alleen bij brede middenberm toepasbaar
Keuze	X		(X) bij brede middenberm

Tabel 17: Trade-off matrix tussensteunpunt weinig draagkrachtige ondergrond

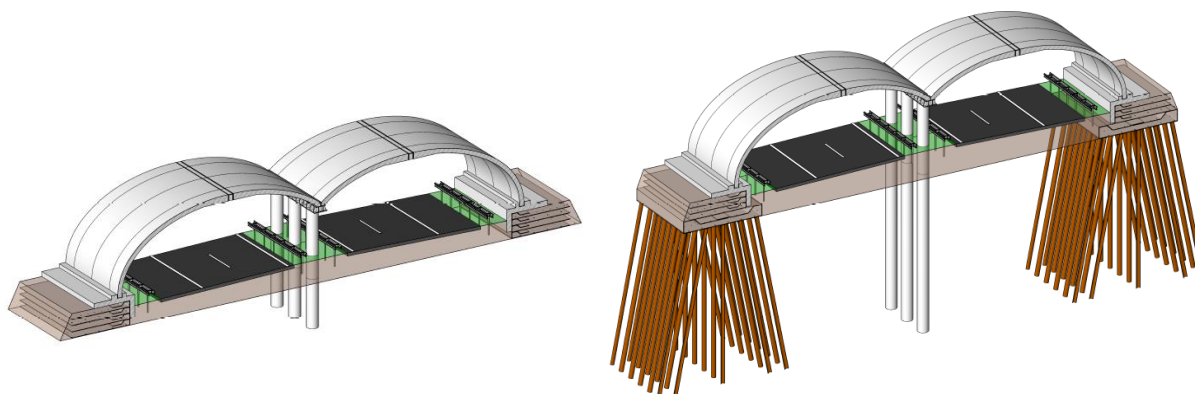
Onderdeel	Variant 1	Variant 2	Variant 3
Tussenpijler	Stalen buispalen (kort) met hoedligger	Beton wand/poer op zand	Beton fundatie op gewapende grondconstructie
Landhoofd fundatie -op staal-			
Bevingingen	++ slanke constructie	--zware betonconstructie nodig	++ goede krachtoverdracht via gewapende grond --alleen bij brede middenberm toepasbaar
Keuze	X		(X) bij brede middenberm

Tabel 18: Trade-off matrix tussensteunpunt draagkrachtige ondergrond

De gekozen variant is een viaduct dat in segmenten 100% losmaakbaar en herbruikbaar is. In combinatie met een ontwerplevensduur van 200 jaar en een grote mate van toepasbaarheid een ideale invulling voor de SBIR-uitvraag Circulaire Viaducten. In vergelijking met een traditioneel viaduct is minimaal onderhoud vereist. Dit komt mede doordat onderhoudsgevoelige onderdelen zoals voegovergangen, oplegblokken en stootplaten niet nodig zijn.

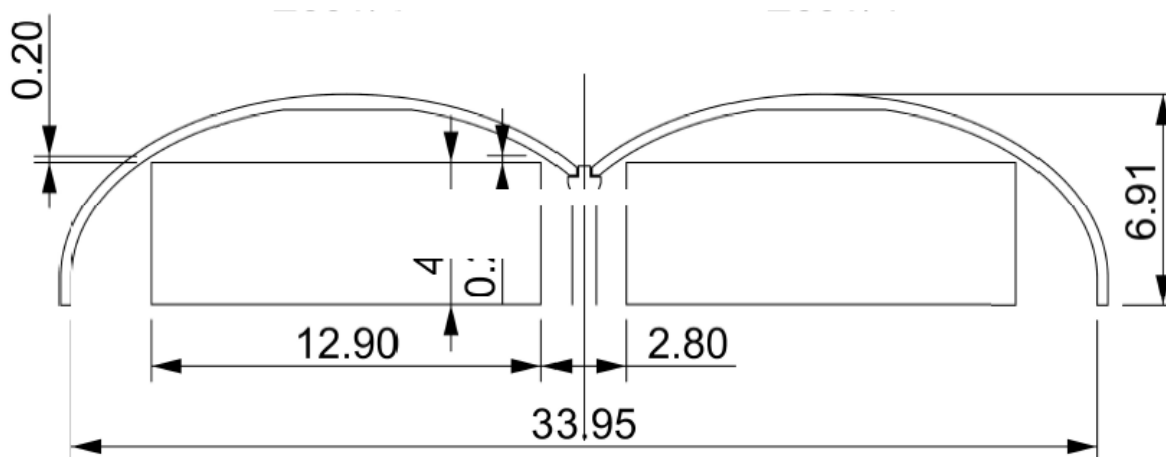
3.2.4 Systemspecificatie

Het ontwerp van het ViCi betreft een modulair, demontabel viaduct. Het systeem is geschikt voor zowel 'slappe' als draagkrachtige ondergrond. Bij een 'slappe' ondergrond worden de landhoofden gefundeerd op een paalmatras, met daarop een ophoging van gewapende grond. Bij een draagkrachtige ondergrond bestaat de landhoofdrundering uit enkel een ophoging van gewapende grond. Ons concept is toepasbaar voor elke grondgesteldheid. Daarmee geven we invulling aan de vraag naar een zo breed mogelijke toepasbaarheid. Op de gewapende grond wordt een prefab beton element geplaatst welke de betonnen boogelementen opsluit. Het tussensteunpunt bestaat uit stalen buispalen, ongeacht de grondgesteldheid. Een stalen hoedlijger vormt de verbinding tussen de buispalen en de gebogen betonelementen. De boogelementen worden onderling aan elkaar verbonden doormiddel van een stalen kroonknoop. In deze paragraaf beschrijven wij de verschillende onderdelen en de onderlinge verbindingen.



Afbeelding 6: Toepasbaar op draagkrachtige en 'slappe' ondergrond

Boogelementen



Afbeelding 7: Geometrie boogelementen

Het vertrekpunt van de circulaire boogelementen is de bestaande geometrie van BEBO. Het verschil met de reeds bestaande BEBO-betonbogen is dat de boogelementen ter plaatse van het tussensteunpunt ingekort worden. Daarnaast wordt de verbinding bovenin gerealiseerd door middel van een demontabele stalen knoopverbinding, in plaats van een aan elkaar gestorte 'natte knoop'-verbinding. Elke overspanning bestaat uit een kort en een lang boogdeel. De boogdelen hebben een standaard breedte van 2,5 meter. De lange boogdelen hebben een gewicht van ca 12 ton. De korte boogdelen hebben een gewicht van ca 8 ton. In samenwerking met het Zwitsers bedrijf BEBO Arch International AG ([www. Beboarch.com](http://www.Beboarch.com)) is de boogconstructie gedimensioneerd.

