



**RWS INFORMATIE**

Kenmerk: AT/2020/03

Versie 2.0 16-11-2020

## Format eindrapport fase 1 - Haalbaarheidsonderzoek SBIR Circulaire viaducten - Het Biobased viaduct

### 1. Managementsamenvatting

Het doel van ons haalbaarheidsonderzoek is het aantonen van de financiële en technische haalbaarheid van een verkeersviaduct in het materiaal biocomposiet. Daarbij maken we het ontwerp demontabel en kwantificeren we de duurzaamheidseigenschappen van het materiaal.



Figuur 1 - visualisatie

Binnen het haalbaarheidsonderzoek hebben wij op basis van vigerende normen en richtlijnen van Rijkswaterstaat een Voorlopig Ontwerpstudie uitgevoerd. Als eerste zijn de benodigde afmetingen van het ontwerp vastgesteld en is aan de hand van berekeningen aangetoond dat het viaduct technisch haalbaar is. De randvoorwaarden van het ontwerp zijn op het areaal van RWS neergelegd om te beschouwen wat het toepassingsgebied binnen viaducten kan zijn. Door het aantonen van de technische haalbaarheid van een overspanning van 20 meter valt bijna het complete provinciale en gemeente areaal binnen het toepassingsgebied van biobased composieten viaducten en bruggen. Het biobased verkeersviaduct is daarbij een oplossing voor de vervanging en renovatieopgave waar RWS voor staat.

Het ontwerp blijkt op impact goed te scoren op CO<sub>2</sub> uitstoot en hergebruik. De MKI is momenteel nog niet concurrerend met beton, wel met glasvezelversterkt composiet. Dit ligt aan de voorgeschreven te gebruiken data. Om deze reden laten wij in fase 2 een LCA van het materiaal uitvoeren om aan te tonen dat het materiaal wel kan concurreren met beton. Het sterkte punt van een constructie uit biobased composiet is het lichte gewicht in combinatie met de grote elementen. Dit versnelt het bouwtempo en reduceert materieelinzet, (verkeers)hinder en bouwruimte.

De kosten voor een biobased verkeersviaduct zijn momenteel te vergelijken met de kosten van een landmark betonnen viaduct (hoogstaande architectuur). Als een opdrachtgever duurzaamheid als een belangrijk kwaliteitscriterium hanteert, is het biobased viaduct een concurrerende oplossing voor staal en

beton. Bij doorontwikkeling nemen de kosten van biobased composiet af, waar de kosten van beton in de toekomst mogelijk toenemen door bijvoorbeeld een CO<sub>2</sub>-heffing.

In fase 2 voeren wij materiaaltesten uit en ontwerpen, bouwen en monitoren een verkeersviaduct met een maximale overspanning van 20 meter. Wij realiseren minimaal twee elementen om onze demontabele koppeling te kunnen testen. De elementen worden voorzien van sensoren om de werkelijke data van de brug mee te kunnen nemen in validatie en doorontwikkeling.

### Dankwoord.

Wij hebben met veel genoegen reguliere digitale overleggen met Jan van Asten en Kees Quartel van RWS gevoerd. Zij hebben onze ideeën gechallengeerd om het product beter te maken en om onze impact op een grotere schaal te zien dan alleen vanuit ons eigen technisch perspectief. Tevens bedanken wij Wietse de Jong voor zijn enthousiasme en motivatie om bij te dragen aan het maatschappelijke vraagstuk. Bij vragen vanuit onze kant over het proces dacht hij proactief mee en handelde hij snel.

*Tabel 1 - verificatie haalbaarheidsonderzoek*

Verificatiepunten haalbaarheidsonderzoek	Invulling
impact van de innovatie op het maatschappelijk vraagstuk	H3.1. Het ontwerp is volledig demontabel en herbruikbaar. Het materiaal groeit gedurende de levensduur meerdere malen terug om voor nieuwe grondstoffen te zorgen. De constructie is licht en zorgt voor minder hinder en kortere realisatieduur.
realisatie van de innovatie technisch haalbaar is	H3.2. Een fietsbrug is reeds gerealiseerd en rekenkundig is een overspanning van twee keer 20,6 meter is mogelijk (overspannen van een snelweg met 2 rijbanen met ieder 3 rijstroken en een vluchtstrook)
Haalbare ontwikkeling en productie	H3.2 Door Delft Infracomposites als productiepartij aan onze innovatie te koppelen zijn alle elementen te produceren op hun locatie
benodigde partijen voor realisatie van de innovatie	H4. Strukton Civiel, Delft infracomposites, Witteveen+Bos hebben al een biobased composieten dek gerealiseerd en schakelen de kennisinstellingen, leveranciers uit het vorige project in.
op welke wijze de innovatie getest én gevalideerd kan worden;	H4. Dit wordt gedaan aan de hand van de kennis bij het ontwikkeltraject van Ritsumasy1. Met testen op het materiaal valideren wij onze rekenmodellen en optimaliseren we het ontwerp.
de businesscase bij de innovatie inclusief intellectueel eigendom en gebruiksrecht	H3.3 het toepassen van biocomposiet is concurrerend met een architectonisch hoogstaand betonnen brug. Bij doorontwikkeling en CO <sub>2</sub> -beprijzing verbeterd de concurrentiepositie.
beoordeling gebruiksrecht	wij bieden de bovengrens aan op alle beoordelingscriteria waarbij wij open source delen met een vrij gebruiksrecht. Rijkswaterstaat kan de innovatie direct toepassen in haar projecten.

## 2. Uitvoering van het haalbaarheidsonderzoek

Het haalbaarheidsonderzoek van het biobased verkeersviaduct is onderdeel van onze droom om een 100% biobased, modulair, circulair verkeersviaduct te bouwen. Deze ambitie is voor Delft Infracomposites, Strukton Civiel en Witteveen+Bos begonnen bij het ontwikkelen van de biobased fietsbrug te Ritsumasy1 in Fryslân.

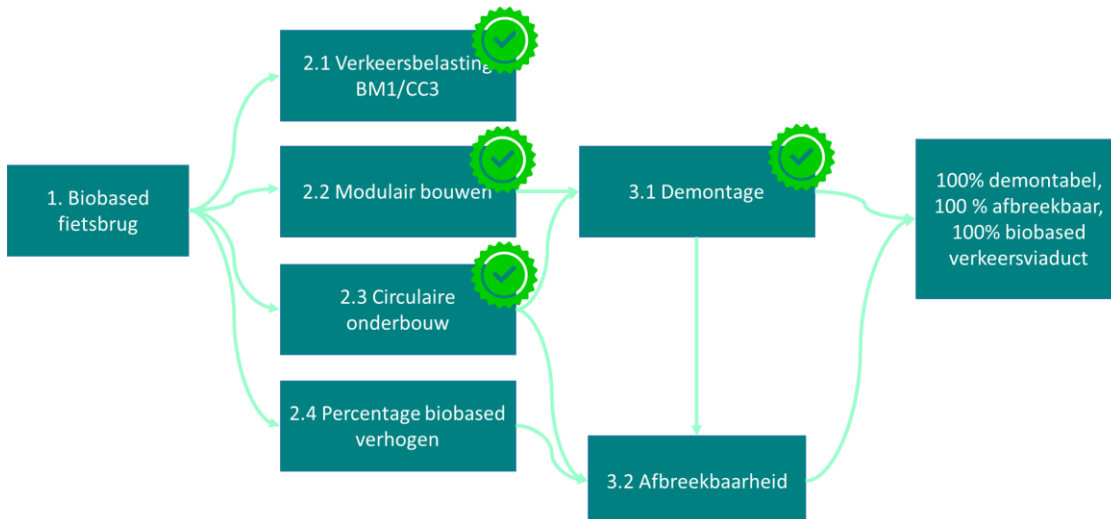
Een fietsbrug is een mooie start van onze droom, maar schaalvergroting van de constructie levert uiteindelijk een grotere bijdrage aan het maatschappelijke vraagstuk naar een circulaire economie. Voor de GWW betekent dit nogal wat. Beton is één van de grotere oorzaken van wereldwijde CO<sub>2</sub> uitstoot, daarom willen wij de GWW verduurzamen met alternatieve materialen.

Startpunt van de fietsbrug was glasvezel composiet waarbij glasvezel vervangen wordt door vlasvezel. Dit is een grotere stap dan het op het eerste oog lijkt. Vlas is een natuurlijk materiaal zoals hout, waardoor de eigenschappen minder homogeen zijn dan een samengesteld materiaal (zoals staal en beton). Door de vlas in de productie om te zetten naar vezels worden de eigenschappen beter controleerbaar. De natuurlijke vezels zijn gevoelig voor UV, temperatuur en vocht. Om het materiaal in een constructie toe te kunnen passen zijn er daarom veel testen op het materiaal uitgevoerd. Deze testen valideren de

toepassing van het materiaal. De onderbouw van een composieten viaduct, kan lichter worden uitgevoerd dan een betonnen variant. Voor de fietsbrug in Ritsumasyt zijn stalen buispalen als fundering toegepast, aangezien deze beter en hoogwaardiger her te gebruiken zijn dan prefab betonnen palen. Stalen buispalen worden voor verkeersviaducten regelmatig toegepast. Door verlichting van het dek verwachten wij een fundering op staal mogelijk te maken. Dit kan door het toepassen van gewapende grond met geotextiel. Dit is eenvoudiger terug te winnen dan stalen buispalen, eenvoudigere werkwijze en minder zwaar materieel noodzakelijk.

### Doelstelling en probleemstelling van uitgevoerd haalbaarheidsonderzoek

De doelstelling van het haalbaarheidsonderzoek is om aan te tonen dat een demontabel viaduct voor gemotoriseerd verkeer gerealiseerd kan worden met het biobased materiaal vlasvezel composiet en om zoveel mogelijk stappen, Figuur 2, dichterbij de realisatie van onze droom uit te komen.



Figuur 2: benodigde innovaties om de droom van circulaire biobased viaduct te verwezenlijken

De belangrijkste stap (2.1) voor de haalbaarheid is het ontwerpen van een verkeersviaduct, met het gevalideerde materiaal. De moeilijkheid hierbij is dat een belasting van fietsers significant anders is dan van gemotoriseerd verkeer. De zwaarste belasting van een fietsbrug is een belasting van 500 kg/m<sup>2</sup>, die van een verkeersviaduct is 900 kg/m<sup>2</sup> met een extra belasting van twee keer 30.000 kg uit die de assen van een voertuig (met onder elke as twee wielen). De ontwikkelde doorsnede van de fietsbrug voldoet niet, de wielen 'duwen' dan het brugdek stuk. Binnen fase 1 ontwerpen wij een nieuwe dekopbouw, welke wij valideren met een digitaal 3D Eindig Elementen Methode rekenmodel. Dit resulteert in de volgende activiteiten:

- Bepalen van toepassing zijnde overspanningen [Richtlijn Ontwerp Autosnelweg];
- Ontwerpen van een dekdoorsnede - afmetingen, hoogte, dikte elementen;
- Valideren ontworpen dekdoorsnede middels 3D EEM pakket [Eurocode, ROK 1.4, CUR96];
- Opstellen visualisaties ontwerp.

Stap 2.2 is het ontwerpen van een oplossing die modulair, demontabel en eenvoudig transporteerbaar is. Het produceren van standaard elementen die aan elkaar gekoppeld en ontkoppeld kunnen worden om op een andere locatie hoogwaardige hergebruikt te worden. Binnen fase 1 onderzoeken wij mogelijke verbindingstypen. Dit resulteert in de volgende activiteiten:

- Opdelen van dek in breedte elementen;
- Ontwerpen van verbindingen rekening houdend met zowel montage als demontage.

Stap 2.3 heeft betrekking op de onderbouw. De traditionele oplossing voor een landhoofd met funderingspalen wordt in de gangbare praktijk aan elkaar gestort (een vaste verbinding). De enige manier om dit bij einde levensduur uit elkaar te halen is door te slopen. Een totaaloplossing voor een circulair verkeersviaduct bestaat daarmee ook uit een circulaire fundering. Het toepassen van een gewapende grondconstructie is een reguliere oplossing. Redenen dat dit momenteel minder wordt toegepast dan een gefundeerd landhoofd heeft te maken met de benodigde draagkracht van de fundering en de grondslag op locatie. Onze innovatie zorgt ervoor dat de benodigde draagkracht van een verkeersviaduct lager wordt, waarmee het toepassingsgebied van gewapende grond toeneemt. In het haalbaarheidsonderzoek beschouwen wij de mogelijkheden om een gewapende grondconstructie als fundering te gebruiken. Dit resulteert in de volgende activiteiten:

- Bepalen hoeveelheden t.b.v. gewicht dek;
- Bepalen neerwaartse belasting o.b.v. 3D EEM pakket;
- Bepalen afmetingen gewapende grond fundering;
- Valideren geotextiel [CUR 198].

De volgende stappen binnen het technische en impact spoor zijn het verder verduurzamen van het materiaal, stap 2.4, hiervoor hebben wij onder andere contact gezocht met DSM. Zij ontwikkelen voornamelijk printbare composieten, maar produceren ook coatings en andere harsen. Toepassen van afbreekbare/-herwinbare harsen kan binnen 2 jaar op kleine schaal. Op grote schaal lijkt dit binnen 5 tot 10 jaar mogelijk. Daarnaast hebben wij het onderhoud van de coating effectiever toegepast, waarmee een lagere impact is gerealiseerd.

Bovenstaande stappen zijn voornamelijk technische vraagstukken. Daarnaast bestaat fase 1 uit het aantonen van de impact en de economische haalbaarheid. Voor de impact kwantificeren wij de gevraagde criteria, MKI, CO<sub>2</sub>-uitstoot en uitputting van abiotische grondstoffen en hoogwaardig hergebruik bij einde levensduur. Daarnaast vergelijken we het biocomposiet verkeersviaduct met de toepassing van een prefab betonnen viaduct, waar we kijken naar impact in massa, bouwtijd, -ruimte, materieel en hinder. Dit resulteert in de volgende activiteiten:

- Bepalen hoeveelheden verkeersviaduct biocomposiet, prefab en glasvezelversterkte composiet variant;
- Invullen aangeleverde MKI-sheet binnen SBIR-traject;
- Analyse van de resultaten;
- Bepalen impact tijdens realisatiefase die niet binnen MKI/circulariteit vallen.

Binnen de haalbaarheidsstudie is het economisch perspectief beschouwd van onze oplossing welke samenhangt met de schaalbaarheid binnen en buiten het areaal van RWS. Hierbij hebben we voornamelijk gefocust op de overspanningen binnen het areaal van RWS, aangezien dit over het algemeen de grootste overspanningen zijn. Wanneer deze haalbaar zijn, is het tevens haalbaar om (bijna) het volledige areaal van gemeentes en provincies te voorzien. Door onze opgedane kennis open source te delen (via een website), delen wij kosteloos onze opgedane kennis voor andere partijen om deze innovatie mee te nemen in hun productencatalogus. Dit vergroot de bekendheid bij opdrachtgevers en beheerders. Dit resulteert in de volgende activiteiten:

- Markt bepalen van biobased composiet aangetoonde varianten in RWS areaal;
- Opzetten financiële vermarktbaarheid;

Bij de aanpak van de haalbaarheidsstudie wat het uitgangspunt om te testen aan het materiaal om beter zicht te hebben op de vermoeiingseigenschappen, alhoewel de tijd binnen het onderzoek te kort is om volledige representatieve proeven uit te voeren. Na overleg met het RWS team en een driegesprek bleek dat deze benodigde testen om de haalbaarheid aan te tonen in fase 2 kunnen worden uitgevoerd. Deze fase heeft een langere doorlooptijd, circa 1 jaar, waardoor een betrouwbaardere validatie uitgevoerd kan worden. Door het vervallen van deze activiteit hebben wij andere verbeteringen kunnen doorvoeren. Dit resulteert in de volgende activiteiten binnen het haalbaarheidsonderzoek:

- Opzetten werkzaamheden fase 2a/2b;
- Opzetten planning fase 2a/2b;
- Opzetten begroting fase 2a/2b;
- Opzetten organisatie fase 2a/2b.

