



RWS INFORMATIE

Kenmerk:

AT/2020/03/V2

Eindrapport fase 1–Haalbaarheidsonderzoek Hergebruik Prefabliggers (HPL) SBIR Circulaire viaducten

1. Managementsamenvatting

Doelstelling

Vanaf 2030 wilt u als Rijkswaterstaat volledig klimaatneutraal en circulair werken. We willen als combinatie hieraan bijdragen en een cultuuromslag realiseren in de infrastructuurmarkt door nieuwe, circulaire viaducten te bouwen met herbruikbare prefabliggers die vrijkomen bij demontage van viaducten. Onze aanpak dringt het gebruik van primaire (abiotische) grondstoffen terug en vermindert de CO₂-uitstoot. We zijn daarnaast succesvol als we herbruikbare liggers direct toepasbaar, veilig en rendabel kunnen maken voor onze opdrachtgevers.

Probleemstelling

Hergebruik van prefab viaductliggers lijkt zo logisch, waarom gebeurt het dan nog nauwelijks?

Impact

De impact op circulariteit is groot. Rijkswaterstaat beheert ca. 1.750 liggerviaducten met een gemiddelde leeftijd van 30 jaar. Elk jaar worden ongeveer 40 nieuwe liggerviaducten gebouwd en ongeveer 10 afgebroken. Momenteel worden de prefabliggers van gesloopte viaducten niet hergebruikt maar vermalen tot betonpuin. Deze recycling is arbeids- en energie-intensief en is het een laagwaardige vorm van hergebruik: verreweg het meeste beton eindigt als wegfundering. Prefabliggers kunnen echter direct worden hergebruikt in nieuwe projecten voor hun eigenlijke functie (ReUse = "hergebruik" uit het Bouwwaardemodel van het Betonakkoord). Na preventie is dat de hoogste vorm van circulariteit, zoals ook blijkt uit de onlangs gepubliceerde 'Principes voor Circulair Ontwerpen'. Hierdoor is de impact groot, zeker als we de impact op het onderdeel ligger beschouwen. De impact is ook direct merkbaar: we hoeven geen 30 jaar te wachten maar kunnen meteen beginnen met het demonteren en herinzetten van liggers.

Besparing o.b.v. case	Hergebruik heel viaduct	Hergebruik bovenbouw	Hergebruik ligger+druklaag	Hergebruik ligger alleen	Per viaduct	Per jaar (10 viaducten)
MKI-besparing	40%	49%	61%	73%	€29.460	€294.600
CO₂-besparing	45%	57%	72%	87%	331 ton	3310 ton
Abiotische grondstoffen besparing	48%	58%	73%	93%	0,3 kg	3 kg

Haalbaarheid

Voor deze innovatie is zowel naar technische- als culturele-, organisatorische-, en financiële haalbaarheid gekeken. In samenwerking met TU Delft is via 29 wetenschappelijke interviews onderzocht wat de belemmeringen zijn voor hergebruik van prefab viaductliggers. De geïnterviewden samen vormen een representatieve afspiegeling van actoren uit het hele werkveld: (sloop)aannemers, opdrachtgevers, vergunningverleners, kennisinstellingen, engineering-&consultancybedrijven en liggerleveranciers.

De grootste belemmeringen zijn: restlevensduur en wet-®elgeving. De geïnterviewden geven aan dat de restlevensduur niet goed te beoordelen is en dat dit een grote belemmering vormt om liggers opnieuw toe te passen in een viaduct. Wij tonen aan dat de levensduur geen probleem is. Ook de veranderde wet-®elgeving van betonnen constructies wordt gezien als grote belemmering. Uit berekeningen van onze combinatie blijkt echter dat liggers die geproduceerd zijn met oudere normen toch voldoen aan geldende richtlijnen.

Onwetendheid en het denken in lineaire, op zichzelf staande projecten zijn ook belemmeringen. Uit de interviews blijkt dat nog niet eerder is nagedacht over hergebruik van viaductliggers en dat de bouwsector een lineaire markt is, waarin geld en tijd de belangrijkste factoren zijn. Door het delen van onze ervaringen en vergroten van kennis over hergebruik van liggers dragen wij bij aan een cultuuromslag.

