



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

# PROTOTYPE CIRCULAIR VIADUCT

Belangrijkste inzichten en lessen na  
het ontwerpen, bouwen, monitoren  
en demonteren.





# Voorwoord



Cees Brandsen

Hoofdingenieur-directeur Water,  
Verkeer en Leefomgeving Rijkswaterstaat

We praten nu nog veel over het realiseren van een circulaire economie. Echter, om circulair bouwen in het hart van onze infrastructuur toe te passen moeten we van samen denken naar samen doen! Samen met partners echt bouwen en de nodige kennis en ervaring opdoen, dat maakt dit circulair viaduct zo relevant! Daarbij vind ik het belangrijk dat we naast het doen, ook de opgedane kennis over het ontwerp en de uitvoering delen in de keten. Zo nodigen we iedereen uit om mee te denken om te versnellen richting een circulaire economie. Ik hoop dat het bouwen, evalueren en (kennis)delen van dit prototype bijdraagt aan de ontwikkeling van de volgende generatie circulaire viaducten en bruggen. Zodat we over een aantal jaren terugkijken en beseffen hoeveel verder we zijn gekomen in het toepassen van circulair bouwen in de netwerken van Rijkswaterstaat.



Jeroen Bonekamp

Directeur Van Hattum en Blankevoort

De ontwikkeling van het circulaire viaduct is voor ons allen een ontdekkingsreis geweest. Gestart vanuit een droom om een echt circulair ontwerp te maken, hebben we deze reis afgesloten met een ritje over ons eerste, daadwerkelijk gerealiseerde, circulaire viaduct. Een prestatie van formaat! Bevlogenheid, enthousiasme en doorzettingsvermogen zijn de drives geweest voor deze stap voorwaarts. Rijkswaterstaat, Consolis Spanbeton en Van Hattum en Blankevoort hebben elkaar hierbij voortdurend uitgedaagd onder het motto 'kan niet bestaat niet'. Alle collega's hebben keihard gewerkt om dit project te laten slagen. Samen hebben we de eerste stappen gezet naar een circulaire economie. Van Hattum en Blankevoort heeft de ambitie om in 2025 de meest duurzame infrabouwer van Nederland te zijn. Dat kan alleen door écht anders te gaan denken, en alleen samen kunnen we dit bereiken. Met dit prachtige initiatief hebben we laten zien dat we op de goede weg zijn en daar ben ik trots op!



Kees Quartel

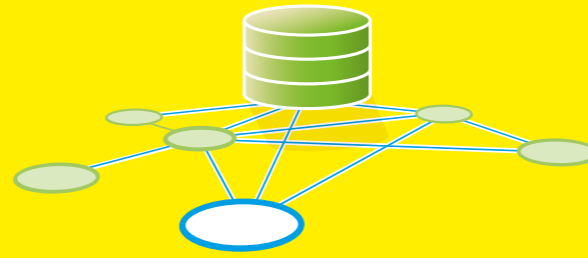
Consolis Spanbeton

Toen Spanbeton in 2016 werd gevraagd om mee te ontwerpen aan een circulair viaduct wisten wij niet welk avontuur ons stond te wachten. Het werd een expeditie die we samen met andere reisgenoten hebben gemaakt. Er waren obstakels op de weg en reuzen die ons onzeker wilden maken, maar we gingen samen de uitdagingen aan. Daardoor leer je elkaar beter kennen en word je als groep sterker. Als beloning kregen we mooie vergezichten, een aanmoediging om door te gaan. Het avontuur heeft ons geleerd dat het noodzakelijk is om de focus te verleggen naar een andere manier van denken en handelen en dat je dat samen moet doen. Met deze visie zet ik graag de volgende stap; samen en vooral vooruit.





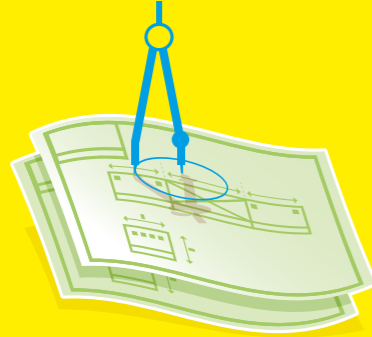
**4. BUSINESS CASE  
EN ASSETMANAGEMENT →**



**5. INFORMATIEBEHOEFTE  
EN DATA →**



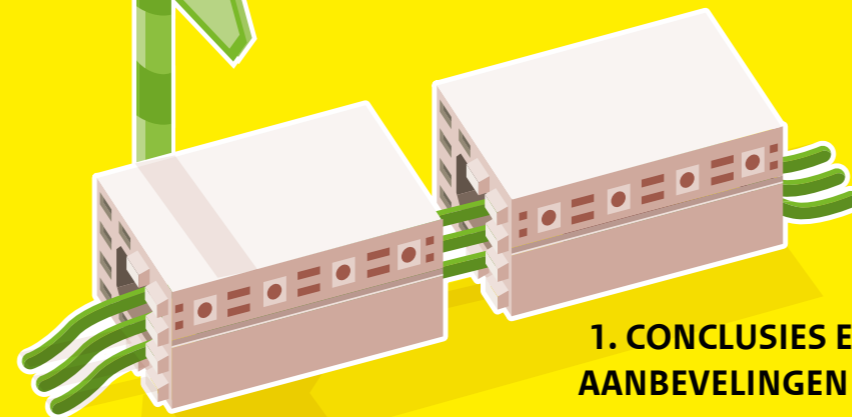
**6. CIRCULARITEIT  
EN MILIEU-IMPACT →**



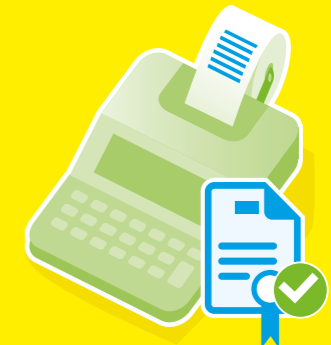
**3. TECHNISCH ONTWERP →**



**INLEIDING →**



**1. CONCLUSIES EN  
AANBEVELINGEN →**



**7. INKOOP →**



**2. GESCHIEDENIS,  
LEREN VAN HET TRAJECT →**



**OVERZICHT DOCUMENTEN →**



**8. INZICHTEN UIT  
HERBESTEMMING →**





# Inleiding

## Introductie (wat is het Circulair Viaduct?)

Van Hattum en Blankevoort, Consolis Spanbeton en Rijkswaterstaat bouwden samen het eerste circulaire viaduct van Nederland. Dit prototype plaatsten we nabij Kampen, waar het viaduct negen maanden getest werd door het bouwverkeer van de Reevesluis. Hierbij werkten we op een gelijkwaardige manier samen. We deelden en delen de opgedane kennis open met geïnteresseerden en in de Open Leeromgeving circulaire viaducten en bruggen met andere infrabeheerders, marktpartijen en kennisinstellingen.

Het viaduct is circulair omdat de elementen waar het uit bestaat op een andere locatie en in een andere samenstelling volledig en ongeschonden opnieuw bruikbaar zijn. Zo is er geen afval, zijn er geen nieuwe grondstoffen nodig en worden gebruikte onderdelen op de meest hoogwaardige manier opnieuw benut. Het viaduct draagt hiermee bij aan de duurzaamheidsambitie van Nederland.

Bij dit prototype hebben we ingezet op daadwerkelijk samen bouwen, naast denken ook doen. Daarbij hebben we laten zien wat er al kan, en dagen we uit tot verdere doorontwikkeling.

Ambities circulaire economie en duurzaamheid van de samenwerkingspartners → [Rijkswaterstaat](#) → [Van Hattum en Blankevoort](#) → [Consolis Spanbeton](#).





### Leeswijzer

Het hoofdstuk 'Conclusies en aanbevelingen' beschrijft allereerst de belangrijkste inzichten en lessen van het ontwerpen, bouwen, monitoren en demonteren van het eerste circulaire viaduct in Nederland. De daaropvolgende hoofdstukken beschrijven per thema kort de gevolgde insteek en bovenal de belangrijkste lessen en inzichten vanuit het prototype alsmede de relevante vervolgadviezen of -vragen. Hiervandaan wordt verwezen naar achterliggende documenten.

Hiernaast hebben we ook een 'learning history' geschreven over de afgeronde bouwfase en het voorafgaande traject. Deze verhalende methode beschrijft en evalueert het proces en de samenwerking. → [Learning history](#)

Mocht u na het lezen van dit document opmerkingen hebben, of aanvullende vragen, dan horen we dat natuurlijk graag. Alle drie de betrokken partijen zijn daarvoor bereikbaar. U kunt ook e-mailen naar [circulair@rws.nl](mailto:circulair@rws.nl).



# 1. Conclusies en aanbevelingen

## 1.1 Het circulaire viaduct-concept

De voor de hand liggende vraag om te beantwoorden na ruim een jaar samenwerken aan de realisatie van het prototype luidt: “is het circulaire viaduct in deze vorm, het ontwerp dat nu op grote schaal - voor alle viaducten en bruggen - kan worden uitgerold?” Het antwoord daarop is genuanceerd. Veel elementen van het prototype kunnen in de toekomst zeker worden benut bij andere circulaire toepassingen, zoals de shear keys, het werken met voorspanning zonder aanhechting en het ontwikkelen van een demontabel brugdek met zekere mate van standaardisatie en modulariteit. Echter de flexibiliteit van het huidige concept, waardoor hetzelfde viaduct bruikbaar is voor verschillende overspanningen, veroorzaakt de grootste beperking. Door het gekozen ontwerp is de toepassing van een fietsbrug van 15 meter namelijk even robuust als een brug van 25 meter voor de zwaarste verkeersklasse. Daarmee zal het circulaire viaduct voor een groot deel van de bruggen waarvoor hij toepasbaar is, vanuit praktische, esthetische en vooral financiële overwegingen, redelijkerwijs niet worden ingezet in de bestaande infrastructuur. Een verdere ontwikkeling van het achterliggende concept van het prototype ligt meer voor de hand, bijvoorbeeld door een eenvoudiger concept te ontwikkelen met minder flexibiliteit (dat minder voegen en een lichter ontwerp oplevert) en/of een paar verschillende formaten. Om zich breder te kunnen meten met bestaande oplossingen, dient het ontwerp ook lichter en goedkoper te zijn.

Verder is er veel waardevolle kennis opgedaan met het ontwikkelen van dit prototype. We hebben deze kennis gebundeld in een aantal belangrijke adviezen aan betrokken partijen. De adviezen zijn verdeeld over drie groepen betrokkenen: Infrabeheerders (zoals Rijkswaterstaat dat was bij het circulaire viaduct), Marktpartijen en Kennisinstellingen. Tot slot geven we ook nog een advies op basis van de ervaringen die we met deze drie partijen hebben opgedaan in de samenwerking.

## 1.2 Infrabeheerders

### **Oefenen werkt!**

Allereerst hebben we geconcludeerd dat oefenen werkt! Dit integrale advies, vol met geleerde lessen, is daarvan het bewijs. We raden infrabeheerders dan ook aan plekken te creëren waar geoefend kan worden: met de techniek, het proces en de samenwerking.

### **Commitment, draagvlak en prioriteit**

Daarbij hoort meteen ook een waarschuwing, ons tweede advies: zorg voor voldoende financiële middelen, commitment en capaciteit. Innoveren vraagt wat van je organisatie, zeker als het op opschaling aankomt. Bovendien kun je niet het gehele proces vooraf overzien, waardoor je geconfronteerd zult worden met onvoorziene kosten en capaciteitsvraag.