Tussensteunpunt

Als fundatie voor het tussensteunpunt worden stalen buispalen aangebracht tot de draagkrachtige laag. De stalen buispalen hebben een uitwendige diameter van 914 mm en een hart-op-hart-maat van 2,50 meter. De buispalen worden als open stalen buispaal aangebracht tot de draagkrachtige laag. Door de hoge treksterkte van stalen buispalen ten opzichte van betonpalen is het mogelijk de buispaal zonder (onherstelbare) schade uit de grond te trekken. Daarbij zijn stalen buispalen eenvoudig in te korten of op te lengen voor optimaal hergebruik.

Landhoofd

Uit de variantenafweging blijkt dat een laag gefundeerd landhoofd gunstig is om de (spat)krachten vanuit de boogconstructie op te kunnen nemen. Een hoog gefundeerd landhoofd leidt tot grote spatkrachten die factor 2,5 hoger zijn dan het gekozen laaggefundeerde landhoofd. Een belangrijk ander voordeel van een laag gefundeerd landhoofd is de massa van het grondpakket die ervoor zorgt dat (horizontale) spatkrachten opgenomen kunnen worden.

Het landhoofd bestaat uit prefab betonnen L-elementen met een sponning aan de bovenzijde. De elementen worden gefixeerd op een gewapende grond constructie (geotextiel met menggranulaat). De betonnen elementen zijn 2,5 meter breed en wegen 12 ton per stuk. De elementen zijn uitwisselbaar voor landhoofd 'op palen' en landhoofd 'op staal'.

Voor een viaduct 'op palen' wordt een paalmatras op stalen buispalen toegevoegd. De buispalen worden in schoorstand aangebracht voor een optimale overdracht van spatkrachten naar de draagkrachtige laag. Het paalmatras is 1 meter dik en 7 m1 breed en bestaat uit geotextiel Fortrac 600 MDT gevuld met menggranulaat 0/32 conform CUR 226 Paalmatras. De paalfundering bestaat uit stalen buispalen, diameter 356 mm hart op hart 1,50 meter. Op elke buispaal wordt een stalen paalkop gelast ten behoeve van een juiste krachtsoverdracht van paalmatras naar buispalen. Door de hoge treksterkte van stalen buispalen ten opzichte van betonpalen is het mogelijk de buispaal zonder (onherstelbare) schade uit de grond te trekken. Daarbij zijn stalen buispalen eenvoudig in te korten of op te lengen voor optimaal hergebruik. Bij zettingsgevoelige terpen kan het paalmatras verder naar achter worden doorgezet, zodat een gelijkmatige overgang ontstaat tussen grondterp en het maaiveld.

(Gewapende) grondpakket



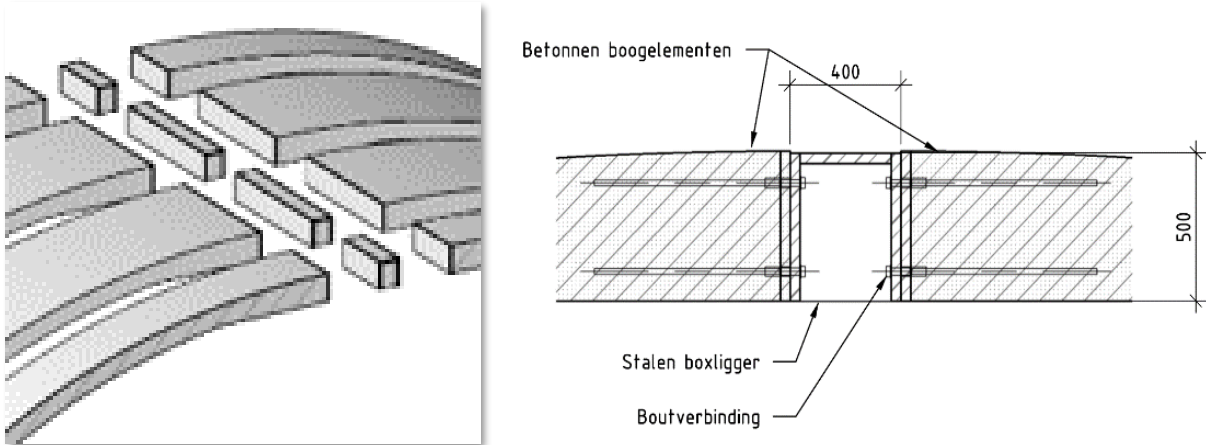
Afbeelding 8: (Gewapende) grondpakket

Aansluitend op het gewapende grondpakket van de landhoofden worden de verticale vleugelwanden ook uitgevoerd in gewapende grond tot aan maaiveldniveau. Deze gewapende grondconstructie bestaat uit geotextiel met doek en wordt gevuld met zand. In het verlengde van de vleugelwanden wordt het grondpakket boven de boogelementen eveneens voorzien van gewapende grond, zodat een verticale

kering ontstaat aan de kopse zijden van de boogconstructie. De boogconstructie krijgt een minimale gronddekking van 600 mm, inclusief wegconstructie.

Het toepassingsgebied van gewapende grondconstructies is de afgelopen jaren toegenomen. Het is een milieuvriendelijk en circulair. De combinatie van sterke geogrids met goed verdicht menggranulaat is een bewezen succesvol alternatief voor gewapend betonconstructies. De gewapende grond constructie is opgebouwd uit 3 lagen van 500 mm, breed 5,0 m1 en bestaat uit geotextiel Fortrac 200 MDT gevuld met menggranulaat.

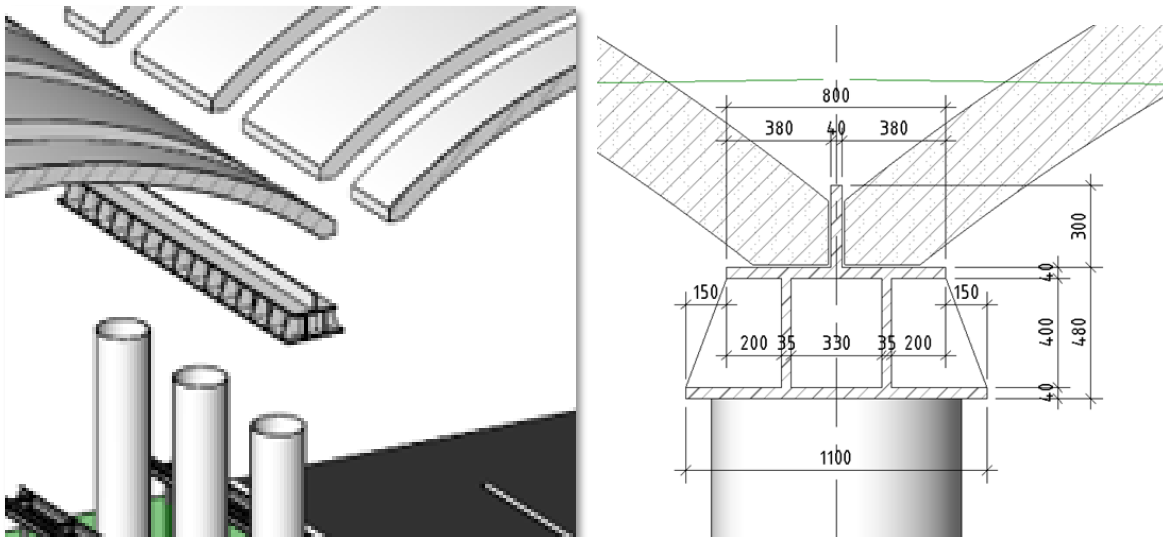
Demontabele verbinding tussen boogelementen



