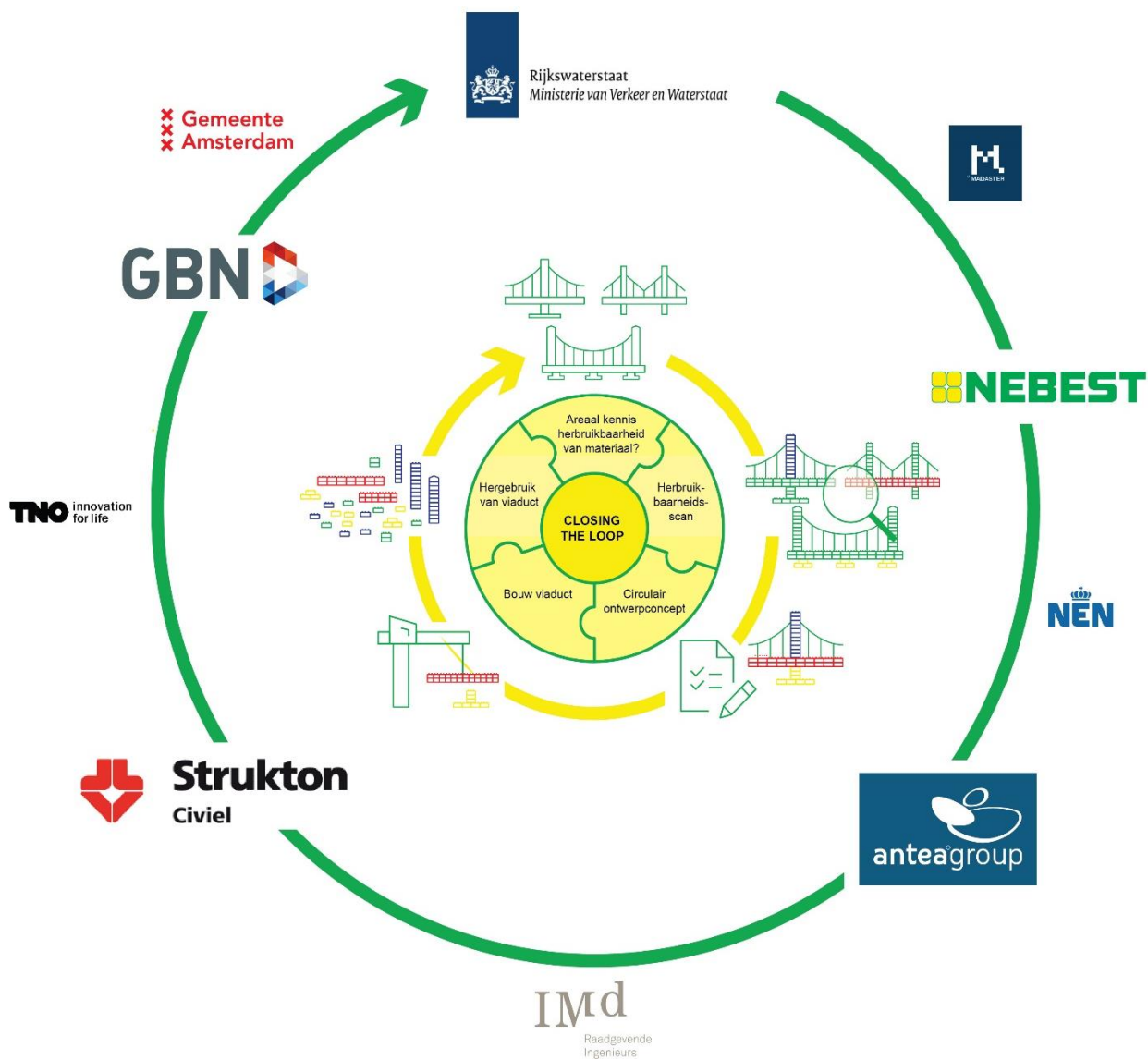


Creating impact today

We are: 'Closing the Loop'



Closing the Loop (CTL)

SBIR - Circulaire viaducten

Opdrachtgever Rijkswaterstaat

Project SBIR Circulaire Viaducten

Status 38775 Definitief

Datum 16 maart 2021

Projectleider Wouter van den Berg

Titel : Closing the Loop

Rapportnummer : 38775

INHOUDSOPGAVE

1	MANAGEMENTSAMENVATTING	4
1.1	Projectbeschrijving	4
1.2	Impact.....	5
1.3	Economisch perspectief (Hoezo circulariteit kost geld?)	5
1.4	Haalbaarheid (<i>Circulaire viaducten tenzij</i>)	6
1.5	Bringing circularity into practice (nu of nooit!)	7
2	UITVOERING VAN HET PROJECT	8
2.1	Doelstellingen haalbaarheidsonderzoek	8
2.2	Referentieprojecten en testruimte	8
2.3	Wijzigingen (de kracht van verandering).....	8
2.4	Projectorganisatie en taakverdeling (We are 'Closing the Loop')	9
2.5	Uitvoering van het onderzoek (op de weg terug)	10
2.5.1	Areaalkennis (is match).....	10
2.5.2	Herbruikbaarheidsscan (het vullen van de legodoos).....	11
2.5.3	Circulaire ontwerpconcepten (Matching materials).....	12
2.5.4	Bouw viaduct.....	12
2.5.5	Hergebruik viaduct	12
3	INHOUDELIJKE BEVINDINGEN	13
3.1	Areaal kennis (is match).....	13
3.2	Herbruikbaarheidsscan (het vullen van de legodoos).....	14
3.3	Circulaire ontwerpconcepten (Matching materials).....	19
3.3.1	Concept 1	20
3.3.2	Concept 2	20
3.3.3	Variant concept 2	21
3.3.4	Concept 3	22
3.3.5	Constructieve aspecten.....	22
3.3.6	Hybride model (de kracht van de combinatie)	23
3.4	Demontage viaduct (laat de oogst beginnen)	24
3.5	Bouw viaduct.....	25
3.5.1	Realisatie en maakbaarheid	25
3.5.2	Kosten, transport en opslag	25
3.5.3	Toekomstig onderhoud	26
3.6	Hergebruik viaduct	26
3.7	Impact (creating impact today).....	27
3.8	Haalbaarheid.....	28
3.9	Economisch perspectief	29
3.9.1	De marktsituatie (systeemoplossing)	29

Titel : Closing the Loop

Rapportnummer : 38775

3.9.2	Aanpak en strategie (het gedachtengoed).....	29
3.9.3	'Closing the Loop'-viaducten in de praktijk.....	31
4	VOORSTEL FASE 2.....	33
4.1	Kaders prototype en gastproject (Let's save some materials).....	33
4.2	Afweging in gastprojecten (keuzestress)	34
4.3	Omschrijving gastproject.....	35
4.4	Test- en validatieplan (fase 2a en 2b).....	37
5	BEGROTING	41

Leeswijzer: Om de leesbaarheid van dit haalbaarheidsonderzoek te vergroten wordt op meerdere plekken verwezen naar documenten met meer diepgaande onderbouwing. Ook zijn links naar video's opgenomen. Deze zijn terug te vinden op: <https://www.nebest.nl/closingtheloop>. Wij wensen de lezer veel plezier bij het bestuderen van dit verslag.

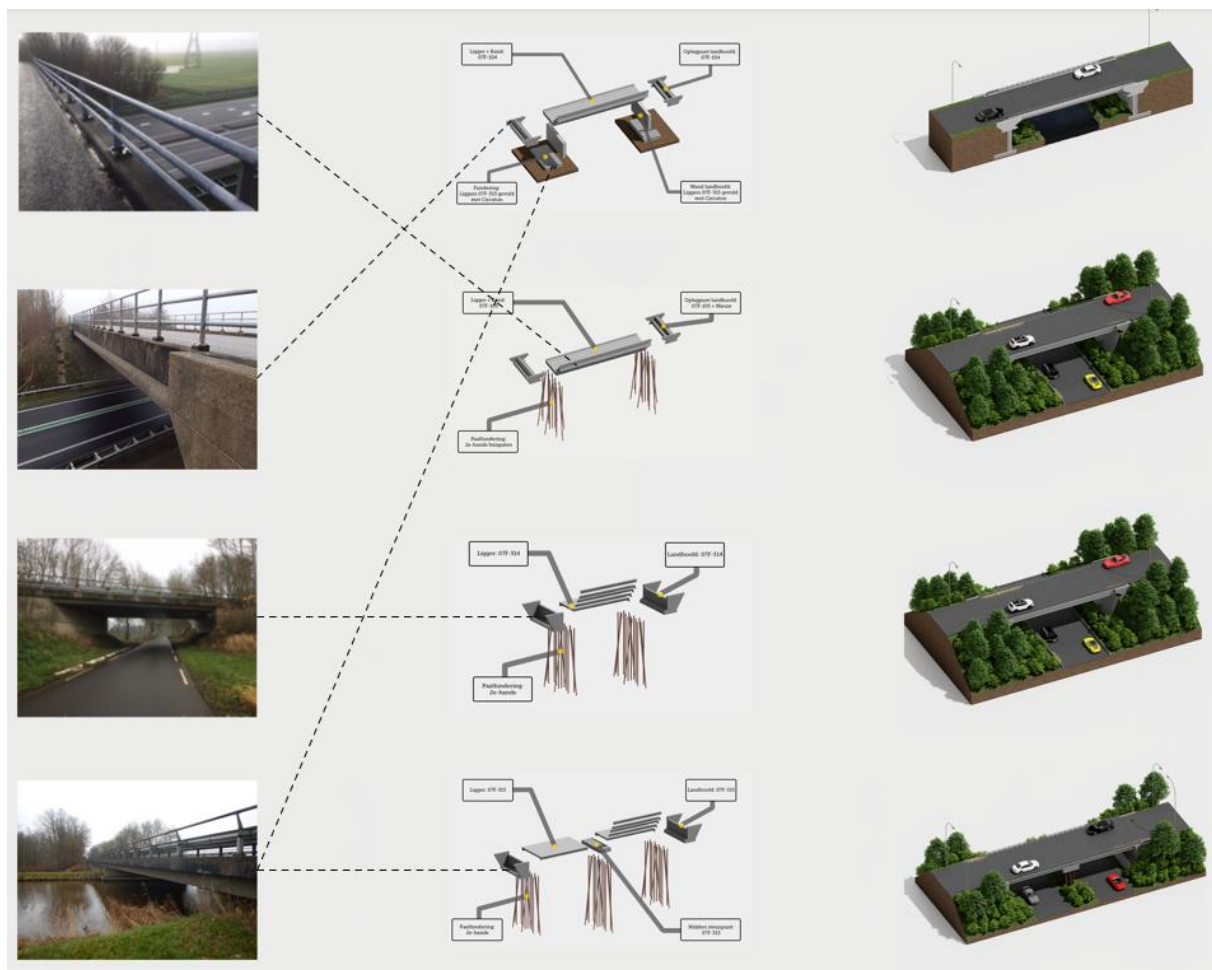
1 MANAGEMENTSAMENVATTING

1.1 Projectbeschrijving

We are 'Closing the Loop' (CTL). Wij realiseren de eerste tien nieuwe viaducten met meer dan 70% hoogwaardig hergebruikte viaductonderdelen in de komende paar jaar! De overige 30%, veelal asfalt en restbeton, wordt ingezet in de vorm van hoogwaardige recycling. Hiermee sluiten we de cirkel voor hoogwaardig hergebruik van bestaande viaducten. Dit is technisch haalbaar, constructief veilig, economisch aantrekkelijk (24% reductie op de directe kosten) en resulteert in een reductie van ruim € 150.000 op de MKI en 1,8 miljoen kg CO₂.

Het eerste CTL-viaduct realiseren wij binnen project A76 in opdracht van Rijkswaterstaat als onderdeel van fase 2. Concreet betekent dit dat wij alle materialen oogsten uit de te slopen viaducten in de A76 en gebruiken voor de realisatie van het eerste CTL-viaduct in Nederland.

De realisatie van de volgende vier CTL-viaducten kunnen we, op basis van de referentie, realiseren binnen project N33. De grootste uitdaging hierbij is de inpassing binnen de contractuele kaders. Ook hierin voorziet CTL in oplossingen in samenwerking met Rijkswaterstaat (zie hoofdstuk 4).

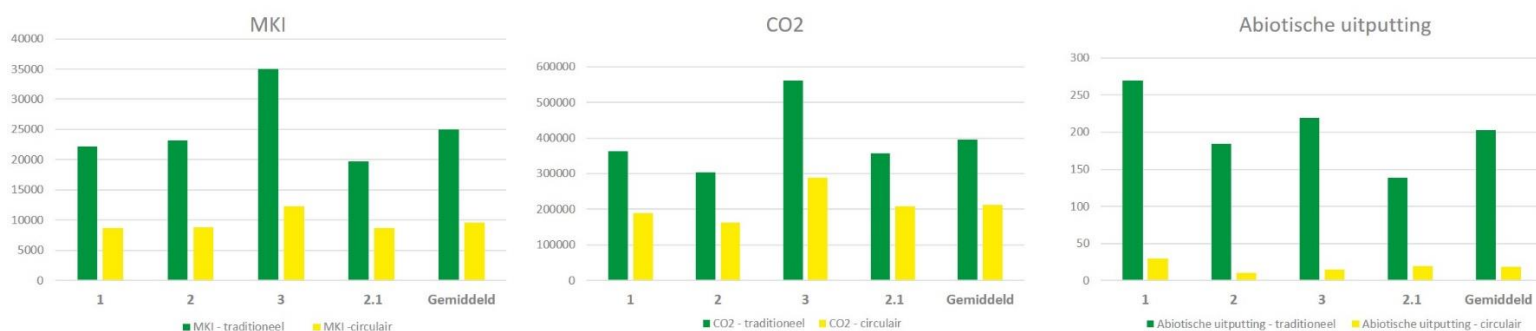


1.2 Impact

In het plan voor fase 1 was de verwachting dat met CTL-viaducten 70% hergebruik en 30% hoogwaardige recycling gerealiseerd kon worden. Met het uitgevoerde haalbaarheidsonderzoek tonen we aan dat niet 70% maar 72,5% van de bestaande viaductonderdelen hoogwaardig kan worden hergebruikt binnen de ontwerpconcepten.

Materiaalvolumes Viaducten	07F-104	07F-105	07F-313	07F-314	Totaal
V_Totaal	194,26	239,58	722,77	294,61	1451,22
V_Hergebruik	169,54	206,18	446,97	230,41	1053,10
V_Circuton	24,72	33,40	275,80	64,20	398,12
%_Hergebruik	87,30%	86,10%	61,80%	78,20%	72,57%
%_Circuton	12,70%	13,90%	38,20%	21,80%	27,43%
%_Ongebruikt	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Via het aangereikte format onderbouwen we dat de gemiddelde reductie op MKI, CO₂ en Abiotische grondstoffen ten opzichte van de referentie respectievelijk 62%, 47% en 91% is.



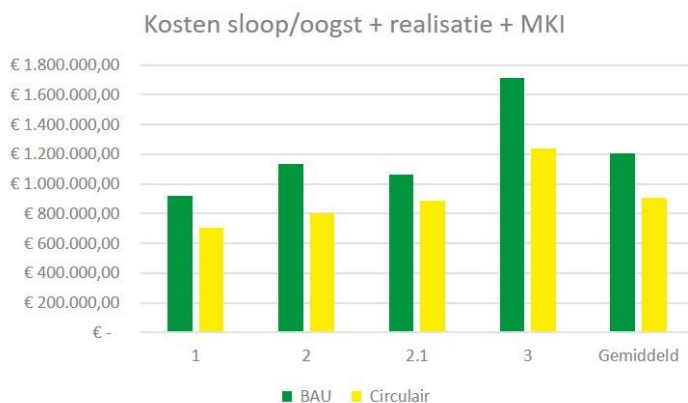
Op basis van de herbruikbaarheidsscan naar beschikbaar komende onderdelen in de komende paar jaar blijkt tevens dat er voldoende kwalitatief hoogstaande onderdelen voorhanden zijn om nu al tien CTL-viaducten te realiseren. Paragraaf 3.7 geeft inzicht in de impact van deze tien viaducten. Door in te zetten op hoogwaardig hergebruik kan waardevernietiging op de korte termijn worden stopgezet.

Creating impact today! Met CTL dragen we vandaag nog bij aan de invulling van de doelstelling van Rijkswaterstaat om in 2030 circulair en klimaatneutraal te werken. Daarnaast wordt met spin-offs direct ook bijgedragen aan de bredere maatschappelijke doelstelling buiten het areaal van Rijkswaterstaat (zie paragraaf 2.4 en 3.9) en de systeeminnovaties die nodig zijn.