Hierbij speelt een zekere paradox: ‘grote’ projecten (bijvoorbeeld qua financiële omvang) hebben veel aandacht, impact en capaciteit, maar mijden regelmatig nog de extra risico’s en het “gedoe” van ingrijpende innovaties omdat de bestaande opgave al complex genoeg is. ‘Kleinere’ projecten en innovatietrajecten bieden ruimte voor grotere vernieuwingen, maar krijgen niet altijd vanzelfsprekend de benodigde prioriteit, capaciteit en aandacht.

### **Wees duidelijk over validatie**

Het is van essentieel belang om, ook al is het einde ongewis, vanaf het begin en doorlopend aan de slag te gaan met de benodigde validatie van de innovatie. Met Validatie bedoelen we in deze, dat met voldoende mate van zekerheid kan worden gesteld dat het concept of ontwerp voldoet aan de eisen. Zoals wij aan den lijve hebben ondervonden, is een succesvol prototype nog geen gegarandeerd nieuw concept. Door vanaf het prille begin na te denken over de wijze van valideren, kan de toepassing van het prototype nog efficiënter worden opgeschaald. Belangrijke vragen die je aan het begin moet stellen:





wie bepaalt straks of de innovatie mag worden toegepast, wat vindt die organisatie belangrijk en hoe kan het getoetst worden? Nuance daarbij is wel: je kunt niet vanaf het begin volledig duidelijk hebben hoe wordt gevalideerd aangezien de oplossingsrichting vooraf nog niet vast staat.

### **Start met het eind voor ogen**

Denk vanaf het begin na over opschaling; hoe kan de innovatie worden opgeschaald zodat de potentie echt wordt benut? Door hier pas over na te denken wanneer een prototype of pilot succesvol blijkt gaat kostbare tijd en het momentum verloren in het voorbereiden van de volgende stap. Bovendien biedt opschaling het lonkende perspectief voor de markt om mee te doen aan de innovatie. Onderschat dit niet; innoveren is voor marktpartijen alleen interessant als er op termijn daadwerkelijk winst mee kan worden gegenereerd. Daarnaast vraagt innovatie van marktpartijen een forse investering, de betrokken marktpartijen bij het circulaire viaduct geven zelfs aan dat ze zichzelf “opnieuw moeten uitvinden”. Transparantie en concreetheid over de toekomstige opschaling zijn knoppen waar je als infrabeheerder aan kan draaien om de markt echt over de streep te trekken.

### **Optimaliseer de businesscase**

Onderken ook hoe je als infrabeheerder de potentiële (maatschappelijke) business case (over de gehele levenscyclus bezien!) sterk kunt beïnvloeden voor zowel de eigen organisatie als de marktpartijen. Het structureel waarderen van de milieukosten (en met name of dit voldoende/doorslaggevend meeweegt) bepaalt mede of de circulaire oplossingen haalbaar worden voor de markt. En wat betreft hoogwaardig herbruikbare ontwerpen (zoals dit modulaire brugdek), onderzoek hoe de restwaarde van het object en de onderdelen gewaardeerd kan worden (en hoe die waarde aangetoond kan worden) om deze oplossingen een kans te geven.

### **Standaardisatie werkt**

Opschaling van innovatie zal over het algemeen eenvoudiger worden als er meer standaardisatie wordt toegepast. Overweeg dan ook dit meer mogelijk te maken, mogelijk ten koste van maatwerk.

### **Je positie in de keten?**

Tot slot adviseren we infrabeheerders een visie te ontwikkelen op hun positie in de circulaire (waarde)keten en hiermee te oefenen. Stel je huidige positie in de keten ter discussie ten dienste van een optimale businesscase. Wil je graag zelf eigenaar blijven van een circulair viaduct of ben je bereid om bijvoorbeeld een “viaduct als een service” in te kopen?

## **1.3 Marktpartijen**

### **Commitment, draagvlak en prioriteit**

Ook voor marktpartijen geldt dat ze een innovatietraject niet moeten onderschatten. Innoveren vraagt om een substantiële investering van financiële middelen, capaciteit en draagvlak binnen de organisatie. Bovendien is een innovatietraject een traject van de lange adem.

### **Proactieve dialoog werkt!**

Zoek proactief de dialoog met de infrabeheerders op. Zij zijn de partij met uitdagingen voor de toekomstige ontwikkeling van hun netwerken, en met – als het goed is – de financiële middelen.

### **Neem de industrie als voorbeeld**

Besteed binnen de innovaties aandacht aan een meer industriële productie-matige aanpak van het bouwproces. Daarmee worden innovaties kansrijker.





### **Je positie in de keten?**

Voor marktpartijen geldt ook; creëer een visie over je plek in de circulaire keten!

## **1.4 Kennisinstellingen**

Bij het prototype circulair viaduct hebben kennisinstellingen een beperkte rol gespeeld, mede door de hoge tijdsdruk. Zij hadden bijvoorbeeld een belangrijke rol kunnen spelen in het eerdergenoemde validatieproces. We adviseren voor het vervolg kennisinstellingen eerder en intensiever te betrekken bij innovaties.

## **1.5 Samenwerking**

### **Werk echt samen**

Innovaties in de bouwsector komen door de wederzijdse afhankelijkheid het best tot stand door nauwe samenwerking. De reguliere opdrachtgever-opdrachtnemer verhouding is daarbij minder op zijn plaats. Beschouw elkaar echt als gelijkwaardige partners om de samenwerking kans van slagen te geven.

### **Beheersbare creativiteit leidt tot succes**

Innovatie vraagt om creativiteit waarbij ruimte nodig is om te zoeken, fouten te maken en opnieuw te beginnen. Tegelijkertijd vraagt het succesvol realiseren van een innovatie om sturing op tijd en geld. Dit zijn werelden die nogal eens met elkaar kunnen botsen. Bij het realiseren van dit prototype is hier een zeer prettige balans in gevonden. Deze ontstond door de totale innovatie steeds in kleinere hapjes op te knippen en beheersbaar te maken.

### **Delen is vermenigvuldigen**

Infrabeheerders zullen voor innovaties van nature zoeken naar het breder toegankelijk maken van de innovaties. Vandaar ook de open source bij dit circulaire viaduct. Laat je daar niet door afschrikken. Binnen ons team heeft dit niet geleid tot problemen. Tegelijkertijd wordt er in de bouwsector nog amper gewerkt met open source. Voor het vervolg is het belangrijk om het principe van open source concreter te maken. Kennis vanuit andere branches, waar dit meer gemeengoed is zoals de ICT, kan hierbij gebruikt worden.

### **Werk met een adaptieve aanpak**

Tot slot; besef bij het samenwerken aan innovaties in een transitie (zoals richting een circulaire economie) dat niet alle gebruikelijke stappen elkaar sequentieel zullen opvolgen maar soms parallel plaatsvinden - zowel in de eigen organisatie als bij partners. Terwijl de visies van organisaties over innovaties nog worden gevormd, wordt bijvoorbeeld ook al gewerkt aan de toepassing van deze innovaties.





## 2. Geschiedenis, leren van het traject

### Proces en samenwerking

Degenen die aan innovaties werken, begrijpen dat de totstandkoming van een eerste circulair viaduct niet zonder slag of stoot zal zijn gegaan en dat het resultaat, wellicht nog meer dan van de techniek, afhankelijk is van de mensen die er aan werkten. Want zonder het doorzettingsvermogen en het enthousiasme van de groep betrokkenen, was dit viaduct er nooit gekomen.

Voor de learning history zijn de “mensen in dit verhaal” geïnterviewd. Aan de hand van die interviews is een tijdlijn gemaakt met fases en cruciale momenten. Op basis van de verschillende verhalen en puzzelstukjes is één verhaal gereconstrueerd. Dit verhaal beschrijft de geschiedenis vanuit de verschillende perspectieven van die mensen en hoe zij dit avontuur hebben ervaren, hoe ze met de worstelingen en uitdagingen zijn omgegaan en hoe ze deze hebben opgelost. En hoe de bijzondere samenwerking verliep tussen de drie partijen en wat dit heeft opgeleverd, net als het plezier en de unieke ervaring van de betrokkenen.

Dit verhaal over het circulair viaduct is te lezen in → [de Learning History](#).



# 3. Technisch ontwerp

## 3.1 Inleiding

In februari 2017 is een werkgroep gestart met daarin o.a. Van Hattum en Blankevoort, VolkerInfra (tegenwoordig VolkerWessels Infra Competence Centre) en Consolis Spanbeton met als doel een brugdek ontwerpen voor het circulair viaduct. Voor dit circulaire ontwerp van een brugdek is een aantal uitgangspunten gehanteerd:

- Afmetingen bestaand kunstwerk N18 als uitgangspunt (20m overspanning)
- Kosten en vormgeving zijn ondergeschikt aan circulariteit
- Hoofdmateriaal beton
- Ontwerpen met bestaande kennis

In deze werkgroep is toen gekozen voor een circulair brugdek met de volgende eigenschappen:

- Modulair ontwerp ('legoblok' variant)
- Afmetingen van de elementen (2,5 meter lang, 1,25 meter breed)
- Overspanning variabel (15 tot 25 meter)
- Verbinding a.d.h.v. voorspanning (zonder aanhechting)
- Aansluiting blokken met 'mannetje-vrouwtje' verbinding (de shear-keys)
- Koude verbinding (geen hechting tussen de blokken)

De uitkomsten vanuit deze werkgroep zijn uitgangspunt geweest voor de verdere uitwerking van het circulair viaduct in de hier beschreven fase. In de volgende paragrafen wordt toegelicht hoe dit heeft geleid tot het uiteindelijke uitvoeringsontwerp en de (de)montage van het circulair viaduct.

Zie voor meer informatie → [bijlage 17 van de ontwerpnota v1.0](#)

## 3.2 Technisch ontwerp

### 3.2.1 Globale aanpak technisch ontwerp

De ontwerpnota (v1.0) bevat een overzicht waarin de gehanteerde uitgangspunten, gemaakte keuzes en ontwerpberekeningen zijn vastgelegd. Ook zijn alle berekeningen separaat als bijlagen toegevoegd.

De uitwerking van de uitgangspunten voor het circulair viaduct tot een daadwerkelijk UO (uitvoeringsontwerp) was een intensief en uitdagend proces:

- In de eerste plaats omdat het in de basis een innovatief ontwerp betreft. De gebruikte technieken (shear-keys, koude verbinding, 'externe' voorspanning zonder aanhechting) zijn weliswaar allemaal in meer of minder mate toegepast, maar de combinatie van deze technieken zorgen voor een innovatief ontwerp.
- Daarnaast stond bij alle keuzes circulariteit van het ontwerp bovenaan. Dit zorgde ervoor dat 'standaardoplossingen' niet altijd mogelijk zijn. Het toepassen van epoxy tussen de voegverbindingen is bijvoorbeeld een logische oplossing, maar vanuit de circulaire gedachte niet wenselijk omdat het de demontage bemoeilijkt en het materiaal een hoge milieu-impact heeft.
- Ook moesten feitelijk meerdere ontwerpen gemaakt worden, de elementen moeten immers geschikt zijn om in meerdere overspanning te functioneren.
- Tot slot was het korte tijdsbestek een uitdaging. Het uitvoeringsontwerp is in ongeveer 4 maanden gemaakt.