### **Doorgevoerde verbeteringen t.o.v. het projectvoorstel**

In het projectvoorstel voor het haalbaarheidsonderzoek hebben wij een tweetal stappen voorzien. De eerste stap, het beproeven van het materiaal en de tweede stap, het ontwerpen van het daadwerkelijke verkeersviaduct. In samenspraak met uw experts gedurende de haalbaarheidsstudie hebben we onze onderzoeksstrategie verbeterd, aangezien wij inmiddels de beschikking hebben over de gevalideerde output uit het door ons eerdere uitgevoerde innovatietraject "fietsbrug Ritsumasyl". Wij hebben daardoor kunnen focussen op het maken van een haalbaar ontwerp (met een verdiepingsslag naar verschillende overspanningen) en aanvullend mogelijk modulair maken van de constructie met gevalideerde technieken uit de glasvezelcomposiet. Een volledig viaduct is vanwege de afmetingen niet transporteerbaar vanuit de productiefaciliteit naar de bouwplaats. Door transporteerbare componenten, circa drie maal zo breed als prefab elementen, fabrieksmatig te bouwen die op de bouwplaats eenvoudig middels boutverbindingen samen te stellen zijn, wordt het mogelijk in korte tijd het viaduct te assembleren en aan het einde van de levensduur weer te demonteren.

De focus ligt in ons onderzoek voornamelijk op het dek aangezien het om een materiaalinnovatie gaat. Om vertrouwen bij opdrachtgevers en beheerders te garanderen is het noodzakelijk om gevalideerde oplossingen te hebben die aan alle vigerende normen en richtlijnen voldoen. De onderbouw, het toepassen van een gewapende grondconstructie is geen innovatie, maar een bewezen techniek. Het voordeel van een geotextiel is dat deze volledig te verwijderen is en op een andere locatie her te gebruiken. De meeste textielen worden al van (deels) gerecycled materiaal gemaakt en het aanbrengen gebeurt met materieel wat bij (grote) aannemers al geëlektrificeerd is. De uitkomsten van de neerwaartse belastingen tonen aan dat, bij een geschikte grondslag, een geotextiel voldoet, zie H3.2.

Binnen fase 1 hebben wij daarmee 4 stappen (zie markering met de "groene vinkjes" in Figuur 2) die richting geven aan onze droom gevalideerd.

### **Projectorganisatie**

Krchtig en bewezen aan de samenwerking is het complementair zijn van de projectpartners. Naast de gezamenlijke aansturing en de constructieve interactie tussen RWS, kennisinstellingen en de experts, kent onze samenwerking de onderstaande rolverdeling:

- Witteveen en Bos - ondersteunt door Delft Infracomposites- voor technische onderbouwing van de haalbaarheid, het ontwerp, varianten beschouwing en milieu impact (fase 2a);
- Delft Infracomposites voor de materialisatie en het modulair maken van de constructie;
- Strukton voor het economisch perspectief, procesmatige projectaanpak op gebied van innovatie en realisatiefasering (fase 2b).

Deze samenwerking is gebaseerd op een succesvolle samenwerking bij het bouwen van de fietsbrug en hebben wij zeer constructief voortgezet. Persoonlijke drijfveren van de projectteamleden maken het mogelijk een breder draagvlak binnen onze organisaties te creëren, waarbij onze projectpartners, interne opdrachtgevers (project sponsors) en natuurlijk ook onze projectteamleden worden geënthousiasmeerd met dit innovatievraagstuk.

Voor fase 2 zetten wij onze samenwerking graag met u voort. De dynamiek van het vraagstuk kenmerkt zich door een breed spectrum qua scope, te weten:

- de werkzaamheden in Fase 2a, met de focus op engineering en beproevingen van materialisatie;
- de werkzaamheden in Fase 2b, met de focus op prototyping;

De fasering laat zien dat de dynamiek van het vraagstuk verandert, waarbij de verhoudingen van de partners ook verschilt. Wij willen voorstellen voor beide fasen een aparte overeenkomst op te stellen. Tussentijdens voorziet de SBIR procedure in een Go - No Go moment voor RWS en voor ons. Na het verkrijgen van de Go, bouwen wij samen met u daadwerkelijk een prototype, waarbij het logisch is de bouw bij een aannemende partij onder te brengen inclusief voorwaarden die geschikt zijn voor de bouw van een prototype. Voor u blijft Stephanie Lamerichs het aanspreekpunt.

Vanzelfsprekend is er voor de SBIR inschrijving van Witteveen en Bos een samenwerkingsovereenkomst beschikbaar voor de samenwerkingsafspraken tussen de Witteveen+Bos, Strukton Civiel en Delft Infracomposites. Deze samenwerkingsovereenkomst wordt gedurende 2e fase uitgebreid met projectpartners. Deze zijn vanuit de eerdere samenwerking al aangesloten, met uitzondering van een hars en coating leverancier.

### Producenten van de hars om te komen tot 100% biobased

Een producent van harsen en coatings is de aanvulling op bovenstaande consortium Met DSM zijn verkennende gesprekken gevoerd (vanuit een bestaand samenwerkingsverband tussen RWS en DSM).

### Monitoring van het prototype

Doel hiervan is de materiaaleigenschappen realtime analyseren. In fase 2b passen wij ook sensing / monitoring toe. Hiervoor zetten wij Com&Sens in. Zij hebben in samenspraak met het bouwteam fietsbrug RitsumasyI, succesvol een realtime "smart bridge" opgeleverd. Zie: [www.drive.frl](http://www.drive.frl). De interpretatie van de ruwe data van de sensing ligt bij Witteveen+Bos. Het koppelen van andere meetparameters, zoals wind en temperatuur, wordt door LaunchAI voorzien.

### Kennisinstellingen

Doel is leveren van testcapaciteit en ontwikkeling van kennis van nieuwe materialen. Voor fase 2a gebruiken wij de opgedane relaties bij de kennisinstellingen vanuit RitsumasyI. Dit betreffen;

- Universiteit Leuven - specialisme ontwikkeling biobased composiet materialen met speciale aandacht voor verhogen bio-content van de harsen;
- Universiteit Gendt - specialisme testen samengestelde constructies;

- Universiteit Osnabrucke - specialisme testen verbindingen;
- Universiteit Delft - specialisme testen samengestelde constructies;
- Greenpac (samenwerking hogescholen NHL Stenden en Windesheim - specialisme testen composiet materialen);

### Subsidieonderzoeken

Doel is het vergroten van het projectbudget, waarmee de innovatiestrategie verbreding en/of verdieping krijgt. Naast het bovenstaande onderzoeken wij met onze partner Hezelburcht (expert in verkrijgen van subsidies) of vanuit ons consortium (of individuele projectpartners) mogelijkheden om aanvullende subsidies te verkrijgen om de ontwikkeling / innovatiekracht te vergroten.

## 3. Inhoudelijke bevindingen

Per onderdeel impact, haalbaarheid en economisch perspectief nemen wij uw feedback (cursief weergegeven) van de voorgaande fase mee in onze uitwerking. Dit ziet u per onderdeel terug.

Tabel 2 - verificatie inhoudelijke bevindingen

Verificatiepunten haalbaarheidsonderzoek	Invulling	Resultaat
innovatie draagt bij aan het oplossen van het brede maatschappelijke probleem gedefinieerd in de oproep;	3.1	Voorkomen primaire grondstoffen, hoogwaardig hergebruik, biobased materialen.
De mate van milieu-impact en circulariteit*) van de voorgestelde innovatie: • Uitgedrukt volgens de meetmethode MKI • vergelijk op te stellen door middel van een zelf gekozen referentie;	3.1	MKI hoger dan beton, lager dan glasvezelcomposiet. CO2-uitstoot gunstiger dan beton en glasvezelcomposiet abiotische grondstoffen, allen minimaal
toepasbaar en schaalbaar is binnen en buiten het areaal van Rijkswaterstaat en andere opdrachtgevers.	3.3	37% binnen areaal RWS. Overgrote deel van provinciale en gemeentelijke markt.
technologisch interessant en haalbaar benadering voorstelt;	3.2	Nieuw materiaal, welke voldoet aan richtlijnen
consortium is de juiste partij is om de innovatie te ontwikkelen of samenwerkingsverbanden aangaat om een totaaloplossing te bieden;	H3	bewezen succesvolle samenwerking van biobased fietsbrug RitsumasyI
De kwaliteit van de technische onderbouwing	H3 en H4	voldoet aan alle vigerende normen en richtlijnen
De kwaliteit van de voorgenomen aanpak en strategie om de innovatie een plaats in de markt te bezorgen;	3.3	weinig toetreders, beperkte concurrentie. Zie grafiek van Porter
De kwaliteit van het beoogd circulaire verdienmodel/businessmodel met een uitwerking van het IE recht en eventueel gebruiksrecht	3.3	open source, volledige kennisdeling. Geen IE recht.
consortium is de juiste partij om de innovatie op de markt te brengen en op te schalen;	3.3	bewezen succesvolle samenwerking van biobased fietsbrug RitsumasyI
consortium ontwikkelt een product waar klanten voor willen betalen.	3.3	Concurrerend als architectonisch hoogwaardig betonnen ontwerp

### 3.1 Impact

*Feedback vanuit de beoordeling: beoordeling 9 - zeer goed - De beoordelingscommissie vindt het voorstel uitvoerig en goed uitgewerkt en de impact goed beschreven. Het feit dat het een integrale benadering betreft en de mogelijkheden voor hergebruik kunnen rekenen op een goede beoordeling. Er gaat veel potentie uit van het voorstel. Aandachtspuntjes bij het voorstel zijn de milieu impact van de coating wat nog verder moet worden onderzocht en of de grafiek juiste data betreft (levensduur).*



De vraag om nieuwe materialen die grotere belastingen en overspanningen kunnen dragen om met staal en beton te concurreren, neemt de laatste jaren toe. De ontwikkeling van composieten loopt al enkele jaren en de toepassing van glasvezelcomposieten in de GWW is inmiddels veelgebruikt. Voor fietsbruggen, maar ook verkeersbruggen zoals bij de Nieuwe Houtenseweg Ring Utrecht en beweegbare bruggen zoals de Nelson Mandelabrug, Pijlebrug en Blauwe Klap. De volgende stap is het verduurzamen van het materiaal. Dit is het startpunt van onze innovatie. Het vervangen van de glasvezels door vlasvezels. Vlas is een gewas dat jaarlijks geoogst kan worden en bloeit met blauwe of witte bloemen. Het voordeel van vlasvezels ten opzichte van glasvezels is dat het een natuurlijk materiaal is waar minder energie voor de productie nodig is en het eigen gewicht is slechts de helft van glasvezels. Nadeel is dat vlasvezels gevoeliger zijn voor weersinvloeden. Voornamelijk UV-straling en water. Door alle composieten onderdelen van een coating te voorzien wordt dit risico beheerst. De vlasvezels worden, gelijk aan glasvezels, samengevoegd met epoxy hars. Delft infracomposites gebruikt hiervoor een vacuüminjectie-techniek. De vlasvezelmatten worden om het balsa heen gevormd en vervolgens wordt de warme hars door het creëren van een vacuüm versmolten met de vezelmatten. Na uitharding hebben de elementen hun uiteindelijke vorm en kunnen gecoat worden en vervolgens verlijmd worden om een dek op te bouwen.

Met deze oplossing streven we naar een, op den duur, volledig biologische kringloop. We voorkomen het gebruik van primaire, schadelijke, grondstoffen. Het vlas wordt in Zwitserland door Bcomp geproduceerd, groeit op akkers in Frankrijk en kan jaarlijks geoogst worden. Hierdoor is de teruggroeietermijn (afhankelijk van het akkeroppervlak) vele malen minder is dan andere biobased oplossingen, zoals hout. Het balsa hout voor het kernmateriaal is de lichtste houtsoort ter wereld omdat deze in 5 jaar groeit tot boom met een hoogte van 20 meter. De teruggroeitijd van de grondstoffen is daarmee korter dan van hout. Dit betekent dat gedurende de levensduur van het biobased viaduct het materiaal voor meerdere bruggen teruggroeit op het landgebruik waar het eerste viaduct gegroeid is.

## Referentie

Bij het aantonen van de haalbaarheid, zie 3.2, zijn de afmetingen van variant 1 meegenomen. Dit betekent een viaductlengte van 33,0 meter (twee keer 16,5 meter) en een breedte van 15,7 meter. Een referentie in prefab beton (Haïtsma HMP600 contactliggers met dwarsvoorspanning).

*Tabel 3 - vergelijking referenties*

	<b>Biocomposiet</b>	<b>Prefab</b>	<b>Vergelijk / verschillen</b>
Veldlengte (meter)	16,5	16,5	Gelijk
Viaductlengte (meter)	33,0	33,0	Gelijk
Breedte viaduct (meter)	15,7	15,7	Gelijk
Elementbreedte (meter)	3,9	1,5	Minder elementen benodigd (-/- 62%)
Element gewicht (ton)	13,8	26,8 (randliggers 20,1)	Gereduceerd gewicht prefab 17,9ton/m1 BC 3,54ton/m1 (-/- 80%)
Aantal elementen (stuks)	8	20 (16 + 4 randliggers)	
Totaal eigen gewicht dek (ton)	110	510	Gereduceerd gewicht (-/- 80%)
Elementdikte (mm)	1200 (+ 20mm verharding)	600 (+150mm verharding)	De constructiehoogte van prefab beton is uitgenut (o.b.v. uitgebreide materiaalkennis). Maatvoering van biocomposiet is conservatief