Afbeelding 9: Demontabele verbindingen tussen de boogelementen

De verbinding tussen de boogelementen bestaat uit een stalen boxligger, die middels bouten wordt verankerd aan de kwartbogen. Hierdoor ontstaat er 'een vrij toegankelijke verbinding met toegevoegde materialen'. Door deze verbinding zijn de boogelementen volledig losmaakbaar en maken wij hergebruik mogelijk. Bij montage wordt het 'lange' boogsegment met de voet in de inkassing van de fundering geplaatst en tijdelijk ondersteund. Daarna wordt het tweede 'korte' boogsegment er tegenaan geplaatst en verankerd aan de stalen boxligger. Deze cyclus herhaalt zich voor elke nieuwe ring. In langsrichting van de stalen boxligger wordt de nieuw geplaatste ring met een boutverbinding verankerd aan de eerder geplaatste ring, zodat een starre constructie ontstaat. De stalen boxliggers hebben een standaard lengte van 2,5 meter, gelijk aan de breedte van de boogdelen. Het gewicht van de boxliggers is ca 2 ton.

Demontabele verbinding tussen steunpunt en boogelement



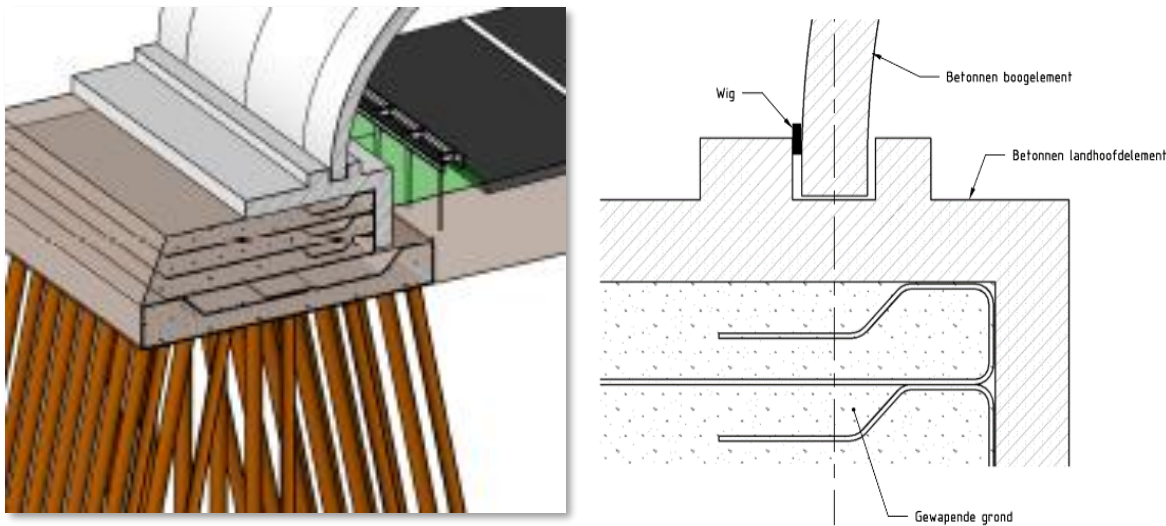
Afbeelding 10: Demontabele verbinding tussen steunpunt - boogelement

De verbinding tussen de boogelementen en de buispalen bestaat uit een stalen hoedligger. De hoedligger is een volledig samengestelde stalen balk die meerdere buispalen overspant. De standaard lengte van de hoedligger is 7,5 meter; het gewicht is ca 7,5 ton. De stalen hoedligger wordt exact in lijn van de boogelementen op de stalen buispalen gelast. De onderzijde van de hoedligger heeft een overmaatse breedte van 1.100 mm. Hierbij is rekening gehouden met een paalafwijking van +/-50 mm, die kan worden opgevangen.

Tijdens het haalbaarheidsonderzoek is ook een variant met een boutconstructie beschouwd om de pijlerknoop nog eenvoudiger te kunnen demonteren. Aan deze variant bleken te veel nadelen te zitten. Een boutverbinding wordt substantieel zwaarder dan een gelaste verbinding. Daarnaast is bij die variant alsnog een gelaste kopplaat op de buispaal noodzakelijk en extra benodigde breedte voor een boutverbinding. Ten slotte scoort een boutverbinding minder op beheer en onderhoud. Derhalve hebben wij gekozen voor een robuuste, gelaste verbinding. Voor demontage van de pijlerknoop hoeven enkel de lasverbinding tussen hoedligger en buispalen verwijderd te worden. Vervolgens kan de stalen hoedligger lokaal bijgewerkt worden, zodat deze voor een volgend viaduct ingezet kan worden.

De 'korte' boogdelen worden op en tegen de hoedligger geplaatst. Voor een juiste afdracht van de krachten wordt een drukverdelende voegband aangebracht. Er zijn voorzieningen ingestort om tijdens montage de boogelementen tijdelijk te schoren. Er is geen fysieke koppeling van betonnen boogdelen met de stalen hoedligger. We spreken hier daarom van een droge verbinding.

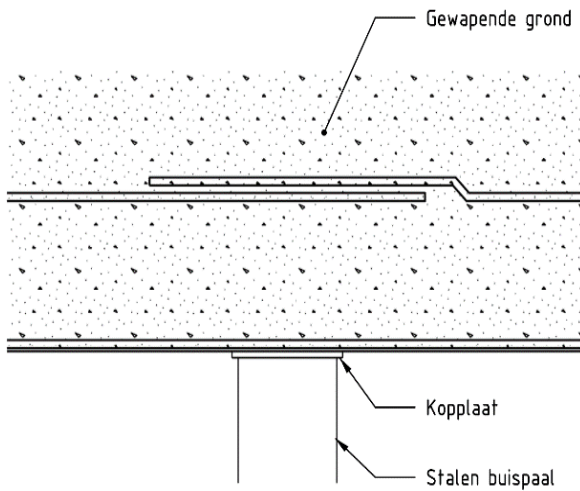
Demontabele verbinding landhoofd en boogelement



Afbeelding 11: Demontabele verbinding boogelementen - landhoofd

De betonnen boogelementen worden met de voet in een sponning geplaatst en middels stalen wiggen ingeklemd. Hierdoor ontstaat een droge verbinding. De boogdelen worden geplaatst op een drukverdelend voegenband waardoor de belastingen gelijkmatig worden overgebracht op de onderbouw. De losmaakbaarheid wordt bereikt door de geborgde wiggen te demonteren.