Ondanks de uitdagingen is het gelukt om tijdig een UO te realiseren. Om dit te bereiken was een aantal onderdelen essentieel. De goede samenwerking tussen de drie partijen was de belangrijkste randvoorwaarde. Dit is gebeurd door in een gezamenlijk wekelijks overleg ('circulaire dinsdag') aan het ontwerp te werken. Hier waren de juiste inhoudelijk specialisten van alle partijen aanwezig om besluiten snel te kunnen nemen. Daarnaast hadden alle specialisten hetzelfde



belang; het realiseren van circulair viaduct. Dit zorgde voor commitment en enthousiasme bij alle aanwezigen, waardoor constructief gewerkt kon worden aan oplossingen. Hierbij was het ook belangrijk dat het ging om een prototype dat in een afgebakende omgeving is gerealiseerd, hierdoor was bijvoorbeeld een aslastbeperking en continue monitoring mogelijk. Ook was de gebruiksduur beperkt. Het ontwerp is getoetst op de situatie in Kampen. Derhalve kan het ontwerp niet zonder meer toegepast worden in een nieuwe situatie. Er dient nagegaan te worden hoe aan de voorwaarden voor veilige toepassing voldaan kan worden – zoals ook nabij Kampen gedaan is – en mogelijk is daarvoor aanvullend ontwerp/onderzoek nodig.

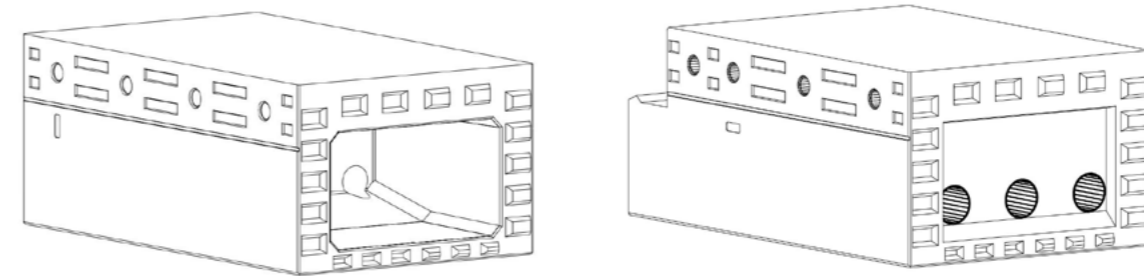
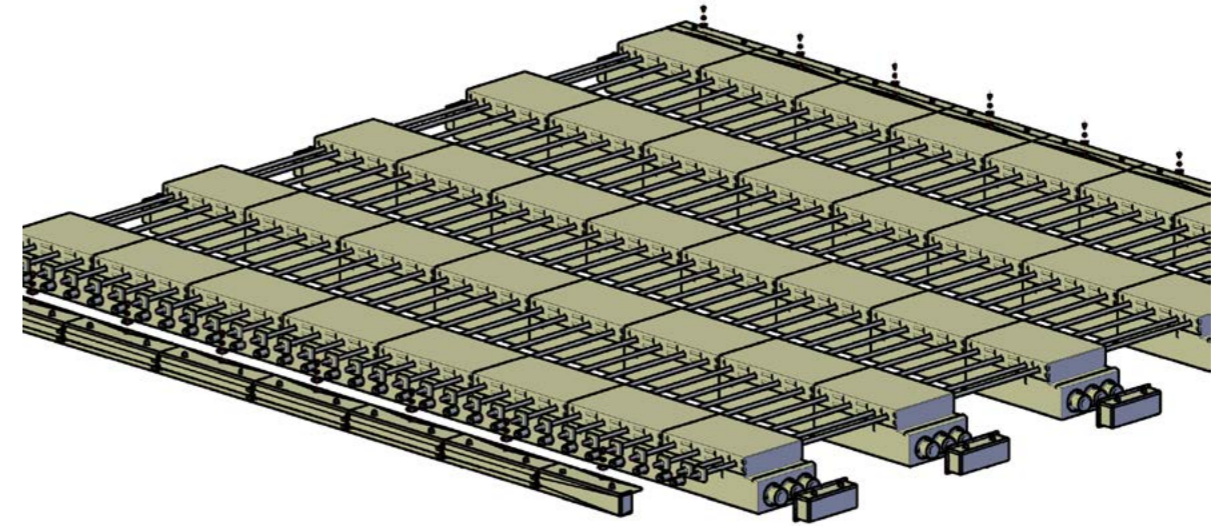
Zie voor meer informatie → [de ontwerpnota v1.0](#)

### 3.2.2 Montage en demontage

Ook de wijze van montage en demontage van het dek was niet eerder uitgevoerd. Hoewel er voor de montage overeenkomsten zijn met het plaatsen van reguliere liggers. Op de specifieke verschillen wordt ingegaan in het werkplan voor de montage. Met name het precies uitlijnen van de ligger in x, y-positie was precisiewerk, terwijl het aanbrengen van een cementgebonden voegvulling voor deze toepassing zelfs geheel nieuw was.

In de voorbereiding van de montage is extra aandacht besteed aan veiligheid. Er is een veiligheidsbijeenkomst geweest waarin een inventarisatie van de risico's en benodigde beheersmaatregelen is gemaakt. Op basis daarvan is in het ontwerp rekening gehouden met onbedoeld loskomen van de dwarsvoorspanning.

Meer informatie over montage- en demontage is terug te vinden in → [het werkplan \(re\)montage en het demontageplan](#).



### 3.2.3 Monitoring

Gedurende de gebruiksfase is het prototype uitgebreid gemonitord. Hiervoor zijn twee methodes toegepast. Met externe sensoren, met behulp van een frame onder het viaduct en met behulp van in het beton gestorte sensoren. De volgende onderdelen zijn gemeten: voorspanning, doorbuiging, vervorming van de elementen onderling (voegen), temperatuur en type voertuig (op foto). Gedurende de gebruiksduur is ook met een kalibratie-voertuig over het viaduct gereden. Van dit voertuig waren de exacte gewichten bekend.



## 3.3 Geleerde lessen

### 3.3.1 Lessen vanuit ontwerp en (de)montage

Vanuit een evaluatie met de betrokken ontwerpers zijn de volgende lessen naar voren gekomen:

- Een intensieve samenwerking met de drie betrokken partijen zorgt ervoor dat er creatief naar oplossingen gezocht kan worden en dat beslissingen snel genomen kunnen worden.



- Het samenvoegen van (in meer of mindere mate) bestaande technieken in een nieuwe concept is niet te onderschatten als innovatietraject. De uitwerking van een schetsontwerp naar een daadwerkelijk UO is een (tijd)intensief traject.
- De impact van het circulair denken in het ontwerpen zit in veel facetten. Ook in de 'kleine dingen' heeft dit impact. Standaard oplossingen volstaan dan vaak niet en vragen creativiteit van de betrokken ontwerpers.
- Hoewel het assembleren van elementen tot liggers bijzonder is, is de montage tot brugdek op locatie in grote lijnen vergelijkbaar met reguliere liggers. Aandachtspunt is het vullen van de voegen. Dit is tijdsintensief en bij demontage bleken er lokaal luchtinsluitingen aanwezig aan de bovenzijde van de voeg. Dit vraagt om nader onderzoek.

Verdere ervaringen en geleerde lessen zijn te vinden in → [de learning history](#)

### 3.3.2 Ontwikkelvragen

Vanuit het ontwerpproces (inclusief toetsing) en de evaluatie achteraf is een groot aantal ontwikkelvragen benoemd dat relevant is voor de doorontwikkeling van het circulair viaduct. De vijf belangrijkste (technische) ontwikkelvragen – die binnen de kaders van het huidig prototype onbeantwoord zijn gebleven – zijn:

1. Het uitvoeren van testen bij onderzoeksinstituut (bv TU Delft) op het gebied van de shear keys (in combinatie met onthechte voeg). Er is beperkte informatie over het bezwijkgedrag en normering ontbreekt.
2. Hoe kunnen verschillende functionaliteiten circulair en evt. modulair toegevoegd worden? In ieder geval: hemelwaterafvoer, K&L doorvoer, verlichting, voertuigkering (barrier of voertuigkerende leuning), leuning, randelement en voegovergang.
3. Op welke manier kunnen we asfalt (of een andere slijtlaag) toepassen op het brugdek en weer veilig en circulair verwijderen?
4. Wat zijn de optimale dimensies van de elementen? Kunnen de middelste elementen vervangen worden door één element? Of zijn standaardliggers een goede oplossing?
5. Wat is de maximale levensduur van het dek? Welke normering is nodig om 200 jaar levensduur aantoonbaar te maken?

Verdere ervaringen met de geleerde lessen zijn te vinden in → [de Bijlage Overzicht ontwikkelvragen](#)





### 3.3.3 Monitoringsresultaten

De uitgebreide monitoringsresultaten hebben geleerd dat het viaduct reageert zoals vooraf verwacht. Er zijn geen bijzonderheden in de resultaten aangetroffen. Er zijn wel nog enkele aspecten die langduriger of nader onderzocht moeten worden om conclusies over te kunnen trekken. Ook bij het passeren van het kalibratievoertuig was de doorbuiging van het viaduct ruim binnen hetgeen vooraf berekend.

Een uitwerking van de monitoringsresultaten is terug te vinden in → [het rapport Analyse Monitoring](#). De achterliggende monitoringsdata is voorhanden bij de betrokken partijen.

# 4. Business case en assetmanagement

Een van belangrijkste voorwaarden voor het succesvol toepassen van een innovatie zoals het circulaire viaduct in de “productie” van infrabeheerders (we hebben in dit specifieke geval gefocust op Rijkswaterstaat, RWS) is een “positieve” businesscase en het goed inpassen van dit concept in het assetmanagement. Voor beide onderdelen hebben we binnen deze pilot niet daadwerkelijk geëxperimenteerd met verschillende modellen maar is er wel eerder onderzoek gedaan. → [Dit onderzoek van Rebel i.s.m. CE Delft](#) heeft gekeken naar de kosten en baten van een circulaire werkwijze voor RWS en aangegeven wat er nodig is om de transitie naar deze werkwijze concreet te maken. Naast dit onderzoek is de creativiteit van studenten ingeschakeld door het opschalingsvraagstuk onderwerp te maken van een “Sustainable Business Battle”. De belangrijkste bevindingen zijn samengevat en vervolgens meegenomen in adviezen voor het vervolgtraject.

## 4.1 Resultaten

In het onderzoek naar de kosten en baten van een circulaire werkwijze is het circulaire viaduct één van beschouwde concepten. De samenvatting van de berekening kosten vs baten is in paragraaf 4.1.1. gepresenteerd. De bevindingen inzake assetmanagement van RWS zijn gepresenteerd in paragraaf 4.1.2. De samenvatting van het creatieve resultaat van de Sustainable Business Battle is opgenomen in paragraaf 4.1.3.