Figuur 3 - visual van biobased verkeersviaduct

Tabel 4 - voordelen biobased versus beton

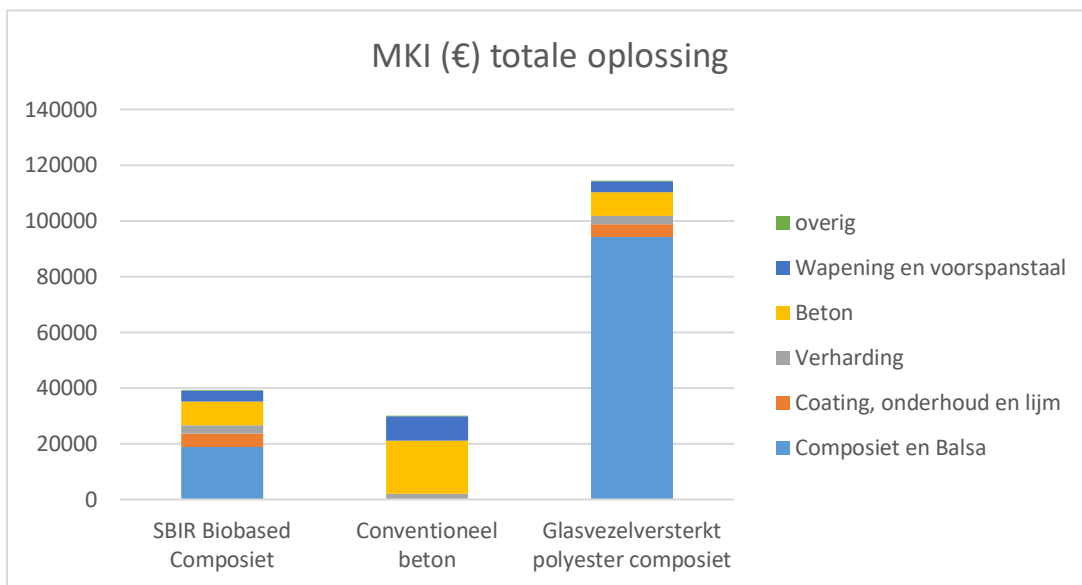
Onderdeel:	Voordelen
Constructie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grotere elementen</li> <li>• Dekelementen zijn plaatsing gebruiksklaar (slijt- deklaag inclusief)</li> <li>• Geen uithardingstijd van meerdere dagen/weeken</li> <li>• Demontabel, eenvoudig, daarmee herbruikbaar</li> <li>• Eenvoudig inkortbaar</li> <li>• Nieuw materiaal, nu nog conservatief in de berekeningen, met meer materiaalkennis is de constructie nog beter uit te nutten</li> <li>• Bij renovatiewerken mogelijk in te passen, zonder vervanging van de funderingen</li> </ul>
Materiaal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minder massa (hiermee ook direct positief resultaat op de fundering)</li> <li>• Minder onderhoud dan beton</li> </ul>
Bouwtijd	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkorting van de bouwtijd door minder elementen</li> </ul>
Hinder	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kortere duur van de hinder door kortere bouwtijd (veel kortere doorlooptijd a.g.v. minder handelingen)</li> <li>• Minder brede afzetting, bijvoorbeeld afzetten van vluchtstrook in plaats van vluchtstrook + rijstrook</li> <li>• Minder WBU / SLOTS en stremmingen van boven- of onderliggend wegennet</li> </ul>
Bouwruiimte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Minder ruimte benodigd, door kleiner en lichter materieel</li> </ul>
Materieel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kleiner en lichter materieel, welke minder lang ingezet hoeven te worden, beperkte mobilisatie en demobilisatie tijden,</li> <li>• Bijkomend positieve bijdrage - minder brandstof verbruik en meerdere elektrische opties</li> </ul>



## MKI

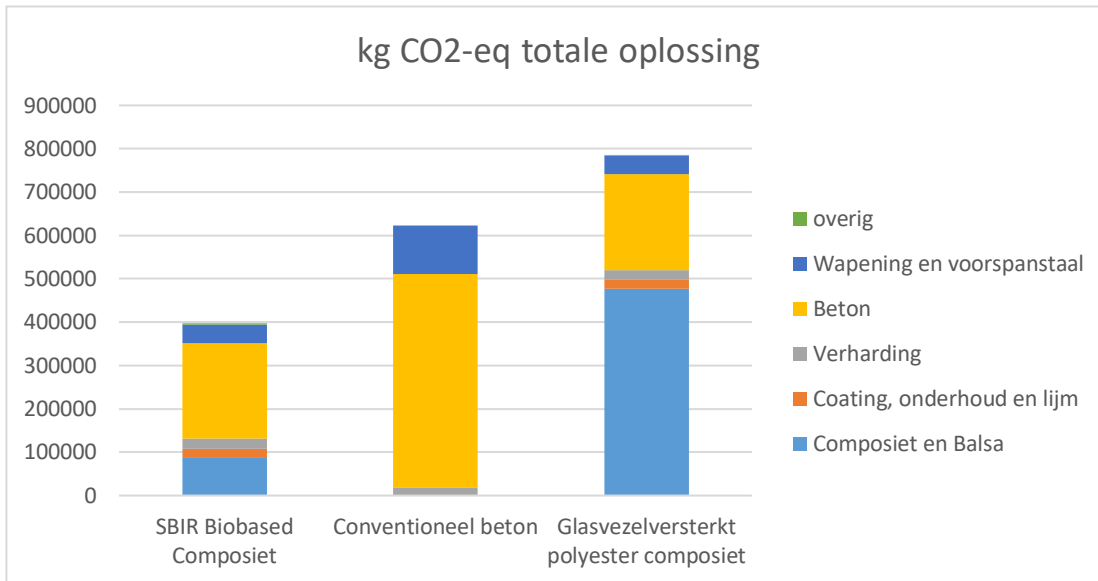
Naast de directe voordelen in projecten is de gevraagde kwantificering van circulariteit uitgevoerd. Doordat we innovatieve materialen toepassen, zijn geen data beschikbaar in DuboCalc, zijn geen producent-specifieke LCA's gemaakt en zijn geen EPD's beschikbaar. In deze fase is de risicoafweging gemaakt om technische haalbaarheid aan te tonen en geen LCA uit te laten voeren. Uitvoering van LCA in combinatie met negatieve technische haalbaarheid maakt de LCA overbodig. Daardoor zijn we nu genoodzaakt om, conform format, voor de MKI-berekening van het biobased composietmateriaal gebruik te maken van wetenschappelijke LCA-publicaties. Deze publicaties maken geen gebruik van de SBK-bepalingsmethode. Desondanks is dit momenteel de enige bron van LCA-data voor biobased composietmateriaal. Wat opvalt is de enorm hoge abiotische uitputting van vlasproductie in deze publicaties vergeleken met DuboCalc-waarden van grondstoffen als beton en staal. Dit is opvallend, want vlasproductie is hernieuwbaar. Het is te verwachten dat de gepresenteerde waarden anders uitvallen wanneer wij in fase 2 een eigen LCA opstellen. De uitgangspunten zijn terug te vinden in bijlage 2 MKI.

Naast het biobased composiet vergelijken we het prefab referentie ontwerp en een glasvezelversterkt composiet. Vlasvezels zijn hierbij vervangen door glasvezels en de volumieke massa is hierop aangepast. Het biobased viaduct scoort op gebied van MKI veel beter dan glasvezelcomposiet, maar minder goed dan de conventionele betonnen oplossing. Hierbij gelden meerdere discussiepunten, deze resultaten zijn zonder discussie niet juist te interpreteren.



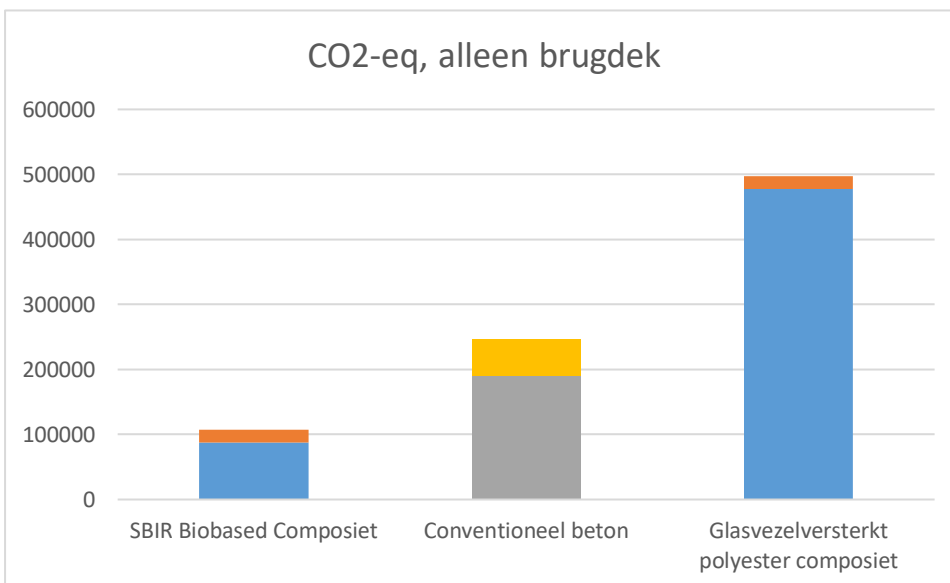
Figuur 4 - MKI (NB: biobased op basis van wetenschappelijke artikelen ipv LCA)

De CO<sub>2</sub>-eq uitstoot van het biobased viaduct is 50% minder dan de glasvezelvariant en 36% minder dan de betonnen variant. In absolute termen voorkomen we 390.000 kg CO<sub>2</sub>-eq t.o.v. de glasvezelvariant en 225.000 kg CO<sub>2</sub>-eq t.o.v. de betonnen variant. Dit is te vergelijken qua CO<sub>2</sub>-uitstoot met een gemiddelde Europese auto die 45-80 keer de aarde rondrijdt (120.7 gCO<sub>2</sub>/km).



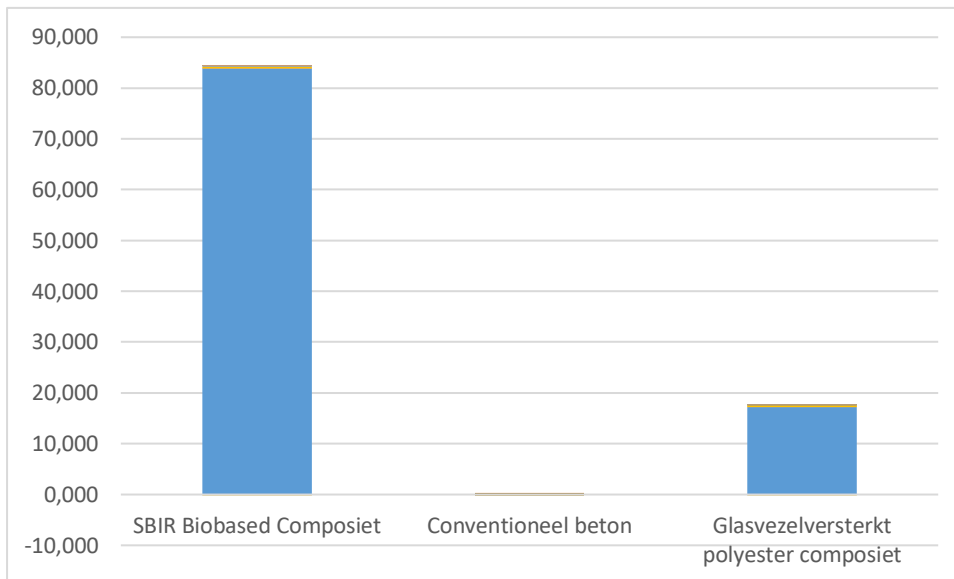
Figuur 5 - CO<sub>2</sub>

De meeste winst zit in het brugdek zelf. Het gebruik van biobased materialen resulteert in een daling van circa 390.000 kg CO<sub>2</sub>-eq t.o.v. glasvezel en circa 140.000 kg CO<sub>2</sub>-eq t.o.v. de betonnen variant. Dit is inclusief gewapende grond, waarvan de impact zeer laag is.



Figuur 6 - CO<sub>2</sub> brugdek

Voor wat betreft abiotische uitputting scoort het biobased composit het minst goed. Dit is erg tegenstrijdig, omdat een biologisch product gevoelsmatig altijd beter moet scoren op deze indicator. Het verschil lijkt vooral te wijten aan de verschillende rekenmethodes (wetenschappelijke LCA vs SBK-bepalingsmethode, zie eerdere discussie). In absolute zin zijn alle uitkomsten echter erg laag. 85 kg Sb-eq komt overeen met MKI 13.6 EUR, of 0.034% van het totaal. De eigenlijke conclusie is dan ook dat alle varianten goed scoren. Conventioneel beton en staal scoren goed, omdat deze materialen niet meegenomen worden in de indicator abiotische uitputting. Hieronder vallen met name schaarse metalen, mineralen en fossiele brandstoffen.



Figuur 7 - abiotische uitputting

## Discussie

De resultaten zijn niet eenduidig. Op het gebied van CO<sub>2</sub>-eq is het biocomposiet een verbetering, waarden van abiotische uitputting lijken niet goed vergelijkbaar, en de MKI van het biobased composiet valt iets hoger uit dan die van beton. Hier kunnen verschillende oorzaken voor zijn:

### Optie 1: De MKI waarde van composiet zoals deze nu is berekend wijkt af van de werkelijkheid

Dit is een aannemelijke mogelijkheid. De MKI van composiet is via wetenschappelijke LCA's. Deze zijn niet per definitie onjuist, maar gebruiken wel andere karakterisatie factoren om van inventarisatie naar impact resultaten te gaan. Helaas zijn de inventarisatie resultaten niet gepubliceerd. Hierdoor is niet te achterhalen of de karakterisatie methode veel verschil maakt.

In het geval van vlas is het zeer aannemelijk dat een wezenlijk andere karakterisatie methode gebruikt wordt: er wordt een waarde van 1.7 kg Sb-eq/ton vlas berekend voor abiotische uitputting, terwijl vlas een biologisch product is. Ter vergelijking, de abiotische uitputting voor beton in DB 6.0 is 4,13409E-05 kg Sb-eq/ton, terwijl dit geen biologisch product is.

Verschiedende karakterisatie methoden resulteren doorgaans in een minder groot verschil voor CO<sub>2</sub>-uitstoot, omdat hierin vrijwel altijd de lijn wordt gevolgd van de IPCC. De waarde die hiervoor is berekend is daarmee betrouwbaarder dan de waarden van andere impact categorieën en MKI als verzameling hiervan. Dat wil niet zeggen dat andere categorieën verwaarloosd moeten worden. Totdat een product-specifieke LCA uitgevoerd is, is dit de beste inschatting van de milieueffect waarden voor een biobased composiet.

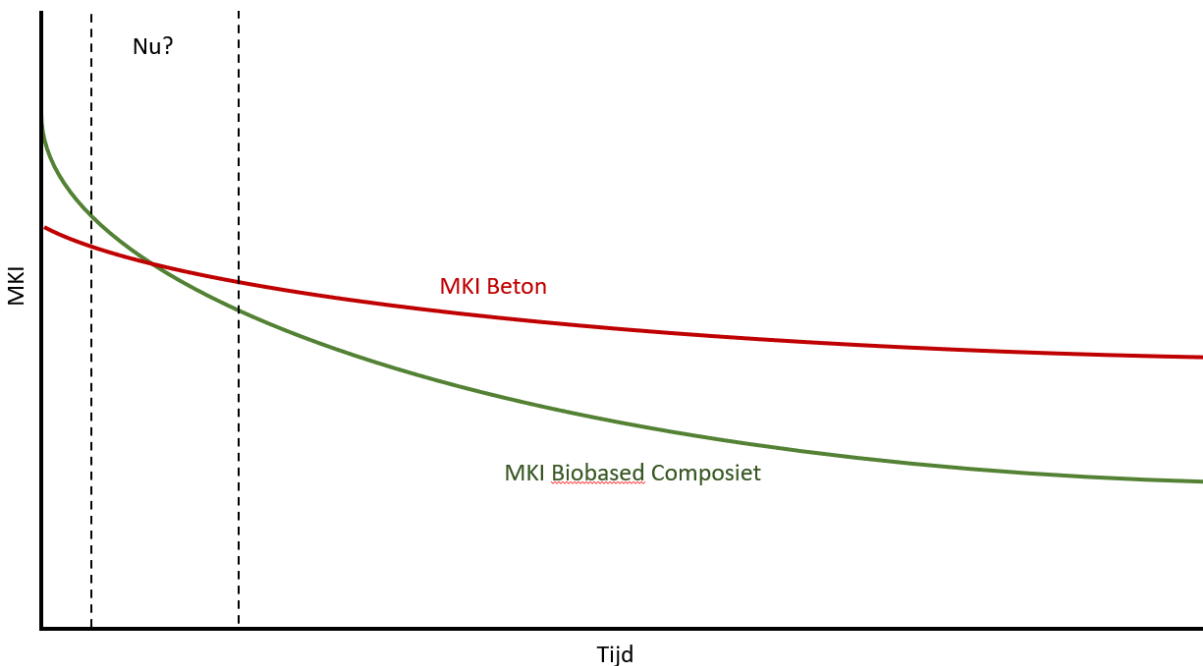
### Optie 2: de MKI waarde van biobased composiet is relatief hoog

Hoewel dit tegen de verwachting is, is dit een mogelijkheid die we niet kunnen uitsluiten. Biobased materialen hebben in principe een lagere MKI waarde dan non-biobased materialen, maar er zijn altijd uitzonderingen. Het uitvoeren van een product-specifieke LCA geeft uitsluitel.