Demontabele verbinding: landhoofd en paalfundering

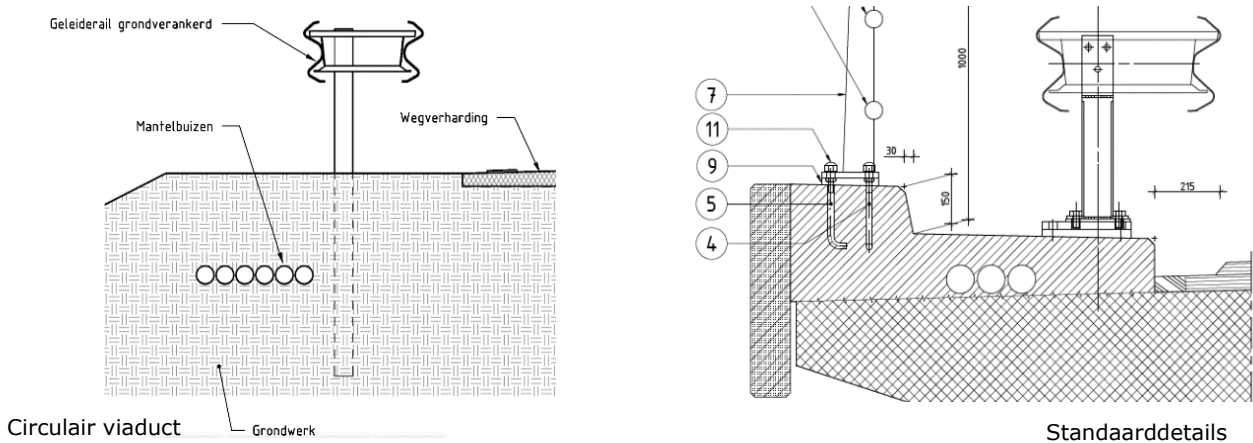


Afbeelding 12: Demontabele verbinding landhoofd en paalfundering

Het landhoofd van het circulair viaduct bestaat uit een gewapende grondconstructie die op de stalen buispalen met kopplaat ligt. In een traditioneel viaduct zitten de paalkoppen ingestort in het betonnen landhoofd. Dit is een hard chemische verbinding die niet losmaakbaar is zonder (herstelbare) schade. De gewapende grondconstructie is een droge verbinding welke 100% losmaakbaar is.

De kopplaat is op de stalen buispalen gelast. Er is gekozen voor lassen in plaats van klemmen of vastbouten omdat een dergelijke verbindingwijze extra materiaal en een minder sterke en duurzame verbinding zou opleveren. Voor hergebruik binnen, of buiten het circulaire viaduct, kan de kopplaat losgeslepen worden van de buispaal. De buispaal kan dan opnieuw aangebracht worden en waar nodig kan er een nieuwe kopplaat op gelast worden.

Demontabele verbinding: dekconstructie en wegverharding, hemelwaterafvoer en mantelbuizen



Afbeelding 13: Volledig losmaakbare verbindingen met wegverharding, hemelwaterafvoer en mantelbuizen

De grondaanvulling op de bovenbouw resulteert in een volledig losmaakbare verbindingen met de wegverharding, de hemelwaterafvoer en mantelbuizen voor kabels en leidingen. Dit geeft een grote mate van flexibiliteit en aanpasbaarheid, maar biedt ook voordelen ten aanzien van beheer en onderhoud. Deze aspecten zorgen voor een zeer gunstige losmaakbaarheidsindex ten opzicht van de traditionele situatie.

3.2.5 Raakvlakken

In onderstaande tabel hebben wij de resultaten opgenomen van onze raakvlakken analyse. We hebben ons beperkt tot specifieke raakvlakken die voor ons concept van belang zijn.

Raakvlak	Omschrijving	Toelichting
Kabels en leidingen	Randvoorwaarden kabels en leidingen in en om het object	Vrij inpasbaar binnen grondpakket met een minimale dikte van 600 mm boven de boogconstructies
Hemelwaterafvoer	Afwatering viaduct	Afwatering naar landhoofden (via infiltratievoorziening natuurlijke afwatering op ondergrond)
Verlichting	Verlichting in en om het object	Bovenlangs vrij inpasbaar Onderlangs: LED verlichting integreren in stalen boxligger
Maattoleranties	Randvoorwaarden maattoleranties uitvoering en montage Afstemming tussen onder- en bovenbouw	Buispaalmisstanden maximaal +/- 50 mm; Landhoofd- en pijleroplegging: uitgangspunten vaststellen op basis van vigerende richtlijnen inzake maximaal toelaatbare maatafwijkingen
Zetting	Randvoorwaarden zettingen na montage	Grenswaarden verschil- en restzetting onderbouw specificeren op basis van uitgangspunten Bebo Arch
Verkeershinder	Randvoorwaarden verkeershinder	Montage boogelementen uitvoeren tijdens (nacht- en weekendbuitendienststellingen) vergelijkbaar met montage prefab liggers
Ecologie	Randvoorwaarden ecologische verbindingzones	Inpasbaar binnen zijbermen boven de boogconstructies

Tabel 19: Overzicht raakvlakken

3.2.6 Risico's en kansen

In onderstaande tabel hebben wij de resultaten opgenomen van onze risico analyse. Voor elk risico en iedere kans zijn beheersmaatregelen opgenomen. Daarnaast is aangegeven op welke risico's en kansen wij in fase 2 ingaan.