1.3 Economisch perspectief (Hoezo circulariteit kost geld?)

Naast de reductie op de milieu-impact tonen we een kostenbesparing van circa 24% op de directe kosten aan. [Hier](#) is een detailbegroting te downloaden. In deze detailbegroting zijn de kosten voor de circulaire oogst en eventuele reparatie van de onderdelen opgenomen alsook de realisatiekosten van de nieuwe CTL-viaducten. Hierbij geldt als uitgangspunt dat we met de onderdelen uit de objecten binnen de N33 vier nieuwe CTL-viaducten realiseren. De 'business as usual' (BAU)-variant van deze ontwerpconcepten, realisatie met nieuwe materialen, dient hierbij ter vergelijking.

Onderstaande grafiek toont het verschil van CTL-viaducten in relatie tot BAU. De MKI maakt hiervan eveneens onderdeel uit. De bredere kortetermijnpotentie van ons concept op basis van nu al tien CTL-viaducten geeft een kostenreductie van ca. € 2,8 miljoen. Als we kijken naar de langetermijnpotentie is momenteel onduidelijk welk volume de totale nieuwbouwpoging vertegenwoordigt. Vrij zeker is dat ieder viaduct vroeg of laat aan vervanging toe is. Hiermee ontstaan mogelijkheden voor onze innovatie. In paragraaf 3.9 is ons circulaire businessmodel uitgewerkt.



Kennisdeling is kracht! Kennisdeling binnen en buiten ons consortium vormt de pijler van de CTL-filosofie en de basis in het succes van dit haalbaarheidsonderzoek (zie paragraaf 2.4). Wij geloven in kennisdeling als de kracht van onze innovatie. Informatieuitwisseling is tenslotte key in het laten slagen van hergebruik. Een open source-constructie van CTL-viaducten is in onze ogen de enige vorm die past. Onze combinatie zien wij daarbinnen als '(aan)jager en verzamelaar' die voorop gaat in de transitie richting een circulaire economie.

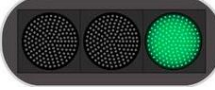

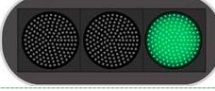

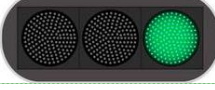

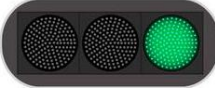
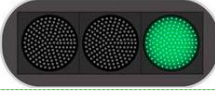
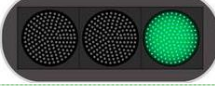

1.4 Haalbaarheid (*Circulaire viaducten tenzij*)

Yes we can! We sluiten de technische en organisatorische cirkel en bouwen de eerste tien nieuwe CTL-viaducten in de komende paar jaar. Hierbij geldt als uitgangspunt: '*Circulair tenzij*'.

In het plan voor fase 1 zijn de uitdagingen omschreven voor hergebruik. Op basis van de leerervaringen zijn deze verder aangevuld en geëvalueerd aan de hand van onderstaand stoplichtmodel. De haalbaarheid plaatsen we hiermee in een bredere context dan alleen technische aspecten (zie hoofdstuk 3). We grijpen de bouw van ons prototype aan om maximaal bij te dragen aan de validatie en opschaling van ons concept CTL (zie tabel paragraaf 4.1).

'Circulair tenzij'

Om circulariteit realiteit te laten worden is het van belang om een breed gedragen afspraak te maken. Lange tijd is vanuit de politiek gekozen voor het adagium 'de markt tenzij'. Dit moet nu worden gedaan voor circulariteit. Tenzij het echt niet anders kan moet circulariteit worden nagestreefd. Dit betekent dat alle inkoop- en aanbestedingstrajecten circulariteit als voorwaarde moeten hebben. Wij zien dit als fundamenteel uitgangspunt vanuit de overheid om circulariteit te laten slagen.

Haalbaarheidsaspecten	Onderbouwing	Status	Verwijzing
<u>Technische haalbaarheid</u>			
• Beschikbaarheid	1751 herbruikbare onderdelen uit 92 viaducten in de legodoos		Paragraaf 3.2
• Constructieve veiligheid	Theoretisch onderbouwd, verankering in normen in fase 2		Paragraaf 3.3.5 en 3.8
• Restlevensduur	+100 jaar		Paragraaf 3.2
• (Los)maakbaarheid	Theoretisch en deels praktisch aangetoond. Verdere validatie in prototype.		Paragraaf 3.3.5, 3.4 t/m 3.6
<u>Impact</u>			
• Materiaalgebruik (circulariteit)	72,5% hergebruik 27,5% recycling		Paragraaf 3.3.1 en 3.7
• CO2-reductie	47% per viaduct		Paragraaf 3.3.1 en 3.7
<u>Economische haalbaarheid</u>			
• Betaalbaarheid	-24% per viaduct		Paragraaf 3.5 en 3.9
• Opschaalbaarheid	10 potentiële projecten nu al in het vizier		Paragraaf 3.2 en 3.9
<u>Organisatorische haalbaarheid</u>			
	Waar een wil is, is een weg		Paragraaf 3.9
<u>Beleidskader</u>			
	Circulair tenzij		Paragraaf 3.9, 4.1 en 4.2

1.5 Bringing circularity into practice (nu of nooit!)

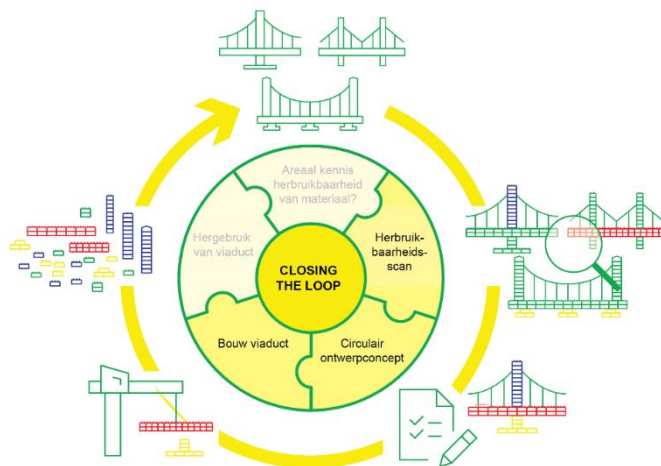
In fase 2 redden we het eerste viaduct van de sloopkogel. Dit doen we door onderstaande activiteiten uit te voeren (zie paragraaf 4.4):

- Onderzoek naar (rest)levensduur en constructieve capaciteit viaductonderdelen A76
- Ontwerp en engineering van een circulair viaduct van bestaande onderdelen
- Circulaire oogst en realisatie van het eerste CTL-viaduct
- Monitoring, normontwikkeling, validatie en opschaling

2 UITVOERING VAN HET PROJECT

2.1 Doelstellingen haalbaarheidsonderzoek

Ons consortium heeft als doel om te komen tot hoogwaardig hergebruik van bestaande viaducten in de vorm van nieuwe viaducten. Hieraan geven we invulling met drie deelinnovaties:



•Ontwikkeling van de “**Herbruikbaarheids-scan**” om de herbruikbaarheid van bestaande objectonderdelen te kunnen bepalen.

•Ontwikkeling van breed toepasbare circulaire **ontwerpconcepten** voor viaducten op basis van bestaande objectonderdelen in de vorm van legoblokken.

•**Realisatie** van een circulair viaduct met bestaande objectonderdelen op basis van de bovengenoemde processtappen.

Binnen het haalbaarheidsonderzoek zijn we daarbij op zoek gegaan naar antwoorden op onderstaande vragen:

- Welke informatie over bestaande viaducten is nodig om kansen voor hoogwaardig hergebruik vroegtijdig te kunnen signaleren en hergebruik van objectonderdelen te laten slagen?
- Hoe creëren wij een tool “Herbruikbaarheids-scan” om tot de fysieke invulling van deze informatiebehoefte te komen?
- Hoe komen wij tot nieuwe veilige ontwerpconcepten waarbinnen bestaande objectonderdelen van viaducten een tweede leven krijgen?
- Hoe realiseren wij een maakbaar en financieel haalbaar circulair viaduct?

‘LEGOLisering’

‘Lego’ gebruiken we als metafoor voor de inzet van onderdelen uit bestaande viaducten in nieuwe ontwerpconcepten. De term ‘Legoblokken’ trekken we ook door naar ‘Legodoos’ waarmee we de voorraad aan bestaande onderdelen duiden.

2.2 Referentieprojecten en testruimte

Als referentie zijn de projecten N33 en A58 gehanteerd zoals deze bij de oproep zijn aangereikt. De vrijkomende onderdelen uit de objecten binnen deze referentieprojecten vormen de bouwstenen voor de ontwikkeling van de herbruikbaarheids-scan, circulaire ontwerpconcepten en de uiteindelijke realisatie van het prototype. Zowel de kwaliteit en planning van de vrijkomende onderdelen alsook de inrichting van de bouwlocatie vormen hierin belangrijke uitgangspunten.

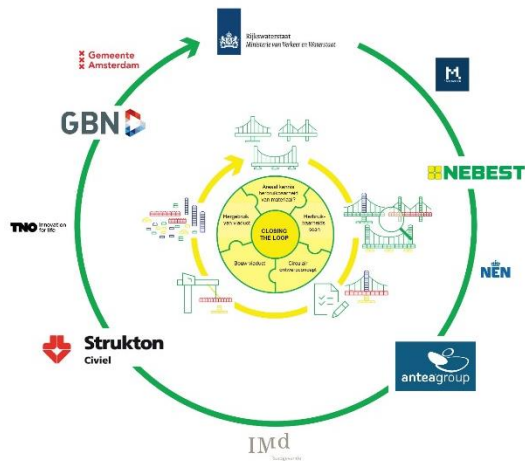
2.3 Wijzigingen (de kracht van verandering)

Enkele weken na aanvang werden wij direct geconfronteerd met planningswijzigingen in de referentieprojecten. De bouwstenen voor de realisatie van ons prototype binnen de tijds-kaders van fase 2 zouden hierdoor te laat beschikbaar komen. Omdat er binnen het tijdspad van fase 1 geen ruimte is

voor planningswijzigingen zijn wij de oorspronkelijke referenties blijven hanteren. Deze projecten blijven met het oog op de realisatie van de volgende CTL-viaducten (zie paragraaf 3.3) immers waardevol.

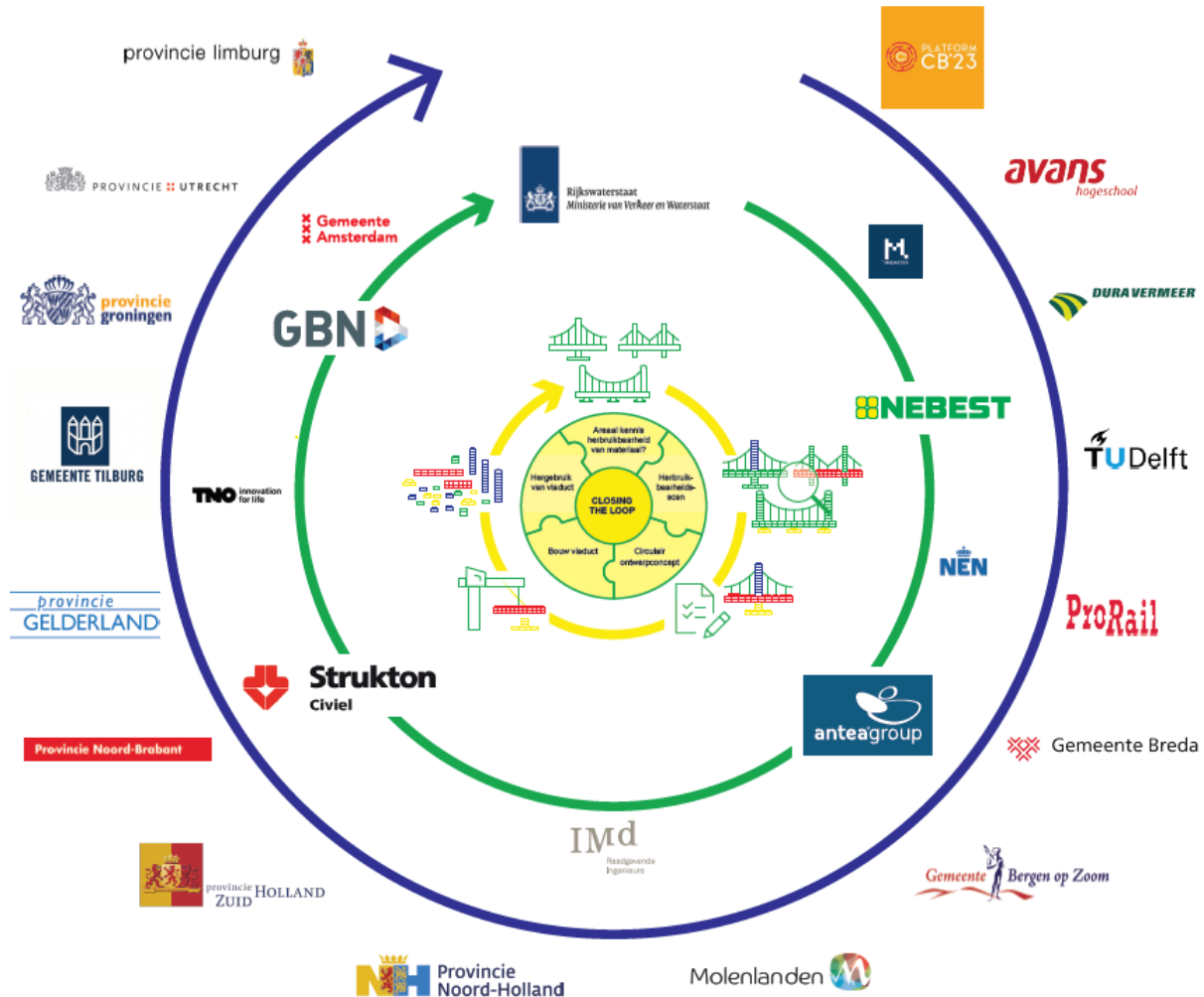
Voor de realisatie van ons prototype hebben wij alle zeilen bijgezet. We zijn op zoek gegaan naar alternatieve mogelijkheden binnen maar ook buiten het areaal van Rijkswaterstaat die passen binnen de tijdsaders. Met de kracht van het consortium zijn wij erin geslaagd om testruimte te vinden voor de circulaire oogst en realisatie van ons prototype. Dit hebben we weten te realiseren dankzij video-oproepen, kennissessies en vier afstudeerders. Deze zoektocht heeft ons naast een gastproject ook een goed gevulde legodoos opgeleverd waarmee kansen voor opschaling van onze innovatie direct zichtbaar zijn. Hiermee hebben we de beoogde activiteiten kunnen uitvoeren maar ook een concrete stap gezet in de richting van de opschaling van onze innovatie.

2.4 Projectorganisatie en taakverdeling (We are 'Closing the Loop')



We are 'Closing the Loop'. Wij geloven in kennisdeling als de kracht van onze innovatie en onderlinge samenwerking. Omdat hergebruik in onze ogen alleen valt waar te maken samen met de keten, zijn alle disciplines vertegenwoordigd binnen CTL. De samenstelling van ons consortium heeft er daarbij voor gezorgd dat we adequaat hebben kunnen reageren op veranderingen. Kennis hebben we daarbij op een transparante manier kunnen delen binnen maar ook buiten ons consortium. Via kennissessies en dialooggespreken met beheerders en marktpartijen hebben we de legodoos kunnen vullen en de sneeuwbal voor hergebruik aan het rollen gebracht.

Binnen onze samenwerking hebben wij taken verdeeld op basis van de sterkste kennisvelden van elke partij (zie [deze](#) tabellen). De vaste partners (Nebest, Antea Group, Strukton Civiel en GBN Groep) hebben hierbij de regie gevoerd. De kennispartners (Gemeente Amsterdam, NEN, Lek Sloopwerken, IMd Raadgevende Ingenieurs, TNO en Madaster) waren klankbord bij de evaluatie van tussentijdse resultaten. We kijken met plezier terug op deze vruchtbare samenwerking. Deze samenwerking heeft los van SBIR al veel nieuwe initiatieven en partnerschappen opgeleverd. In onderstaande visual introduceren we een aantal nieuwe CTL-ambassadeurs (zie ook [deze](#) tabel).



2.5 Uitvoering van het onderzoek (op de weg terug)

In onderstaande paragrafen staan de uitgevoerde activiteiten aan de hand van de CTL-puzzelstukken bullitsgewijs omschreven. In hoofdstuk drie gaan we hier dieper op in en bespreken we de inhoudelijke bevindingen.