Hoe meer bekend is over de toepassing van herbruikbare prefabliggers, hoe beter de infrastructuurmarkt de mogelijkheden kan benutten. We gaan met Rijkswaterstaat in gesprek over het principe "Hergebruik voor Nieuwbouw". We introduceren ons platform www.liggerbank.nl om marktbreed vraag&aanbod beter op elkaar af te stemmen en gaan verder met de Disk-database van Rijkswaterstaat om herbruikbare liggers uit te slopen viaducten te detecteren. We verschaffen helderheid welke regelgeving toegepast moet worden om herbruikbare liggers voor nieuwe situaties door te rekenen en leggen de aandachtspunten vast voor het demonteren van liggers en het keuren voor vrijgave van herbruikbare liggers met kwaliteitsverklaring. Hergebruik van prefabliggers is daarna door veel partijen te realiseren.

Uit de herberekeningen van onze pilot en case volgt dat de huidige liggers over zowel voldoende momentcapaciteit als dwarskrachtcapaciteit beschikken om in een nieuwe situatie toe te passen. De liggers zijn ook getoetst op vermoeiing. Ook is de scheurwijdte getoetst op basis van toelaatbare spanningswisseling in de voorspanstrengen. Deze toets voldoet ruimschoots, waarmee wordt voldaan aan de duurzaamheidseisen. Daaruit concluderen wij dat hergebruik van fysiek ongewijzigde omgekeerde T-liggers technisch haalbaar is.

Een belemmering is onzekerheid of liggers gedemonteerd kunnen worden voor hergebruik. Om aan te tonen dat dit kan zijn op 6 februari 2021 zes liggers gedemonteerd en naar een opslagterrein getransporteerd (zie foto-1).



Foto-1

Conclusie: er zijn weinig beperkingen. Hergebruik is relatief eenvoudig, snel en herhaaldelijk te realiseren! We kunnen uitstekend aantonen dat prefabliggers geschikt zijn voor hergebruik. En de technologische en economische belemmeringen kunnen we wegnemen, zodat hergebruik eenvoudig, veilig en rendabel wordt binnen reguliere aanbestedingen.

Ons consortium is uitgebreid om de innovatieontwikkeling nog sterker te borgen en na fase 2 opschaling mogelijk te maken. Zo is meer expertise aanwezig voor uitwerking van de businesscase, het voorbereiden van opschaling en is het netwerk vergroot voor potentiële gastprojecten. Ook kunnen we nu een totaaloplossing bieden waarbij de hele cyclus door ervaren partijen wordt ingevuld, van het signaleren van vrijkomende liggers, berekenen, demonteren, transporteren, opslaan, aanpassen en keuren, tot het bouwen van een nieuw viaduct met gebruikte liggers.

Economisch perspectief

Uit een vergelijk naar investeringskosten voor onze case 'Viaduct Kniplaan' blijkt dat de kosten bij hergebruik van prefabliggers lager uitvallen.

Op onderhoudskosten is er geen verschil. De conclusie is dan ook dat hergebruik van prefabliggers financieel concurrerend is en bovendien veel duurzamer dan de reguliere werkwijze. Dit biedt zowel opdrachtgevers als marktpartijen een interessante businesscase.

Om te komen tot grootschalig hergebruik van prefabliggers zien wij twee belangrijke opgaven. De eerste is kennisdeling. Die is nodig om ogenschijnlijke belemmeringen en koudwaterrees in de markt en bij opdrachtgevers weg te nemen. Wij willen – samen met Rijkswaterstaat – opgedane inzichten en ervaringen met de markt delen. De tweede is het stimuleren van hergebruik ten opzichte van nieuwe liggers door hergebruik positief te waarderen in EMVI-criteria en door de sloop van herbruikbare liggers te straffen. In fase 2 willen wij daar samen met u en onze contractadviseurs tekstvoorstellen voor maken: Hergebruik voor Nieuwbouw!

Het circulaire businessmodel dat wij in hergebruik van prefabliggers zien is tweeledig:

- Het omvat activiteiten met grote groeipotentie die naadloos passen in onze ambitie om duurzaam te bouwen en te ondernemen. Uitdaging is om met hergebruikte liggers een kwalitatief gelijkwaardige optie te bieden die financieel concurrerend en duurzamer is en die een gezonde marge oplevert. Dit haalbaarheidsonderzoek geeft ons het vertrouwen dat dit realiseerbaar is.
- Het helpt ons om concurrerend te zijn bij het verwerven van toekomstige infraprojecten, waarbij circulair- en emissieloos bouwen steeds belangrijker wordt.