Risico/kans	Beheersmaatregelen	Fase
Risico: geen gevalideerde ontwerpmethodiek voor levensduur van 200 jaar	Verder detailleren ontwerpmethodiek voor levensduur van 200 jaar en validatie met kennisinstellingen en specialisten RWS.	2a
Kans: Toepasbaarheid vergroten door nadere optimalisatie booggeometrie en boogstralen	Wij optimaliseren het bouwsysteem op basis van een parametrisch ontwerpmodel. Dit is een 1:1 digitaal model met alle componenten.	
Risico: Viaduct voldoet niet aan beeldkwaliteit	Betrekken adviseurs RKV vanuit RWS bij ontwikkeling bouwsysteem	
Kans: optimalisatie dimensionering constructie elementen	Wij optimaliseren het bouwsysteem op basis van een parametrisch ontwerpmodel.	2a
Risico: boogconstructie gevoeliger voor verschilzettingen dan voorzien	Wij voeren een scenario analyse uit op de verschilzettingen. Daarnaast realiseren wij een fysiek 1:1 prototype in een gastproject (bijvoorbeeld InnovA58) en valideren de verschilzetting scenario's.	2a/2b
Risico: montage, demontage en remontage zijn minder uitvoerbaar dan voorzien	Wij realiseren een fysiek 1:1 prototype in een gastproject en valideren de werking van het bouwsysteem.	2b

Tabel 20: Overzicht risico's en kansen

3.2.7 Validatie

Als onderdeel van dit haalbaarheidsonderzoek is een realistisch ontwerp gemaakt, dat aantoonbaar voldoet aan de eisen, zoals opgenomen in het programma van eisen. Dit blijkt uit de ontwerprapporten die conform het antwoord op vraag 53 opvraagbaar zijn bij het consortium. Wij hebben de tussenproducten vooruitlopend op de begeleidingsgesprekken ingestuurd en bij de begeleidingscommissie van Rijkswaterstaat en de betrokken kennisinstellingen gevalideerd.

3.3 Economisch perspectief

In deze paragraaf beschrijven wij het economisch perspectief van onze innovatie. Wij onderbouwen de reductie in Lifecycle costs (LCC) van 58% (§3.3.1). Daarnaast geven wij de onderbouwing voor het direct opschalen binnen de huidige inkoopmodellen in de GWW-sector (§3.3.2). Vervolgens beschrijven wij toekomstige toepassingsmogelijkheden buiten de GWW-sector (§3.3.3), waarmee wij het economisch perspectief vergroten en aannemelijk maken dat de vrijkomende elementen ook bij wijzigingen in mobiliteitssystemen hergebruikt worden. Wij lichten onze visie toe voor het gebruiksrecht op basis van Open Licentie (§3.3.4) en onze samenwerking als succesfactor voor het opschalen van de innovatie in de markt (§3.3.5).

3.3.1 Lifecycle costs (LCC)

Ter onderbouwing van het economisch perspectief van ViCi's Circulaire en demontabele viaduct zijn LCC (Life-cycle cost) berekeningen uitgevoerd. In de berekeningen wordt het circulaire viaduct vergeleken met een traditioneel liggerviaduct. Om inzicht te krijgen in de impact op levensduurkosten zijn dezelfde uitgangspunten en scenario's gehanteerd als voor de MKI berekening. Deze zijn beschreven in paragraaf 3.1.1.

In de LCC berekeningen is gekeken naar aanlegkosten, onderhoudskosten, sloopkosten, ontmantelkosten en herbouwkosten. De LCC kosten zijn globaal berekend op basis van materiaalprijzen. Kosten voor wegfazettingen, omleidingen, opslagen en ontwerpkosten zijn hierin niet meegenomen.

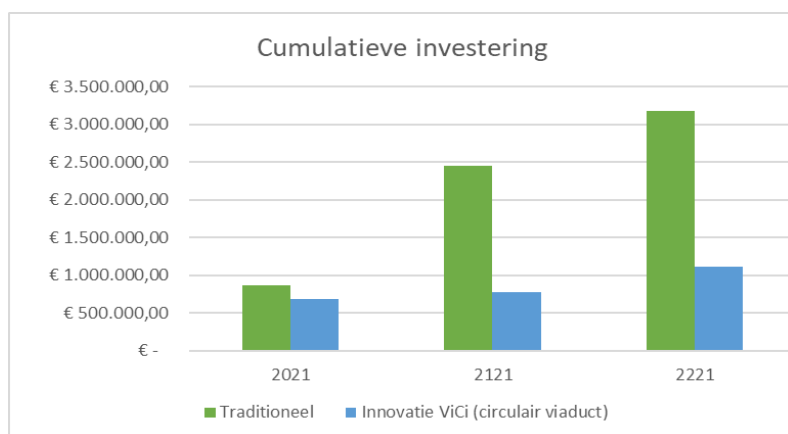
Scenario 1: conservatieve functionele levensduur (200 jaar)

Bij een maximale technische functionele levensduur van 200 jaar zijn de voordelen voor het kiezen van het circulaire viaduct het grootst: een reductie van 68% ten opzichte van de referentie. Door de lange levensduur wordt er op twee tijdstippen een echte investering gedaan namelijk bij bouw en bij sloop. Het traditionele viaduct zal gedurende deze lange levensduur tussentijds éénmaal extra gesloopt en herbouwd te worden. Daarnaast zijn er extra onderhoudskosten gedurende de levensduur welke niet in het circulair viaduct aanwezig zijn zoals stootplaten, oplegblokken en voegen.

In de tabel hieronder zijn de verschillen weergegeven en de grafiek toont de cumulatieve kosten gedurende de levensduur.

Scenario 1: Reductie LCC met 68%					
Referentie (traditioneel liggerviaduct)			Innovatie ViCi (circulair viaduct)		
Onderdeel	Vervangingen	LCC	Onderdeel	Vervangingen	LCC
Onderbouw	1x	€ 1.455.800,-	Onderbouw	0x	€ 459.400,-
Bovenbouw	1x	€ 1.187.400,-	Bovenbouw	0x	€ 360.300,-
Afbouw	variabel	€ 737.300,-	Afbouw	variabel	€ 267.700,-
Totale impact over 200 jaar		€ 3.380.500,-			€ 1.087.400,-

Tabel 21: LCC vergelijking scenario 1



Afbeelding 14: Cumulatieve investering scenario 1

Scenario 2: realistische functionele levensduur (50 jaar)