2.5.1 Areaalkennis (is match)

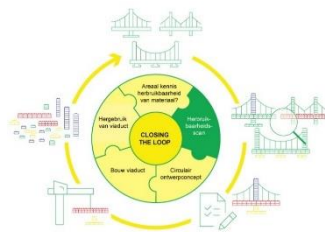
Om circulaire viaducten met bestaande onderdelen te kunnen bouwen is inzicht nodig in de herbruikbaarheidspotentie van bestaande assets en het moment waarop deze beschikbaar komen. Als eerste stap zijn we op zoek gegaan naar de ontbrekende informatie om dit inzicht te verkrijgen. Onze activiteiten bestonden uit:



- Het verfijnen van de dataset en visualisatie (zie Datasets Viaducten 202004 uit aanbesteding) naar kansrijke objecten/elementen voor hergebruik areaalbreed.
- Analyse van de betrouwbaarheid van de parameters binnen deze dataset.
- Onderzoek naar mogelijke aanvullingen op basis van beschikbare informatie binnen DISK (Data Informatie Systeem Kunstwerken) en documentmanagementsysteem Meridian.

- Archiefonderzoek naar documentatie van objecten waarvan bekend is dat deze beschikbaar komen.
- Organisatie van kennissessies met beheerders binnen en buiten Rijkswaterstaat over hergebruik van bestaande kunstwerken.
- Interviewen van beheerders binnen en buiten Rijkswaterstaat om inzicht te creëren in sloopplanningen van bestaande kunstwerken.
- Inventarisatie van CRIAM's (Constructief Risico Indexering Afwegingsmodel) uit Nebest-archieven om meest voorkomende overspanningslengtes, rijstrookbreedtes etc. binnen het areaal te duiden.
- Inventarisatie van eerdere door o.a. Nebest uitgevoerde restlevensduuranalyses om de bredere restlevensduurpotentie van bestaande kunstwerken aan te tonen.

2.5.2 Herbruikbaarheidsscan (het vullen van de legodoos)

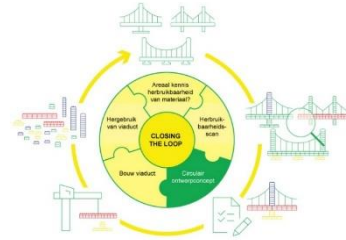


De noodzaak om de beschikbaarheid en herbruikbaarheid van bestaande objectenonderdelen te onderzoeken onderschreven we al in ons eerste plan. De inhoud en vorm van de tool waarmee we hieraan invulling geven, hebben we in fase 1 verder uitgewerkt. Met de “herbruikbaarheidsscan” hebben we diverse viaducten geanalyseerd, als jagers en verzamelaars. Als onderdeel van de ontwikkeling van de tool hebben we onderstaande activiteiten ondernomen:

- Ontwikkelen en vaststellen van de inhoud van de “herbruikbaarheidsscan” samen met (kennis)partners en stakeholders.
- Spiegelen en aanvullen van de inhoud van de “herbruikbaarheidsscan” met behulp van de longlist uit de CB'23 leidraad 'Paspoorten voor de bouw'.
- Deelname aan het implementatietraject van CB'23 leidraden ['Paspoorten voor de bouw'](#) en ['Meten van circulariteit'](#) met 'Closing the Loop' als pilotproject.
- Softwareontwikkeling van de tool met als doel data te verzamelen van bestaande objecten, deze in automatisch gegenereerde rapportages weer te geven en eenvoudig te kunnen delen met derden.
- Het laten aansluiten van de “herbruikbaarheidsscan” op het materialenpaspoort van [Madaster](#), [Excess Materials Exchange](#) maar ook de nieuw gelanceerde [Nationale Bruggenbank](#).
- Inventarisatie van de herbruikbaarheid van objectonderdelen binnen de referentieprojecten door de fysieke toepassing van de tool.
- Verankeren van de systematiek voor restlevensduuranalyse (CUR-Aanbeveling 121) in de herbruikbaarheidsscan en verdere verkenning voor verfijning van deze methodiek in samenwerking met kennisinstellingen NEN, TNO en TU Delft.
- Aanvullende toepassing van de tool op 92 objecten.
- Spiegeling van de tool aan de parameters van de reguliere instandhoudingsadviezen (IAK) van Rijkswaterstaat.
- Voorbereiding van een pilot binnen de IAK voor opschaling en verankering van de tool binnen de huidige instandhoudingssystematiek van Rijkswaterstaat. De uitvoering staat gepland medio april.
- Strategische sessies met beheerders voor verdere opschaling en doorontwikkeling van het CTL-concept. De eerstvolgende is op 25 maart.
- Uitwerken van visualisaties die beschikbaar komende onderdelen in de komende paar jaar illustreren (legodoos).
- Inventarisatie van de herbruikbaarheid van objectonderdelen binnen het gastproject A76 voor fase 2.

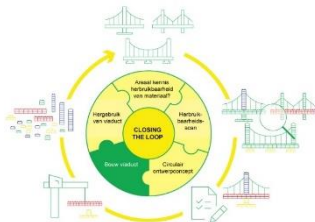
2.5.3 Circulaire ontwerpconcepten (Matching materials)

Naast het creëren van inzicht in wat beschikbaar komt (aanbod), is gewerkt aan de ontwikkeling van toepassingsmogelijkheden voor bestaande objectonderdelen (vraag). Hiermee creëren we een plek voor zowel herbruikbare als niet-herbruikbare objectonderdelen en brengen we vraag en aanbod samen. Onze activiteiten:



- Ontwikkeling van ontwerp toepassingen voor hergebruik op basis van de onderdelen die veel voorkomen binnen het areaal.
- Rangschikken van de mogelijkheden voor hergebruik aan de hand van SBIR-beoordelingscriteria door brainstormsessie met kennispartners.
- Ontwerpen van vier circulaire viaducten aan de hand van kansrijke ontwerp toepassingen, beschikbaar komend materiaal uit de objecten in de N33 en de toekomstige ontwerp opgave.
- Berekeningen van de constructieve veiligheid op hoofdlijnen per ontwerpconcept.
- Technische uitwerking van enkele essentiële constructieve details.
- Toetsing en doorontwikkeling van de ontwerpconcepten met kennispartners en kennisinstellingen (TNO en TU Delft).
- Milieu-impactberekeningen van de ontwerpconcepten en BAU-varianten met behulp van het aangeleverde format.
- Visualisatie van de ontwerpconcepten en het hybride model.
- Verkenning van de integratie van de ontwikkelde ontwerp toepassingen voor hergebruik binnen het gastproject A76 voor fase 2.

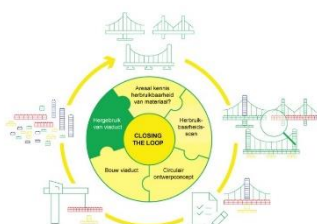
2.5.4 Bouw viaduct



Om de financieel technische haalbaarheid van de ontwerpconcepten te bepalen, is beoordeeld hoe deze kunnen worden gebouwd en tegen welke kosten. Omdat Strukton Civiel en GBN Groep in ons consortium vanaf het begin betrokken zijn, zijn de mate van losmaakbaarheid en de uitvoerbaarheid van de ontwerpen een belangrijke factor geweest in de toets op zowel herbruikbaarheidsscan, ontwerp toepassingen en uiteindelijke ontwerpconcepten. De uitgevoerde activiteiten:

- Bepaling losmaakbaarheidsaspecten die van belang zijn binnen de 'herbruikbaarheidsscan'.
- Toetsing maakbaarheid op hoofdlijnen van alle ontwerp toepassingen voor hergebruik.
- Opstellen oogstkaart van de onderdelen uit de N33.
- Toetsen haalbaarheid van de te oogsten onderdelen samen met Lek Sloopwerken.
- Beoordeling en uitwerking maakbaarheid van ontwerpconcepten.
- Begroten kosten traditionele sloop en circulaire oogst per referentieobject.
- Begroten kosten realisatie ontwerpconcepten en afzetten tegen BAU. De MKI is eveneens onderdeel van deze analyse.

2.5.5 Hergebruik viaduct



Om de losmaakbaarheid van de ontwerpconcepten te kunnen borgen hebben wij de volgende activiteiten ondernomen:

- Toetsing van de ontwikkelde ontwerp toepassingen en uiteindelijke concepten aan de hand van het 10 R-MODEL.
- Toetsing op basis van IFD-principes samen met Provincie Noord-Holland.
- Beschouwing van de constructieve veiligheid op hoofdlijnen van deze losmaakbare verbindingen.

3 INHOUDELIJKE BEVINDINGEN

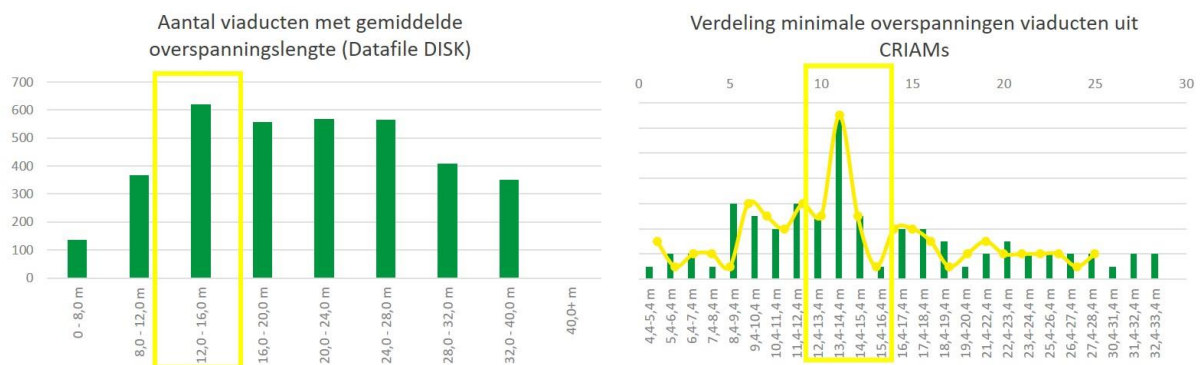
De drie deelinnovaties binnen CTL vormen de puzzelstukken om hergebruik van bestaande viaducten te laten slagen. In dit hoofdstuk zetten wij onze inhoudelijke bevindingen uiteen aan de hand van deze puzzelstukken en omschreven activiteiten.

3.1 Areaal kennis (is match)

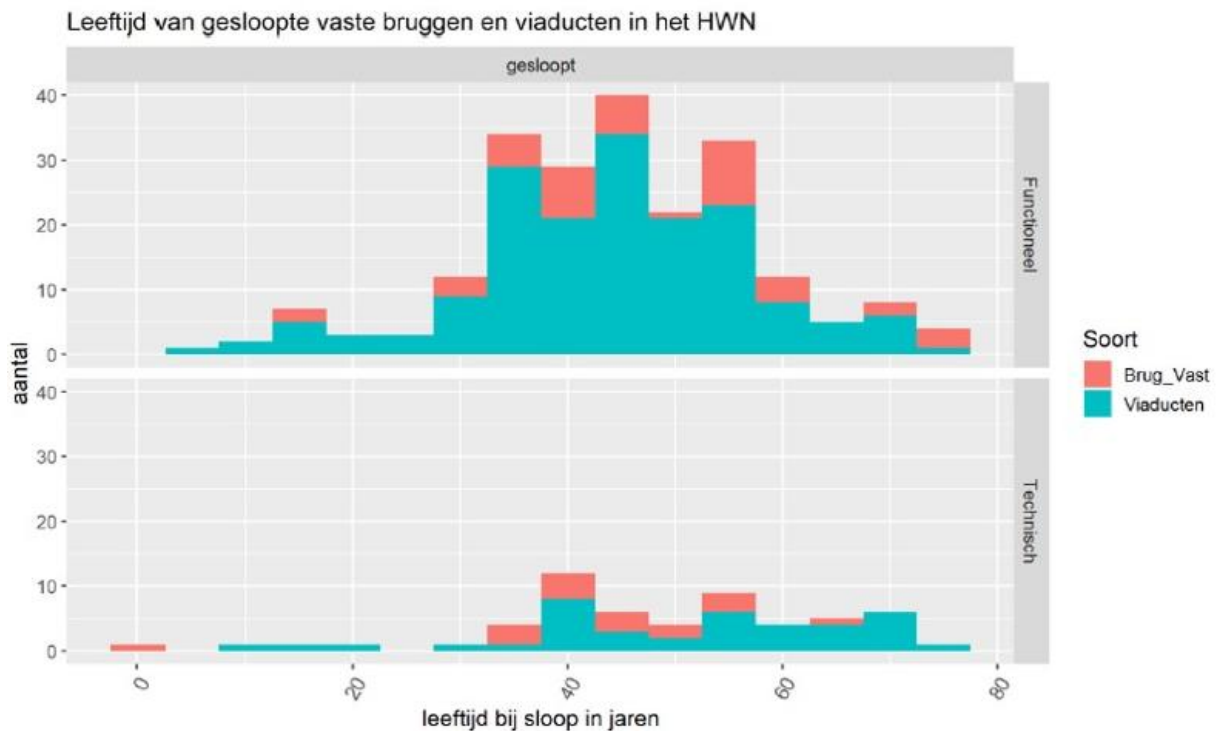
Binnen de aangeleverde dataset wordt niet voorzien in de informatiebehoefte over de herbruikbaarheidspotentie van bestaande objectonderdelen. Ook zijn deze data niet geschikt om een betrouwbaar beeld te vormen over veel voorkomende dimensioneringen en typering van constructieonderdelen. Zie als voorbeeld de objecten binnen de referentie N33 waar het type ligger (koker of rail) en de dimensionering niet nader zijn gespecificeerd.

Om meer inzicht te krijgen zijn we op zoek gegaan naar beschikbare informatie binnen maar ook buiten het areaal van Rijkswaterstaat. Doel van deze inspanning was tot een verfijning van de dataset te komen waarmee de ontwerpconcepten meer gericht konden worden uitgewerkt en de potentie van ons concept kan worden onderbouwd.

Het beheersysteem DISK en Meridian maar ook het eigen Nebest-archief vormen hierbij belangrijke bronnen. In DISK zijn veelal gegevens terug te vinden over de staat van onderhoud van kunstwerken terwijl in Meridian voornamelijk bouwtekeningen en besteksdokumentatie staan opgeslagen. We zijn erin geslaagd om met een combinatie van data uit DISK, Meridian, en CRIAM's uit Nebest-archieven de meest voorkomende overspanningslengte (13,4 - 14,4 m) binnen het areaal van Rijkswaterstaat te duiden.



Deze gegevens zijn verwerkt in de ontwerpconcepten om de brede toepasbaarheid hiervan te kunnen borgen. Voor het vaststellen van de herbruikbaarheidspotentie en het moment waarop bestaande objectonderdelen beschikbaar komen bleek de ontwikkeling en inzet van de herbruikbaarheidsscanner vereist. Voor het creëren van een breder beeld over de restlevensduurpotentie van bestaande onderdelen zijn eerdere Nebest-onderzoeken (ProRail corridor Zee-Zevenaar 77 kunstwerken en A-lanes A15 76 kunstwerken) bestudeerd. Aan de 153 door Nebest onderzochte kunstwerken zijn geen constatering gedaan die de restlevensduurpotentie (100+) ondermijnen. In overleg met onze klant zijn de rapporten opvraagbaar. Ook uit het rapport 'Sloopoorzaken' en het memo 'Restlevensduuranalyse betonnen bruggen en viaducten' blijkt dat de potentie van bestaande objecten niet wordt benut (zie onderstaande grafiek).

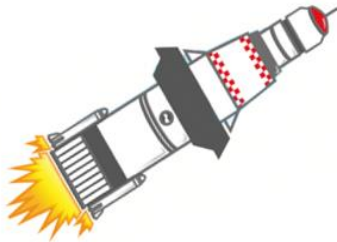


3.2 Herbruikbaarheidsscan (het vullen van de legodoos)

Met de ontwikkeling van de 'herbruikbaarheidsscan' (zie [deze video](#)) zijn we op zoek gegaan naar herbruikbare onderdelen waarmee we de legodoos voor de ontwerpconcepten kunnen vullen. Voorafgaand aan de toepassing van de 'herbruikbaarheidsscan' is de inhoud van de tool samen met de (kennis)partners bepaald. Door tijdens de uitvoering van dit haalbaarheidsonderzoek steeds het einddoel centraal te stellen (de realisatie van een viaduct met bestaande onderdelen) is de informatiebehoefte van alle schakels in de keten bepaald. Op basis van deze behoefte is de [longlist](#) opgesteld als onderdeel van de CB'23 leidraad 'Paspoorten voor de bouw' verfijnd met een focus op hergebruik (zie de uitgewerkte herbruikbaarheidsscans). Met onze deelname aan het [implementatietraject](#) van CB'23 als onderdeel van de leidraad 'Paspoorten voor de bouw' heeft deze verfijning in goed overleg met CB'23 kunnen plaatsvinden. Op deze manier hebben we leerervaringen ook terug kunnen geven met het oog op het implementatietraject.