### 4.1.1 Kosten vs Baten

“Op basis van de huidige beschikbare informatie kan een financieel resultaat alleen met veel voorzichtigheid worden gepresenteerd. Het is duidelijk dat er additionele kosten gepaard gaan met het modulaire viaduct die (voor dit relatief kleine modelproject) leiden tot een verdubbeling van de initiële investeringskosten. Hiertegenover staat dat alle elementen kunnen worden

hergebruikt en er zodoende geen productiekosten hoeven worden gemaakt – in het meest optimistische scenario voor 200 jaar. In onderstaande tabel tonen we de netto contante waarde van de twee alternatieven over een periode van 100 jaar en over een periode van 200 jaar, [bij hergebruik iedere 40 jaar]. Bij een disconteringsvoet van 2% is het modulaire viaduct, onder de huidige aannames, nog steeds duurder dan het nulalternatief. Bij een disconteringsvoet van 1% wordt wel een positief resultaat verwacht.”

	Verschillen ten opzichte van nulalternatief (% van NCW 2%)	Aanvullende verschillen
Over een periode van 100 jaar, met een disconteringsvoet van 2%	+ 22%	- PM transport/ opslagkosten - PM ontwikkelkosten
Over een periode van 200 jaar, met een disconteringsvoet van 2%	+ 13%	+ PM hinder + PM grondstoffen +/- PM CO2
Over een periode van 100 jaar, met een disconteringsvoet van 1%	- 5%	+/- PM werkgelegenheid - PM esthetiek
Over een periode van 200 jaar, met een disconteringsvoet van 1%	- 23%	



#### 4.1.2 Assetmanagement bij Rijkswaterstaat

Uit het uitgevoerde → [onderzoek van Rebel](#) (dat breder is ingezet dan alleen het circulaire viaduct) komen de volgende bevindingen en conclusies:

##### 1. Circulair werken past binnen het assetmanagement

De areaalinformatie die voor RWS benodigd is om circulair te werken, sluit op hoofdlijnen aan bij het prestatiegestuurd assetmanagement van RWS.

##### 2. Circulair werken spreekt aan

“De meeste experts die bij dit onderzoek betrokken zijn, zijn enthousiast over de circulair bouwen voor RWS. Hergebruik van materialen en het verlengen van de levensduur spreekt veel mensen aan en past goed bij het streven naar zuinige omgang met belastinggeld. Tegelijkertijd lijkt het alsof deze drang tot hergebruik zich in sommige gevallen vooral bij de sloop voordoet. Bij de realisatie van projecten gaat de voorkeur toch nog vaak uit naar nieuw.”

##### 3. Interne kosten circulair werken

Om circulair werken mogelijk te maken is RWS een aantal interne veranderingen aan het doorvoeren. Op hoofdlijnen gaat het hierbij om extra investeringen om de volgende zaken mogelijk te maken/te implementeren:

- a. Het opnemen van circulariteit in het gehele assetmanagementsysteem van RWS.
- b. Het verzamelen en de bredere toegankelijkheid van de benodigde gegevens.
- c. Het ontwikkelen en verspreiden van kennis.

##### 4. De focus op bereikbaarheid, veiligheid en leefbaarheid staat circulariteit in de weg

“In praktijk blijkt het nog lastig om (pilot)projecten circulair uit te voeren. Zeker wanneer circulariteit de kern van de hoofdnetwerken raakt en de hoofddoelstellingen van RWS – veiligheid, bereikbaarheid en leefbaarheid – mogelijk in het gedrang komen.” Dit onder andere in verband met het risico op vertraging of verminderde beschikbaarheid.

##### 5. De focus op minimaliseren van risico's staat innovatie in de weg

“De huidige cultuur van RWS is, door de focus op de hoofddoelstellingen, sterk gericht op bewezen technologieën en minimaliseren van risico's. Voor circulair werken is innovatie nodig en worden de risico's door het gebruik van onbewezen technologieën zeker in de pilotfase juist groter; dat stuit [interne] uitvoerende partijen tegen de borst.”

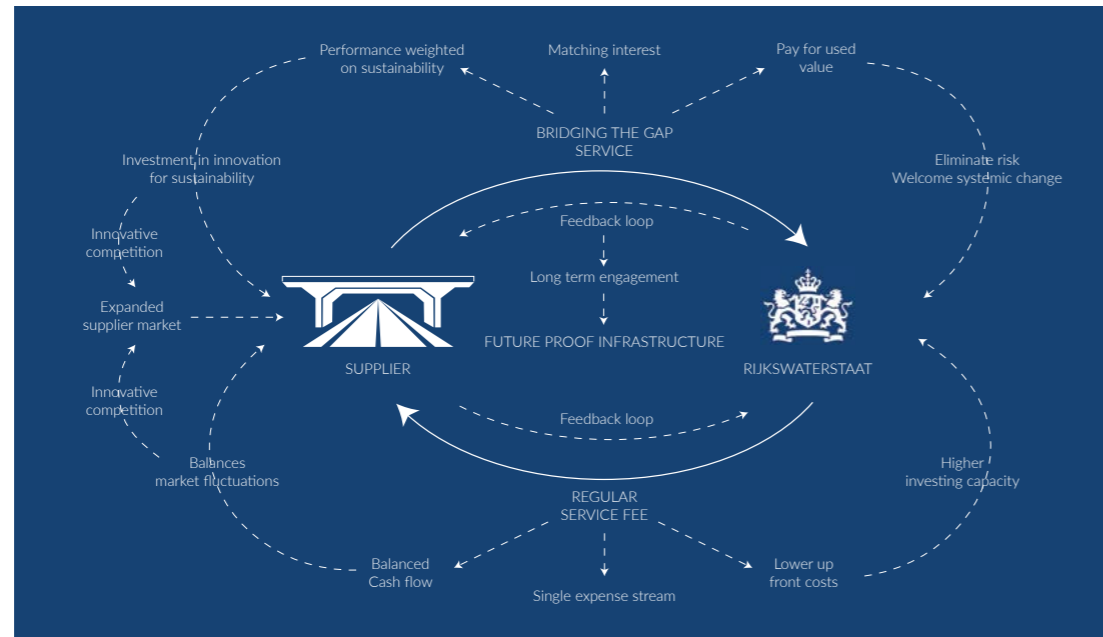
##### 6. De focus op marktwerking staat innovatie in de weg

“Wanneer RWS gezamenlijk met een marktpartij circulaire oplossingen ontwikkelt, kan de situatie ontstaan dat deze partij in een voorkeurspositie belandt ten aanzien van toekomstige opdrachten. Hoewel hiervoor verschillende oplossingen mogelijk zijn, zorgt dit risico voor terughoudendheid bij RWS.”



### 4.1.3 'Bridging the Gap', Viaduct as a Service

Het opschalingsvraagstuk is in de Sustainable Business Battle voorgelegd aan verschillende teams van studenten. Het winnende team heeft met → ['Bridging the Gap'](#) het concept van Viaduct as a Service verdere uitgewerkt. Deze interessante oplossing stelt de rol en positie van RWS in de (circulaire) waardeketen ter discussie.



## 4.2 Vervolg/aanbevelingen

**Zonder markt geen baat:** Voldoende vraag en aanbod is nodig om dit systeem van herbruikbare onderdelen succesvol te laten functioneren. Dit vergt een grote verandering in het ontwerpen, aanbesteden en uitvoeren van projecten binnen RWS en ook van andere GWW-partijen: hoe meer spelers meedoen hoe effectiever het systeem werkt. Ga onderzoeken hoe verschillende oplossings-

richtingen (standaardliggers, modulaire liggers, etc.) matchen met het areaal van infrabeheerders.

**Effect op de arbeidsmarkt:** Er zal een verschuiving van werkgelegenheid gepaard gaan met de ontwikkelingen rondom het modulaire bouwen: minder werk gaat zitten in de productie van nieuwe (beton)elementen en meer werk in het demonteren, transporteren, opslaan en weer gereed maken voor hergebruik van de elementen. Het bouwen/monteren van het modulaire viaduct gaat waarschijnlijk met de tijd sneller dan het bouwen van een standaard viaduct.

**Invloed op de business case van marktpartijen:** Onderken ook hoe je als infrabeheerder de potentiële (maatschappelijke) business case sterk kunt beïnvloeden voor zowel de eigen organisatie als de marktpartijen.

1. Het structureel waarderen van de milieukosten bepaald mede of de circulaire oplossingen haalbaar worden voor de markt. Bezie kosten en milieu-impact dan over de gehele levenscyclus (met bijvoorbeeld life cycle costing, LCC en life cycle analysis, LCA). En wat betreft hoogwaardig herbruikbare ontwerpen (zoals dit modulaire brugdek), waardeer de restwaarde van het object en de onderdelen om deze een kans te geven. Onderzoek daartoe hoe dit gewaardeerd en aangetoond kan worden.
2. Marktpartijen hebben omvang (van de vraag) en ruimte nodig om de innovatie te kunnen ontwikkelen en opschalen.

**Positie in de keten:** We adviseren infrabeheerders een visie te ontwikkelen op hun positie in de circulaire waardeketen en hiermee te oefenen. Stel je huidige positie in de (circulaire)waardeketen ter discussie ten dienste van een optimale businesscase. Wil je graag zelf eigenaar blijven van een circulair viaduct of ben je bereid om bijvoorbeeld een 'viaduct als een service' in te kopen?



# 5. Informatiebehoefte en data

## 5.1 Inleiding en aanpak

Dataverzameling en monitoring, voortkomend uit de informatiebehoefte rondom dit prototype circulair viaduct, kent twee belangrijke bijzonderheden ten opzichte van een regulier viaduct:

- De continue monitoring van het constructie-technisch gedrag (ten minste tijdens de testperiode). Tijdens het ontwerpen van het circulair viaduct is al benoemd dat het – gezien de innovatieve aard – verstandig én leerzaam is het (constructief) gedrag precies te monitoren. De analysesresultaten hiervan worden beschreven in → [het hoofdstuk Technisch ontwerp](#).
- Het vastleggen van informatie benodigd voor het hoogwaardig hergebruiken (van de onderdelen) van het viaduct (eventueel zelfs door andere partijen). Zo dient voorkomen te worden dat onderdelen of materialen na verloop van tijd afval worden omdat hun ‘identiteit’ en eigenschappen onbekend zijn.

Bovenstaande aspecten zijn tijdens de voorbereiding van de bouw vertaald in een ‘monitoringsplan’. Dit plan omschrijft nauwkeuriger welke zaken er constructietechnisch (zie → [hoofdstuk Technisch ontwerp](#)) en ten behoeve van de remontage (opnieuw monteren) worden gemeten.

Zie → [het Monitoringsplan](#)

Voor de benodigde informatie ten behoeve van remontage en hergebruik, is tevens een quickscan gedaan naar de gebruikelijke informatiebehoefte voor beheer van een kunstwerk door Rijkswaterstaat (RWS) in relatie tot de informatiebehoefte vanwege het blijven hergebruiken van dit circulair viaduct en haar elementen (zie volgende paragraaf). Voor dit prototype is de benodigde informatie vervolgens nog pragmatisch vastgelegd (met reguliere documenten, tabellen, e.d.) en is niet gewerkt met nieuwe middelen zoals een volledig materialenpaspoort. De geformuleerde ontwikkelvragen op dit thema zijn nader beschreven in → [Bijlage Overzicht Ontwikkelvragen](#).



## 5.2 Resultaten

### 5.2.1 Informatiebehoefte

In hoofdlijnen richt de reguliere informatiebehoefte met de beheersystemen van RWS voor kunstwerken zich op de ‘as-built’ areaalgegevens van het object (inmeting, tekeningen, ontwerpdocumenten, e.d.) en op de toestands-/inspectiegegevens (deformatiemetingen, onderhoudsdocumenten, e.d.). Er zijn al verschillende andere trajecten (binnen en buiten RWS) gaande of geweest gericht op het in beeld brengen van de aanvullende informatiebehoefte ten behoeve van circulaire economie en ‘materialenpaspoorten’ in het bijzonder (o.a. Programma van Informatie-Eisen voor 1-op-1 hergebruik i.o.v. RWS; → [CB’23 Leidraad Paspoorten voor de bouw](#)).