Belangrijk is dat we te maken hebben met verschillende onzekerheidsmarges. Voor beton en wapeningsstaal zijn vrij specifieke producten beschikbaar in DuboCalc, we kunnen sterkteklassen en cementgehalten terugvinden. De bijbehorende industrie heeft al jaren de tijd gehad om hun product, en bijbehorende MKI, te optimaliseren. Hiertegenover staat ons product: een zeer innovatief materiaal dat in de kinderschoenen van de ontwikkeling staat. Hier is nog geen MKI van bekend, laat staan dat er optimalisatieslagen hebben plaatsgevonden. Het is daarom te verwachten dat niet alleen een eerste product-specifieke LCA lager uitvalt dan de huidige waarden, maar ook dat de daarop volgende jaren de MKI-waarde blijft zakken.

### Advies LCA-deskundige combinatie

Op dit moment is dit de best beschikbare data, totdat een product-specifieke LCA opgesteld wordt in fase 2. Op de meeste onderdelen van MKI worden in verschillende publicaties verschillende karakterisatiemethoden gebruikt waardoor deze onderdelen lastig te vergelijken. Voor CO<sub>2</sub> geldt dat bijna elke karakterisatiemethode de lijn van de IPCC volgt. Dat wil zeggen, dezelfde cijfers worden gebruikt voor dezelfde uitgestoten gassen, ongeacht welke bepalingmethode gehanteerd wordt. De inschatting is dat de gepresenteerde getallen voor CO<sub>2</sub> relatief betrouwbaar zijn, en de andere onderdelen van MKI (en daarmee ook MKI als geheel) minder betrouwbaar zijn. Abiotische uitputting is in absolute termen bij alle drie de oplossingen marginaal, de karakterisatiefactoren lijken hier met meerdere orde groottes te verschillen. Op basis van expert-judgement zou de biobased-oplossing in een product-specifieke LCA beter moeten scoren op MKI dan de conventionele beton-oplossing. Er is veel ruimte voor optimalisatie en verdere verduurzaming van het product en het bijbehorende productieproces. Daarmee verwachten wij een verdere daling van de MKI als in Figuur 8.



Figuur 8 - verwachte MKI ontwikkeling conventioneel versus innovatie materiaal per product

### Vervanging en renovatie

De SBIR vraagt niet om een vervanging en renovatie oplossing, maar een biocomposieten dek past perfect binnen deze opgave. De reductie van de permanente belasting van een prefab betonnen dek naar een biocomposieten dek is 80%, uiteraard blijft de veranderlijke belasting gelijk. Waardoor dit gezamenlijk voor onze referentie een totale belastingreductie van -26% oplevert. Deze 26% kan binnen een renovatieproject gebruikt worden voor een groter dek of hogere belasting. Dit voorkomt de sloop/nieuwbouw van een nieuw landhoofd inclusief fundering.

### Resumé

Kortom, het biobased viaduct combineert de voordelen van andere materialen, staal hout en beton, maar heeft de nadelen van de specifieke materialen niet. Biobased composiet past materiaal toe daar waar het nodig is, zoals staal doet, de grondstoffen groeien terug zoals bij hout, het materiaal kan zware belastingen aan zoals beton en heeft een soortelijk gewicht lager dan aluminium.

Het verder verduurzamen van het materiaal, stap 2.4 als eerder beschreven, is voornamelijk aan tijd en markt gebonden. Wanneer de hars verbeterd wordt (hogere biocontent) of het volumepercentage vlasvezel in het composiet wordt verhoogd, zal een significant deel van de materiaaltesten die voor Ritsumasyl zijn uitgevoerd opnieuw uitgevoerd moeten worden. Voor het ontwikkelen van een geschikte coating die hecht aan de hars en UV-bestendig is, zoeken wij een leverancier. En hiermee ook het ontwikkelpotentieel. De toegepaste bio-epoxy hars is ontwikkeld voor de windmolenbranche, waar een groot duurzaamheidsvraagstuk speelt, in verband met levensduur van de rotorbladen. Het innovatievraagstuk van de SBIR draagt bij aan de zichtbaarheid van de potentie binnen de infrastructuur branche wat een bevestiging voor leveranciers is om hier meer in te investeren en hun innovatie te

versnellen. De verkennende gesprekken met DSM gedurende de haalbaarheidsstudie zijn positief en de vraag naar duurzamere producten neemt bij DSM ook toe. De ontwikkeling van biobased composieten circulaire viaducten is een stimulans voor deze partijen om het marktgebied te vergroten en door te gaan met hun ontwikkeling.

### 3.2 Haalbaarheid

*Feedback vanuit de beoordeling: beoordeling: 8 – Goed. Voor wat betreft haalbaarheid als criterium is de commissie eveneens tevreden. Een goed beschreven uiteenzetting met een stapsgewijze aanpak. Dat de fietsbrug als concreet praktijkvoorbeeld gebruikt wordt is positief gewaardeerd. Aandachtspunt is het extra materiaal dat nodig is vanwege het risico op vermoeiingsverschijnselen.*

Het vlasvezelcomposiet bestaat uit 100% vlasvezels die door een bio epoxyhars, onder vacuüminjectie, tot het vlasvezelversterkte composiet worden gemaakt. De verhouding vlasvezels en epoxy is 50-50 in volumepercentage. Het vlasvezelcomposiet is uitgebreid getest voorafgaand aan toepassing in de fietsbrug Ritsumasyl. Dit is in eerste instantie gedaan op kleine laminaten, voor de volgende eigenschappen:

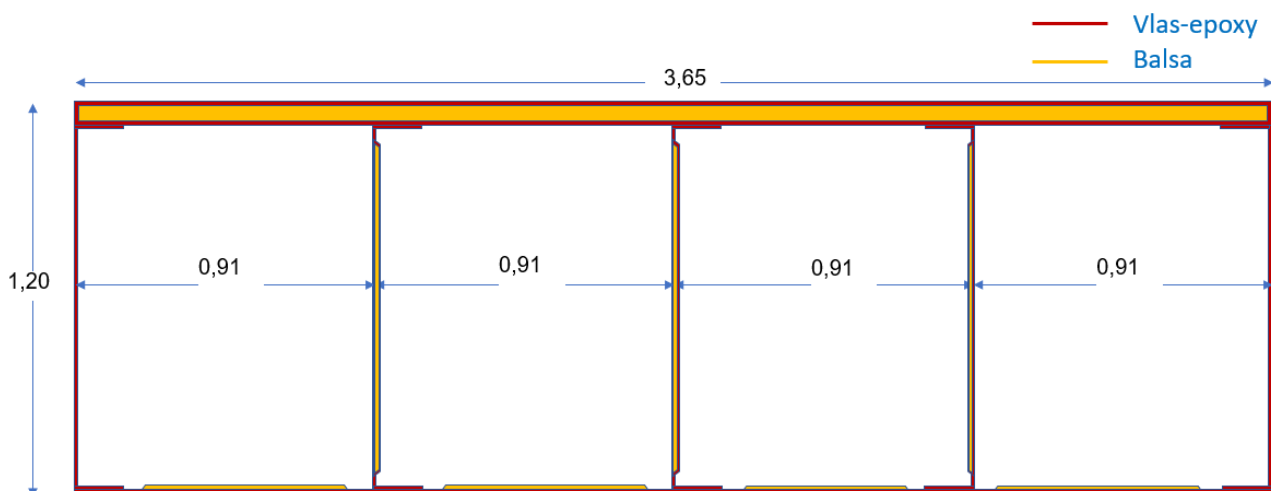
- trek- en druksterkte;
- interlaminar shearstrength (ILSS);
- elasticiteitsmodulus (druk en trek);
- kruipfactor (trek en druk);
- cyclisch kruip gedrag;
- kruiprek breuk;
- thermische uitzettingscoëfficiënt;
- hot-wetfactor.

In het Simon Stevinlab (TU Delft) is een geschaald proefstuk (1 bij 12 meter) gevalideerd op:

- trek- en druksterkte in verschillende richtingen;
- elasticiteitstesten, 24 GPa;
- vermoeiingstesten, 1,14 miljoen cycli;
- kruiptesten (3 weken) kruipfactor tussen 2,56 en 3,21;
- temperatuurtesten 1 week 80% R.H. hot-wet factor 100 jaar 1,04.

Via <https://www.biobasedbrug-ritsumasyl.nl> is de monitoring van de biobased fietsbrug real time te volgen. In opdracht van de provincie analyseren wij meerjarig de meetgegevens om daarmee de (langetermijn) eigenschappen van het materiaal te verifiëren. In de zomer van 2020 zijn er twee landbouwvoertuigen over het dek heen gereden. Middels de sensing is het effect van deze onbedoelde gebeurtenis geanalyseerd. Deze resultaten, samen met een extra inspectie, tonen aan dat de constructie geen schade heeft ondervonden van deze theoretisch veel te grote belasting.

De doorsnede van de werkelijk gebouwde brug is weergegeven in onderstaande afbeelding:



Figuur 9 - technische doorsnede fietsdek

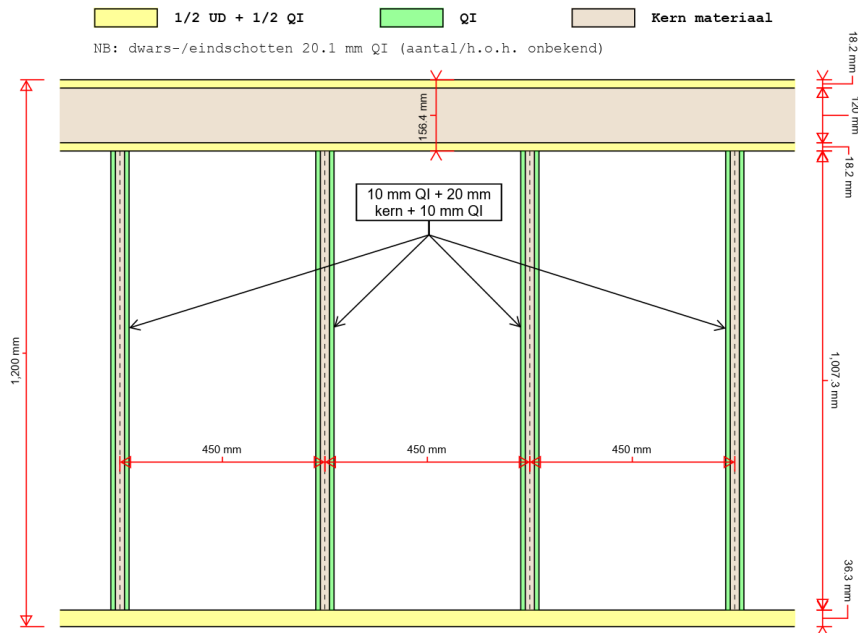
Deze doorsnede is niet in staat om zwaardere verkeersbelasting te dragen. Het ontwerp is daarom tijdens deze fase 1 geoptimaliseerd. De volgende wijzigingen zijn daarbij doorgevoerd:



- De bovenplaat is verdikt om weerstand te bieden tegen de drukbelasting van de wielen;
- De lijven zijn verdikt, de kern van balsa is groter;
- De afstand tussen de lijven is kleiner gemaakt om stijfheid te verhogen;
- Verdubbeling van de dikte van de onderplaat voor sterkte en stijfheid.

De uitkomst is weergegeven in onderstaande afbeelding.

Het schaalmodel van de fietsbrug is op 1,4 miljoen globale lastwisselingen getoetst, hiermee is een inschatting van de vermoeiingseigenschappen gemaakt. De testen in fase 2 valideren deze waarden, voor nu zijn de resultaten van de test geëxtrapoleerd.



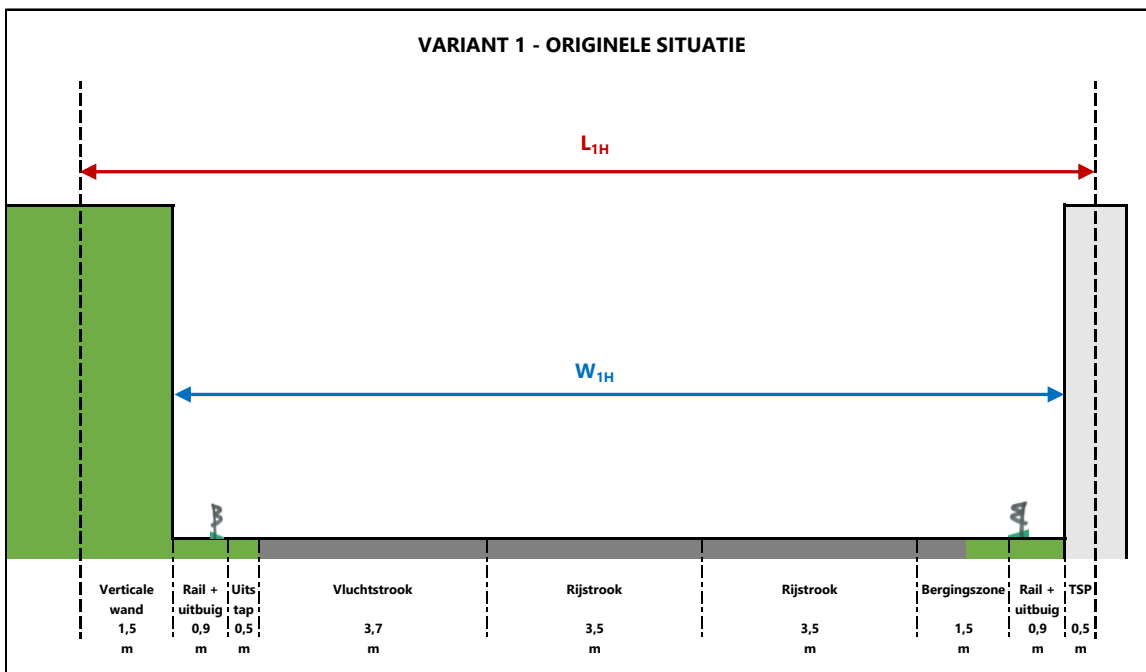
Figuur 10 - technische doorsnede verkeersdek

Om tot een toepasbare oplossing te komen is een ontwerpstudie verricht naar de mogelijke overspanningen van kunstwerken over de Rijksweg, met referentie 123865-21-004.056-notd-Variantenstudie kunstwerken over Rijkswegen [opvraagbaar]. Hierin zijn 3 lengtevarianten onderzocht, om haalbaarheid stapsgewijs aan te tonen. Alle varianten zijn opgesteld conform Richtlijn Ontwerp Autowegen (ROA) en voldoen aan de eisen om een verkeersveilig wegontwerp te faciliteren. Voor de indeling op het kunstwerk is de indeling van een provinciale weg met fietspad aangehouden. Deze heeft een breedte van 15,7 meter.