Om de 'herbruikbaarheidsscan' te kunnen verankeren in de huidige instandhoudingsystematiek is voor het vastleggen van de informatie gebruik gemaakt van de decompositie uit de norm [NEN 2767](#). Deze methode staat centraal in de beheersystemen van Rijkswaterstaat en omschrijft een systematiek voor het uniform opdelen van objecten. Hierbij is ervoor gekozen om individuele onderdelen apart te benoemen zoals Rijkswaterstaat ook doet in [Ultimo-systemen](#). Hiermee borgen we het inzicht in de herbruikbaarheid van afzonderlijke onderdelen. Daarnaast is het ontwerp van de tool afgestemd op bestaande materialenbanken. Dit laatste om uitwisseling van materialen in de breedte mogelijk te maken. Met de inzet van de 'herbruikbaarheidsscan' is het ontbrekende detailniveau binnen bestaande materialenbanken geborgd, wat nodig is om echt te matchen.

De volgende stap in de ontwikkeling van de 'herbruikbaarheidsscan' is de koppeling met IAK. Binnen IAK worden jaarlijks honderden kunstwerken door o.a. Nebest geïnspecteerd. Deze inspecties hebben als doel om inzicht te geven in de actuele onderhoudsstaat van kunstwerken van het areaal. Met de koppeling van de 'herbruikbaarheidsscan' aan IAK kan de herbruikbaarheid van het areaal op een efficiënte manier worden bepaald en gemonitord. Een pilot staat gepland voor begin april 2021.



Ready, set, go! Nadat de inhoud van de 'herbruikbaarheidsscan' was vormgegeven, is onze oogsttocht begonnen. Hierbij was het oorspronkelijke idee om de 'herbruikbaarheidsscan' alleen toe te passen op de referentieobjecten. De wijziging in de planning van deze referentieprojecten heeft ervoor gezorgd dat we de tool veel breder hebben ingezet. Er staan nu 92 sloophominatie-objecten in de tool. Daarbinnen zullen de komende jaren kwalitatief hoogstaande objectonderdelen beschikbaar komen (aanbod). Voor deze projecten zijn uiteindelijk ook veel circulaire onderdelen nodig (vraag). Door de brede inzet van de 'herbruikbaarheidsscan' zien wij op ruim tien locaties in Nederland nu al mogelijkheden voor de bouw van CTL-viaducten. Binnen diverse projecten (A1, A28, A76 etc.) heeft de inzet van de 'herbruikbaarheidsscan' direct al tot concrete projectvoorstellen voor hergebruik geleid.



40695 SBIR Circulaire Viaducten Herbruikbaarheidsscan

Project beheer: scopelijst en configuratie.

Barcode scanner Custom Export Project Export

Zoeken

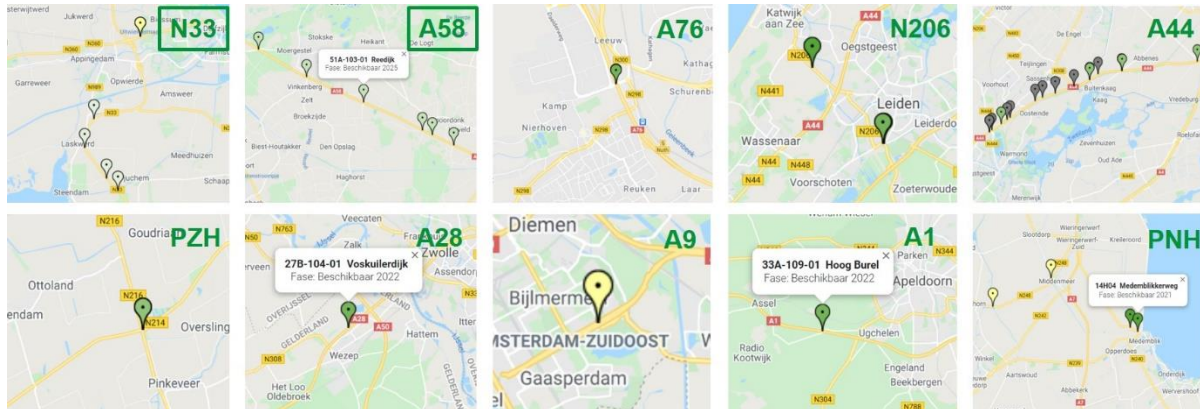
Alles geselecteerd

Fase veranderen Actief

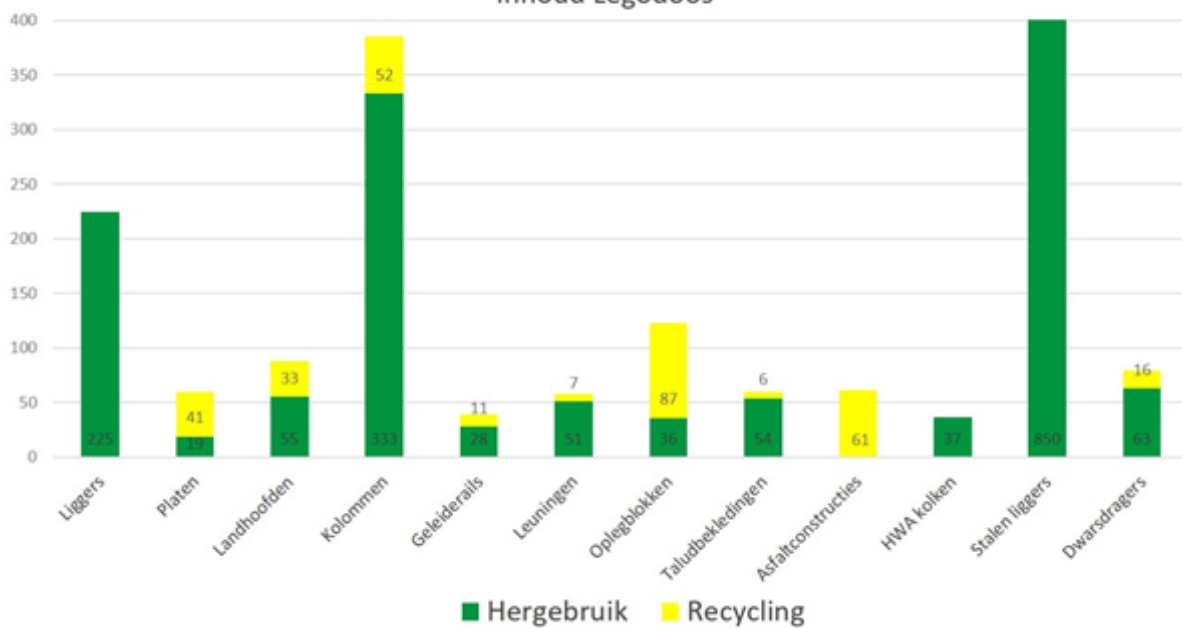
Boom

Kaart





Visualisatie herbruikbaarheid aantallen onderdelen
Inhoud Legodoos



Voor de onderdelen uit de referentieobjecten is met de inzet van de herbruikbaarheidsscan de brede herbruikbaarheidspotentie blootgelegd. De activiteiten als onderdeel van de herbruikbaarheidsscan:

- Archief- en dossieronderzoek
- Visuele inspectie op handafstand met behulp van een hoogwerker
- [Dekkingsmetingen en metingen met de betonradar](#) voor verificatie van wapeningsconfiguraties
- [Kernboringen](#) voor onderzoek naar carbonatatie en chloride-indringing
- [Materiaalkundig onderzoek](#) in laboratorium Nebest

De destructieve en niet-destructieve onderzoeken zijn in lijn met NEN 2767 en CUR-Aanbeveling 121 (zie algemene [toelichting](#)) uitgevoerd om de onderhoudstoestand en restlevensduur ([N33](#) en [A58](#)) +100 jaar van de afzonderlijke onderdelen vast te stellen.



N33: viaduct 07F-104-01.



N33: viaduct 07F-105-01.



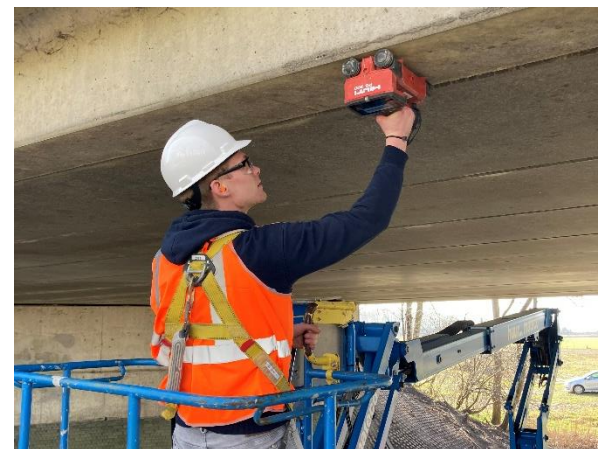
N33: viaduct 07F-314-01.



N33: viaduct 07F-313-01.



A58: viaduct 1A-104-01.



Metingen met dekkingsmeter.

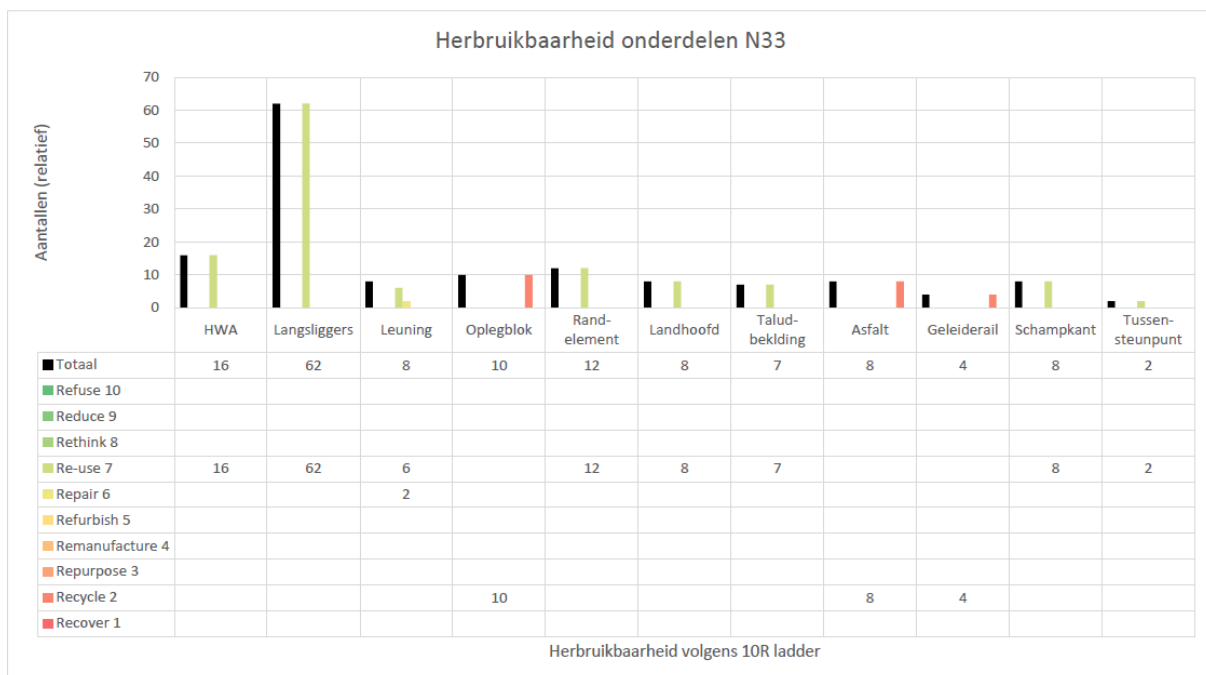


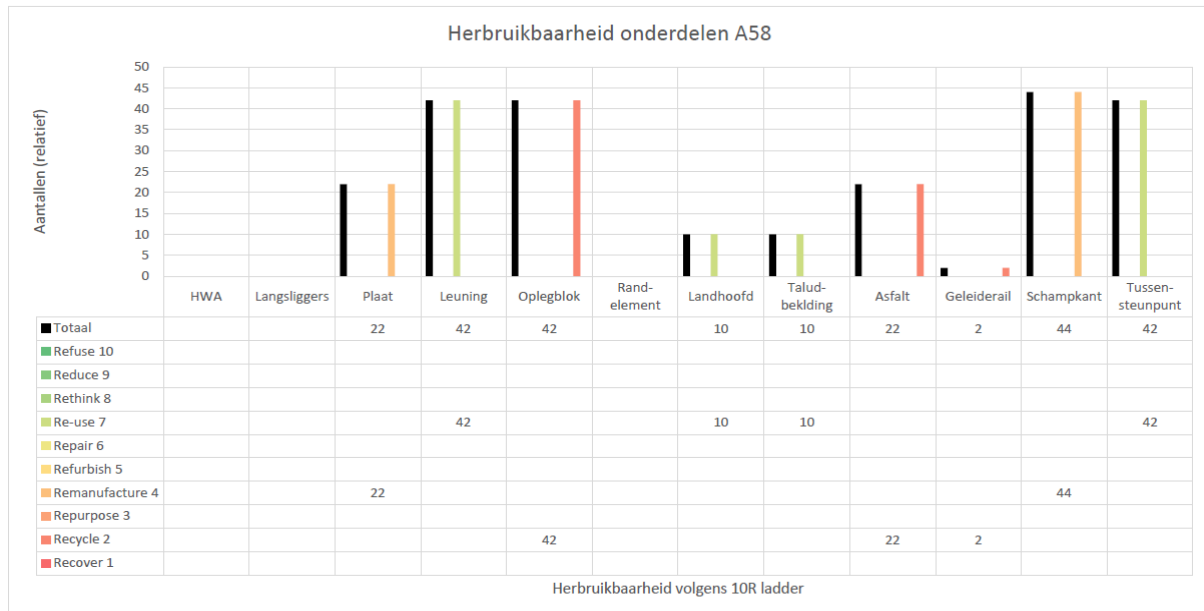
Kernboringen voor laboratoriumonderzoek.



Onderzoek in laboratorium.

In onderstaande grafieken is een overzicht van de resultaten uit de herbruikbaarheidsscans op basis van het 10R-model weergegeven van herbruikbare onderdelen binnen deze objecten. Via deze links ([07F-104-01](#), [07F-105-01](#), [07F-314-01](#), [07F-313-01](#) en [1A-104-01](#)) zijn de afzonderlijke rapportages van de herbruikbaarheidsscans te zien. Beide projecten N33 en A58 tonen een brede herbruikbaarheidspotentie van een groot aantal onderdelen. Om voldoende verdieping aan te kunnen brengen in de uitwerking van de ontwerpconcepten zijn de vier objecten uit de N33 hiervoor als uitgangspunt gehanteerd. Binnen deze objecten komt een mix aan onderdelen en leeftijdscategorieën (1976-1997) voor die een hoge mate van representativiteit bezitten binnen het areaal van Rijkswaterstaat.



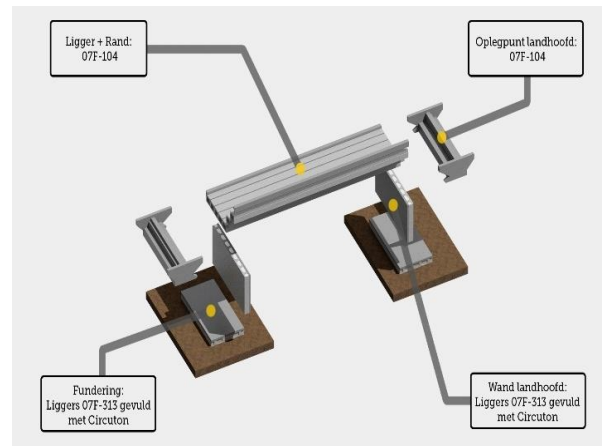


3.3 Circulaire ontwerpconcepten (Matching materials)

Om te voorkomen dat er kostbare tijd verloren ging na de planningswijzigingen, zijn we direct gestart met de ontwikkeling van ontwerp toepassingen voor hergebruik. Dit hebben we gedaan met de onderdelen uit plaat- en liggerviaducten die veel voorkomen binnen het areaal (zie de onderbouwning via deze [link](#)). Deze exercitie heeft ruim 20 waardevolle mogelijkheden voor hergebruik opgeleverd. Een volledig overzicht is terug te vinden via deze [link](#). Aan de hand van de SBIR-beoordelingscriteria zijn de ontwerp toepassingen gedurende een brainstorm met de kennispartners beoordeeld en gerangschikt. Op basis van deze sessie en de informatie uit de herbruikbaarheidsscan toegepast op de referentieobjecten zijn kansrijke mogelijkheden voor hergebruik geïntegreerd binnen de toekomstige opgave (N33).