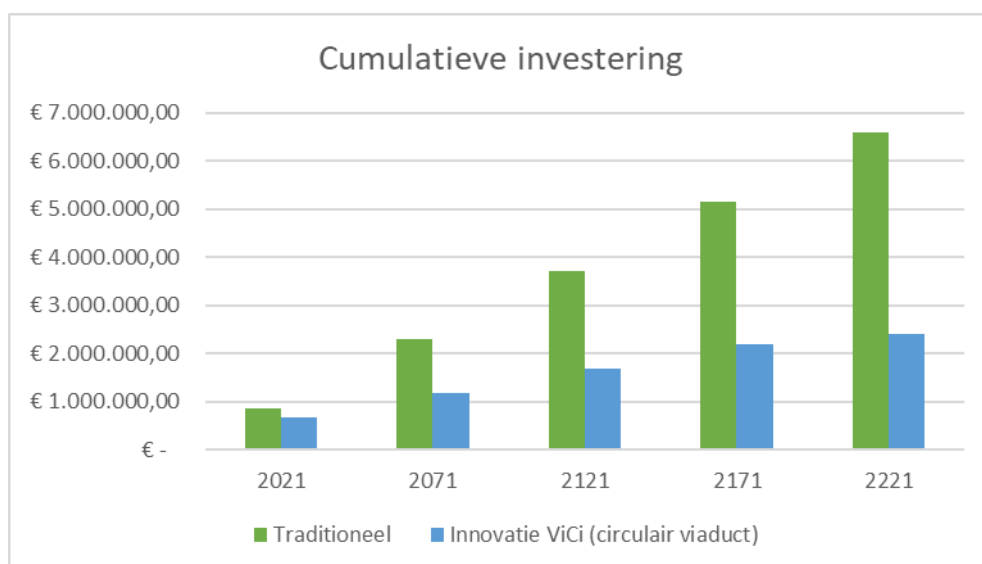
Viaducten behalen geregeld niet hun technische levensduur en zijn al vaak eerder niet functioneel meer. Om een realistisch beeld te geven van de life cycle kosten gedurende de gehele levensduur van 200 jaar, is onderstaand scenario uitgewerkt waarbij de viaducten na ongeveer 50 jaar levensduur worden gedemonteerd of gesloopt en herbouwd.

Aangezien het circulair viaduct demontabel is en een hoge ontwerplevensduur heeft kan deze worden gedemonteerd en ergens anders worden opgebouwd. Hierbij zijn de kosten significant lager dan het slopen en nieuw opbouwen van een viaduct waarbij nieuwe materialen aangeschaft dienen te worden. Extra werkzaamheden zijn wel het controleren van de stalen onderdelen en het zonodig voorzien van een nieuwe coating. Het geheel resulteert in een LCC besparing van 58%.

In de tabel hieronder zijn de verschillen weergegeven en de grafiek toont de cumulatieve kosten gedurende de levensduur.

Scenario 2: Reductie LCC met 58%					
Referentie (traditioneel liggerviaduct)			Innovatie ViCi (circulair viaduct)		
Onderdeel	Vervangingen	LCC	Onderdeel	Vervangingen	LCC
Onderbouw	3x	€ 2.911.600,-	Onderbouw	3x	€ 1.235.200,-
Bovenbouw	3x	€ 2.093.100,-	Bovenbouw	3x	€ 1.070.100,-
Afbouw	variabel	€ 1.172.100,-	Afbouw	variabel	€ 279.100,-
Totale impact over 200 jaar		€ 6.176.800,-			€ 2.584.400,-

Tabel 22: LCC vergelijking scenario 2



Afbeelding 15: Cumulatieve investering scenario 2

Onze innovatie biedt een totaaloplossing met een 58% lagere life cycle kosten. De lage kosten over de gehele levensduur zorgt dat het systeem een aantrekkelijke oplossing vormt voor de opdrachtgever.

3.3.2 Direct opschalen binnen D&C met EMVI

De lage LCC van ons circulaire bouwsysteem ten opzichte van de bestaande plaat/liggerviaducten zorgt dat we de innovatie kunnen opschalen binnen de huidige inkoopmodellen van Rijkswaterstaat (Design&construct met EMVI). Wij zijn hierbij dus niet afhankelijk van alternatieve modellen zoals Viaduct-as-a-Service, DBFM, alliantie of koop-/terugkoop. Het inbrengen van EMVI criteria op het gebied van circulariteit, milieu-impact en LCC zorgt voor een verdere versnelling bij het opgeschaald en een breder toepassingsgebied, waarvoor het circulaire viaduct als het beste beschikbare alternatief naar voren zal komen.

3.3.3 Brede toepasbaarheid binnen en buiten de GWW-sector

De innovatie is toepasbaar op circa 40% van de viaducten binnen het areaal van Rijkswaterstaat. Wij hebben dit percentage bepaald op basis van een analyse van de aangeleverde dataset gecombineerd met gegevens van overheid.nl (zie paragraaf 3.1.5).

Een belangrijke factor voor het economisch perspectief van het circulaire bouwsysteem is de kans dat de vrijkomende elementen weer een relevante toepassing hebben, zodat deze hergebruikt kunnen worden. Dit zorgt dat de vrijkomende elementen courant zijn en blijven. In dat geval is er een markt met meerdere vragers en aanbieders en hebben de elementen een (hoge) restwaarde.

Over een looptijd van tweehonderd jaar is het geen zekerheid dat het bouwsysteem nog courant zal zijn in de toepassing voor viaducten. Mogelijk ziet over 150 jaar de mobiliteitsbehoefte er heel anders uit of zijn er andere mobiliteitssystemen, waardoor de vraag naar viaducten wegvalt. In deze context is het onmogelijk om zekerheid te bieden op toekomstige relevante toepassingen over een periode van tweehonderd jaar. Wel is het mogelijk om de elementen van het bouwsysteem toepasbaar te maken voor verschillende functionaliteiten en markten. Hierdoor reduceren wij de afhankelijkheid van één specifieke toepassing en maken wij de kans op hergebruik aannemelijk.

Methode

Hiervoor hebben wij alternatieve toepassingsgebieden geïnventariseerd en beoordeeld op de onderstaande criteria.

- 1) De kans dat er gedurende de komende 200 jaar een behoefte blijft.
- 2) Het toepassingsgebied voldoende volume heeft om de vrijkomende elementen te kunnen hergebruiken. Wij zijn hierbij uitgegaan van 40% van de viaducten (circa 1.100 stuks) binnen het areaal van Rijkswaterstaat (conform de beschouwing toepasbaarheid en schaalbaarheid) en een functionele levensduur van 75 jaar (bron: Datasets circulaire viaducten). Dit resulteert in gemiddeld 15 viaducten per jaar vervangen. Per viaduct komt er gemiddeld 1.000 m² aan elementen vrij. Dit zorgt voor een jaarlijks aanbod van 15.000 m² aan elementen.
- 3) Technische haalbaarheid en benodigde aanpassingen.

Resultaten

Onderstaand hebben wij de meest kansrijke alternatieve toepassingsgebieden beschreven.



Afbeelding 16: Woningbouw

Woningbouw

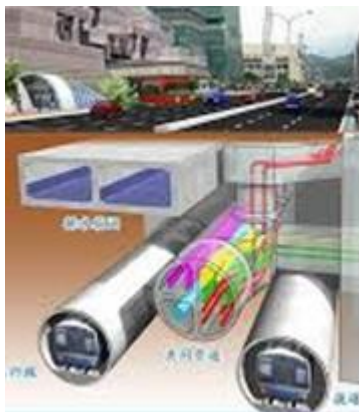
De behoefte aan woonruimte is continu; ook in 2300 zal er behoefte aan woningen zijn. De vrijkomende elementen van een viaduct kunnen hergebruikt worden voor de hoofdconstructie van circa 20 woningen. Bij jaarlijks vrijkomende elementen van 15 viaducten levert dit elementen voor 250 woningen. Gemiddeld worden in Nederland 60.000 woningen per jaar gebouwd (bron: CBS).