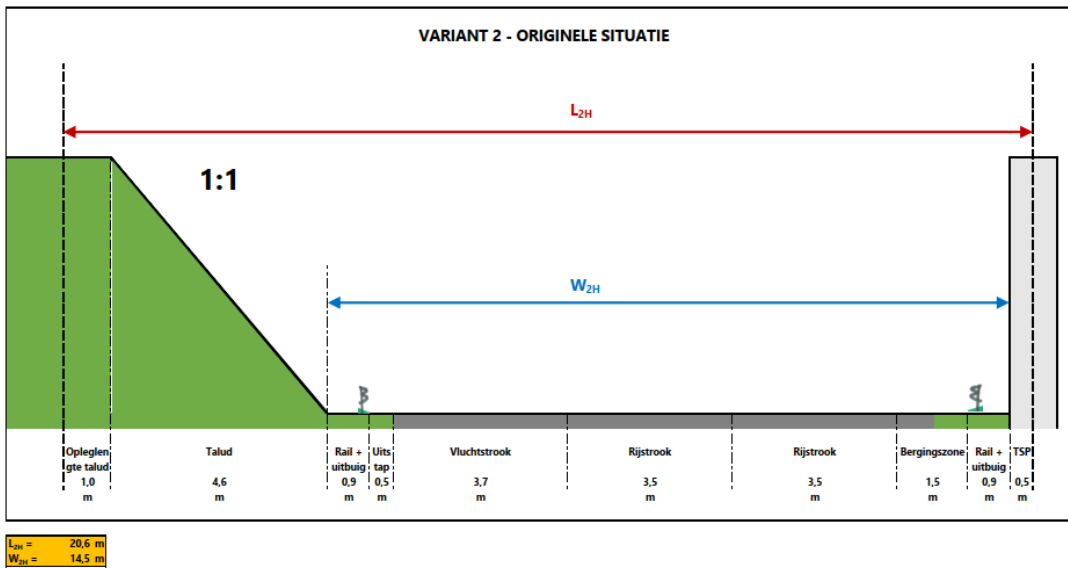
Figuur 11 - snede over biocomposieten dek

Variante 1 is voor een standaard 2x2 snelweg met vluchtstrook met een verticale wand. Bij een mogelijke uitbreiding van de snelweg kan de vluchtstrook als spitstrook danwel 3<sup>e</sup> rijstrook worden ingedeeld. De totale lengte van het viaduct is 33,0 meter opgebouwd uit twee maal 16,5 meter. In Figuur 12 is de opbouw van 1 van de 2 te overspannen rijbanen weergegeven (spiegeling over de middenpijler).

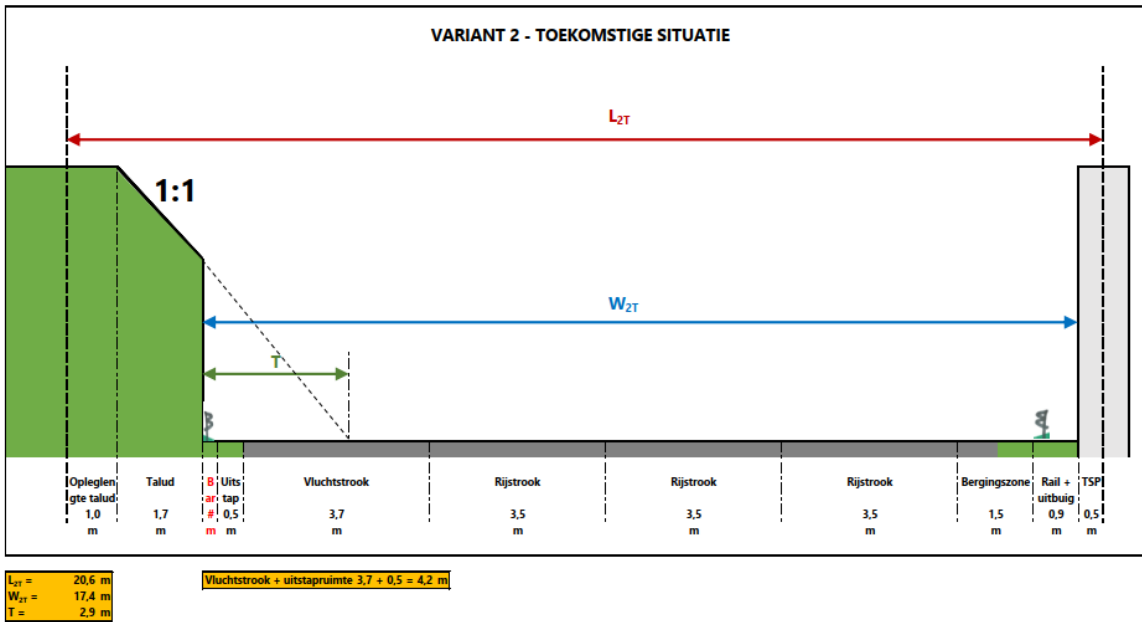


Figuur 12 - variant 1

Variante 2 is voor een standaard 2x2 snelweg met vluchtstrook met een talud. Waarbij voor de flexibiliteit de vluchtstrook als spitsstrook danwel 3<sup>e</sup> rijstrook. Het verschil met variant 1 is dat bij variante 2 de mogelijkheid bestaat om het talud in te snoeren, waarmee een volledige 2x3 rijstroken met vluchtstrook situatie gecreëerd, zie Figuur 15. De totale lengte van het viaduct is 41,2 meter opgebouwd uit twee maal 20,5 meter.

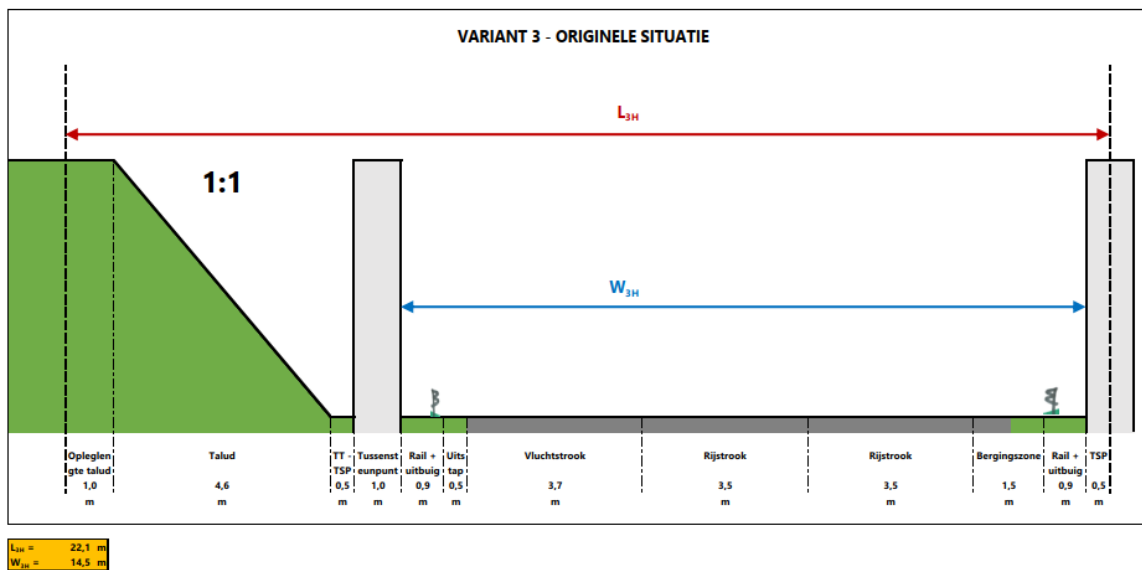


Figuur 13 - variante 2 zonder uitbreiding



Figuur 15 - variant 2 na uitbreiding

Variante 3 is een variant die veel voorkomt (ook in de A58, tussen Eindhoven en Tilburg), namelijk een viaduct met 4 overspanningen, waarbij in de zijbermen pijlers staan. De totale lengte van het viaduct is 44,2 meter opgebouwd uit twee maal 15,5 meter en twee maal 6,6 meter. Als variante 2 rekentechnisch haalbaar is, is variante 3 doordat de veldlengtes kleiner zijn.



Figuur 14 - variante 3

Variante 1 en 2 zijn in het Eindige Elementen Methode (EEM) pakket SCIA Engineer gemodelleerd ter validatie van het ontwerp. Dit is terug te vinden in '123865-21-004-055-rapd-technische haalbaarheidsstudie bio-based dek voor verkeersviaduct' [opvraagbaar]. Bij de modellering is rekening gehouden met de orthotropie van het dek. Doordat de vezels in matten kruislings worden gelegd, heeft de constructie in lengte- en dwarsrichting een andere stijfheid. Dit nemen we orthotropie. De belastingen conform belastingmodel 1 van Eurocode zijn in rekening is gebracht. De gevolgklasse is, conform RWS uitgangspunten, CC3. Dit is de hoogste veiligheidsfilosofie. Voor alle belastingen, factoren e.d. is uitgegaan van een ontwerplevensduur van 100 jaar.

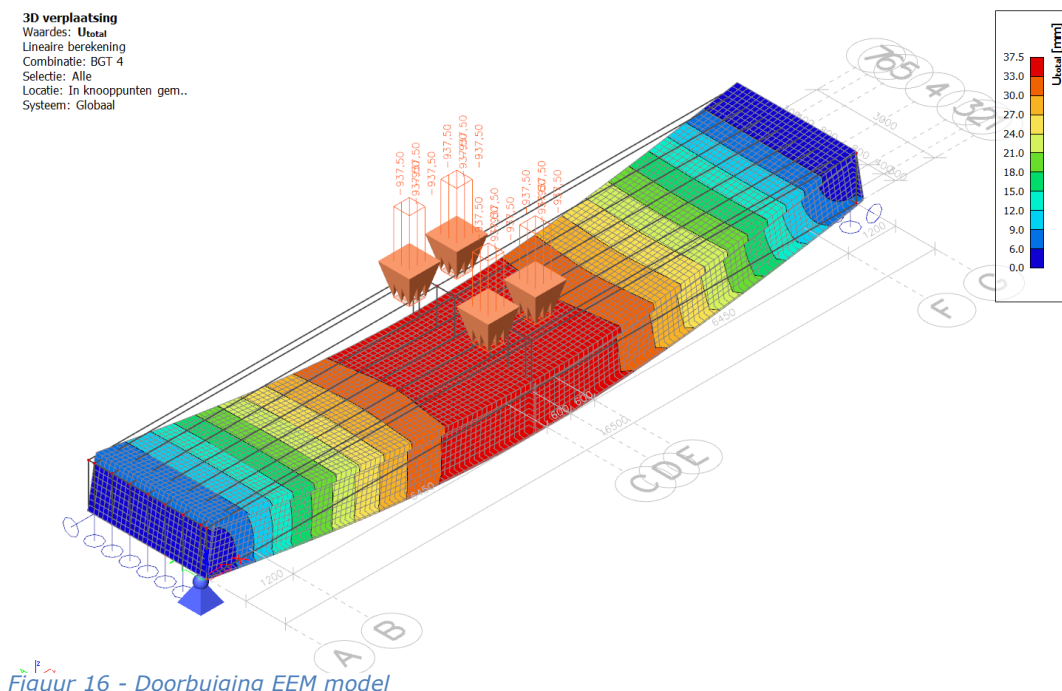
Hierin zijn de volgende toetsingen uitgevoerd, met daarbij de Unity Check (UC) welke staat voor de verhouding tussen optredende spanning en maximaal toelaatbare spanning van het materiaal, deze moet te allen tijde  $<1,0^1$  zijn.

Tabel 5 - resultaten EEM modellen

	onderdeel	Variante 1 dekhoogte 1200 mm	Variante 2 dekhoogte 1400 mm	
Globale sterkte	dekpaneel - drukspanning	0,73	0,76	✓
	lijven-trek-, druk- en schuifspanning	0,56	0,85	✓
	bodempaneel - trekspanning	0,32	0,37	✓
	dwars-/eindschotten - druk- en schuifspanning	0,28	0,68	✓
Lokale stabiliteit	plooi van de lijfplaten	0,58	0,63	✓
Doorbuiging	inclusief kruip	59,4 mm (1/278L)	88,9 mm (1/232L)	⚠

De reden dat de doorbuiging op oranje staat is dat er geen genormaliseerde maximale eis voor doorbuiging is. Als vuistregel wordt vaak de maximale waarde van 1/250 tot 1/300L genoemd waar de resultaten tussen vallen. Daarom is dit voor ons de maatgevende toets van het dek.

De optredende spanningen tonen aan dat er nog ruimte is voor spanningstoename om vermoeiing te toetsen. Door middel van testen in fase 2 wordt de werkelijke vermoeiing van het materiaal getest, waarna de doorsnede mogelijk nog geoptimaliseerd kan worden.



<sup>1</sup> Het is niet zo dat er teveel materiaal in de doorsnede aanwezig is wanneer een UC onder de 1,0 zit of dat lineaire afname van het materiaal resulteert in een evenredige toename van de UC

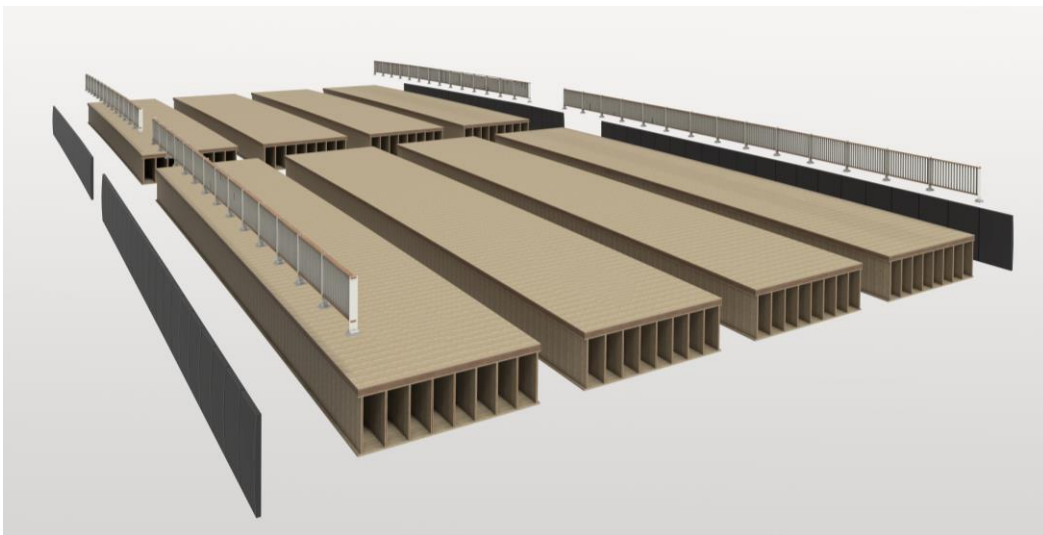


De totale neerwaartse belasting is bepaald, waarmee de fundering ontworpen kan worden. Deze is getoetst volgens de Tie Back Wedge methode voor een landhoofd geval A conform CUR198, voor een fundering op gewapende grond. Hieruit volgt bij een treksterkte van 210 kN/m een laaghoogte van 0,5 meter, een inbeddingsdiepte onder maaiveld van 1 meter en een lengte van het geotextiel van 5,5 meter.

**Hiermee is geverifieerd dat het overspannen van de rijksweg in biocomposiet haalbaar is voor zowel een 2x2 autosnelweg als voor een 2x3 autosnelweg. Beide inclusief een volledige vluchtstrook. Het viaduct kan gefundeerd worden op gewapende grond.**

Het percentage viaducten van RWS die binnen deze randvoorwaarden valt, is 37% en is verder uitgewerkt in H3.3.

Het produceren van delen die vervolgens over de breedte gekoppeld worden is uitgezocht en aangetoond, aan de hand van ontwikkelingen in het glasvezelcomposiet. Hiermee kan het dek in meerdere delen getransporteerd worden en in het werk aan elkaar gekoppeld worden. Op de lijven worden stalen profielen (trekbakken) toegepast met gaten, welke in het werk verbonden kunnen worden met bouten. In het prototype wordt deze verbinding verder ontworpen en getest.