De ontwerpconcepten zijn gebaseerd op het Ontwerp Tracébesluit. De ontwerpen zijn gemaakt voor een ongelijkvloerse kruising met de N33 waarbij de nieuwe viaducten over de rijksweg gaan. Er zijn drie ontwerpconcepten met een variant op concept 2 ontwikkeld, waarbij rekening is gehouden met verschillende eisen die aan de nieuwe viaducten worden gesteld. Ook is binnen de ontwerpconcepten gezocht naar een mix aan toepassingen voor hergebruik. De gekozen overspanningslengtes zijn zowel afgestemd op de toekomstige opgave (N33) als veelvoorkomende overspanningen. Zo zijn oplossingen bedacht die breed toepasbaar zijn voor de vervangingsopgave. De ontwerpconcepten worden hieronder toegelicht. De volledige uitwerking is terug te vinden via deze [link](#). Een illustratie van de opbouw van de ontwerpconcepten is terug te vinden via deze links: [concept 1](#), [concept 2](#), [concept 2.1 en 3](#).

3.3.1 Concept 1



Dek: het dek van ontwerpconcept 1 is vormgegeven met de kokerliggers afkomstig uit het viaduct Laskwerderweg. De totale overspanning bedraagt 24,5 m. Ook de stootplaten en schampranden inclusief leuningwerken uit viaduct Laskwerderweg worden hergebruikt.

Landhoofden: de landhoofden bestaan uit de originele landhoofden van viaduct Laskwerderweg. Voor de wanden van de landhoofden is gebruik gemaakt van de railliggers uit viaduct Duurswold, waarbij de oude druklaag van de bestaande liggers blijft behouden. Met behulp van de herbruikbaarheidsscans is aangetoond dat deze liggers nog in goede staat verkeren. Met het oog op de toekomst zouden voor deze toepassing ook liggers van mindere kwaliteit gebruikt kunnen worden dan wel de zaaglangtes die overblijven bij het inkorten van liggers (zie ook toelichting paragraaf 3.3.5).

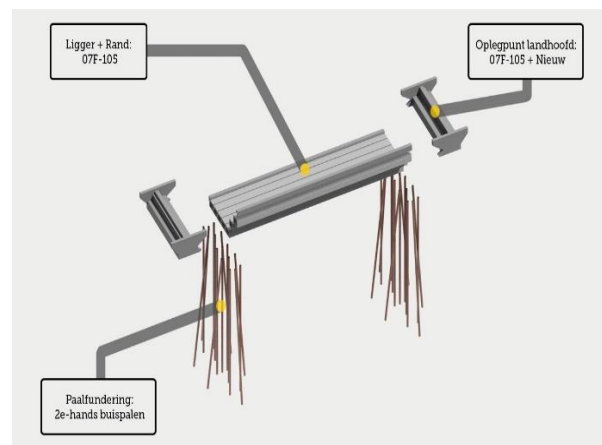
Fundering: de fundering op staal wordt eveneens uitgevoerd met de railliggers uit viaduct Duurswold. Ook hier blijft de druklaag van de bestaande liggers behouden.

Overig: Het overige betonwerk bestaat uit Circuton (*) dat is geproduceerd met de betonresten uit de bestaande viaducten. Ook het asfalt wordt in gerecyclede vorm Asfalt 65% PR (**) teruggebracht.

(*) **Circuton:** beton met gerecyclede materialen afkomstig uit oud beton.

(**) **Asfalt 65% PR:** 'groen' asfalt, een combinatie van hergebruikt asfalt en gerecycleerd materiaal in alle lagen van de constructie.

3.3.2 Concept 2



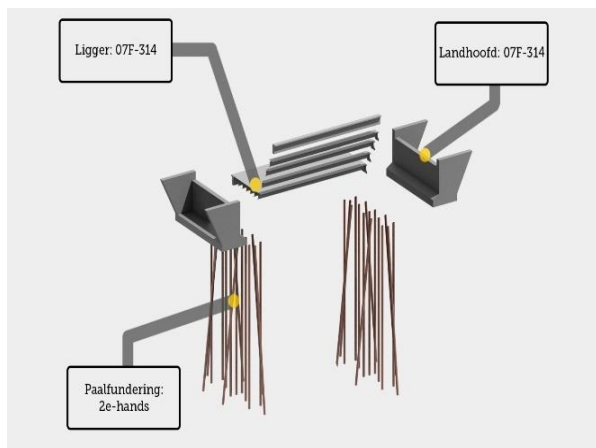
Dek: ook in deze variant is het dek gevormd uit kokerliggers maar nu afkomstig uit viaduct Holeweg. De totale overspanning bedraagt 27,6 m. Ook de stootplaten en schampranden inclusief leuningwerken uit viaduct Holeweg worden hergebruikt.

Landhoofden: als landhoofden zijn de originele landhoofden van viaduct Holeweg gebruikt.

Fundering: de fundering betreft een paalfundering bestaande uit hergebruikte stalen buispalen. Ook de talusbekleding uit viaduct Holeweg wordt hergebruikt.

Overig: Het overige betonwerk bestaat uit Circuton en Asfalt 65% PR.

3.3.3 Variant concept 2



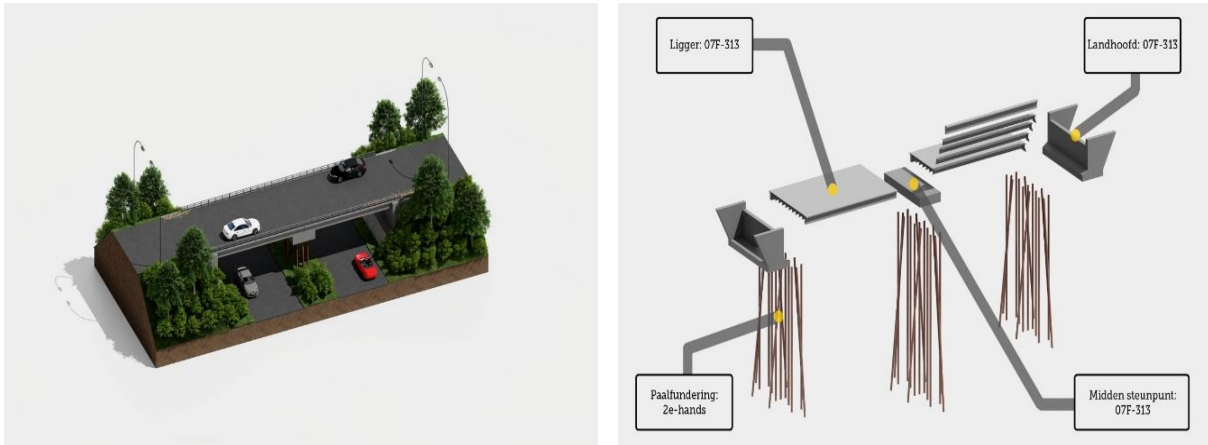
Dek: in deze variant gebruiken we de railliggers uit viaduct Hoofdweg. Qua overspanningslengte is een veelvoorkomende overspanning binnen het areaal van Rijkswaterstaat van circa 13,4 - 14,4 m gehanteerd. Ook de stootplaten en schampranden inclusief leuningwerken uit viaduct Hoofdweg worden hergebruikt. Op basis van de uitkomsten uit de herbruikbaarheidsscan zijn niet alle leuningen volledig uit viaduct Hoofdweg te hergebruiken; het resterende deel is daarom afkomstig uit Duurswold.

Landhoofden: de landhoofden zijn gevormd uit de landhoofden van viaduct Hoofdweg.

Fundering: de fundering betreft wederom een paalfundering bestaande uit hergebruikte stalen buispalen. Ook de talusbekleding uit viaduct Hoofdweg wordt hergebruikt.

Overig: Het overige betonwerk bestaat uit Circuton en Asfalt 65% PR.

3.3.4 Concept 3



Dek: bij variant 3 bestaat het dek uit railliggers afkomstig uit viaduct Duurswold. Ook hier is de veelvoorkomende overspanningslengte gehanteerd. De stootplaten en schampranden inclusief leuningwerken uit viaduct Duurswold worden hergebruikt.

Landhoofden en tussensteunpunt: de landhoofden en het tussensteunpunt zijn grotendeels afkomstig uit het originele viaduct Duurswold. Voor het tussensteunpunt lopen de buispalen door tot aan de betonsloof die is gevormd uit het originele tussensteunpunt waarop de liggers rusten.

Fundering: de fundering bestaat uit hergebruikte stalen buispalen. De taludbekleding komt uit viaduct Laskwerderweg.

Overig: het overige betonwerk bestaat uit Circuton en Asfalt 65% PR.

3.3.5 Constructieve aspecten

Om de constructieve veiligheid van de ontwerpconcepten aan te tonen, zijn berekeningen gemaakt en is dossieronderzoek verricht naar eerder uitgevoerd onderzoek aan soortgelijke constructies. De volledige uitwerking is terug te vinden via deze [link](#). Onderstaand wordt de beschouwing gegeven van de constructieve veiligheid van essentiële onderdelen.

Liggers: De capaciteit van de kokerliggers en railliggers staat niet weergegeven op originele archiefgegevens van de oorspronkelijke viaducten. Proefbelastingen en laboratoriumonderzoek uitgevoerd door TU Delft op liggers afkomstig uit de [Vechtbrug](#) en [Helperzoombrug](#) tonen bezwijkbelastingen die tot twee keer zo hoog liggen dan rekenkundig bepaald. Deze onderzoeken tonen de potentie voor hergebruik van volledige liggerlengtes zonder aanpassingen. In het specifieke geval van de referentie is het niet mogelijk om de exacte capaciteit van de liggers te bepalen zonder deze te demonteren en te proefbelasten in het werk of onder laboratoriumcondities. Daarnaast dienen de liggers in een aantal van de ontwerpconcepten te worden ingekort, zodat deze kunnen worden ingepast in de nieuwe situatie.

Om de moment- en dwarskrachtcapaciteit van de liggers te bepalen, is gekeken welke krachtsverdeling optreedt onder de normen die vigeerden tijdens het originele ontwerp. Hierbij zijn het maatgevende moment en de dwarskracht bepaald per ligger conform de oude normen die als ondergrens zijn gehanteerd voor de capaciteit. Daarbij geldt dat de verkeersbelasting onder de huidige normen zwaarder is dan voorheen. Met het inkorten van de liggers, nodig voor de inpassing in de nieuwe overspanning, worden ook moment- en dwarskracht gereduceerd. Hiermee is de constructieve veiligheid voor de huidige ontwerpconcepten geborgd.

Voor de situatie (concept 1) waarbij de railliggers inclusief druklaag worden gebruikt als wanden van de landhoofden en funderingsplaat is de moment- en dwarskrachtcapaciteit op gelijke manier bepaald als bij het dek. De maatgevende krachten in deze situatie zijn lager dan toen de liggers nog als dek functioneerden. Hierdoor is de constructieve veiligheid gegarandeerd. Voor de funderingsplaat is de gemiddelde funderingsdruk bepaald en getoetst aan de Britse Standaard 8004. Aangetoond is dat zandige gronden met middelmatige dichtheid deze funderingsdruk kunnen dragen.

Landhoofden en tussensteunpunt: De liggers in de nieuwe situatie zijn ingekort. Dit betekent dat de belasting op de landhoofden en tussensteunpunten in de nieuwe situatie lager is dan in de oude situatie, waardoor de constructieve veiligheid is geborgd.

Fundering: Voor de paalfundering bestaande uit hergebruikte stalen buispalen zijn de diameter en hoeveelheid gebaseerd op de funderingsplannen van de originele viaducten omdat er geen representatieve sondering voorhanden is.

3.3.6 Hybride model (de kracht van de combinatie)

Elk viaduct heeft een projectspecifieke inpassing. Hierdoor zijn er diverse variabelen die de ontwerpconcepten bij een veranderlijke situatie kunnen beïnvloeden. Door de flexibiliteit en diversiteit van de ontwerp-toepassingen worden er geen drastische aanpassingen verwacht ten gevolge van bijvoorbeeld kruisingshoek of liggerlengte.

In het geval van kruisingshoek kan de richting van de zaagsnede in de liggers worden gewijzigd. Verder kan het wegontwerp worden aangepast om de juiste kruisingshoek te creëren. Bij te korte liggers is het ontwerp met meerdere overspanningen toepasbaar of het SBIR-concept van Haitsma Beton voor het verlengen van bestaande liggers.

Met het oog op de toekomst is een hybride model van essentieel belang om goed herbruikbare en minder goed herbruikbare objectonderdelen uit plaat- en liggerviaducten een tweede leven te kunnen geven. Bestaande objectonderdelen liggen nog niet in het schap van de bouwmarkt. Deze onderdelen moeten eerst worden geoogst uit bestaande objecten. Dit vraagt een hybride concept met een groeiend aantal herbruikbaarheidsmogelijkheden (bibliotheek met gevalideerde ontwerp-toepassingen) om hergebruik maximaal te kunnen benutten binnen projecten. Het CTL-concept voorziet in dit gedachtengoed (zie ook het rapport via deze [link](#)).



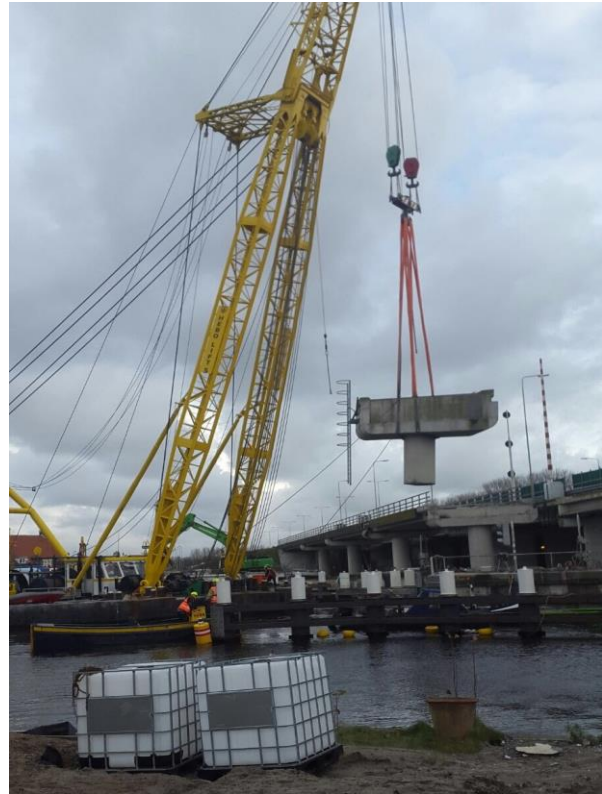
3.4 Demontage viaduct (laat de oogst beginnen)

De haalbaarheid van de oogst van de bestaande onderdelen is aangetoond door GBN Groep in samenwerking met Lek Sloopwerken. Met detailtekeningen van de viaducten is een werkplan inclusief begroting opgesteld voor de demontage van onderdelen. De gehanteerde oogstmethode is gebaseerd op eerder uitgevoerde werkzaamheden en referentieprojecten (zie de video's in paragraaf 3.8). Hiermee is de technische haalbaarheid geborgd. Deze [tabel](#) geeft per onderdeel inzicht in hoe we deze demonteren. De algemene werkwijze is als volgt.

1. We starten met het frezen en afvoeren van het asfalt voor hoogwaardige recycling en de productie van Asfalt 65% PR.
2. Voor de railliggers moet ook de betonnen druklaag worden verwijderd. Dit doen we in het werk voordat de liggers worden gedemonteerd. Via spatschermen voorkomen we overlast.
3. Daarna demonteren we losboutbare delen, zoals de geleiderail en leuning.
4. De volgende stap is tijdens een weekendafsluiting de liggers uit het werk halen. De liggers worden (al dan niet tezamen met de schampranden) losgehaald, uit het werk gehesen en naast het werk in stukken gezaagd. Tevens hijsen we de stootplaten uit het werk.
5. In deze weekendafsluiting verwijderen we de oplegpunten van het tussensteunpunt. Om te zorgen dat deze transporteerbaar zijn, zagen we te grote delen in legoblokken.
6. Na de weekendafsluiting verwijderen we de talusbekleding en graven we de landhoofden af. Vervolgens zagen we de landhoofden van de fundering, zodat deze kunnen worden getransporteerd.
7. Stalen buispalen worden getrokken; in het geval van betonnen funderingspalen worden deze geknipt.
8. De betonresten van o.a. de druklaag op de railliggers en funderingspalen voeren we af voor de productie van Circuton.