Wij stellen onze opgedane kennis, inzichten en ervaringen gratis ter beschikking aan de markt. Daarmee doen we afstand van IE-recht en is ons verdienmodel alleen gebaseerd op een winstmarge op de hierboven omschreven activiteiten.

Als combinatie Liggers2.0 nemen wij na fase 2 een rol in de keten van "oogsten" tot herinzet van gebruikte prefabliggers. SGS Intron verzorgt de onafhankelijke keuring en toetsing om liggers met kwaliteitsverklaring vrij te geven. In fase 2 willen wij scherp krijgen welke rol Rijkswaterstaat voor zichzelf ziet in de keten om tot hergebruik te komen, zoals bijvoorbeeld de opslag, het koppelen van vraag&aanbod en (rest)waardebepaling. Andere partijen mogen uiteraard ook liggers hergebruiken; we laten iedere partij hierin vrij en spelen een stimulerende rol.

Wij nemen het voortouw in het opzetten van een niet-exclusieve, openbare marktplaats om vraag&aanbod te verbinden. Op deze manier willen we op een open manier maximaal samenwerken met Rijkswaterstaat en de markt om onze gezamenlijke circulaire ambities te realiseren.

Fase 2

Fase 2 bestaat uit het daadwerkelijk opbouwen van een brugdek:

- In fase 2a maken wij de verworven liggers geschikt;
- In fase 2b stellen wij het nieuwe brugdek samen.

Omdat wij in dit concept geloven zijn we vooruitlopend op de werkzaamheden van fase 2a gestart met het verwerven van liggers en ze te demonteren en op te slaan. Hiervan zijn (film)beelden gemaakt (zie foto's-2,3). In fase 2a gaan wij deze liggers ontdoen van o.a. de druklaag, ze inspecteren, schades herstellen, ze beproeven en door SGS laten keuren. In fase 2b gaan we de liggers integreren in een viaduct. Hiervoor hebben wij via onze combinanten Haitsma en Dura Vermeer contacten met diverse gastprojecten. We hebben ook een terugvaloptie om een brugdek samen te stellen op de InnovA58 verzorgingsplaats of op eigen terrein van onze combinant Vlasman.

Onze combinatie is vol vertrouwen dat we het hergebruik van prefabliggers operationeel krijgen. Daarbij is het belangrijk dat wij onze plannen kunnen afstemmen met Rijkswaterstaat. Zodat we ons gezamenlijke doel zo efficiënt mogelijk kunnen bereiken.



Foto-2

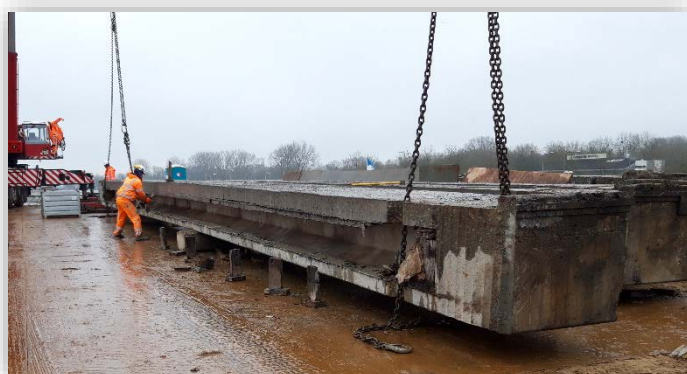


Foto-3

2. Uitvoering van het haalbaarheidsonderzoek

Onze doelstelling is om een deel van de nieuwe viaducten op te bouwen met prefabliggers die vrijkomen bij demontage van viaducten. Als bijdrage zodat u als Rijkswaterstaat in 2030 volledig klimaatneutraal en circulair kunt werken. Hergebruik van prefabliggers lijkt zo logisch, waarom gebeurt het dan nog nauwelijks? Dit is de probleemstelling die we in dit haalbaarheidsonderzoek hebben uitgewerkt.

De projectorganisatie is uitgebreid.

Aan het consortium Royal HaskoningDHV, Vlasman en SGS (zie projectvoorstel) zijn in fase 1 twee bedrijven toegevoegd, namelijk Dura Vermeer en Haitsma. Hiermee is het hele traject van ons voorstel geborgd. Wij gaan fase 2 in als projectsamenwerking waarbij RHDHV de penvoerder is, daartoe gemachtigd door de toekomstige mede-combinanten. Na fase 2 gaan wij verder als combinatie Liggers2.0, bestaande uit RHDHV, Dura Vermeer, Vlasman en Haitsma. SGS wordt ingehuurd als onafhankelijk expert.