Figuur 17 - exploded view van dekonderdelen

### 3.3 Economisch perspectief

*Feedback vanuit beoordeling: beoordeling: 7 – Redelijk. Positief gewaardeerde elementen bij dit criterium zijn de open source voor IE-recht en het potentieel aan toepasbare bruggen en viaducten. De aantoonbaarheid/onderbouwing van het verdienmodel, schaalbaarheid en andere claims zijn echter nog onvoldoende.*

Projecten in de Nederlandse bouwsector zijn lineair georganiseerd. Naast vele verschillende contractvormen waarin opdrachtnemers variërende invloed hebben op het ontwerp, worden unieke opgaven gecreëerd door opdrachtgevers door de aanbestedingswijze. Liggers van viaducten zijn langer of korter, dimensionering is altijd maatwerk om te komen tot de meest economische oplossing voor het specifieke project en vormgeving of inpassing is nagenoeg altijd uniek voor de situatie.

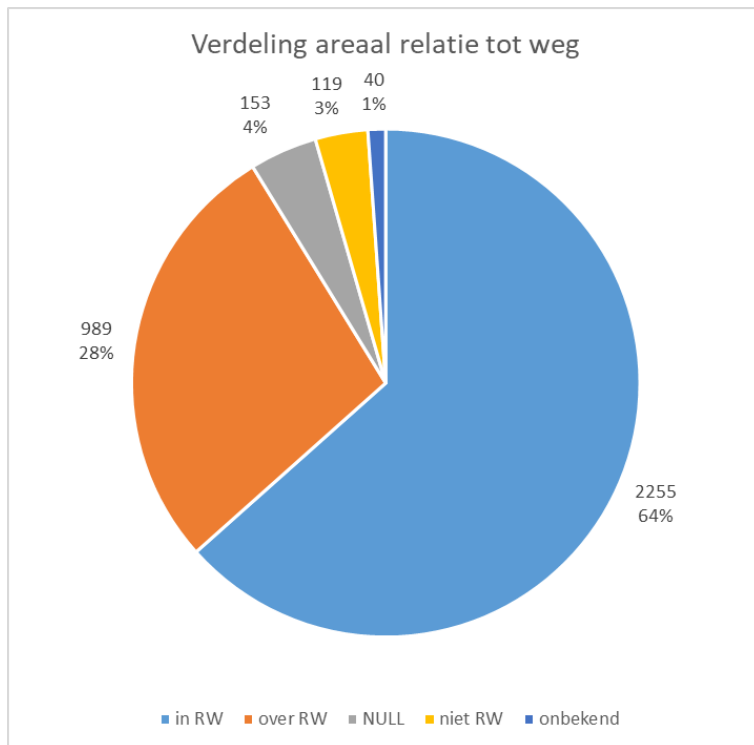
De huidige lineaire en unieke aanpak is voor circulariteit een grote beperking. Experimenten om te komen tot een systeemwijziging zijn nog niet succesvol of klaar voor grootschalige uitrol. Standaardisatie, zoals door ProRail bijvoorbeeld gezocht in de tunnelalliantie, bracht niet wat verwacht. Nieuwe samenwerkingsmodellen zoals het 'leasen' van assets, vindt op enige wijze plaats in de zeer grote DBFMO projecten. Maar ook daar is niet de hele life-cycle van toepassing en daarmee is circulariteit geen vanzelfsprekendheid. Wij zien daarom oplossingen in de vorm van modulariteit en hergebruik van gehele onderdelen van een viaduct niet als enige oplossing voor de opgave van Rijkswaterstaat om circulair te zijn in 2050. De systemsprong in de gehele sector is daarvoor te groot. Het echte perspectief voor 100%

circulair in 2050 ligt in het gebruik van 100% circulaire grondstoffen voor nieuwe viaducten. Essentieel is dat uitvragen dit als randvoorwaarde meenemen in het contract en/of kwaliteitsbeoordeling. Deze visie vormt de basis voor het economisch perspectief van het biobased viaduct.

De door ons voorgestelde aanpak maakt circulariteit volledig onafhankelijk van de nieuwe toepassing van het bestaande viaduct, de onderdelen of de grondstoffen.

### Markt

De door RWS beschikbaar gestelde datafile van het totale areaal van RWS<sup>2</sup>, bestaande uit 3.893 kunstwerken, is geanalyseerd ter bepaling van het afgedekte deel van het areaal met onze verschillende varianten. Dit is gedaan op basis van de (maximale) overspanningslengte van elke variant. Hiertoe zijn de van toepassing zijnde kunstwerken geselecteerd. Dit gebruik zijnde kunstwerken en kruisend over de rijksweg. Dit resulteert in een overgebleven aantal van 989 van de 3.893 kunstwerken (zie Figuur 18).



Figuur 18 - Verdeling van het beschouwde areaal op basis van relatie tot de weg

Vervolgens is gekozen de beschouwde objectdeel types te reduceren tot een groep bestaande uit de volgende 5 types, namelijk Balkrooster, Holleplaat, Ligger, Plaat en Springwerk. Dit resulteert in een overgebleven aantal van 935 van de 989 kunstwerken. Tenslotte is per variant onderzocht hoeveel van de overgebleven 935 kunstwerken afgedekt worden op basis van de beschouwde overspanningslengte van iedere variant. De aangehouden overspanningslengte voor iedere variant is hieronder toegelicht:

- Variant 1:  $33,0 \text{ m} / 2 = 16,5 \text{ m}$ ;
- Variant 2:  $41,2 \text{ m} / 2 = 20,6 \text{ m}$ ;
- Variant 3:  $44,2 \text{ m} / 2 = 22,1 \text{ m}$  (ligger op drie steunpunten).

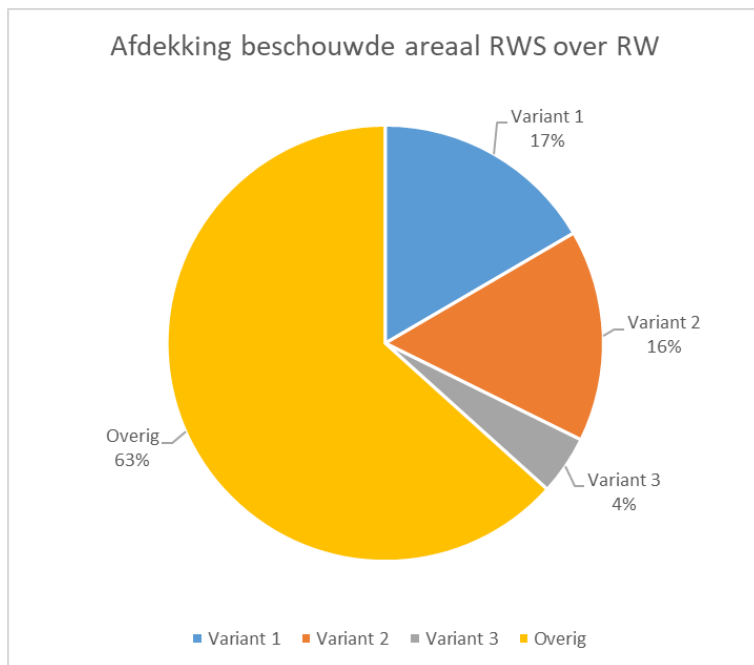
De overgebleven 935 kunstwerken zijn per variant gefilterd op basis van de gemiddelde overspanningslengte per kunstwerk, zie Tabel 6.

<sup>2</sup> De datafile waarnaar verwezen wordt is '210107 Datafile DISK tbv SBIR.xlsx'

Tabel 6 - overspanningen

Objectdeel_type_ naam	Relevant	Variant 1 16,5 meter	Variant 2 20,6 meter	Variant 3 22,1 meter
Balkrooster	7	2	2	2
Holleplaat	16	0	1	3
Ligger	353	40	121	139
Plaat	541	106	166	185
Springwerk	18	7	12	14
Totaal	935	155	302	343

Op basis van de gemiddelde overspanningslengte, resulteren de beschouwde varianten in een afdekking van 343 (= 37%) van de 935 kunstwerken.

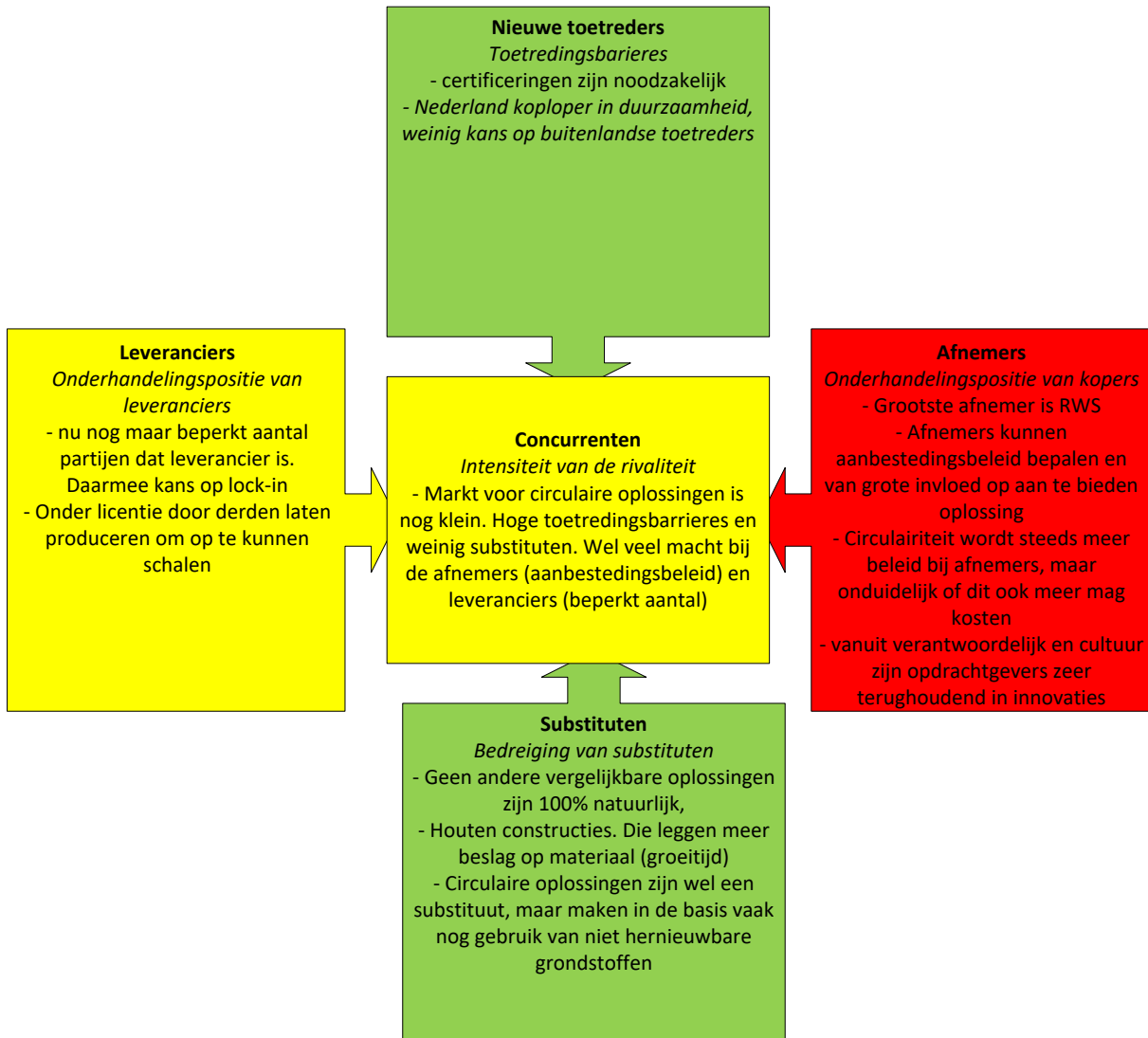


Figuur 19 - Verdeling van de afdekking van het beschouwde RWS areaal over rijkswegen per variant

Naast de markt voor viaducten voor Rijkswaterstaat is er een groter percentage relevante markt bij lagere overheden. Duurzaamheid en circulariteit is bij deze publieke partijen een steeds zwaardere focus. In de toekomst verwachten wij dat de gehele markt, uitzonderlijke overspanningen daargelaten, voor constructieve toepassingen van staal en beton kan worden uitgevoerd met biobased composiet.

### Strategie

Om de juiste focus aan te brengen in de doorontwikkeling van ons businessmodel en marktpositie is een 5 krachten analyse [Porter] opgesteld. De groene vlakken op het gebied van nieuwe toetreders en substituten geven aan dat er op die gebieden sprake is van beperkte tegenkrachten. Het gele vlak op gebied van leveranciers zijn een indicatie van meer uitdagingen, onder andere door de afhankelijkheid van leveranciers in de biobased harsen. Grootste strategische risico vormen de afnemers. Hier is sprake van een zeer wisselend aanbestedingsbeleid en traditionele beheer organisaties. Over het geheel genomen een interessante markt waarin voorwaartse integratie een belangrijke strategische optie is. Concreet betekent dit, dat wij als consortium strategische afspraken met leveranciers moeten maken, leveranciers moeten overnemen en mogelijk mee moeten investeren in R&D.



Figuur 20 - 5 krachten analyse

## Organisatie

Voor de vorm van de organisatie zie H2.

In gezamenlijkheid heeft dit consortium reeds laten zien in staat te zijn om vergelijkbare innovatieopgaven tot een succes te maken. Onze samenwerking kent in de praktijk drie vormen, afhankelijk van de positie in een project.

### 1. Uitvoeren consortium

Strukton fungeert als penvoerder in verband met haar omvang en mogelijkheden tot risicodragendheid bij uitvoeringsprojecten. Witteveen+Bos treedt op als leadengineer en DIC voert de detailengineering uit, brengt materiaalkennis in en produceert de biocomposieten elementen. Met het toekomstperspectief van de toenemende vraag naar biobased materialen neemt de kennis en ervaring in de markt toe. Daarom kiezen wij twee aanvullende businessmodellen.

### 2. Fungeren als leverancier

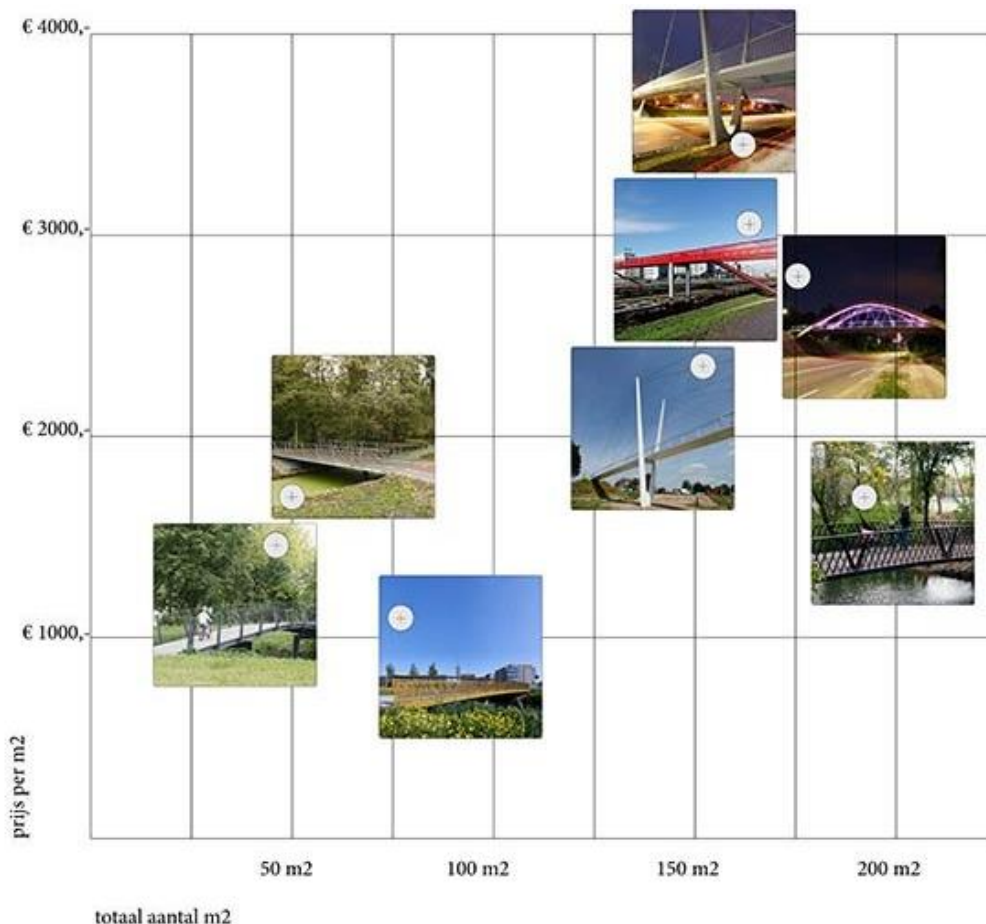
Niet elk vlasvezelversterkt composiet viaduct wordt gerealiseerd door het consortium. Om de productiefaciliteiten binnen ons consortium optimaal in te zetten leveren wij vanuit het consortium biocomposieten dekken gebouwd door derden. In deze projecten is DIC penvoerder. De gemaakte ontwikkelkosten van het consortium worden in deze projecten als een kleine toeslag op de materiaal en productiekosten terugverdiend en naar rato verdeeld onder de drie partners.