Gegeven deze ontwikkelingen is door het projectteam enkel gericht op de informatiebehoefte die voortkomt uit het specifieke modulaire ontwerp voor de liggers en het brugdek. In het bijzonder voor het hergebruik van het brugdek en de elementen gedurende de hele levensduur (als deze in beheer van RWS komen).

Samenvattend komt de totale informatiebehoefte zoals geschetst in het monitoringsplan (zie eerdere verwijzing) op het volgende neer. In het monitoringsplan is aangegeven of en hoe hier invulling aan gegeven is bij het prototype.

Wat meten/vastleggen?	Waarom? / Wat weten?
Toestand/Staat van onderdelen (schade, vervormingen)	Elementen opnieuw passend?
• Beheer-/Onderhoudsstaat • Beheerinstructies (gedemonteerde en gemonteerde toestand)	Hergebruik elementen → (onderhouds)geschiedenis elementen
• Locatie in het dek • Belastingen brugdek/elementen?	Hergebruik elementen → (belastings)geschiedenis elementen
‘Productiegegevens/-plan’	Bijmaken van elementen
Montage-/Demontage-/Remontage-instructies	• Hoe elementen opnieuw in te zetten? • Benodigde extra vaardigheden/vakmanschap (bouw, beheer)
Toegepaste materialen/grondstoffen per onderdeel	Recycling van materialen/grondstoffen

Bijzonderheden hierin ten opzichte van de reguliere informatiebehoefte zijn:

- Demontage-/Remontageplan en ‘productiegegevens/-plan’
- Beheerplannen voor zowel gemonteerde als gedemonteerde toestand

In de reguliere informatiebehoefte zit normaliter wel: instandhoudingsplan, onderhoudsvorschriften, onderhoudsplan, en ruimte voor monitorings- en instandhoudingsmetingen.



### 5.2.2 Data/Informatie van gerealiseerde prototype

Hieronder zijn de verwijzingen gebundeld naar de betreffende plannen en documenten waarin de data en informatie over het prototype is vastgelegd.

→ [Werkplan \(re\)montage](#)

→ [Demontageplan](#)

→ [Beheerplannen \(opslag, gebruik\)](#)

→ [‘Materialenoverzicht’](#)

→ [Data verwerkte grondstoffen/materialen](#)

=(Over losmaakbaarheid heeft PIANOo recent → [een handreiking](#) gepubliceerd.)

## 5.3 Lessen en inzichten

We hebben de volgende breder toepasbare inhoudelijke inzichten en (proces)-lessen opgedaan.

### 5.3.1 Inhoudelijk inzichten

- Modulaire circulaire concepten vragen om beheerplannen voor zowel gemonteerde toestand (hier: als geheel viaduct) als gedemonteerde toestand (hier: als losse elementen).
- Op moment van toepassing – medio 2019 – was er nog geen standaard of direct toepasbare methode of middel om een ‘materialenpaspoort’ voor een infrastructureel object/kunstwerk te maken.
- Het bestaande standaard assetmanagementsysteem voor kunstwerken van RWS (DISK) is van nature (nog) niet ingericht op:
  - objecten/kunstwerken of onderdelen zonder ‘vaste locatie’.
  - objecten waarbij continu monitoringsgegevens verzameld worden.

(Enkele eerdere publicaties van RWS op dit thema zijn → [hier](#) te vinden.)

### 5.3.2 (Proces)lessen

- Bij monitoring: voer de stap om te bepalen wat je wilt weten gedegen uit; laat je niet verleiden je redenering te maken vanuit wat je wilt meten. Vroegtijdig betrekken van een deskundige monitoringspartij kan hierbij helpen.
- Betreft innovatie: de inhoudelijke benodigdheden per thema kunnen specialisten vooraf vaak al goed bedenken (hier: de informatiebehoefte in eerder onderzoek i.o.v. RWS naar Programma van Informatie-Eisen voor 1-op-1 hergebruik), maar wat dit in de betrokken organisaties in de keten betekent, komt veel nadrukkelijker naar voren als je het (samen) gaat doen.

## 5.4 Vervolg/Aanbevelingen

Voor het vervolg van circulaire bruggen en viaducten – modulaire in het bijzonder – geven we de volgende mogelijke ontwikkelrichting en openstaande vragen mee omtrent informatiebehoefte en -voorziening.

- Welke informatie/data hebben partijen (assetmanagers en bouwbedrijven) nodig om elkaars elementen met vertrouwen her te gebruiken?
- Moeten constructie-technische belastingsgegevens (krachten e.d.) hiervoor (continu) bijgehouden en beschikbaar worden?
- Welke invloed hebben het eigenaarschap en garanties/keurmerken hierop?
- Welke informatiebehoefte hoort er specifiek bij het grootschaliger in opslag hebben van onderdelen/elementen (wanneer deze zich buiten een object – viaduct – bevinden)?
- Wat is er voor totaal datasysteem (informatievoorziening) nodig voor vervulling van alle eerdergenoemde informatiebehoeften, passend bij herhaaldelijke toepassing van onderdelen/elementen uit meerdere bruggen/

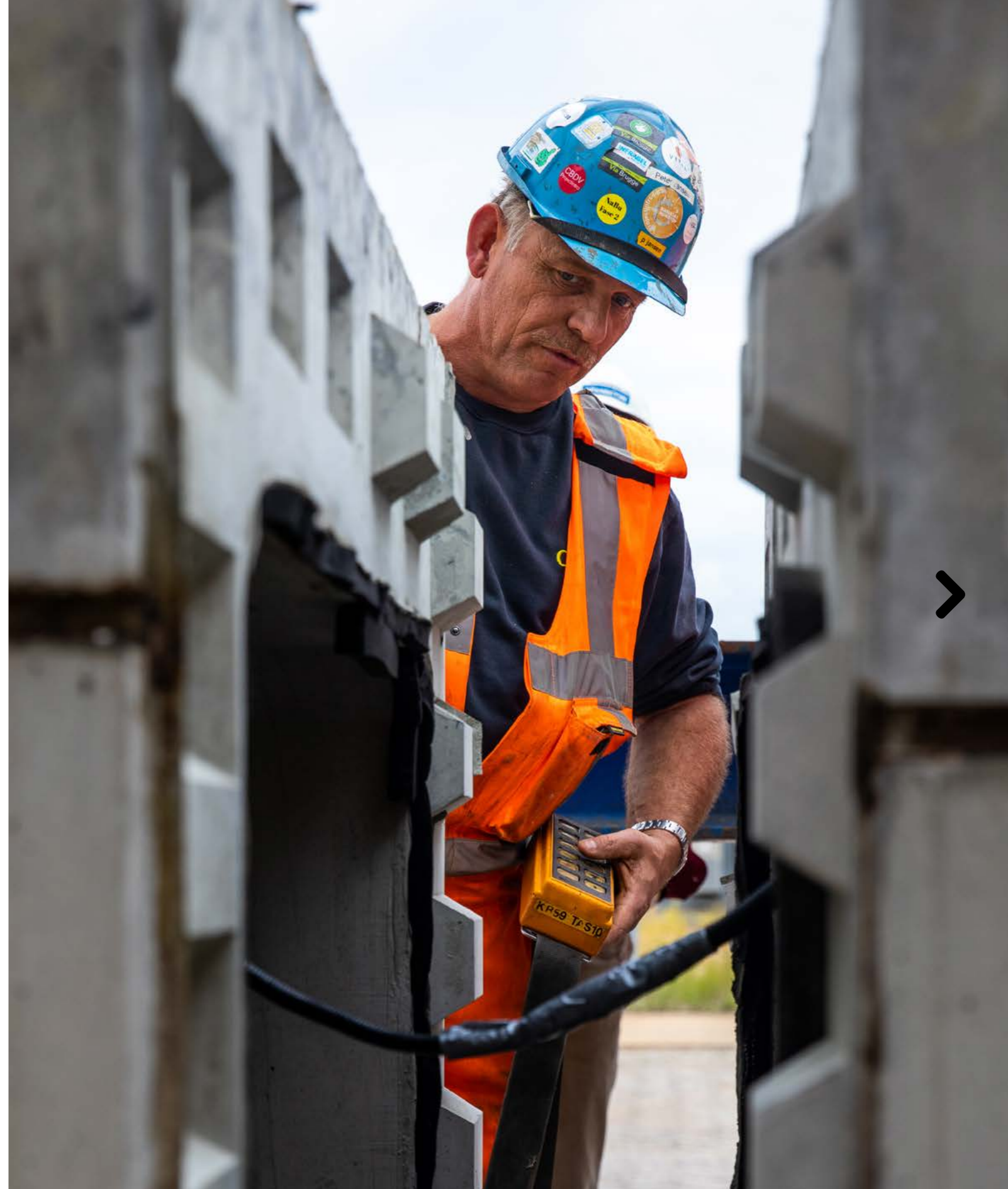




viaducten? O.a. voor status en beperken van voorraad; en afstemmen van vraag en aanbod.

Nadere ontwikkelvragen, zoals eerder in dit traject zijn verzameld, staan in → [Bijlage Overzicht Ontwikkelvragen.](#)

*(Hieraan gerelateerd, maar niet specifiek met dit vertrekpunt, start RWS vanuit de generieke datastrategie een verkenning naar de informatiebehoefte(n) voor een circulaire economie (hoogwaardig hergebruik als voornaamste subdoel). Het doel is de rol en positie van RWS in deze ontwikkeling helder te krijgen. Daarbij worden enkele pilots opgezet, waarvan één de ontwikkeling van een 'bruggenbank' is.)*



# 6. Circulariteit en milieu-impact

## 6.1 Introductie en aanpak

Gedurende de vroege ontwerpfase van het circulair viaduct (onder leiding van Van Hattum en Blankevoort met partners) is gekozen te focussen op het specifiek circulair ontwerpen. Daarbij is de aandacht uiteindelijk gegaan naar een demontabel ontwerp voor hoogwaardig hergebruik en dat is ook de focus van het prototype (zie → [learning history hoofdstuk 2](#)). (Later is in opdracht van Rijkswaterstaat (RWS) onderzoek gedaan naar ontwikkelingen in de bepalingsmethode voor LCA's (levenscyclusanalyses) waarbij het toenmalige schetsontwerp als casus heeft gediend.) Voor de doorontwikkeling en bredere toepassing van dit soort concepten is de milieu-impact in de brede zin en de circulariteit van dit concept relevant.

Om zowel de circulariteit (voor zover al te beoordelen) als de milieu-impact te bepalen van het uiteindelijk gerealiseerde prototype circulair viaduct, is recent een aparte analyse (LCA) uitgevoerd door NIBE. Om meer inzicht te geven in toekomstige situatie en omdat het viaduct nog een prototype betreft, is hierbij ook gevraagd om verbeteringen (die op relatief korte termijn te verwachten zijn) als scenario in de analyse mee te nemen. De LCA's en conclusies worden uitgebreid toegelicht in → [de rapportage van NIBE](#). Aanvullend heeft een PDEng (een toegepast-wetenschappelijk onderzoeker) een in ontwikkeling zijnde beoordelingsmethode getest die zich specifiek richt op circulariteit van bruggen en viaducten.