Afbeelding 17: Geluidbeperkende constructies

Geluidbeperkende constructies

De behoefte aan geluidbeperkende constructies is gebonden aan de geluidsproductie van de mobiliteitssystemen (weg- en spoorverkeer). Tegelijk is dit wel binnen het areaal van Rijkswaterstaat, zodat er geen afhankelijkheid van derden bestaat voor hergebruik. Rijkswaterstaat heeft circa 5.000.000 m² aan geluidschermen in beheer. Bij een levensduur van 50 jaar levert dit een jaarlijkse vraag van 100.000 m² op.



Afbeelding 18: Integrale landtunnels

Integrale landtunnelconstructies

De vrijkomende elementen kunnen hergebruikt worden in landtunnelsystemen voor (combinaties van) verkeer, hoogwaardig openbaar vervoer, leidingen en goederentransportsystemen. Dit past in de trend van het opwaarderen van de openbare ruimte in de steden en natuurgebieden door het ondergronds brengen van infrastructurele functies. In de afgelopen tien jaar zijn in Nederland meer dan 10 landtunnels gerealiseerd, waaronder de Leidsche Rijntunnel, Koning Willem-Alexandertunnel en de Gaasperdammertunnel. Bij een gemiddelde lengte van 1,5 km en breedte van 40 meter levert dit een jaarlijkse vraag van 60.000 m² op.



Afbeelding 19: Opslag en parkeervoorzieningen

Opslag- en parkeervoorzieningen

Hierbij kan gedacht worden aan opslag voorzieningen van materialen en materieel, parkeergarages, remises voor openbaar vervoer, hangaren voor kleinere vliegtuigen, opslag van explosieve of chemische stoffen. Voor de parkeerfunctie zijn in Nederland meer dan 200.000 parkeerplaatsen in parkeergarages in gebruik. Dit komt overeen met circa 4.000.000 m² aan parkeeroppervlakte. Bij een levensduur van 40 jaar levert dit een jaarlijkse vraag van 100.000 m² op.

Conclusies en aanbevelingen

Naast de toepassing als viaduct zijn er ook mogelijkheden voor toepassing van de herbruikbare elementen voor woningen, geluidbeperkende constructies, landtunnelconstructies en opslag- en parkeervoorzieningen. Op basis van de jaarlijkse vraag in de beschreven toepassingsgebieden is de kans dat de vrijkomende elementen uit viaducten een relevante toepassing vinden aannemelijk.

Om deze kans op hergebruik verder te vergroten worden onderstaande aanbevelingen gedaan: Het proactief in de markt zetten van de bouwelementen voor woningbouw, geluidbeperkende constructies, landtunnels en opslag- en parkeervoorzieningen. Dit zorgt voor een verdere schaalvergroting, een grotere markt en hogere kans op hergebruik.

3.3.4 Onze visie op het gebruiksrecht van de innovatie: vrij van gebruiksrecht

Wij zien de SBIR uitvraag als een kansrijke mogelijkheid om de totaaloplossing voor circulaire viaducten te ontwikkelen, deze op te schalen in de markt en de investeringen terug te verdienen op basis van een vrij gebruiksrecht voor alle partijen in de markt (Open Licentie). Rijkswaterstaat kan de innovatie na de SBIR gelijk toepassen in projecten. Wij stellen aan iedereen het gebruiksrecht van onze innovatie ter beschikking, zonder tegenprestatie. Hierdoor hebben alle partijen toegang tot het circulaire bouwsysteem en kan de hele sector bijdragen aan opschaling.

3.3.5 Onze samenwerking als succesfactor voor opschaling

De partijen binnen consortium ViCi vullen elkaar aan tot een compleet en integraal team met alle benodigde expertise op het gebied van techniek, duurzaamheid en ondernemerschap. Wij betrekken Rijkswaterstaat, stakeholders, kennis- en ketenpartners. Wij werken schouder aan schouder met één gezamenlijk doel: 50% reductie van het gebruik van primaire grondstoffen voor viaducten in 2030.

4 VOORSTEL VOOR FASE 2

Onze visie op fase 2: gefaseerd en risico- en kansengestuurd

Voor fase 2 voorzien wij een risico- en kansengestuurde aanpak voor de ontwikkeling, het testen en valideren van het prototype van de innovatie. Dit betekent dat wij de middelen voor fase 2 gericht inzetten op de onzekere en te optimaliseren onderdelen van het bouwsysteem. Hierdoor bereiken wij meer diepgang en voorkomen wij verspilling van tijd en geld.

Daarnaast hanteren wij een gefaseerde aanpak voor fase 2. Wij voeren wij fase 2a de relatief goedkope 'binnen'-activiteiten uit. Hierdoor kunt u op basis van deze tussenresultaten een zorgvuldige afweging maken (Go/No Go moment) om de opdracht te verlengen en te besluiten tot uitvoering van fase 2b met de relatief kostbare fysieke 'buiten'-activiteiten.

Test- en validatieplan op hoofdlijnen

In onderstaande tabel hebben wij de risico's en kansen opgenomen op basis van de risicoanalyse uit dit haalbaarheidsonderzoek. Elk risico is voorzien van ontwikkel-, test- en validatieactiviteiten om de onzekerheden weg te nemen. Daarnaast zijn ook de kansen opgenomen met bijbehorende optimalisatie activiteiten om tot een gevalideerd en inkoopklaar circulair bouwsysteem tot stand te brengen.

Risico/kans	Ontwikkel-, test- en validatieactiviteiten	Fase
Risico: geen gevalideerde ontwerpmethodiek voor levensduur van 200 jaar	Verder detailleren ontwerpmethodiek voor levensduur van 200 jaar en validatie met kennisinstellingen en specialisten RWS.	2a
Kans: optimalisatie dimensionering constructie elementen ten behoeve van het vergroten van de toepasbaarheid	Wij optimaliseren het bouwsysteem op basis van een parametrisch ontwerpmodel. Dit is een 1:1 digitaal model met alle componenten.	2a
Risico: boogconstructie gevoeliger voor verschilzettingen dan voorzien	Wij voeren een scenario analyse uit op de verschilzettingen. Daarnaast realiseren wij een fysiek 1:1 prototype in een gastproject (bijvoorbeeld InnovA58) of op een eigen locatie en valideren de verschilzetting scenario's.	2a/2b
Risico: montage, demontage en remontage zijn minder uitvoerbaar dan voorzien	Wij realiseren een fysiek 1:1 prototype in een gastproject (bijvoorbeeld InnovA58) of op een eigen locatie en valideren de werking van het bouwsysteem.	2b

Tabel 23: Test- en validatieplan op hoofdlijnen

Fase 2a: ontwikkelen en testen prototype

Tijdens deze fase optimaliseren wij het bouwsysteem op basis van een parametrisch ontwerpmodel. Dit is een 1:1 digitaal model en bestaat uit alle onderdelen van het bouwsysteem. Tevens doorlopen wij het validatietraject voor het ontwerp kader voor betonnen constructies met een levensduur van 200 jaar.