Demontage kokerliggers en randliggers Busbrug.



Demontage tussensteunpunten Busbrug.

3.5 Bouw viaduct

3.5.1 Realisatie en maakbaarheid

De maakbaarheid van de ontwerpconcepten is beoordeeld door Strukton Civiel. Doordat de bestaande onderdelen op functieniveau worden hergebruikt, is de realisatie vergelijkbaar met traditioneel. Tijdens fase 2 brengen we dit in de praktijk. In [deze](#) tabel zijn alle te hergebruiken onderdelen (circa 72%) opgenomen en zijn de verschillen omschreven ten opzichte van realisatie als traditioneel. Voor de technische uitwerking van nieuwe koppelingen wordt verwezen naar het rapport van Antea Group.

3.5.2 Kosten, transport en opslag

De kosten zijn begroot voor de realisatie van de ontwerpconcepten. In [deze begroting](#) met [bijbehorende uitgangspunten](#) zijn tevens de kosten opgenomen van de oogst en vergeleken met traditionele sloop. Een BAU-variant waarbij uitgegaan is van realisatie met nieuwe materialen is opgesteld om de minderkosten (circa 24%) van de ontwerpconcepten aan te tonen.

Voor de ontwerpconcepten geldt dat we met de onderdelen afkomstig uit de vier bestaande viaducten vier nieuwe CTL-viaducten realiseren binnen de ontwerpopgave (N33). Hiermee komen de materiaal-kosten grotendeels te vervallen maar zijn ook het aantal transportbewegingen en de kosten voor opslag minimaal. Met het oog op de toekomst is het reëel aan te nemen dat niet alle vrijkomende onderdelen direct kunnen worden teruggebracht binnen een project. Daarom is het zaak om meerdere fysieke regionale opslaglocaties te hebben. Met de inzet van de steunpuntlocaties van Rijkswaterstaat als hubs, zijn de landelijke dekking en de beperking van transportafstanden geborgd.



92 objecten uit 'herbruikbaarheidsscan'.



Ligging steunpuntlocaties.

Voor de engineering is rekening gehouden met een verhoging van de kosten in verband met materiaalkundige onderzoeken, berekeningen en ontwikkelkosten. Het zwaartepunt van de ontwikkelkosten ligt bij de realisatie van het prototype. De engineering van de volgende CTL-viaducten zoals begroot is al meer in lijn met BAU.

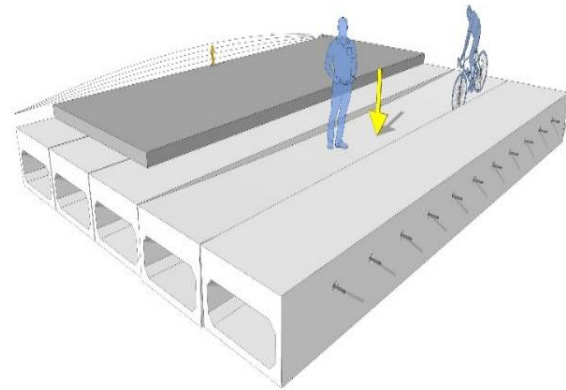
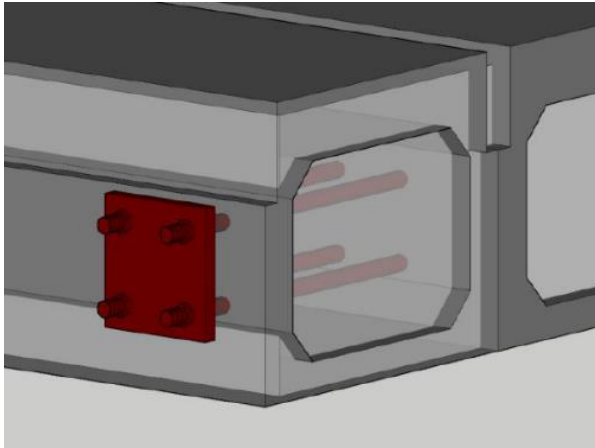
3.5.3 Toekomstig onderhoud

Voor het toekomstige onderhoud van de te hergebruiken onderdelen zijn de conditiebepaling conform NEN 2767 en de restlevensduuranalyse (CUR-Aanbeveling 121) uit de '[herbruikbaarheidsscan](#)' gebruikt. De resultaten zijn gespiegeld aan de referentie technische documenten en interventiewaarden van Rijkswaterstaat (Referentiedocumenten Viaduct). Op deze manier is regulier onderhoud van de te hergebruiken onderdelen onderbouwd. Tijdens de oogst van de bestaande onderdelen kunnen beschadigingen ontstaan. In de begroting is rekening gehouden met reparatiekosten.

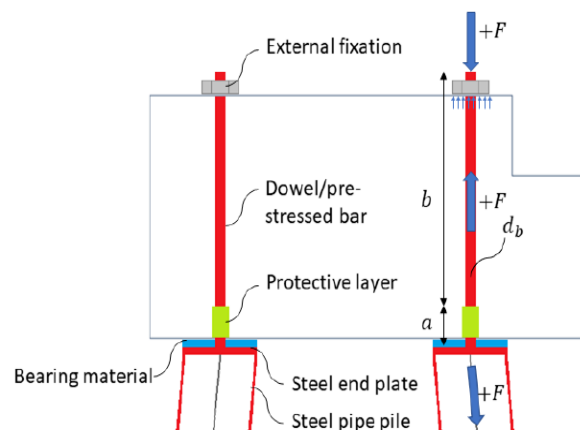
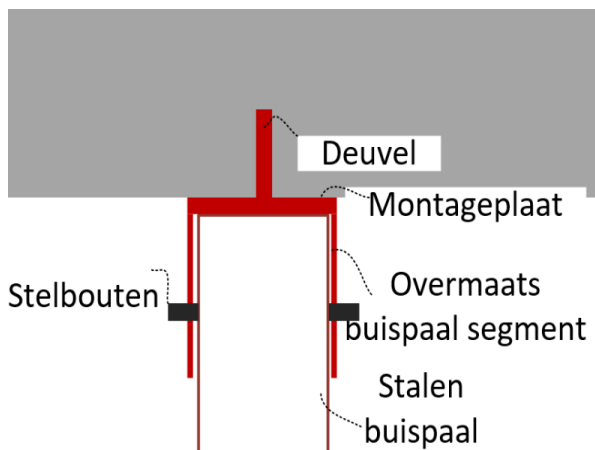
3.6 Hergebruik viaduct

Na het verstrijken van de levensduur of het wijzigen van de functie-eisen van CTL-viaducten moeten de onderdelen bij voorkeur losmaakbaar en weer opnieuw te hergebruiken zijn. De compatibiliteit en losmaakbaarheid van de concepten en deeloplossingen zijn grotendeels afhankelijk van de verbindingen. De verbindingen zijn dusdanig ontworpen dat eventuele toekomstige demontage mogelijk is (zie het rapport via deze [link](#)).

Liggers: Voor de kokerliggers is gebruik gemaakt van DYWIDAG-staven in combinatie met ankerplaten in plaats van voorspankabels. Dit principe is hieronder weergegeven. Hierbij kunnen de bestaande voorspankanalen worden gebruikt.



Koppeling van de landhoofden: Voor de koppeling van de landhoofden met de stalen buispijlen wordt gebruik gemaakt van de verbinding ontwikkeld door [Boersma \(2020\)](#). In dit onderzoek is een demontabel deuvelsysteem ontwikkeld voor dit type verbinding.



3.7 Impact (creating impact today)

We are 'Closing the Loop'. We are creating impact today! Met CTL bieden we afgedankte objectonderdelen vandaag nog een tweede leven. We redden materialen van een stille dood en gaan waardevernietiging tegen. We hoeven niet net zoals bij hout of nieuw beton bomen te kappen dan wel grondstoffen te delven, maar maken gebruik van wat er is. We ontwikkelen aan vraag- (ontwerpconcepten) en aanbodzijde (herbruikbaarheidsscan) waarmee we een plek creëren voor goed herbruikbare en minder goed herbruikbare objectonderdelen (hybride model). Concreet heeft deze integrale aanpak (zie paragraaf 2.4 en 3.9) nu al geresulteerd in mogelijkheden voor realisatie van CTL-viaducten op tien locaties in Nederland.

Voor de bepaling van de reductie op de milieu-impact van CTL-viaducten zijn de vier ontwikkelde ontwerpconcepten doorgerekend met behulp van het aangeleverde format. De BAU-variant waarbij uitgegaan is van realisatie met nieuwe materialen dient hierbij als vergelijking.

Met ons concept bestaan de nieuwe viaducten voor maar liefst 72,5% uit bestaande onderdelen. Voor de resterende 27,5% maken we gebruik van hoogwaardige recycletechnieken zoals [ADR en HAS](#) van GBN Groep voor de productie van circulair beton en asfalt. Hierdoor wordt 100% van de bestaande viaducten gebruikt in nieuwe viaducten.

Onderstaande tabel geeft inzicht in de reductie op de milieu-impact van de afzonderlijke en combinatie van CTL-viaducten. De kortetermijnimpact is inzichtelijk gemaakt op basis van nu al tien viaducten. Deze is in werkelijkheid nog hoger op basis van de volledige huidige inhoud van de legodoos. De volledige rapportage en onderbouwing van de berekeningen is te downloaden via deze [pagina](#).

Viaducten	Reductie MKI	Reductie CO2 (kg)	Reductie abiotische uitputting (kg)
1	€ 13.502	174.645	240
2	€ 14.423	141.182	173
3	€ 22.773	272.622	204
2.1	€ 10.936	149.321	118
Gemiddeld	€ 15.408	184.442	184
10 Viaducten	€ 154.089	1.844.429	1841

3.8 Haalbaarheid

In de managementsamenvatting van dit haalbaarheidsverslag staan alle haalbaarheidsaspecten samengevat weergegeven. In deze paragraaf behandelen we de aspecten met betrekking tot de technische haalbaarheid:

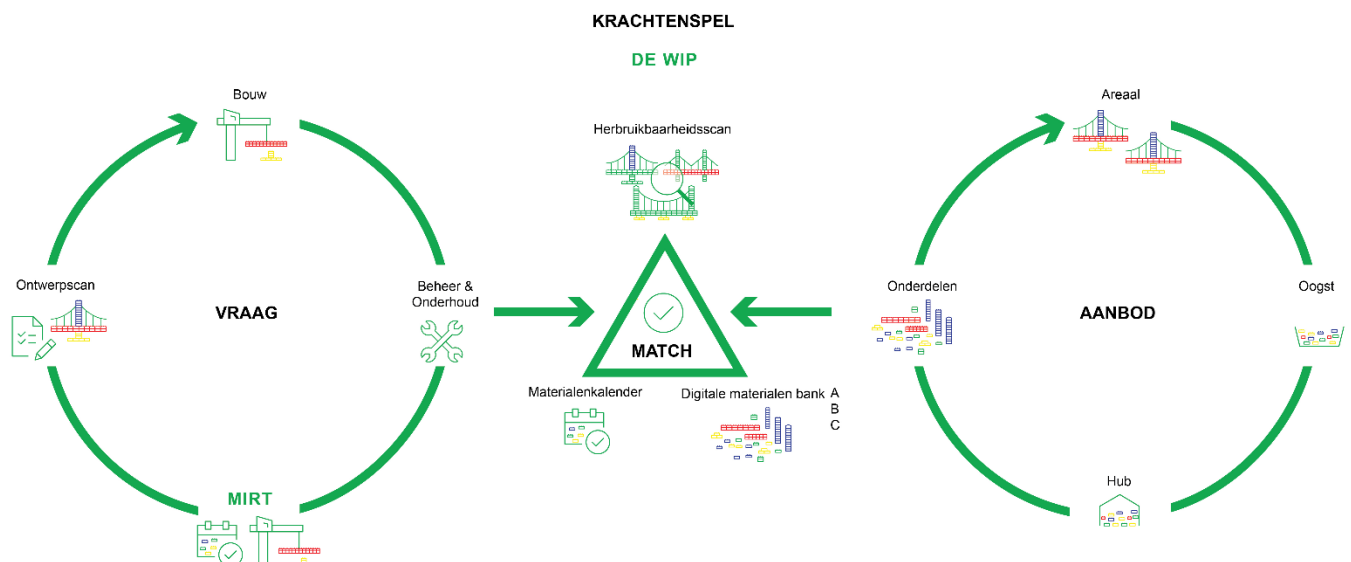
- **Beschikbaarheid (jagers en verzamelaars):** Met de ontwikkeling en inzet van de herbruikbaarheidsscan is aangetoond dat zowel voor de korte maar ook langere termijn ruim voldoende technisch hoogwaardige onderdelen beschikbaar zijn (zie legodoos). Op basis van deze analyse kunnen we nu al tien CTL-viaducten bouwen. Het CTL-concept is zo opgebouwd (hybride model) dat veel maar ook minder voorkomende onderdelen een tweede leven krijgen waarmee we de cirkel sluiten voor hergebruik. Binnen dit hybride model zien wij ook ruimte voor integratie van het concept 'hergebruik prefabliggers' van Royal HaskoningDHV.
- **Constructieve veiligheid:** Door berekeningen is de constructieve veiligheid van de combinatie van toegepaste onderdelen binnen de ontwerpconcepten aangetoond. Normwijziging is nodig om dit te verankeren in bestaande wet- en regelgeving. In hoofdstuk 4 doen we handreikingen hiervoor. [Onderzoek](#) uitgevoerd door dr. ir. Y. Yang van TU Delft toont de potentie van hogere constructieve rekenwaarden bij hergebruik van bestaande onderdelen. Dit maakt de optimalisatie en materiaalbesparingen binnen ons concept reëel.
- **Restlevensduur:** Met de uitgevoerde herbruikbaarheidsscans is voor de onderdelen aangetoond dat deze een restlevensduur hebben (zie uitwerking [N33](#) en [A58](#)) van +100 jaar. Er zijn geen noemenswaardige gebreken geconstateerd aan de te hergebruiken onderdelen die het constructieve en duurzame functioneren ondermijnen. Hiermee zijn restlevensduur en regulier onderhoud van de toegepaste onderdelen in de volgende levenscyclus onderbouwd. De toegepaste onderdelen worden veelal op functieniveau zonder wijziging in milieuklasse hergebruikt. Hiermee is schade niet te verwachten binnen de nieuwe toepassing. 153 eerder door Nebest uitgevoerde restlevensduuronderzoeken tonen de bredere potentie aan van toekomstig beschikbaar komende onderdelen.
- **(Los)maakbaarheid:** De maakbaarheid is getoetst door Strukton Civiel, terwijl de losmaakbaarheid van de te hergebruiken onderdelen is getoetst door GBN Groep en Lek Sloopwerken. De recente demontage (zie video's via de links) van de onderdelen kokerliggers, randliggers en tussensteunpunten van KW 10 "Busbrug" door Lek Sloopwerken en KW04 bij Grijsoord-Ede tonen de haalbaarheid hiervan in de praktijk aan. Voor de railliggers is dit aangetoond binnen de casus van de Vechtbrug, Helperzoombrug en viaduct Kromwijkdreef (haalbaarheidsonderzoek SBIR hergebruik prefabliggers). Voor de overige en combinatie van onderdelen brengen we het oogsten en circulair bouwen in de praktijk tijdens fase 2.

Voor de onderbouwing van de technische haalbaarheid van hoogwaardige recycling wordt verwezen naar dit memo over [Circuiton](#).