Partij	Activiteiten/ Taakverdeling
Royal HaskoningDHV	Projectleiding. Kennis van RWS Areaal/Disk database, match van Vraag&Aanbod. Onderzoek naar belemmeringen en stimuleringsmogelijkheden hergebruik. Kennis van normen/RBK, berekeningen voor toetsen bestaande liggers. Constructieve Veiligheid. Test- en validatieplan. Opstellen notities (Opvraagbare producten fase 1). Uitvoeren herberekeningen. Contracteren demontage liggers. Besprekingen gastprojecten.
Vlasman	Knowhow en inzicht kosten van demonteren liggers. Uitvoeren van (horizontaal en verticaal) transport. Knowhow slooptechnieken om liggers herbruikbaar te maken. In fase 2a zal de knowhow ook worden ingezet.
Dura Vermeer	Kennis van projectmanagement uitvoering infraprojecten. Kennis van hergebruik van liggers (Referentie Florjade). Uitvoering van projecten met groot aantal liggers (zoals bijvoorbeeld VIA15). Eigenaar opslagterreinen Urban Miner. Samenstellen brugdek in fase 2b.
Haitsma	Vraagzijde liggers, waar zijn prefabliggers benodigd? Doorrekenen van brugdekken met prefabliggers. Kennis en uitvoering plaatsen liggers. Tekeningen en berekeningen archief. Kennis brugdek, o.a. functies einddwarsdrager. Eventueel produceren van extra (rand)liggers in fase 2b.
SGS intron	*) Onafhankelijk keurder en toetsen. Toetsing notitie restlevensduur. Verstrekker van kwaliteitsverklaring.

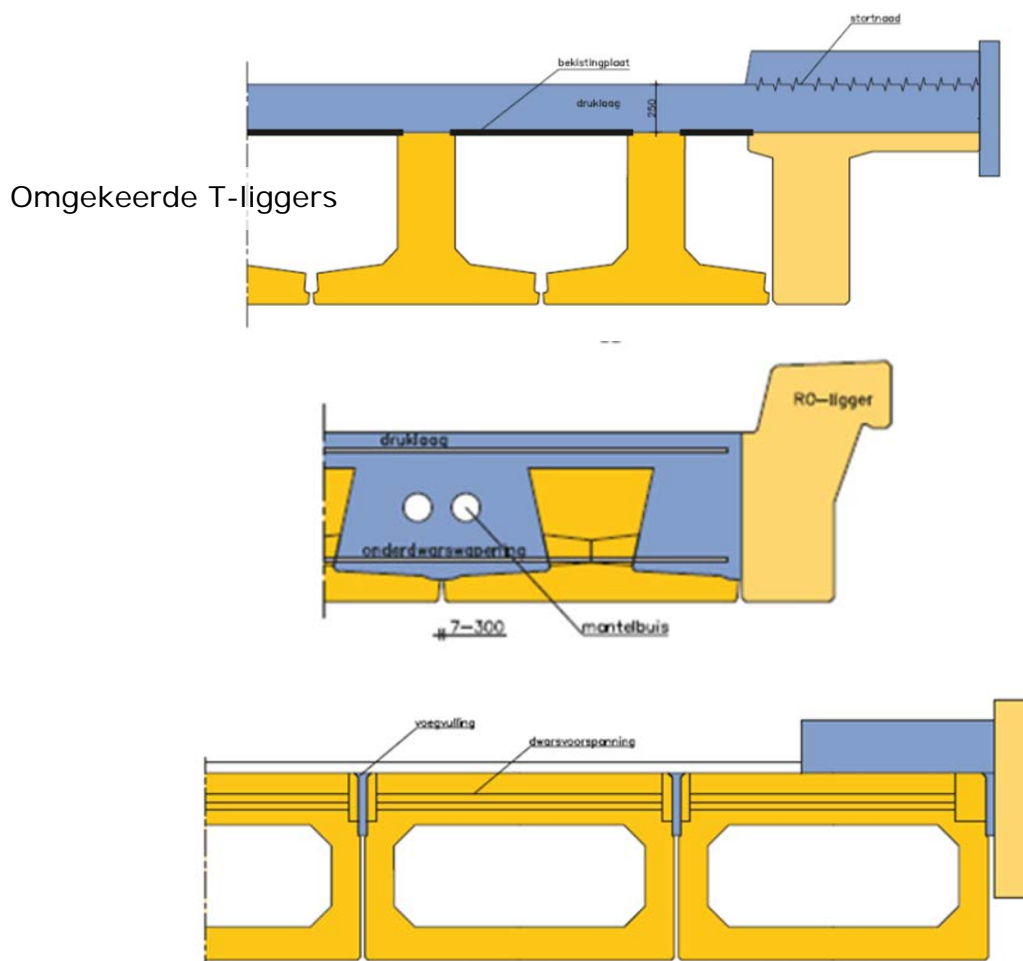
Met SBIR-CiVi partij "Closing the Loop" is afgestemd dat zij kennis inbrengen m.b.t. restlevensduur. Daarnaast willen wij samenwerken om meer delen van nieuwe viaducten te laten bestaan uit herbruikbare onderdelen. Daarom richten wij nu onze aandacht niet op andere herbruikbare materialen zoals randbalken, leuning, stootplaten, oplegbalken en kolommen.