Fase 2b: valideren prototype

Gedurende deze fase valideren wij de werking van het bouwsysteem op basis van een 1:1 fysiek prototype in het gastproject (InnovA58) of op een eigen locatie. Het fysieke prototype bestaat uit een 5 meter breed viaduct dat een profiel van 2 rijbanen van 2 rijstroken en vluchtstrook overspant. Het viaduct is opgebouwd uit betonnen boogelementen, stalen hoed- en boxliggers, de gewapende grondconstructies, betonnen fundatie elementen en stalen buispalen bij het tussensteunpunt.

5 BEGROTING FASE 2

In dit hoofdstuk is een overzicht van posten opgenomen conform het format van het Eindrapport fase 2. Dit overzicht betreft het deel dat vanuit Rijkswaterstaat geïnvesteerd dient te worden, exclusief de benodigde investering vanuit het consortium (in lijn met het antwoord op vraag 114 uit de Nota van Inlichtingen fase 0).

	<i>Totaal in €</i>	<i>Totaal uren</i>
Kosten van arbeid	€607.438,-	8100
Verbruikte materialen	€260.330,-	
Machines en apparatuur	€86.777,-	
Kosten van arbeid van projectpartners	€61.984,-	830
Kosten derden	€37.190,-	
Overige kosten	€185.950,-	
<i>Totaal exclusief BTW</i>	€1.239.669,-	
Omzetbelasting (laag)	-	
Omzetbelasting (hoog)	€260.331,-	
Omzetbelasting (0%)	-	
<i>Totaal inclusief BTW</i>	€1.500.000,-	

Tabel 24: Begroting fase 2

6 COLOFON

Eindrapport fase 1 Haalbaarheidsonderzoek
SBIR Circulaire viaducten

Opdrachtgever



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Projectteam SBIR Circulaire viaducten
Circulaireviaducten@rws.nl

Aanbieder



Deelnemende partijen aan consortium

- Boskalis Nederland B.V.
- Integraaljagers B.V.
- ABT B.V.
- Martens beton B.V.

Contactpersonen

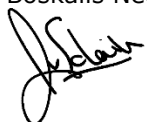
Marc Ensink – Innovatiemanager
Martijn Eversdijk – Technisch manager
Stefan de Jong – Projectleider terugwinbare onderbouw
Lode Witteveen – Projectleider demontabele verbindingen
Miguel Kerkstra – Specialist duurzaamheid
Timo van Beek – Specialist duurzaamheid
Laurens Hooijschuur – Specialist economisch perspectief
Paul Schraven – Specialist LCC
André Speksnijder – Directeur
Arno van Schaik – Directeur projecten
Marc van Laarhoven – Commercieel manager

Begin en einddatum van het project

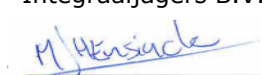
1 oktober 2021 tot en met 16 maart 2021

Ondertekening

Arno van Schaik
Directeur projecten
Boskalis Nederland B.V.



Marc Ensink
Innovatiemanager
Integraaljagers B.V.



André Speksnijder
Directeur
ABT B.V.



Marc van Laarhoven
Commercieel manager
Martens beton B.V.



BIJLAGE 1 BIJ FORMAT SBIR EINDRAPPORT FASE 1

Om de voortgang en effectiviteit van het instrument SBIR te kunnen monitoren voor de opdrachtgevers zijn de volgende vragen opgesteld. Deze vragen zijn gemakshalve gekoppeld aan het eindrapport en zijn daar een integraal onderdeel van.

SBIR-projectnummer: AT/2020/03.

1. Het directe effect van de SBIR opdracht: zonder deze SBIR was dit project:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Ongewijzigd uitgevoerd | <input type="checkbox"/> Later uitgevoerd |
| <input checked="" type="checkbox"/> Niet gestart | <input type="checkbox"/> Uitgevoerd zonder partners |
| <input type="checkbox"/> Kleiner geweest | <input type="checkbox"/> Uitgevoerd met andere partners |

2. Samenwerking en netwerkvorming

2.1 Vul hieronder van elk van uw samenwerkingspartners de gevraagd gegevens in.

Naam samenwerkingspartners	Gevestigd (Land)	in	Deze is bekend/ nieuw voor de organisatie	Soort bedrijf (MKB <250 werknemers of GRB >250 werknemers)	Soort kennisinstelling (Universiteit, HBO, TNO, MBO, etc.)
Boskalis Nederland B.V.	<input checked="" type="checkbox"/> Nederland <input type="checkbox"/> ...		<input checked="" type="checkbox"/> Bekend <input type="checkbox"/> Nieuw	<input type="checkbox"/> MKB <input checked="" type="checkbox"/> GRB	
Integraaljagers B.V.	<input checked="" type="checkbox"/> Nederland <input type="checkbox"/> ...		<input checked="" type="checkbox"/> Bekend <input type="checkbox"/> Nieuw	<input checked="" type="checkbox"/> MKB <input type="checkbox"/> GRB	
Martens beton B.V.	<input checked="" type="checkbox"/> Nederland <input type="checkbox"/> ...		<input checked="" type="checkbox"/> Bekend <input type="checkbox"/> Nieuw	<input checked="" type="checkbox"/> MKB <input type="checkbox"/> GRB	
ABT B.V.	<input checked="" type="checkbox"/> Nederland <input type="checkbox"/> ...		<input checked="" type="checkbox"/> Bekend <input type="checkbox"/> Nieuw	<input type="checkbox"/> MKB <input checked="" type="checkbox"/> GRB	

2.2 Verwacht u in de toekomst nog vaker met bij dit project betrokken samenwerkingspartners te gaan samenwerken?

- Ja, met bedrijven en/ of kennisinstellingen
- Nee

3. Het instrument SBIR

3.1 Wat vindt u sterke punten van het instrument SBIR?

Een mooie impuls om elkaar op te zoeken en gezamenlijk een bijdrage te leveren aan een maatschappelijk vraagstuk op basis van een duurzaam verdienmodel.

3.2 Heeft u suggesties ter verbetering van de SBIR-procedure?

Geen verbeteringsuggesties.