## 6.2 Inzichten/Resultaten

In de analyses is een uitvoering van het circulair viaduct (het brugdek) van 22,5 bij 7,5 meter vergeleken met een doorontwikkeld referentie-ontwerp (brugdek uit kokerliggers van Spanbeton, SKK700). Deze referentie heeft een vergelijkbaar toepassingsgebied.

### 6.2.1 Milieu-impact prototype

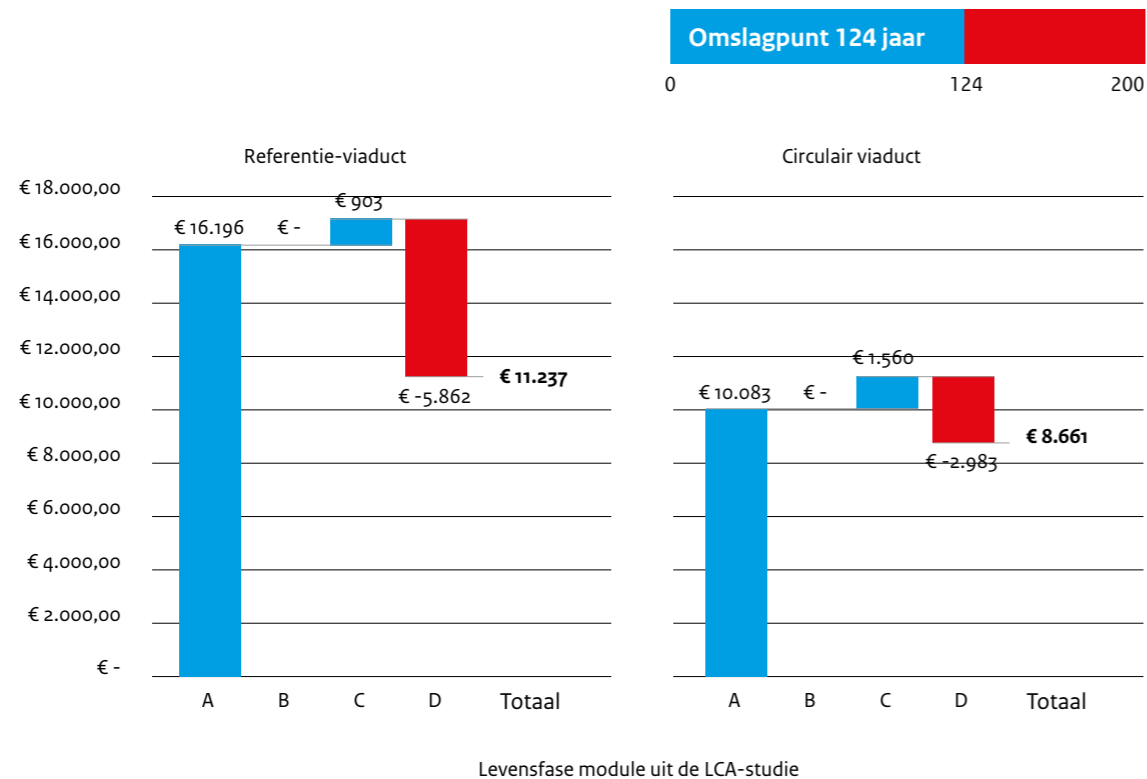
Allereerst is een analyse gedaan van de milieu-impact bij productie en constructie van beide brugdekken (circulair en referentie) bij deze afmetingen. Hieruit blijkt dat de 'initiële' impact van het circulair viaduct ruim 30% hoger is dan de referentie (gemeten in milieukostenindicator, MKI).

Dit is echter niet het totaalbeeld want het circulair viaduct kan telkens hergebruikt worden gedurende de levensduur, in tegenstelling tot de referentie die gesloopt moet worden bij wijzigende omstandigheden. Zo kan het circulair viaduct de hogere initiële impact 'terugverdienen' over de levensduur. Dit is afhankelijk van de duur dat de referentie in functie op dezelfde plek blijft en hierna wordt gesloopt en herbouwd ('functionele levensduur' referentie). Op deze manier ontstaat een omslagpunt (een gemiddeld jaartal) tussen referentie en circulair viaduct. Als een viaduct (gemiddeld) 'korter meegaat' dan dit omslagpunt scoort een circulair viaduct beter, 'gaat het langer mee' dan scoort de referentie beter.

In het basisscenario nemen we aan dat het circulaire brugdek de beoogde 200 jaar levensduur haalt en beschouwen we die hele periode. Het omslagpunt wordt dan maar liefst 124 jaar: zo lang zou een regulier viaduct dan op zijn locatie in functie moeten blijven om beter te scoren dan het circulair viaduct. Zoals in de figuur te zien is: als het viaduct gemiddeld maar 80 jaar 'meegaat', dan is de milieu-impact van de referentie flink hoger (slechter), maar liefst 30%.



**Basisscenario:** milieu-impact in MKI (€) (fasen A1-D)  
 Beschouwingsperiode 200 jaar; ‘Functionele levensduur’ referentie 80 jaar.



Op dit scenario zijn verschillende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Daaruit blijkt de energietransitie een grote impact kan gaan hebben op de uitkomsten. Het circulair viaduct moet dan gemiddeld flink eerder en dus vaker hergebruikt worden om als beste te scoren. Ook de zogenaamde ‘beschouwingsperiode’ (periode waarin de milieueffecten bezien worden) heeft sterke invloed. Als deze korter is (bijvoorbeeld de gebruikelijke 100 jaar) dan moet het circulair brugdek zich immers in die kortere periode al ‘terugverdienen’. Uitval van onderdelen – waarover nu nog weinig bekend is – kan in potentie een substantiële impact hebben.

Zie voor meer details, de scenario’s en de gevoeligheidsanalyses → [hoofdstuk 3 en 4 in het rapport van NIBE](#).

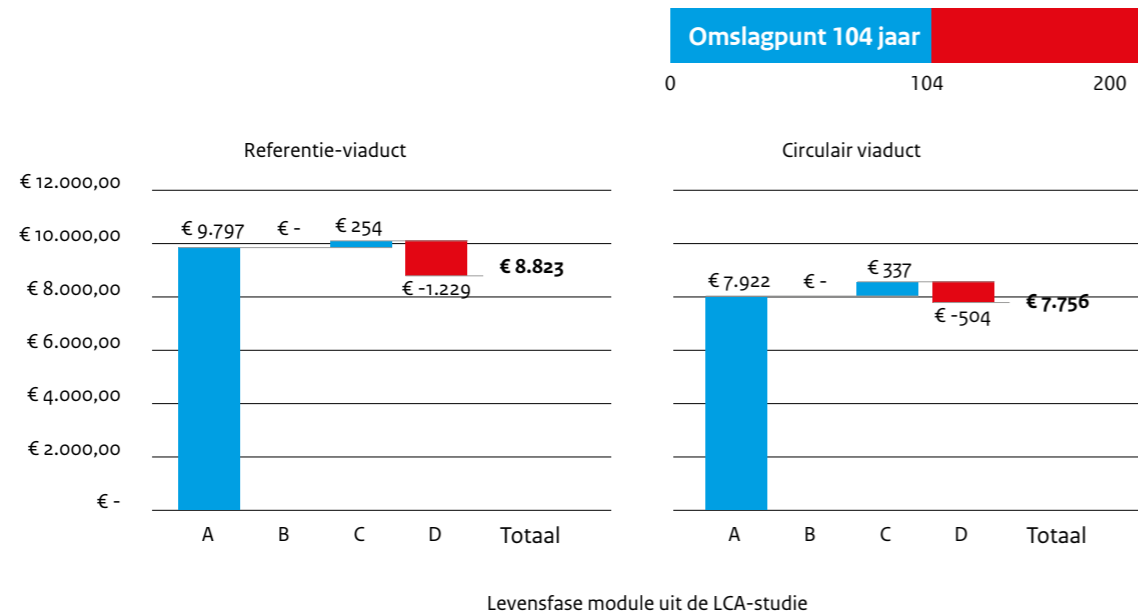
### 6.2.2 Verbeteropties en effect

NIBE heeft ook potentiële (materiaalkundige) verbeteropties onderzocht die binnen enkele jaren toepasbaar zouden kunnen zijn op het circulair viaduct (en de referentie indien van toepassing). Voor betonsoort CEM III/B (en geopolymeerbeton), basaltwapening en ontwerpoptimalisaties was informatie te achterhalen om een effect te bepalen in de LCA. (→ [hoofdstuk 5 van rapport NIBE](#))

Hieruit blijkt dat met CEM III/B (en waarschijnlijk eveneens met geopolymeerbeton) een potentiële milieu-impactreductie van ongeveer 15% (MKI) bereikt kan worden op de productie van het gehele circulair brugdek. Basaltwapening zou in combinatie met het eerdergenoemde energietransitie een kleine milieuwinst kunnen betekenen.

Wanneer een totaal scenario (weliswaar met de nodige onzekerheid) wordt gemaakt dat deze toekomstige ontwikkelingen probeert mee te nemen (met de verbetering aan de viaducten én toepassing van een energietransitie-model), dan levert dat de volgende score. Het (eerder beschreven) omslagpunt komt te liggen rond 104 jaar, eerder slopen betekent dat het circulaire brugdek beter scoort.

**Totaal-scenario:** milieu-impact in MKI (€) (fasen A1-D)  
 Beschouwingsperiode 200 jaar; 'Functionele levensduur' referentie 80 jaar.

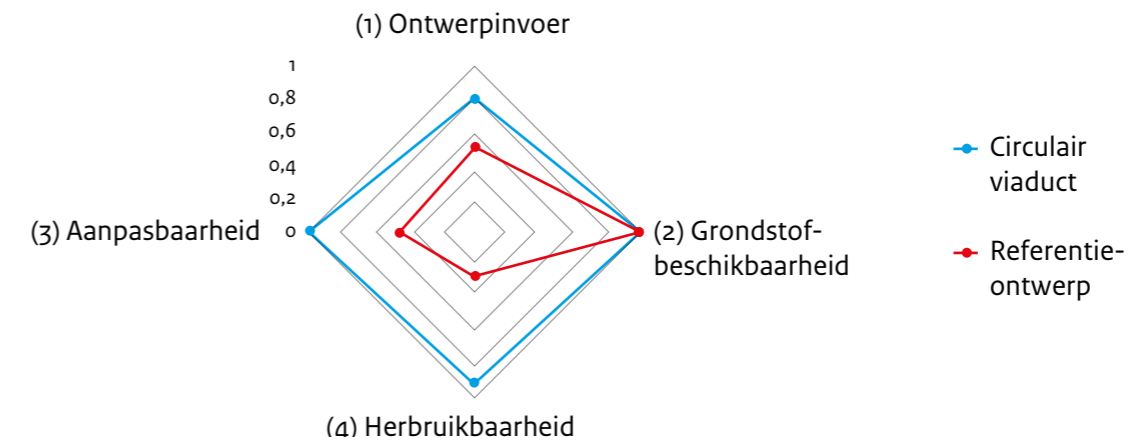


### 6.2.3 Circulariteit prototype

Aanvullend heeft NIBE ook de circulariteit van beide ontwerpen bepaald volgens de methode zoals door CB'23 Actieteam Meten beschreven. Hoewel beide ontwerpen qua materiaal sterk op elkaar lijken, ontstaat het verschil bij de tweede en volgende gebruikscycli. Het circulair viaduct gebruikt over 2 cycli 22% minder primaire grondstoffen dan de referentie. Bij 2 vervangingen (3 cycli) loopt dit op tot 42%. Meer over de circulariteit en verschillende indicatoren in → [hoofdstuk 6 in het rapport van NIBE](#).