T.o.v. het projectvoorstel is de focus in fase 1 gericht op de primaire processen van demonteren en herberekenen t.b.v. de pilot en het bepalen van de impact op het gebied van MKI in de bijlage van dit haalbaarheidsonderzoek. Het technisch concept is rekenkundig geverifieerd, zie hiervoor het rapport "Technische Onderbouwing Hergebruik Prefabliggers". De haalbaarheid van de uitvoering is met de uitvoerende partijen (Vlasman, Dura Vermeer en Haitsma) geverifieerd. Het proces van testen en valideren is opgenomen in dit eindrapport. De keuringen gebeuren in fase 2a.

In fase 2 gaan we verder met het ontwikkelen van onze ontwerptool om herbruikbare liggers te toetsen op herbruikbaarheid. We hebben het domein "Liggerbank.nl" geregistreerd; in fase 2 zal dit als platform ingericht worden, in afstemming met de (nationale)Bruggenbank.

Door de uitbreiding van ons consortium zijn de samenwerking en taakverdeling t.o.v. het projectvoorstel gewijzigd. Wij zijn overtuigd dat onze innovatie direct kan worden toegepast. Wij zijn in gesprek gegaan met potentiële gastprojecten en hebben herbruikbare liggers veiliggesteld. Dit heeft de samenwerking en het vertrouwen versterkt. Via Dura Vermeer Urban Miner is ook een grote opslagcapaciteit geborgd. Het consortium werkt in dezelfde projectomgeving waardoor alle informatie voor iedereen beschikbaar is.

De innovatie is mogelijk voor alle prefabliggers (zie figuur-1) maar wij richten ons in onderliggend eindrapport op de meest voorkomende: de omgekeerde T-liggers.