### 3. Kennispartner

Voor een gezonde markt en grootschalige toepassing zien wij graag dat derden gebruik maken van onze ontwikkelde kennis. Wij delen de materiaalkundige kennis op het gebied van biobased composiet open source. Andere producenten kunnen op basis van deze kennis eigen productiemethoden ontwikkelen. Dit betekent concreet dat wij geen IE op onze innovatie voorzien.

### Financieel

Het kostenniveau van biobased composiet fietsbrug, op basis van de eerst gerealiseerde, ligt op ca. € 4.500 euro per m<sup>2</sup> (bron: fietsbrug Ritsumasy). Figuur 21 geeft het kostenniveau aan van verschillende fietsbruggen met een vergelijkbare overspanningen.



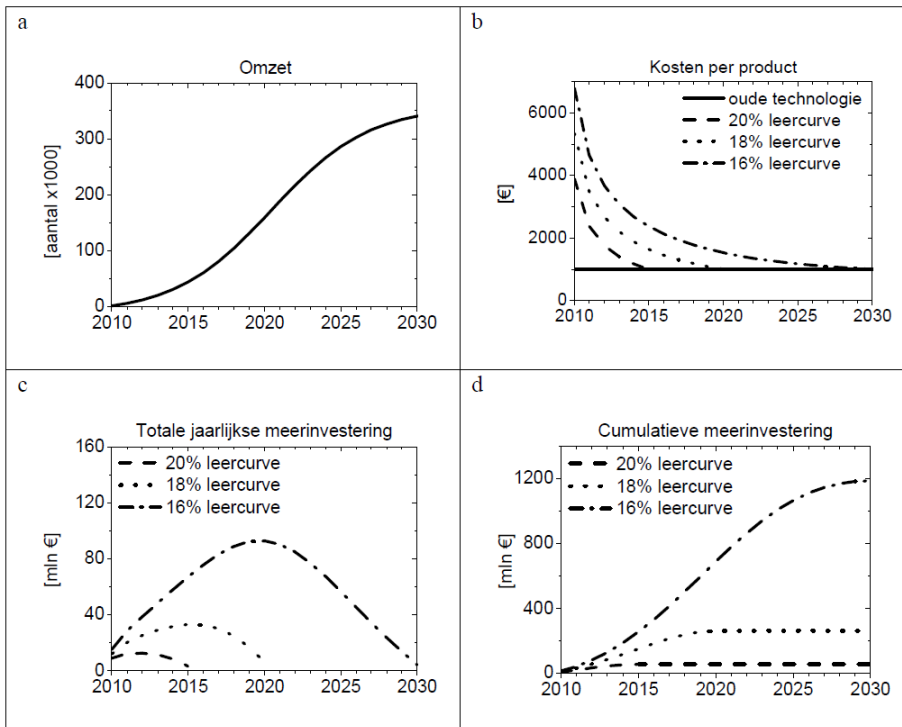
Figuur 21 - kostenvergelijking fietsbruggen [Bron: [www.ipvdelft.nl/wat-kost-een-brug](http://www.ipvdelft.nl/wat-kost-een-brug)]

De kosten van een biobased brug zijn momenteel vergelijkbaar met een stalen fietsbrug met een hoge architectonische waarde. Betonnen fietsbruggen hebben een kostenniveau van ca. € 2.500 per m<sup>2</sup>.

Het is realistisch om een biobased viaduct in de huidige markt te vergelijken met een viaduct die een architectonisch landmark is. Beide hebben een hoge klantwaarde omdat ze een grote bijdrage leveren aan de beleidsdoelstellingen van opdrachtgevers.

Om in de toekomst een reëel substituut te vormen voor beton moeten de kosten van biobased composiet dalen. Of dat realistisch en financieel haalbaar is hanteren wij R&D investeringsleercurven.





Figuur 22 - leercurve R&D investeringen [Bron Rapport innovatie en Leercurven, TNO]

De curves a, b, c en d hebben in samenhang betrekking op een generiek R&D proces. Curve a beschrijft de omzettoename van een product in de tijd. Curve b toont dat bij een toenemende omzet de kosten van een nieuw product dalen, waarbij op termijn de kosten van het concurrerende product worden bereikt. Investering in R&D is noodzakelijk voor een daling van de kosten per product en is er sprake van een commerciële investering om in de markt te concurreren. Samen staan deze kosten op jaarlijkse basis in curve c. Curve d cumuleert de jaarlijkse kosten uit curve c.

De R&D voor het biobased viaduct wordt geplott op deze leercurven, wij hanteren de gemiddelde 18% leercurve. Op basis van curve b (kosten per product) kan in 10 jaar het huidige kostenniveau van € 4.500 per m<sup>2</sup> worden verlaagd naar het kostenniveau van een regulier betonnen verkeersviaduct (ca. €1.000 per m<sup>2</sup>).

Gemiddeld over de komende 10 jaar is maximaal een meer-investering ten opzichte van betonnen viaducten nodig van ca. 30 miljoen (curve c) de gewenste kostenreductie (curve b) te verwezenlijken. Deze meer-investering wordt bekostigd doordat de viaducten in de komende jaren veel klantwaarde biedt op gebied van duurzaamheid. Opdrachtgevers zullen middels BKPV uitvragen bereid zijn hier meer voor te betalen. Per m<sup>2</sup> viaduct kan de komende jaren een prijs van € 4.500,- worden gevraagd omdat de klantwaarde vergelijkbaar is met een stalen brug onder architectuur en wordt in de komende jaren extra marge van €2.000,- per m<sup>2</sup> gegenereerd. Om met deze marge de branchebrede investering van ca. € 30 miljoen per jaar te dekken zullen per jaar ca. 50 viaducten gebouwd moeten (uitgangspunt is een breedte van 10m en een overspanning van 25 meter, dus een investering van 1,125 miljoen per viaduct met een extra marge van 0,5 miljoen ten gunste van de noodzakelijke branchebrede investering).

Kanttekening bij bovenstaande uitgangspunten is dat de kosten van een betonnen viaduct over de komende 10 jaar als constante worden aangehouden. Dat is niet de verwachting. Door regulering en bronbelastingen op gebied van CO<sub>2</sub> is de verwachting dat de beton (cement)prijs aanzienlijk stijgt in de komende jaren. Een stijging die bij het uitontwikkelde product beton niet opgevangen wordt door verdere ontwikkelingen op het gebied van materiaalkunde of engineering. Zoals in H3.1 aantoont is de CO<sub>2</sub> uitstoot bij een biobased viaduct lager dan een betonnen variant, waarmee dit bij een CO<sub>2</sub> beprijzing voordeel oplevert.

### Juridisch

Om te anticiperen op de verschillende rollen van ons consortium in projecten, bestaat onze samenwerking initieel uit een consortiumovereenkomst waarin wederzijdse rechten en plichten zijn vastgelegd. Deze overeenkomst maakt het mogelijk om gezamenlijk onder penvoering van Strukton Civiel in te schrijven voor uitvoeringsprojecten. Ook is deze overeenkomst de basis voor de samenwerking in projecten waarin

DIC leverancier van biocomposieten elementen is. Voor alle samenwerkingsvormen, zie organisatie, geldt dat wij de inhoudelijke gegevens en materiaalkundige kennis als open source informatie beschikbaar zullen stellen.

## 4. Voorstel voor fase 2

Fase 2 is opgedeeld in verschillende stappen. Waarbij fase 2a als voorfase wordt gezien en fase 2b als realisatiefase van een biobased verkeersviaduct.

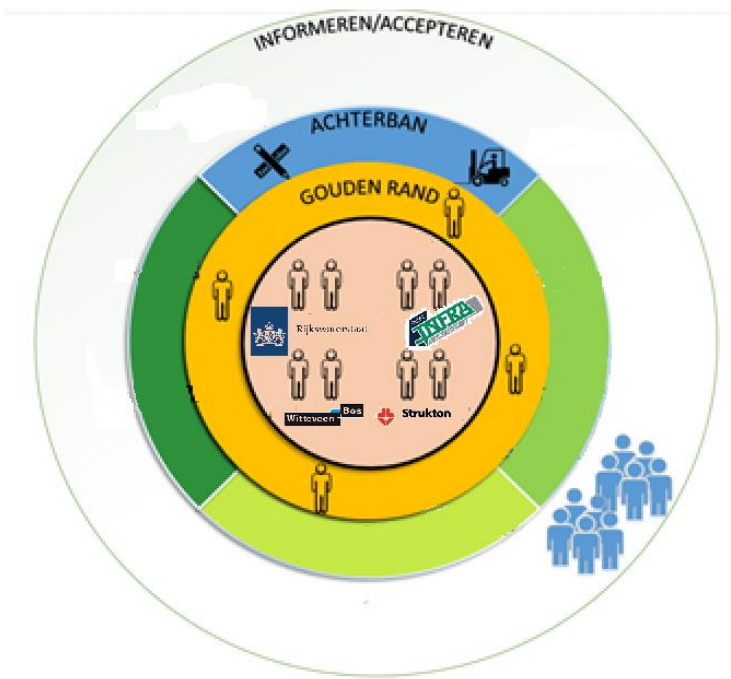
### Fase 2a

De belangrijkste onderdelen in fase 2a:

- Teamvorming
- Materiaalonderzoek
- Verdiepend ontwerp
- Monitoringsplan
- Conditionerende onderzoeken
- Subsidie onderzoeken
- Validatie fase 2a

### Teamvorming

Aan de basis voor een succesvolle innovatie ligt een investering in de onderlinge samenwerking. Met onze lessons learned uit voorgaande innovatietrajecten richten wij ons team in samen met u. Het projectbelang, onze gezamenlijke droom, moet hierbij centraal staan. Met deze grondhouding richten wij in het kader van best for project het team in, op basis van gelijkwaardigheid, met oog voor elkaars belangen, waarbij eenieder in zijn kracht wordt ingezet. Onderstaand een visualisatie van het organisatiemodel. Hierbij is het kernteam centraal gevisualiseerd omringt door een gezamenlijk gevulde gouden rand van specialisten en beheerders vanuit RWS, ons consortium, projectpartners en kennisinstellingen, zie H2.



Figuur 23 - organogram

Daarnaast is het partnership open, wij staan open voor toetreders met toegevoegde waarde aan het projectbelang. Tabel 8 geeft lessons learned vanuit Ritsumasyl.

Tabel 7 - Lessons learned

	Lessons learned innovatietrajecten	Borging SBIR – traject fase 2a
1	Voldoende tijd borgen om innovatietraject te doorlopen – voldoende uitdaging zoeken in de innovatie	Doorlooptijd van fase 2a van ca. 12 maand aangehouden, vergelijkbaar met Ritsumasyl. Voor fase 2b is een doorlooptijd van ca. 6 maand beoogd.
2	Conservatieve aannames van materialisatie borgen in ontwerpuitgangspunten ter voorkoming van veel re-work. Besluiten vastleggen in logboek	Onderdeel van inrichting fase 2a
3	Beheerders in vroeg stadium aanhaken om bekend te worden met nieuwe materiaal	Onderdeel van experts in de gouden schil
4	Bevoegd gezag ondersteunen voor toetsing van het ontwerp	Vergelijkbaar met aanpak Ritsumasyl. Gezien de beperkte kennis in de markt, specialisten hiervoor vroegtijdig reserveren.
5	Ruimte voor dromen en fouten mogen maken, leidt tot verleggen van grenzen	Aandacht voor teamvorming, borgen van gelijkwaardigheid, benoemen van “oud gedrag”.

Binnen dit onderdeel valt ook het opstellen voor een overeenkomst voor fase 2b, ten behoeve van de voortgang na een eventuele GO, zie projectorganisatie onder H2.

#### Materiaalonderzoek

De materiaaltesten op laminaten die in eerste instantie voor fase 1 stonden, worden in fase 2a uitgevoerd en duren half jaar tot jaar. Dit is onafhankelijk van het resultaat van het go/no go moment.

Tabel 8 - onderzoeksvorstel materiaalproeven

onderdeel	omschrijving
vermoeiings sterkte onder trek	<p>Door de hoge verkeersintensiteit bij viaducten in en over Rijkswegen is het noodzakelijk om additionele proeven uit te voeren om de vermoeiingssterkte vast te stellen.</p> <p>Productie van 6 stuks coupons van het standaard 1/2UD +1/2QI laminaat. Deze worden per 2 stuks op drie verschillende spanningsniveaus ingesteld. Op basis van de kennis van het materiaal worden de haalbare spanningsniveaus ingeschat behorende bij de beoogde levensduur.</p> <p>Dit onderzoek valideert het maximaal toelaatbare trekspanningsniveau en spanningswisselingen het materiaal.</p>
cyclische kruipgedrag onder trek en druk	<p>In het kruipgedrag van het materiaal is voldoende inzicht. Voor toepassingen in en over snelwegen dient een situatie met passerende vrachtwagens te worden nagebootst. Dit levert een spanningsverhoging met hoge intensiteiten van korte duur op.</p> <p>Productie van 3 stuks coupons van het standaard 1/2UD +1/2QI laminaat. Deze worden voorgekropen gedurende 14 dagen onder een constante spanning. De maximaal aangebrachte spanning en intensiteit/interval wordt ingeschat op basis van de kennis van het materiaal, met de bedoeling om enerzijds vroegtijdige breuk tegen te gaan en anderzijds een realistisch spanningsbeeld en de beoogde levensduur na te bootsen.</p> <p>Dit valideert de te verwachten tijdsafhankelijke vervorming door verkeersbelasting.</p>



*Figuur 24 - coupons na testen*

De exacte materialen ontbreken in de DuboCalc database. Daarom laten wij van het product vlasvezelcomposiet een LCA uitvoeren, waarmee het in de NMD opgenomen wordt. Het product wordt dan eerlijk vergelijkbaar en is voor alle marktpartijen beschikbaar.

#### Verdiepend ontwerp

Het traditioneel ontwerpproces doorloopt stappen van grof naar gedetailleerd om uiteindelijk een bouwvergunning te verkrijgen. De stappen daarin zijn voorontwerp (VO) > definitief ontwerp (DO) > uitvoeringsontwerp (UO). In fase 1 is een VO ontwerp gevalideerd, fase 2a staat daarmee in het teken het DO. Hierbij worden berekeningen uitgewerkt op na, gezamenlijk met RWS, vastgestelde bouwlocatie. Op basis van concrete afmetingen worden de berekeningen uitgevoerd en worden aansluitingen uitgewerkt. Deze stap duurt enkele maanden en kan simultaan aan het materiaalonderzoek worden uitgevoerd.