### 6.2.4 'Brugcirculariteits-indicator' door PDEng

Deze indicator – in ontwikkeling door een PDEng (een toegepast-wetenschappelijk onderzoeker) bij Universiteit Twente en RWS – beschouwt brugcirculariteit op vier aspecten: (1) materiaalgebruik bij de bouw en robuustheid van het ontwerp; (2) schaarste van de gebruikte materialen; (3) aanpasbaarheidspotentie van de brug tijdens de gebruiksfase; (4) en herbruikbaarheidspotentie na eindelevensduur. Dezelfde ontwerpvarianten (circulair en referentie) zijn vergeleken als in de LCA's.



De resultaten van de indicatoren zijn tegen elkaar uitgezet in het webdiagram. Allereerst scoort de (1) 'ontwerpinput' hoger bij het circulaire viaduct door de hoge mate van robuustheid. Vanwege nagenoeg onveranderde materiaalsamenstelling is de (2) grondstofbeschikbaarheid bij beide hoog. Betreft de (3) aanpasbaarheid: door de variabiliteit in liggerlengte voldoet het circulair viaduct aan de uitbreidbaarheidscriteria en beide varianten zijn verhoogbaar. Versterking van beide opties is lastig zonder functieverlies, echter bij het circulair viaduct zou de langsvorspanning potentieel kunnen worden versterkt, daarmee scoort het circulaire brugdek nagenoeg perfect op aanpasbaarheid. Tot slot



scoort de (4) herbruikbaarheid nagenoeg onverbeterlijk, door de modulaire en transporteerbare elementen. De losmaakbaarheid is echter nog onbewezen op lange termijn.

Concluderend bevestigt deze analyse de claim dat het circulair brugdek beduidend meer circulair is dan een conventionele variant.

→ [Brugcirculariteitsanalyse](#)

### 6.3 Conclusies

Het circulair viaduct is initieel zwaarder en impactvoller dan de referentie, het duurt een tijd totdat je dat middels hergebruik hebt ‘terugverdiend’. De totale milieu-impact van het circulair brugdek is over de gehele 200 jaar – mits deze zo lang meegaat met weinig uitval – in verschillende scenario’s telkens lager dan de referentie. Het circulair brugdek scoort dan dus beter. Wanneer de milieu-impact over 100 jaar beschouwd wordt, vormt de ‘functionele levensduur’ van het reguliere viaduct in jaren (op dezelfde locatie in functie blijven, niet gesloopt worden) een omslagpunt tussen circulair en regulier brugdek. Wordt een regulier brugdek eerder gesloopt en herbouwd dan na 61 jaar, dan was het circulair brugdek ook in alle scenario’s minder milieu-impactvol – beter – geweest.

Ook in verschillende bepalingmethoden voor circulariteit scoort het circulair viaduct beter (analyse conform CB’23) en aanzienlijk beter (brugcirculariteits-indicator PDEng) dan de referentie. Het viaduct is volgens deze methoden dus inderdaad meer circulair dan reguliere viaducten.

### 6.4 Lessen

- De score op milieu-impact is vrij sterk verbeterd gedurende de doorontwikkeling tot prototype.
  - Vervolg vraag: (hoe) is mate/effect daarvan vooraf te voorzien?
- De initiële milieu-impact van aanleg van dit modulaire circulaire concept scoort nog steeds slechter (meer impact) dan een regulier ontwerp. Dit kan zich wel terugverdienen over de levensduur door het hergebruik.
- Het concept kan inmiddels ook bij een redelijke lange ‘functionele levensduur’ (gebruiksduur op één locatie) qua totale milieu-impact concurreren met een regulier ontwerp.
- Het concept wordt met de huidige bepalingmethoden voor circulariteit beter gewaardeerd qua circulariteit dan een regulier viaduct, deze waardering is echter wel sterk bepaald door de ‘functionele levensduur’.
- Ontwerpen herbruikbaar maken en (gecombineerd) over-dimensioneren kan dus wel degelijk lonen qua milieu-impact, mits dit in de LCA inzichtelijk kan worden gemaakt met een langere functionele levensduur.

Deze studies hebben ons ook veel geleerd over de huidige bepalingmethoden. NIBE schrijft daarover meer in hun rapport. Opvallende punten zijn:

- Het effect van waardebehoud (door het modulaire ontwerp) wordt op dit moment nog nauwelijks meegenomen in de beoordelingsmethoden – zeker niet in de LCA-gebaseerde.
- Ook het verschil tussen hoogwaardig en laagwaardig hergebruik wordt nog niet gewaardeerd.

(CB’23 Actieteam Meten is hier in 2019 aan begonnen.)





## 6.5 Vervolg

Met deze analyse is duidelijk geworden dat dit ontwerp(concept), voor een betonnen modulair viaduct, lichter dient te zijn om onder meer condities overtuigend te kunnen concurreren met een regulier ontwerp.

Daarnaast zou het waardevol zijn om deze milieu-analyses toe te passen op andere ontwerpstrategieën voor circulaire viaducten en te bezien hoe deze scoren. Het meenemen van effecten op systeemniveau (opslag, uitval, etc.) zou daarbij interessant zijn.

Tot slot is de milieu-impact uiteindelijk niet het enige dat de haalbaarheid van een (circulaire) innovatie bepaald. Het meenemen in de beoordeling van andere 'indicatoren' – zoals het niveau van technische ontwikkeling (TLR-niveau) – verbetert de inschatting van de impact en haalbaarheid.



# 7. Inkoop

## 7.1 Inleiding

Na de nauwe samenwerking van Rijkswaterstaat (RWS) en Van Hattum en Blankevoort (VHB) sinds 2016 om tot een schetsontwerp te komen van een circulair viaduct, werd het tijd voor de volgende stap; het realiseren van het eerste prototype. Het werkgebied van de Reevesluis, waar veel zwaar werkverkeer zou zijn om het viaduct te testen, werd uiteindelijk gekozen voor de realisatie van het circulaire viaduct. De planning was kritisch: eind oktober 2018 moest het viaduct geplaatst worden.

Zie voor een meer gedetailleerde beschrijving van het proces tot een prototype → [de learning history](#)

Tot en met het schetsontwerp werkten de partijen samen met gesloten beurzen. Deze werkwijze was echter niet haalbaar voor de realisatie van het prototype, daarvoor was de investering te groot. Daarvoor moest een inkoop worden opgestart. Bovendien zou met de strakke deadline en de grotere financiële belangen de samenwerking ook verder geformaliseerd moeten worden in een overeenkomst. In dit hoofdstuk zijn deze processen: de inkoop en de totstandkoming van een samenwerkingsovereenkomst beschreven. Verder zijn de belangrijkste lessen opgesomd.

## 7.2 De inkoopprocedure

### 7.2.1 Korte beschrijving

In de samenwerkingsovereenkomst is afgesproken dat alle werkzaamheden in het kader van samenwerkingsovereenkomst door de betrokken partijen zelfstandig werden gedragen, denk daarbij aan de inzet van communicatie en het projectmanagement. Uitzondering hierop waren de kosten die gepaard

gaan met het ontwerp, transport, monitoring, montage en productie van de bouwelementen. Vooraf was overeengekomen dat deze kosten door RWS vergoed zouden worden. Het totaal van deze kosten was ca.€1,5 miljoen. Daarmee moet deze inkoop, cf. de Gids Proportionaliteit en het interne RWS aanbestedingsbeleid in principe worden gedaan via een meervoudig onderhandse procedure. Van die regel kan echter worden afgeweken door het gebruik van een enkelvoudig onderhandse procedure, als dat voldoende onderbouwd kan worden met behulp van de criteria uit dezelfde Gids Proportionaliteit.

De belangrijkste argumenten voor de enkelvoudige onderhandse aanbesteding, gebaseerd op de criteria uit de Gids Proportionaliteit, waren:

- Het betreft de realisatie van een ontwerp dat is gemaakt door één specifieke partij.
- De forse besparing van transactiekosten.
- Het aantal potentiële inschrijvers; door het ontwerpproces in de voorgaande 2 jaar zou er amper sprake kunnen zijn van een gelijk speelveld.
- De bouwelementen komen na demontage in bezit van RWS.
- Alle opgedane kennis wordt open gedeeld met de branche.

De verdere onderbouwing is te vinden in het zogenaamde → [mandaatadvies](#)

De procedure bestond vervolgens uit het doen van de aanbidding door VHB en het ondertekenen van de samenwerkingsovereenkomst.



### 7.2.2 Geleerde lessen

Het gunnen van een opdracht uit de hand was in dit specifieke geval nodig om het project tot een succes te maken en het momentum te behouden. Er is daarbij lef getoond, omdat de juridische houdbaarheid op voorhand nog niet onomstotelijk was aangetoond. Lef bleek een essentieel ingrediënt voor succes, maar we adviseren tevens om in het vervolg zo vroeg mogelijk in het proces de geschikte wijzen van inkoop te verkennen. De procedures die specifiek zijn gericht op het inkopen van innovatie, zoals het Innovatiepartnerschap en Small Business Innovation Research (SBIR) zullen in veel gevallen geschikt zijn. Maar, in bepaalde gevallen, zoals bij het circulair viaduct, kan de een enkelvoudige onderhandse procedure ook de meest geëigende methode zijn. Voor de hanteren criteria dient de Gids Proportionaliteit te worden gehanteerd.

Een uitwerking van deze lessen is te vinden in → [de evaluatie “inkoopproces”](#)

## 7.3 De samenwerkingsovereenkomst

### 7.3.1 Korte beschrijving

Gezien de wederzijdse afhankelijkheid in het vervolgproces, de noodzaak om gezamenlijk kennis te ontwikkelen en de reeds langlopende samenwerking, is besloten om een samenwerkingsovereenkomst op te stellen. Idee achter de overeenkomst was dat beide partijen verantwoordelijkheid dragen voor het succes van het circulair viaduct. Succes was daarbij niet per definitie dat het circulair viaduct zou worden gerealiseerd, maar dat er veel geleerd zou worden van het traject om het viaduct te realiseren. Daarnaast werd in de samenwerkingsovereenkomst een taak- en risicoverdeling afgesproken en een basis geboden voor betaling, waarop teruggevallen kon worden bij verschil van inzicht. Zo is in de overeenkomst vastgelegd dat de betaling niet plaats zou vinden op regiebasis, maar dat een vast bedrag voor voorziene werkzaamheden

werd vastgelegd in het contract. Reguliere uitvoeringsrisico's zouden bovendien bij VHB liggen. Overige risico's (met name ten aanzien van het onzekere karakter van innoveren) zouden gezamenlijk gedragen worden vanuit een gezamenlijke risicopot.