3.9 Economisch perspectief

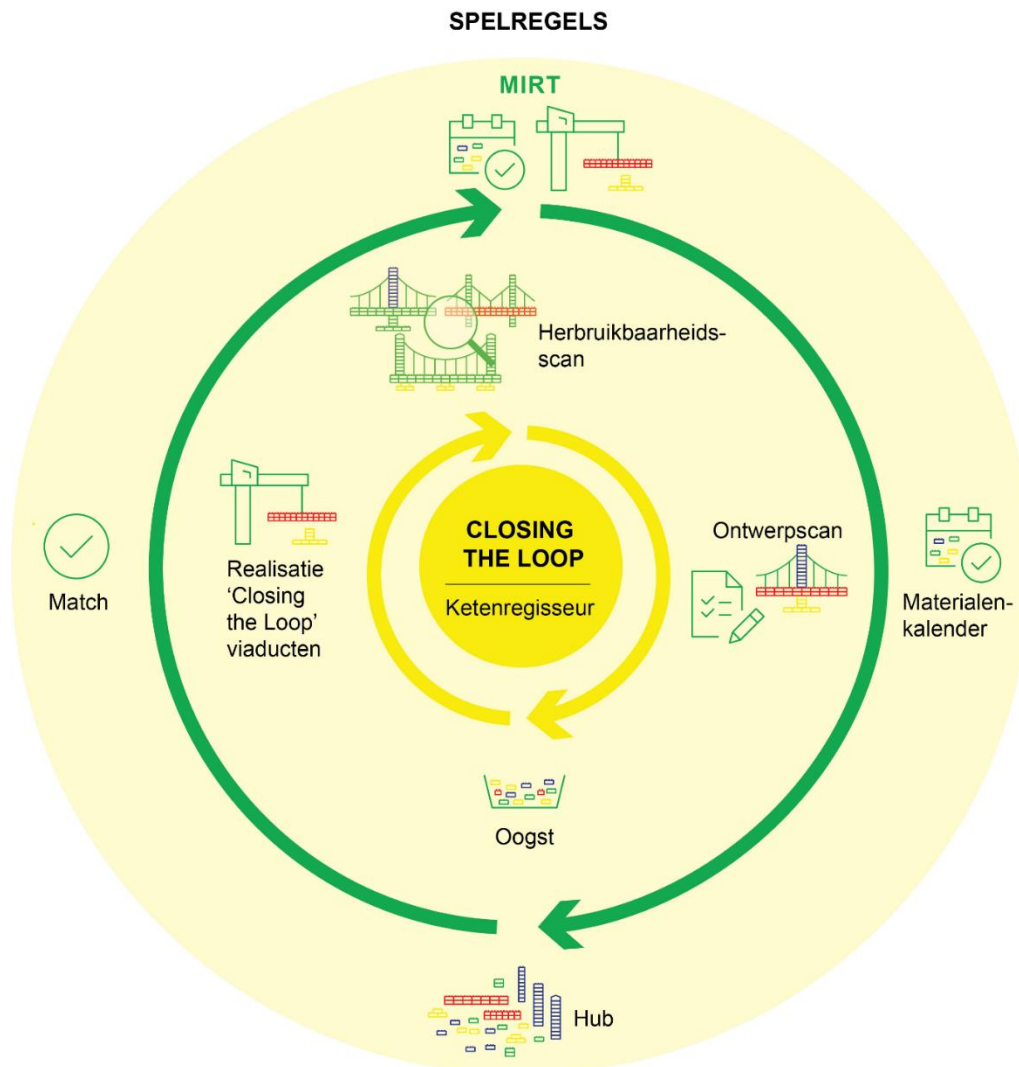
3.9.1 De marktsituatie (systeemoplossing)

De leerervaringen benoemd in voorgaande paragrafen tonen de breedte aan van oplossingsrichtingen die nodig zijn om hergebruik te laten slagen. Enerzijds zijn dit technische aspecten, anderzijds zijn ook de organisatorische uitdagingen, het samenbrengen van vraag en aanbod, benoemd. Een businessmodel voor hergebruik voorziet idealiter dan ook in de combinatie van deze facetten om impact te kunnen maken. Met het ontstaan van een disbalans ontstaat namelijk direct ook het risico op een mismatch tussen vraag en aanbod van vrijkomend materiaal. In onderstaande figuur is het krachten spel (de wip) tussen vraag en aanbod gevisualiseerd.



3.9.2 Aanpak en strategie (het gedachtengoed)

CTL is meer dan een technisch gevalideerde en economisch aantrekkelijke (zie [begroting](#)) oplossing voor de realisatie van circulaire viaducten over (rijks)wegen. Het is een totaalconcept waarmee we als consortium ook daadwerkelijk alle cirkels voor hoogwaardig hergebruik sluiten. Naast het sluiten van de technische cirkel faciliteren we ook de organisatorische cirkel. Hiermee zorgen we ervoor dat het vliegwiel voor hoogwaardig hergebruik gaat draaien. We brengen vraag en aanbod samen en borgen dat het concept voor iedere organisatie en afnemer inpasbaar is. Dat dit aansluit bij de huidige behoefte blijkt uit de brede interesse die er voor het concept is (zie ook figuur paragraaf 2.4).



De technische cirkel

1. *De herbruikbaarheidsscan:*

Met de herbruikbaarheidsscan maken we inzichtelijk welke onderdelen kunnen worden hergebruikt. We creëren inzicht in het moment waarop deze onderdelen beschikbaar komen. Deze informatie wordt vastgelegd in een materialenpaspoort en de verschillende materialenbanken.

2. *De ontwerpscan:*

De ontwerpscan geeft inzicht in de ontwerp-toepassingen die er zijn om van de diverse onderdelen van oude viaducten nieuwe viaducten te maken. Hiermee bouwen we voortdurend aan de uitbreiding van ons hybride model en wordt de technische cirkel gesloten.

3. *De oogst:*

Aan het einde van de functionele levensduur van een kunstwerk wordt het gedemonteerd. Met behulp van de herbruikbaarheidsscan en ontwerpscan weten we welke onderdelen van het oude viaduct weer in nieuwe viaducten kunnen worden toegepast. Deze worden geoogst voor hergebruik. De overige elementen van de kunstwerken worden ingezet voor hoogwaardige recycling.

4. *De Bouw:*

Uiteindelijk wordt het CT- viaduct gerealiseerd met hergebruikte onderdelen.

De organisatorische cirkel

5. De materialenkalender:

De materialenkalender is de basis om tot een *match* te komen. De materialenkalender vormt de schakel met bestaande materialenmarktplaatsen en geeft inzicht in twee aspecten:

- Het aanbod: welke onderdelen zijn momenteel beschikbaar en komen op termijn vrij.
- De vraag: welke viaducten worden gepland om te bouwen en uit welke onderdelen bestaan deze.

De bronnen van de kalender zijn:

- De herbruikbaarheidsscan uit de technische cirkel voor de aanbodkant. Door deze koppeling is het detailniveau aan informatie van de afzonderlijke onderdelen geborgd binnen de materialenkalender.
- Diverse digitale marktplaatsen eveneens voor de aanbodkant.
- Het MIRT-programma (Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport) en andere infra-gerelateerde programma's die inzage geven in te bouwen kunstwerken.

6. De hub:

Niet alle vrijkomende onderdelen kunnen direct worden teruggebracht in een nieuw viaduct. Daarom is het zaak om meerdere fysieke regionale opslaglocaties te hebben. De steunpuntlocaties van Rijkswaterstaat kunnen hiervoor dienst doen.

De kern

7. De regisseur:

De regisseur vormt de verbinding tussen de technische en organisatorische cirkel: hij of zij stimuleert de match tussen vraag en aanbod en de hub op basis van de materialenkalender en het ketennetwerk.

De omgeving

8. De spelregels:

Er moeten spelregels worden opgesteld:

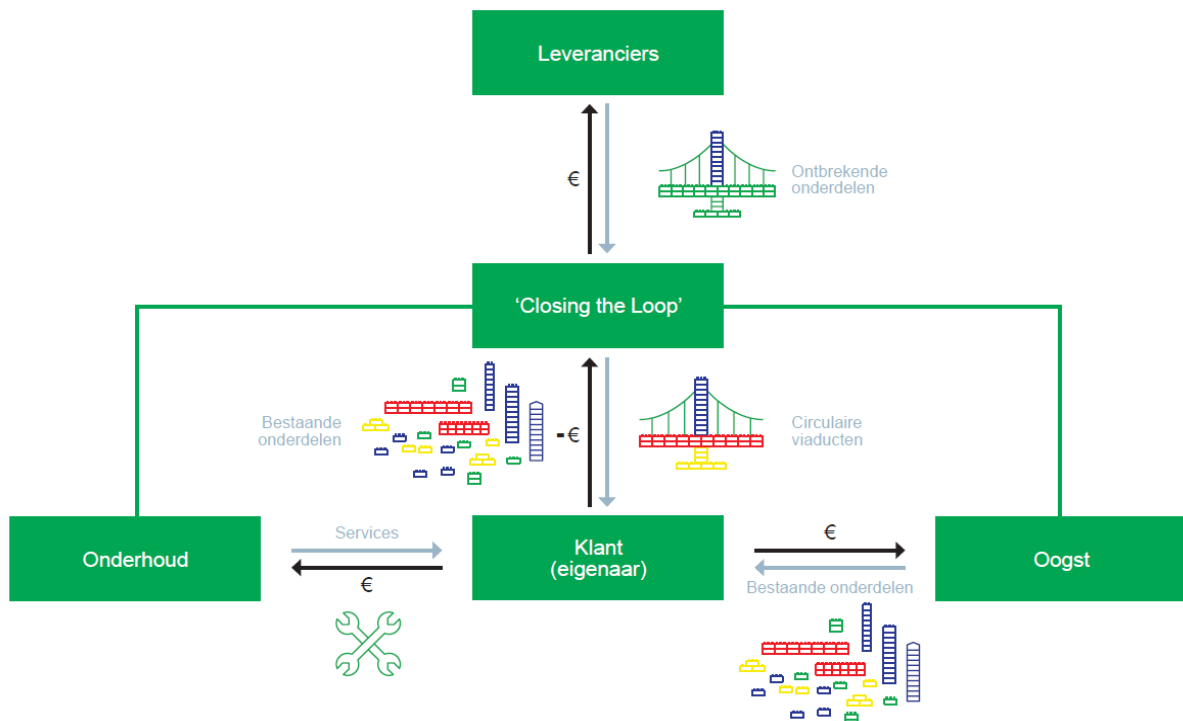
- In aanbestedingseisen moet worden opgenomen dat een viaduct losmaakbaar wordt ontworpen en gerealiseerd.
- In eisen voor de sloop moet worden afgesproken dat een aantal onderdelen standaard circulair wordt gedemonteerd.
- Afspraken moeten worden gemaakt over de eigendom van de onderdelen; normaliter vervalt dit aan de sloopaannemer.
- Afspraken moeten worden gemaakt over de waarde van de circulaire onderdelen. Wie betaalt wat?
- Circulair viaduct tenzij: als CTL goed draait, moet een eis in aanbestedingen worden dat alle viaducten circulair zijn, tenzij.
- Spelregels over hoe om te gaan met de verschillende risico's in het hele proces.

3.9.3 'Closing the Loop'-viaducten in de praktijk

Zoals benoemd is grootschalige uitrol van CTL-viaducten van meerdere deelinnovaties afhankelijk. Ons consortium voorziet in al deze aspecten. Voor potentiële afnemers creëren we hiermee de mogelijkheid om het totaalconcept of slechts een deel van de oplossingen af te nemen naargelang de wens en eigen expertise van de betreffende organisatie. Een vrij gebruiksrecht voor eenieder in de vorm van een open source-constructie van CTL-viaducten is in onze ogen de enige vorm die past. Het eindproduct van ons businessmodel, de realisatie van CTL-viaducten, zien wij als een groeimodel waarbij de waarde van bestaande onderdelen in de tijd toeneemt. Hiermee vergroot Rijkswaterstaat uiteindelijk ook de waarde van haar eigen assets.

Voor nu gaan we ervan uit dat de materialen in de startfase om niet beschikbaar worden gesteld en eigendom blijven van de klant. Dit is belangrijk om de sneeuwbal voor hergebruik aan het rollen te krijgen, waarbij waardeontwikkeling door marktwerking vanzelf volgt. Met de discussie over de waarde van bestaande materialen gaat kostbare tijd verloren met oog op de doelstellingen voor 2030. Door dicht bij de huidige economische modellen te blijven bieden wij een realistisch scenario.

Afhankelijk van de specifieke situatie en of materialen binnen projecten kunnen worden hergebruikt kan de oogst ook onderdeel uitmaken van de realisatie van een CTL-viaduct. Omdat het vooral de eerste jaren kan voorkomen dat onderdelen nog niet voorradig zijn, zullen deze elders circulair moeten worden verworven.



4 VOORSTEL FASE 2

4.1 Kaders prototype en gastproject (Let's save some materials)

De brede inzet van de herbruikbaarheidsscan heeft waardevolle inzichten opgeleverd met betrekking tot de marktintroductie van de innovatie. Momenteel zijn ruim tien kansrijke projecten geïdentificeerd voor de realisatie van een prototype en de uiteindelijke opschaling naar meer CTL-viaducten. De realisatie van een prototype plaatsen wij hiermee in de bredere context met het oog op de opschaling.

Op basis van dit haalbaarheidsonderzoek zien wij minimaal onderstaande aspecten (in groen) terugkomen als onderdeel van fase 2 en de opschaling. Om de technische en organisatorische cirkel te sluiten waarmee CTL BAU wordt, zijn nog diverse andere aspecten (in blauw) van belang. Een deel hiervan zien wij onderdeel uitmaken van de aanbesteding die door Rijkswaterstaat in voorbereiding is voor de verkenning van de herbruikbaarheidspotentie van haar areaal, maar ook het normtraject van NEN waarvoor Rijkswaterstaat reeds financiële middelen heeft ingebracht.

Technische haalbaarheid	Economische haalbaarheid	Organisatorische haalbaarheid	Beleidskader
Beschikbaarheid			
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Verankering herbruikbaarheidsscan binnen Rijkswaterstaat</i> • <i>Uitbereiding van bestaande materialenmarktplaatsen voor uitwisseling op elementniveau (areaalbreed)</i> • <i>Uitbereiding van het hybride model (ontwerpscan)</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Waardevernietiging op waarde schatten</i> • <i>Vrije beschikbaarheid bestaande onderdelen</i> • <i>Ontwikkeling financiële waardecalculator</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Gebruik van de steunpuntlocaties als hub</i> • <i>Aanstelling van regisseurs</i> • <i>Opstellen jaarlijkse materialenkalender</i> • <i>Opstellen set van spelregels</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Ontwikkelen van nieuwe standaarden voor circulair inkopen (oogsten)</i>
Constructieve veiligheid			
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Uitwerking constructieve uitgangspunten 'nieuw' te bouwen kunstwerken</i> • <i>Vaststellen levensdureisen in relatie tot hergebruik</i> • <i>Toetsen van methodieken (bijvoorbeeld proefbelasten) bepalen capaciteit liggers</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Bepalen financiële impact van verandering in engineeringkosten</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Acceptatie door bouwtoezicht</i> • <i>Creëren breder draagvlak bij hoofdconstructeurs</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Onderzoeken of de inzet en transformatie van NEN 8700 voor hergebruik haalbaar is.</i> • <i>Omgang met dekkingseisen uit ROK</i> • <i>Toetsing welke evolutie van het Bouwbesluit mogelijk is</i>
Restlevensduur			
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Vaststellen op welke wijze vermoeiing van invloed is op bestaand materiaal.</i> • <i>Onderzoeken of de inzet van sensing waardevol is.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Bepalen van de invloed van nieuwe rekenmethodieken voor ontwerp- en restlevensduur op de financiële haalbaarheid</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Afstemming met de toekomstige beheerder in relatie tot risico's en beheersmaatregelen</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Onderzoeken of CUR-Aanbeveling 121 toepasbaar gemaakt kan worden voor hergebruik</i> • <i>Vaststellen methodiek bepaling ontwerplevensduur</i>
(Los)maakbaarheid			

Technische haalbaarheid	Economische haalbaarheid	Organisatorische haalbaarheid	Beleidskader
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Evaluëren en optimaliseren voor oogst (bruikbaarheid onderdelen na demontage)</i> • <i>Het in praktijk brengen van bouwen met bestaande onderdelen</i> • <i>Uitbreiding en experimenteren met mogelijkheden voor koppelingen en verbindingen</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Impact oogsttechnieken op omgeving en kosten</i> • <i>Evaluatie van uiteindelijke realisatiekosten</i> • <i>Vaststellen elementgrootte en hanteerbaarheid in relatie tot kosten benodigd materieel</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Integratie binnen huidige werk- en projectprocessen</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Ontwikkeling van bestaande afwegingsmodellen voor losmaakbaarheid door experimenten en validatie in de praktijk</i>

Met het in praktijk brengen van hergebruik in fase 2 komen direct ook de opschaling van CTL en de invulling van de maatschappelijke doelstelling dichterbij. Belangrijk hierbij is dat de uitdaging van onze innovatie voornamelijk ook zit in de inpassing binnen de contractuele kaders. Een gastproject voor de realisatie van een prototype bevindt zich bij voorkeur dus in voorbereidingsfase. Hiermee borgen we dat met de realisatie van een prototype niet alleen de technische haalbaarheid (circulaire oogst en bouw) van de innovatie in de praktijk wordt onderbouwd, maar tevens ook de opschaalbaarheid op korte termijn is geborgd door de ontwikkeling van nieuwe contractuele kaders. Dit is nodig om überhaupt in de buurt te komen van een klimaatneutraal en circulair Rijkswaterstaat in 2030.