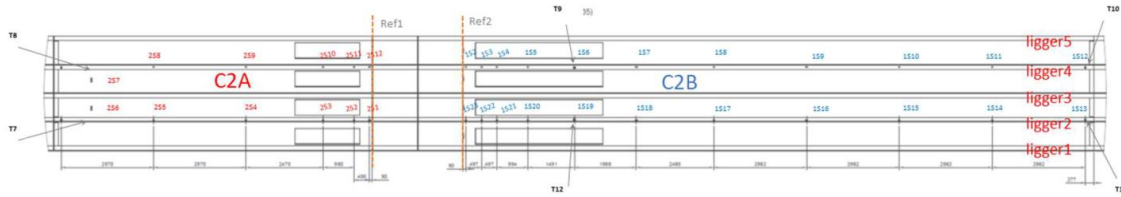
Het prototype bestaat sowieso uit een biocomposieten dek en afhankelijk van de toegepaste locatie uit een fundering. Dit kan hergebruik van ene fundering zijn, een gewapende grond fundering of een matchmaking van de overige SBIR-innovaties (zoals bijvoorbeeld closing the loop, combi ViCi).

#### Monitoringsplan

Doordat een biobased composieten verkeerviaduct nog nooit is gerealiseerd, is het van belang om gedurende het gebruik van de brug informatie te verzamelen over het gedrag en eigenschappen van het dek. De verzamelde informatie uit het monitoringsysteem gebruiken we om te leren over het gedrag van biocomposiet voor verdere toekomstige toepassingen. De wijze waarop wordt vastgelegd in een monitoringsplan. Om te zorgen dat de monitoring van het biobased composieten dek succesvol is en kennis en inzichten over bio-composiet oplevert, zijn twee zaken belangrijk:

1. het systeem monitort de juiste gegevens op de juiste locaties;
2. een systeem om alle verzamelde monitoringsgegevens gestructureerd op te slaan en te kunnen bevragen;

Ad 1. De locatie van de meetpunten (sensoren) bepalen we door in het 3D-model van het viaduct een dynamische belasting te simuleren. Dat geeft middels een grid-model inzicht in de kritieke punten van de brug, daar waar de belasting het grootst zijn of de verbindingen het zwakst. Op basis daarvan bepalen we hoe het ontwerp van het sensoringsysteem er uit moet komen te zien (zie Figuur 25, als voorbeeld en te bepalen hoeveel én welke sensoren nodig zijn. Momenteel verwachten we in ieder geval optische lijnsensoren, temperatuursensoren en vochtsensoren. De combinatie met een meteostations dat temperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid en UV meet kunnen we de data uit het viaduct in de juiste context plaatsen en analyses doen.



Figuur 25 - monitoringsplan biobased fietsbrug

### Conditionerende onderzoeken

Na het vaststellen van een bouwlocatie moeten, indien niet aanwezig of nog niet uitgevoerd op projectlocatie, noodzakelijke conditionerende onderzoeken worden uitgevoerd om de noodzakelijke vergunningen te verkrijgen. Hierbij valt te denken aan sonderingen, grondonderzoek (aanwezigheid van verontreinigingen e.d.), archeologische onderzoeken, flora- en faunaonderzoeken. Wanneer de bouwlocatie een onderdeel is van een ander project kan op de conditionerende onderzoeken van het specifieke project worden meegelift. Afhankelijk van het wel/niet aanwezig zijn van beschikbaar onderzoek kan een tijdsplanning opgezet worden.

### Subsidie onderzoeken

In eerdere innovatietrajecten hebben wij als marktpartijen het innovatiebudget vergroot door vanuit de markt subsidiegelden aan te vragen. In fase 2a doorlopen wij samen met onze partner Hezelburcht deze zoektocht. Gezien de omvang en de diversiteit van onze innovatiepartners (van klein, tot groot bedrijf en van regionaal tot landelijk en zelfs internationaal opererend) en kennisinstellingen zien wij maximale speelruimte voor het succesvol verwerven van additionele subsidiegelden.

### Validatie fase 2a

De belangrijkste onderdelen waar validatie plaats moet vinden is het ontwerp en de conditionerende onderzoeken. De locatie resulteren in specifieke afmetingen voor het te bouwen prototype. Met deze afmetingen wordt een DO ontwerp gemaakt, waarmee de technische haalbaarheid aangetoond wordt. Middels de conditionerende onderzoeken worden de randvoorwaarden van de omgeving gevalideerd. De materiaaltesten valideren de materiaaleigenschappen, maar de validatie van de resultaten daarvan behoort tot fase 2b.

### **Fase 2B**

Fase 2B zien wij als de daadwerkelijke realisatiefase van een fysiek biobased viaduct. Dit is een fullscale model waar, gedurende langere tijd, verkeer overheen rijdt. Dit kan bouwverkeer zijn op een afgesloten terrein (zoals bij het circulaire viaduct in Kampen) of in de openbare weg met een kleiner risicoprofiel (gemeentelijk/provinciaal viaduct/brug met overspanning tot 20 meter). Door de sensing wordt daarmee het ontwerp gevalideerd en kunnen wij het product biobased verkeersviaduct in andere projecten aanbieden.

De volgende onderdelen maken deel uit van deze fase:

- Verwerken resultaten Materiaalonderzoek;
- Uitvoeringsontwerp;
- Implementeren Monitoring;
- Fabricage, plaatsing en monitoren;
- Kennisdeling;
- Validatie fase 2b;

### Verwerken resultaten Materiaalonderzoek

Gedurende fase 2b worden de eerste resultaten van de materiaalonderzoeken verkregen. Deze data wordt naast reeds uitgevoerde testen gelegd en de data wordt, conform richtlijnen, bewerkt om bruikbare parameters te bemachtigen. Deze parameters worden gebruikt in de rekenmodellen of dienen ter aantoning van gedane aannames in het ontwerp.

### Uitvoeringsontwerp

Met het afronden van fase 2a wordt het DO afgerond en is voor fase 2b een uitvoeringsontwerp (UO) nodig. Deze is de basis voor de vergunningsaanvraag. Een UO is een compleet uitgewerkt ontwerp, de afmetingen van iedere detail is bepaald en gecontroleerd.

Om tot acceptatie van een beheerder over te gaan hanteren wij de aanpak van RitsumasyL. Daar hebben wij een onafhankelijk expert (uit Engeland) aan de beheerder gekoppeld om toetsing van het ontwerp uit te voeren.

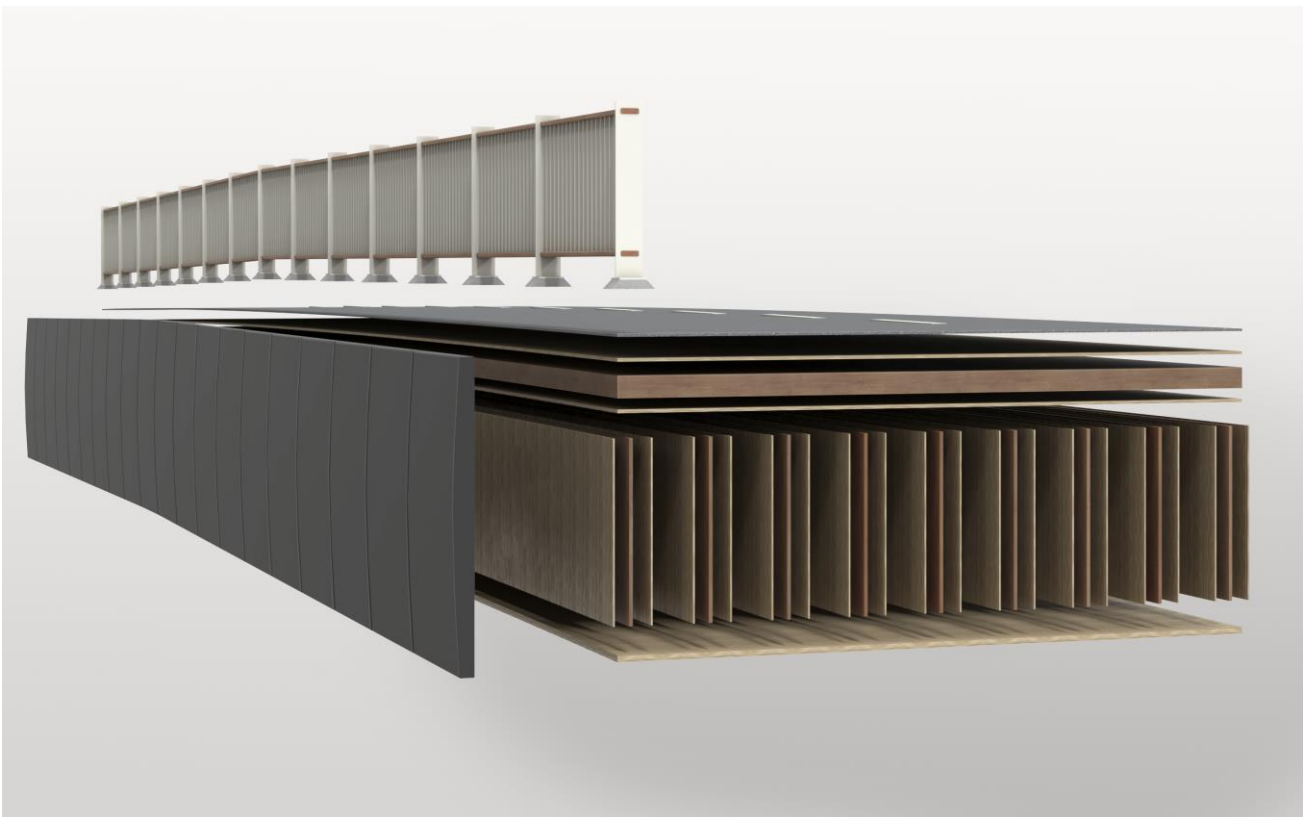


### Implementeren Monitoring

Het beoogde systeem is een datamanagementsysteem (DMS). Het DMS slaat de ruwe meetgegevens op en verwerkt de data tot begrijpbare informatie over het dek. De data is afkomstig uit sensoren die aangebracht zijn in het dek. Daarnaast is het meteostation een belangrijke databron. Van deze variabelen wordt verwacht dat ze een invloed hebben op het biobased composiet. Vervolgens wordt uit deze data met behulp van modellen, machine learning algoritmes en visualisaties (nieuwe) inzichten en kennis over het bio-composiet gegenereerd. Deze kennis en de data van het monitoringssysteem wordt beschikbaar gesteld aan alle stakeholders via een passende interface, zoals dashboards en directe dataconnecties (API's).

### Fabricage, plaatsing en monitoring

Met behulp van het UO start de productie van de biocomposiet composieten elementen in Breukelen. De minimale hoeveelheid te produceren elementen is twee, om de demontabele koppeling te kunnen testen. Tijdens productie worden de sensoren aangebracht ten behoeve van de monitoring. Gelijk aan de productie van het dek wordt op locatie, indien van toepassing, de onderbouw gerealiseerd. Na voltooiing van het dek wordt deze in de fabriek voorzien van een slijtlaag waarna het dek getransporteerd wordt naar de locatie en aldaar ingehesen worden. De sensoren worden aangesloten, waarmee de monitoring gestart wordt.



*Figuur 26 - opbouw onderdelen dek*

### Kennisdeling

In deze fase zijn de resultaten van fase 2a bekend. Deze werken wij uit in een publicatie en delen wij op diverse podia, door lezingen bij de Bruggendag, bouwend Nederland, platform CB'23 e.d. De resultaten worden toegevoegd aan de CUR96 - vezelversterkte kunststoffen in bouwkundige en civieltechnische draagconstructies.

Door het delen van de resultaten op een website en de monitoring real life te streamen kan een ieder bij de gegevens om te zien hoe het circulaire viaduct presteert.

### Validatie fase 2b

Belangrijk in fase 2b is het valideren van de materiaaleigenschappen. De resultaten van de proeven valideren de materiaaleigenschappen die in het 3D EEM model zijn gebruikt zijn. Doordat het prototype uit minimaal 2 elementen bestaat kunnen de demontabele verbindingen getest worden. Binnen fase 2b wordt naast het belasten van het object tevens de elementen meermaals gedemonteerd en gemonteerd. De

verkregen data door monitoring dient meerjarig als update van de validatieset van de lange termijn proefstukken.

## 5. Begroting fase 2

	<b>Totaal in €</b>	<b>Totaal uren</b>
Kosten van arbeid	634.458,00	11.186,20
Verbruikte materialen	207.637,50	
Machines en apparatuur	51.527,50	
Kosten van arbeid van projectpartners	277.500,00	4.395,00
Kosten derden	68.546,42	
Overige kosten	-	
<b>Totaal exclusief BTW</b>	<b>1.239.669,42</b>	<b>15.581,20</b>
Omzetbelasting (laag)		
Omzetbelasting (hoog)	260.330,58	
Omzetbelasting (0%)		
<b>Totaal inclusief BTW</b>	<b>1.500.000,00</b>	

Disclaimer; Dit betreft een gecorrigeerde (niet dekkende) begroting sluitend gemaakt op het beschikbare SBIR budget per partij (max. 1.500k incl. BTW), de kosten reeds geïnvesteerd en nog te investeren van de partners binnen het partnership niet volledig inzichtelijk gemaakt. Hetgeen aansluit op uw berichtgeving van 27-8-2020.

## 6. Colofon

Onze projecttitel is Biobased Verkeersviaduct met acroniem BioV. De deelnemende partijen zijn Delft Infracomposites, Strukton Civiel en Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. De contactpersoon is mevrouw ir. S.H.L. Lamerichs (Stephanie) en de uitvoerder is de heer ing. B.C.G. Olde Monnickhoff (Bart). De voorziene planning voor fase 2 is weergegeven in onderstaande afbeelding. Dit geeft dat de startdatum Q2-2021 en loopt ten einde Q4-2022.

## 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: BioV

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

- Ongewijzigd uitgevoerd                       Later uitgevoerd
- Niet gestart     Uitgevoerd zonder partners
- Kleiner geweest     Uitgevoerd met andere partners

### 2. Samenwerking en netwerkvorming

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

Naam samenwerkingspartners	Gevestigd in (Land)	Deze is bekend/nieuw voor de organisatie	Soort bedrijf (MKB <250 werknemers of GRB >250 werknemers)	Soort kennisinstelling (Universiteit, HBO, TNO, MBO, etc.)
Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs 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	
Strukton Civiel 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	
Delft Infracomposites	<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	
zie H2 voor projectpartners en kennisinstellingen	<input type="checkbox"/> Nederland <input type="checkbox"/> ...	<input type="checkbox"/> Bekend <input type="checkbox"/> Nieuw	<input type="checkbox"/> MKB <input type="checkbox"/> GRB	
	<input type="checkbox"/> Nederland <input type="checkbox"/> ...	<input type="checkbox"/> Bekend <input type="checkbox"/> Nieuw	<input type="checkbox"/> MKB <input 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, zie selectie in H2. Samenwerkingen op basis van eerdere projecten waar nu aan toegevoegd een hars en coatingproducent.

Nee

### 3. Het instrument SBIR

3.1 Wat vindt u sterke punten van het instrument SBIR

- + Brede oplossingen mogelijk en ontwikkelpotentieel.
- + Gelijkwaardige samenwerkingsniveau.
- + Direct maatschappelijke meerwaarde kunnen ontwikkelen.
- + Directe opschaling van innovatie.

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

Beoordelingscommissie meenemen in het traject.



## BIJLAGE 2 MKI