Door enerzijds het korte tijdsbestek waarin de overeenkomst opgesteld moest worden en anderzijds het onzekere karakter van het vervolgproces, kenmerkend voor innovatie, is bovendien gekozen om de afspraken in de samenwerkingsovereenkomst op een zo hoog mogelijk abstractieniveau vast te leggen. Zo bevat de overeenkomst een procesafspraken over de nadere invulling van open source, zonder daarbij in detail te treden welke informatie er precies wel en niet open gedeeld zou worden. Daarbij hadden beide partijen er vertrouwen in dat dit in de nadere uitwerking goed zou komen. Bij het ontbreken van dit vertrouwen zouden nadere afspraken nodig zijn over het open delen van de opgedane kennis, terwijl je vooraf niet weet welke nieuwe kennis precies wordt ontwikkeld. Dat geeft aan dat vertrouwen tussen de partners essentieel is bij succesvolle innovatie.

Op bovenstaande wijze waren we in staat in korte tijd tot een samenwerkingsovereenkomst te komen waarin beide partijen zich konden vinden. Na een toets door de jurist van VHB en de afdeling Inkoopcentrum GWW (ICG) van RWS werd de overeenkomst akkoord bevonden en in september getekend. Met het tekenen van de samenwerkingsovereenkomst was het Bouwteam Circulair Viaduct opgericht, met RWS en VHB als gelijkwaardige samenwerkingspartners. Spanbeton en DSI traden op als onderaannemers van VHB.



### 7.3.2 Geleerde lessen

Alle betrokken partijen hebben de samenwerking als zeer prettig ervaren. Daarbij is het niet zo dat de samenwerkingsovereenkomst de oorzaak is van dit succes, wel is het zo dat de overeenkomst een goede samenwerking niet in de weg heeft gezeten. De samenwerkingsovereenkomst heeft de kaders geschapen en de samenwerking zo min mogelijk in de weg gezeten met bureaucratische of inflexibele afspraken.

De samenwerkingsovereenkomst heeft bovendien tot een zeer sterk gereduceerde werklust gezorgd voor de contractbeheersing aan de kant van RWS. Dit komt met name doordat het kwaliteitsmanagement door beide partijen gezamenlijk is opgepakt, in plaats van het toetsen van RWS op het systeem van de Opdrachtnemer.

Verdere ervaringen met de samenwerkingsovereenkomst zijn te vinden in → [de Learning history](#)

Op basis van het succes van de samenwerkingsovereenkomst zoals gebruikt in het circulair viaduct adviseren we de volgende elementen in een overeenkomst voor innovatie voldoende aandacht te geven:

- Flexibiliteit; zorg dat de overeenkomst de innovatie niet in de weg zit. Een innovatietraject kenmerkt zich door onzekerheid, waarop ingespeeld moet kunnen worden voor een succesvolle innovatie. Een overeenkomst zou deze flexibiliteit niet in de weg moeten zitten.
- Vertrouwen; er moet een stevige vertrouwensbasis zijn en worden onderhouden, anders is een succesvolle samenwerking niet mogelijk.
- Wanneer dit vertrouwen er (nog) niet is, dan is dat niet op te lossen door een overeenkomst 'dicht te timmeren'.



# 8. Inzichten uit herbestemming

## 8.1 Inleiding

Na de succesvol uitgevoerde pilot in Kampen was het bouwteam eigenlijk klaar met haar taak: er is een prototype gebouwd dat zich heeft bewezen. Het past echter niet in de filosofie van het bouwteam om het viaduct na de pilot naar de 'sloop' te brengen. Het viaduct heeft zijn werking bewezen en dat betekent dat het ook ingezet kan worden voor functionele doeleinden. Bovendien kan er nog veel geleerd worden van de vervolgstappen; het hergebruiken van het viaduct introduceert namelijk allerlei nieuwe uitdagingen. Bovendien kan veel geleerd worden van de demontage en remontage; uiteindelijk is het viaduct pas circulair als het ook daadwerkelijk wordt hergebruikt.

Vlak nadat het circulaire viaduct is geopend besloot het bouwteam daarom op zoek te gaan naar één of meerdere herbestemmingslocaties. Meteen werd dit gezien als een kans voor doorontwikkeling en het genereren van extra aandacht voor circulair bouwen. Een zorgvuldige aanpak is toen opgesteld om te komen tot de juiste herbestemmingslocatie(s), beschreven in de volgende paragraaf.

## 8.2 Globale aanpak herbestemming

Hoofddoel van herbestemming was om er zoveel mogelijk van te leren. Motto was daarom: zoek de moeilijkheden op (in plaats van ze uit de weg te gaan). De oproep tot herbestemmingslocaties leverde een 20-tal serieuze en minder serieuze kandidaten op. Uit deze 20 is vervolgens getrechterd tot 3 partijen waarvan we een daadwerkelijke realisatie het meest haalbaar achten én waarmee het leereffect kon worden gemaximaliseerd.

Het betrof 2 infrabeheerders en 1 aannemer:

→ [Leidraad keuze herbestemmingslocatie](#)

Met deze 3 partijen is vervolgens in overleg getreden. Daaruit is het voorstel gekomen om het viaduct eerst toe te passen in het project van een aannemer en vervolgens naar het project van een infrabeheerder te verplaatsen waar het eerst een tijdelijk invulling zal krijgen en vervolgens een meer definitieve inpassing. Dit was een uitdagend plan, met nog wat haken en ogen, maar zou de ontwikkeling van het circulair viaduct een grote stap vooruit brengen.

Nog voor het vervolgesprek bleek de invulling bij de aannemer om financiële redenen niet haalbaar. De tijdelijke inpassing in het project van de aannemer vroeg om een andere configuratie van blokken: niet 7,5 bij 20 meter maar 10,5 bij 15 meter. Hoewel dit technisch mogelijk is, zouden hier nieuwe elementen voor geproduceerd moeten worden (de kopelementen zijn immers anders dan de tussenelementen). Bovendien moesten alle liggers gedemonteerd worden. Dit maakte dat de herbestemming voor de aannemer financieel onrealistisch werd.

Daarmee bleef de infrabeheerder over, met hen is toen besproken om te kijken of er een tijdelijke toepassing mogelijk was tussen september 2019 en september 2020 (het gat dat de aannemer oorspronkelijk zou opvullen). Daarmee zou voorkomen worden dat het viaduct tijdelijk ongebruikt moest worden opgeslagen. Aangezien de infrabeheerder nog niet ver genoeg was in de planontwikkeling kwam dit niet van de grond. Op moment van schrijven is de herbestemmingslocatie nog niet definitief en wordt de exacte herbestemming nog uitgewerkt. Voor de meest recente informatie over de herbestemming verwijzen we u naar [www.circulairviaduct.nl](http://www.circulairviaduct.nl).



## 8.3 Geleerde lessen

Hoewel het herbestemmingsproces nog niet is afgerond – en dat eigenlijk, gezien de levensduur van de bouwelementen, de komende 200 jaar niet zal zijn – zijn er al wel lessen te trekken uit het concept van het circulair viaduct zoals het bouwteam dat heeft ontwikkeld.

### 8.3.1 Hergebruik van het concept is duur

Op het eerste gezicht lijkt het ook vanuit financieel oogpunt een interessante opzet om de bouwmaterialen te hergebruiken. Dit bleek al snel niet het geval te zijn om een aantal redenen;

- Het alternatief voor een korte inzet is de metalen Janson-brug”. Voor de korte duur is dit alternatief een aantal maal goedkoper. Het circulaire viaduct zoals wij het toepassen kent alleen montagekosten en amper onderhoudskosten. Daarom is herbestemming vermoedelijk alleen interessant voor langere inzet, waarvoor het viaduct initieel ook ontworpen is.
- Het aanpassen van de configuratie van de blokken moet in de fabriek bij Spanbeton gebeuren. Dit zorgt voor transportkosten, huur van de kranen die nodig zijn om de liggers te verplaatsen en nieuw materiaal: extra of andere blokken of een andere lengte van voorspanningskabels. Met name het aanpassen van de overspanningslengte maakt de herbestemming fors duurder. Daarom wordt er nu gezocht naar toepassing met een overspanning van 20 meter. Dat staats haaks op het concept dat juist is ontwikkeld om in stappen van 2,5 meter alle overspanningen tussen 15 en 25 meter te kunnen realiseren.
- Het viaduct is gedimensioneerd op de zwaarste gewichtsklassen met een overspanning van 25 meter. Dus ook wanneer het viaduct wordt ingepast voor voetgangers bij een overspanning van 15 meter, is de brug zo sterk als de oorspronkelijke dimensionering. Dat maakt de brug onnodig zwaar en duur voor kortere en lichtere toepassingen.

- De brug zelf is erg zwaar, dit kan de kosten verhogen voor de funderingsconstructie. Zo zou bijvoorbeeld de benodigde funderingsconstructie op een locatie met slappe bodem bestaan uit 25 meter lange damwanden.

De vermoedelijke daling van de kostprijs bij schaalvergroting is hierbij nog niet in beschouwing genomen. Tegelijkertijd is nog geen rekening gehouden met de kosten voor het gebruik van de bouwelementen die bij grootschalige toepassing vermoedelijk wel in rekening wordt gebracht. Ook zal een beheerorganisatie nodig zijn voor de opslag, distributie en kwaliteitscontrole van de bouwelementen. Deze kosten zijn ook nog niet meegenomen.

### 8.3.2 Timing

Projectplanningen zijn vaak onderhevig aan wijzigingen door allerlei invloeden. Dit maakt het heel lastig om te zorgen voor een goede timing van het vrijkomen van de bouwelementen en het weer kunnen monteren van deze elementen. Tussenopslag is daarvoor een oplossing, maar vanuit transportkosten, uitstoot en efficiënt inzet van materiaal niet wenselijk. Wanneer er schaalvergroting optreedt wordt dit mogelijk eenvoudiger.

### 8.3.3 Beheer & Eigendom

Op dit moment zijn de bouwelementen eigendom van RWS, het is echter de vraag of dit de beste keuze is. Zo wilde VHB de elementen inzetten in een tender, maar bleek dit voor RWS niet mogelijk. Zo zou de schijn kunnen ontstaan van oneerlijke concurrentie.







# Overzicht documenten

Al deze achterliggende documenten – waarnaar ook verwezen wordt in dit document – zijn te vinden via:

[www.circulairviaduct.nl](http://www.circulairviaduct.nl)

- Learning history
- Bijlage Overzicht ontwikkelvragen

## Technisch ontwerp

- Ontwerpnota UO 1.0
  - Bijlagen Ontwerpnota UO
  - Toets op Ontwerpnota
- Werkplan (re)montage
- Demontageplan
- Analyse Monitoring

## Business case en assetmanagement

- Resultaat Sustainable Business Battle “Bridging the Gap, a service-based Business Model”

## Informatiebehoefte en data

- Monitoringsplan
- Werkplan (re)montage
- Demontageplan
- Beheerplannen (opslag, gebruik)
- ‘Materialenoverzicht’
  - Data verwerkte grondstoffen/materialen

## Circulariteit en milieu-impact

- Rapportage onderzoek NIBE
- Brugcirculariteitsanalyse

## Inkoop

- Mandaatadvies
- Evaluatie “inkoopproces”

## Inzichten uit herbestemming

- Leidraad keuze herbestemmingslocatie







# CONSOLIS SPANBETON

Van Hattum en Blankevoort



Rijkswaterstaat  
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Dit is een uitgave van

**Rijkswaterstaat**

[www.rijkswaterstaat.nl](http://www.rijkswaterstaat.nl)

November 2019

Projectfotografie: Amy Cooks Photography, Sem van der Wal  
Omslagfoto: Sem van der Wal