4.2 Afweging in gastprojecten (keuzestress)

Zoals beschreven zijn er meerdere aspecten van belang bij de keuze van een gastproject en de uiteindelijke realisatie van een prototype. Onderstaande tabel toont zes kansrijke projecten die zijn geïdentificeerd.

Project	Status	Start realisatie	Contractvorm / inpassing	Herbruikbare onderdelen
N33	Vertraagd	n.t.b.	Hoge duurzaamheidsambitie contractuele invulling n.t.b.	<ul style="list-style-type: none"> • Kokerliggers • Railliggers • Landhoofden • Tussensteunpunten • Schamprand en stootplaten • Leuningwerken en geleiderail • Taludbekleding
InnovA58	Contractvoorbereidingsfase	Medio 2024	idem	<ul style="list-style-type: none"> • Landhoofden • Tussensteunpunten • Leuningwerken • Taludbekleding
A1 Hoog Burel	Tenderfase	Medio 2022	Hoge duurzaamheidsambitie binnen huidig contract. Hergebruik vrijkomende onderdelen binnen project uitgesloten.	<ul style="list-style-type: none"> • Dwarsdragers • Kolommen • Leuningwerken • Taludbekleding

Project	Status	Start realisatie	Contractvorm / inpassing	Herbruikbare onderdelen
A28 Voskuilerdijk	Contractvoor- bereidingsfase	Medio 2022	Vooralsnog geen circulariteitsambitie contractuele invulling n.t.b.	<ul style="list-style-type: none"> • Langsliggers • Koppelbalken • Dwarsdragers • Kolommen • Taludbekleding
A9 Badhoevedorp – Holendrecht	In uitvoering	Medio augustus	Beschikbaarheid gaat boven circulariteit. Geen ruimte voor inpassing circulaire oogst.	<ul style="list-style-type: none"> • Railliggers • Landhoofden • Tussensteunpunten
A76	Contractvoor- bereidingsfase	Medio 2023	Hoge duurzaamheidsambitie contractuele invulling n.t.b.	<ul style="list-style-type: none"> • Kokerliggers • Landhoofden • Dwarsdrager • Schamprand en stootplaten • Stalen buispalen • Leuningwerken en geleiderail • Taludbekleding

In de A76 komen de meeste aspecten terug die nodig zijn om het maximale uit fase 2 te kunnen halen. Naast de hoge mate van herbruikbaarheid en grote diversiteit aan onderdelen bevindt het project zich momenteel nog in contractvoorbereidingsfase. Hierdoor is het mogelijk om ruimte te creëren voor de oogst van de bestaande onderdelen en deze kans gelijk aan te grijpen voor de ontwikkeling van nieuwe standaarden voor circulair inkopen. Een dergelijke ontwikkeling gaat hand in hand met het door Rijkswaterstaat voorgenomen traject in samenwerking met PIANOo. Daarnaast biedt het de mogelijkheid om CTL binnen alle fases van het project te valideren en optimaliseren en is er ruimte voor essentiële activiteiten zoals een normtraject.

4.3 Omschrijving gastproject

Binnen het tracé A76 bevinden zich twee losse kunstwerken: een nieuwer noordelijk deel en een ouder zuidelijk deel. Het noordelijke deel bestaat grotendeels uit geprefabriceerde onderdelen. Het zuidelijke deel betreft een in het werk gestorte constructie waaraan bij diverse onderdelen reeds schade geconstateerd is. De globale scope van het project betreft het vervangen en traditioneel slopen van de twee bestaande viaducten. Dit houdt in dat beide viaducten over de A76 vervangen worden door één nieuw viaduct voor beide rijrichtingen.



Situatie A76.



Noordelijk deel.



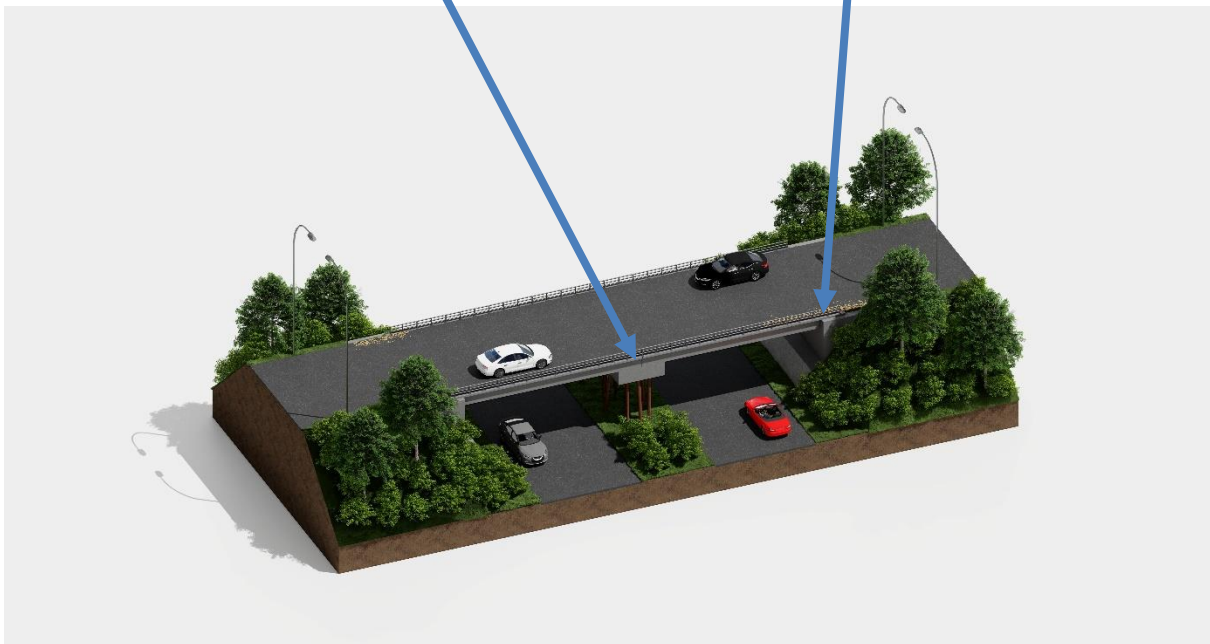
Zuidelijk deel.



Stalen buispalen, steunpunt en kokerliggers.



Kokerliggers, landhoofd en leuningwerk.



Overeenkomsten ontwerpconcept 3.0 met situatie gastproject.

De uitgevoerde herbruikbaarheidsscan (zie deze [link](#)) aan voornamelijk het noordelijke deel toont een brede herbruikbaarheidspotentie van een groot aantal onderdelen. Deze onderdelen komen in grote mate overeen met de reeds ontwikkelde ontwerp toepassingen voor hergebruik en komen op grote schaal voor binnen het areaal. Anderzijds dienen deze onderdelen te worden ingepast in een veelvoorkomende overspanning (zie paragraaf 3.1) van circa 20 meter. Het zuidelijke deel vormt hierbij een mooie casus voor de hoogwaardige recycle technieken (Circuton) binnen CTL.

4.4 Test- en validatieplan (fase 2a en 2b)

Onder Fase 2a verstaan wij de inpassing van de leerervaringen en reeds ontwikkelde ontwerp toepassingen voor hergebruik binnen het gastproject. Concreet betekent dit dat we hergebruik van de onderdelen (zie tabel paragraaf 4.2) integreren binnen de technische en contractuele kaders van de A76. Dit doen we in bouwteamverband en door onderstaande activiteiten uit te voeren.

Fase 2a-1: Transitiefase

De eerste stap is de overgang tussen fase 1 en 2. Doel is om met opdrachtgever te verdiepen wat het eindresultaat wordt.

- We werken een PvE uit voor het 'nieuwe' kunstwerk. Bij dit PvE houden we als vanzelfsprekend rekening met de herbruikbaarheid.

Resultaat: Er is bekend wat het eindresultaat van het ontwerp moet zijn, hoe de raakvlakken met het gehele contract A76 worden geborgd en welke risicobeheersmaatregelen nodig zijn. Eventueel wordt het SBIR-traject parallel opgestart naast het huidige proces om de projectbehoefte en planning te kunnen borgen.

Nevenactiviteiten:

- *Ontwikkelen van nieuwe standaarden voor circulair. Dit proces wordt in samenwerking met Rijkswaterstaat als onderdeel van het PIANOo-traject opgestart.*
- *Verdiepend afstudeeronderzoek Avans Hogeschool ontwerptoeepassingen voor hergebruik A76.*
- *Startup werkgroep hergebruik van beton als onderdeel van normtraject NEN.*

Fase 2a-2: Nadere onderzoeken

In dit haalbaarheidsonderzoek is reeds een verkennende herbruikbaarheidsscan verricht. In deze fase gaan we aan de slag met het creëren van een verfijnder inzicht in de herbruikbaarheid van de onderdelen.

- Afstemming over aanpak en steekproefgrootte van nadere onderzoeken inclusief het vaststellen van rekenmethodieken samen met consortiumleden, Rijkswaterstaat, TU Delft en TNO.
- Nadere beschouwing van de restlevensduur van te hergebruiken onderdelen in lijn met CUR-Aanbeveling 121+. Hiervoor worden kernen uit de bestaande onderdelen geboord voor nader onderzoek.
- De bestaande viaducten worden onderzocht op de aanwezigheid van asbest en chroom-6
- De verzamelde data van de onderdelen worden verwerkt in een 3D-model van de vrijkomende viaducten. Parallel wordt een 3D-model van het nieuwe kunstwerk opgesteld.
- We onderzoeken welke onderdelen op welke wijze geoogst kunnen worden. Tevens maken we daarvan een risicoanalyse en bepalen wij de beheersmaatregelen.
- Voor de demontage/oogst/sloop maken we een oogstplan: beschrijving van hoe we de materialen uit de viaducten halen.
- In een uitgangspuntenrapport vertalen we de resultaten van de onderzoeken naar aan te houden rekenwaarden voor het specifiek te hergebruiken materiaal.

Resultaat: Inzicht in de fysieke herbruikbaarheid en hoe een en ander aansluit bij stap 1.

Nevenactiviteiten:

- *Start onderzoek promovendus TU Delft naar vernieuwende methodieken voor ontwerp levensduurbepaling van bestaande onderdelen (+).*

Fase 2a-3: Voorontwerpconcepten

Met de beschikbare onderdelen bepalen we op basis van reeds ontwikkelde ontwerpconcepten varianten die passen bij de eisen en de beschikbare ruimte.

-
- We brengen de specifieke issues van de locatie en eisen in relatie tot de concepten in beeld.
 - Opstellen constructief uitgangspuntenrapport, relatie met normen, omgang met dekkingen en optredende belastingen.
 - We beschouwen verbindingen specifiek in relatie tot de te realiseren eindproducten.

Resultaat: Een passend VO waarin de concepten zijn ingepast in de randvoorwaarden.

Fase 2a-4: Go/No Go locatie A76

Aan de hand van voorgaande stappen bepalen we de haalbaarheid van de inpassing van de concepten binnen de A76. Twee mogelijke uitkomsten zijn:

- Go: we zetten de engineering in gang voor de realisatie van het prototype.
- No Go: we zetten de engineering in gang voor een andere locatie (*) maar oogsten wel de materialen uit de A76.

() Besproken mogelijkheden voor alternatieve locaties zijn het ENCI Maastricht-terrein (circa 26 km) of de innovatiestreek A58. De transportafstand van onderdelen vormt hierbij een aandachtspunt.*

Fase 2a-5: DO-fase

De DO-documenten kunnen worden opgesteld. We werken alle verbindingen tot in detail uit omdat deze de uitvoerbaarheid bepalen.

- Met detailberekeningen tonen we aan dat we aan alle normen voldoen ofwel stellen wij vast waar dit tot knelpunten leidt zodat we input kunnen geven aan normcommissies.
- De constructieve veiligheid staat hierbij voorop. Als start van de berekeningsfase geldt het opgestelde uitgangspuntenrapport waarin de omgang met bestaand materiaal en de relatie met de normen tot in detail zijn beschreven.
- Opzetten rekenmodel in EEM-pakket, doorrekenen spanningen en nagaan hoe deze spanningen door een juiste modellering optimaal passen bij de toepassing van bestaand materiaal.
- Toetsen verbindingen in relatie tot optredende krachten.

Fase 2a-6: UO opstellen

In deze fase wordt het ontwerp uitvoeringsgereed gemaakt.

- Definitieve technische uitwerking werktekeningen.
- Nadere uitwerking oogstplannen, beheersmaatregelen en mogelijkheden voor opslag.
- Uitwerken detailplanning en bouwfaseringsplan.
- Opstellen monitorings- en validatieplan prototype.

Fase 2b-1: Uitvoering (circulaire oogst)

De activiteiten in deze fase met betrekking tot de circulaire oogst zijn vergelijkbaar zoals benoemd in paragraaf 3.4. Tijdens de oogst worden ook de niet in Fase 2a-2 inspecteerbare onderdelen zichtbaar.

- Gedurende de oogst worden de te hergebruiken onderdelen op handafstand geïnspecteerd.
- Nadere beschouwing van de restlevensduur van niet-zichtbare delen conform nieuwe en verfijndere modellen. Hiervoor worden kernen uit de bestaande onderdelen geboord voor nader onderzoek.
- Als de capaciteit van de liggers niet voldoende aangetoond kan worden in fase 2a-5, is het noodzakelijk om proefbelastingen uit te voeren op een steekproef van de liggers.

- Op basis van de resultaten uit de restlevensduuranalyses en eventuele proefbelastingen worden de constructieve berekeningen geüpdatet om eventuele afwijkingen te kunnen duiden.

Nevenactiviteiten:

- *Ontwikkeling van bestaande afwegingsmodellen voor losmaakbaarheid door experimenten en validatie in de praktijk in samenwerking met Alba Concepts.*

Fase 2b-2: Uitvoering (het eerste CTL-viaduct!)

De activiteiten in deze realisatiefase zijn grotendeels vergelijkbaar (concept 3.0) zoals benoemd in paragraaf 3.5. Afhankelijk van de uitkomsten uit fase 2a-5 worden ook sensoren geplaatst voor de monitoring van het prototype.

Fase 2b-3: Monitoring en validatie

De monitoring en validatie van ons concept vormen een continu proces. Door onderstaande activiteiten uit te voeren is er tijdens iedere stap inzicht in eventuele afwijkingen ten opzichte van dit haalbaarheidsonderzoek op de aspecten impact, haalbaarheid en economisch perspectief:

- Milieu-impactberekeningen.
- Begroten en monitoren van de kosten.
- Validatie en monitoring van de technische haalbaarheid.
- Toetsen opschaalbaarheid van de innovatie aan de hand van de resultaten uit de herbruikbaarheidsscans.
- Uitvoeren nulmeting en opstellen onderhoudsplan.
- Bovenstaande activiteiten worden verwerkt in de deelrapportages. Van de uiteindelijke resultaten wordt een eindrapportage opgesteld.

5 BEGROTING

In onderstaande begroting zijn de kosten voor engineering- en onderzoeksactiviteiten opgenomen. Voor de circulaire oogst en realisatie van het prototype hebben wij budget gereserveerd voor eventuele meerkosten op het projectbudget. De werkelijke kosten voor fase 2b bepalen wij na afronding van fase 2a. Op basis van de begrotingen (concept 3) uit dit haalbaarheidsonderzoek is onze verwachting dat een kostenreductie kan worden gerealiseerd. Of deze kostenreductie al in fase 2 of zoals begroot in dit haalbaarheidsonderzoek pas binnen de N33 tot zijn recht komt, is afhankelijk van eventuele veranderingen in de diepgang van de aantoonbaarheid.

	<i>Totaal</i>	<i>Totaal uren</i>
Kosten van arbeid	€ 410.877,00	5162
Verbruikte materialen	€ 19.325,61	
Machines en apparatuur	€ 32.000,00	
Kosten van arbeid projectpartners	€ 72.000,00	400
Kosten derden (materieel en arbeid)	€ 104.596,00	296
Overige kosten (reservering circulaire sloop en realisatie)	€ 600.870,81	
<i>Totaal exclusief btw</i>		
Omzetbelasting (laag)		
Omzetbelasting (hoog) 21%	€ 260.330,58	
Omzetbelasting (0%)		
<i>Totaal inclusief btw</i>	€ 1.500.000,00	