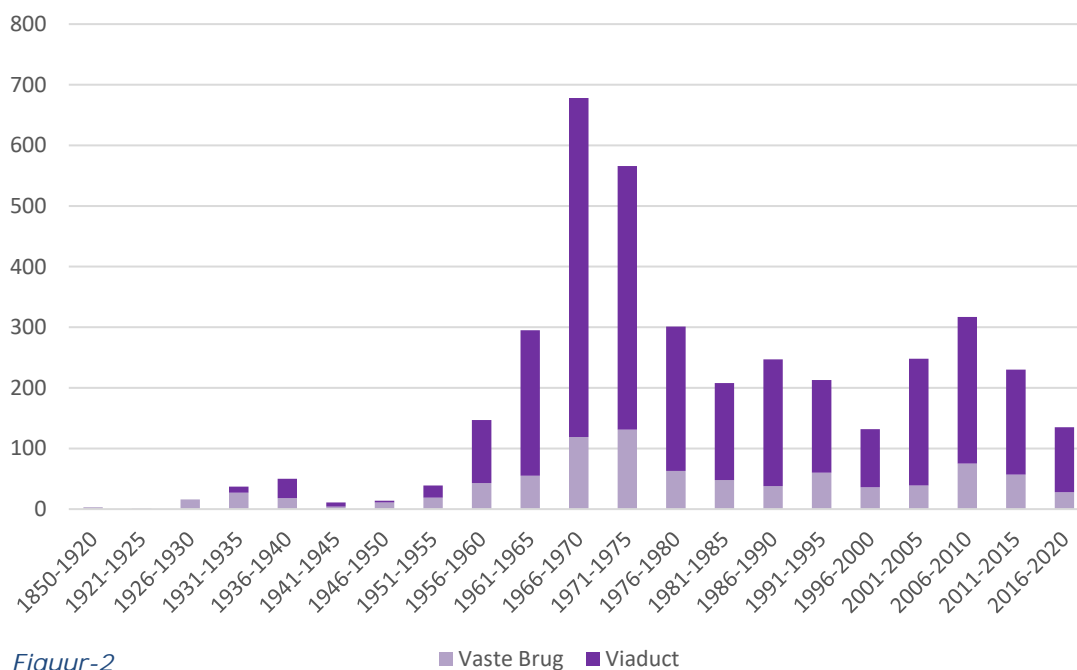


Figuur-1

3. Inhoudelijke bevindingen

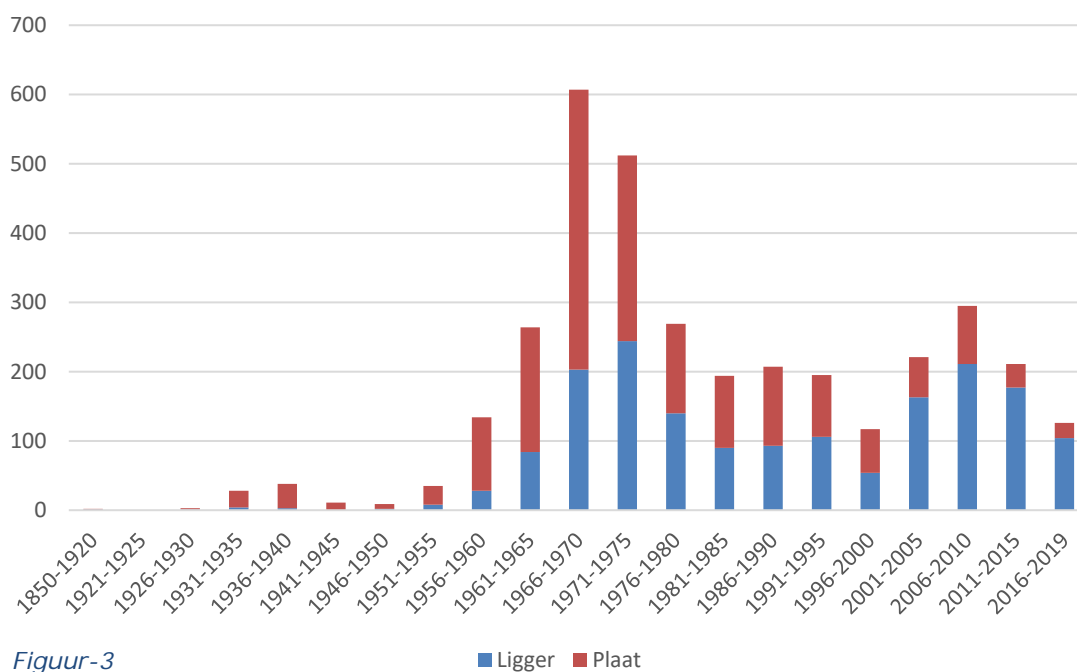
Het is voor ons logisch om liggers opnieuw te gebruiken. In feite bouwt Rijkswaterstaat al jaren modulaire viaducten, die zijn samengesteld uit geprefabriceerde en in het werk gestorte onderdelen. In samenwerking met TU Delft is uitgezocht waarom grootschalig hergebruik van elementen nog niet gebeurt. Om oplossingen te bedenken om de belemmeringen weg te nemen is onderzoek gedaan, door interviews af te nemen met 29 experts uit de sector. In de wetenschappelijke interviews met een representatieve afspiegeling van actoren uit het gehele werkveld zijn de belemmeringen en stimuleringsmogelijkheden geïnventariseerd waar wij verder op ingaan in paragraaf 3.2.

Stichtingsjaren bruggen (vast)&viaducten



Figuur-2

Stichtingsjaren Plaat/Ligger bruggen (vast)&viaducten



Figuur-3

In de database DISK (Digitaal Inspectie Systeem Kunstwerken, dd. eind 2020) zijn alle objecten van Rijkswaterstaat opgenomen.

Wij hebben een script geschreven om DISK te doorzoeken op het aantal liggerconstructies. Dit zijn er 1637 (45% van totaal aantal bruggen/viaducten, zie figuur-2).

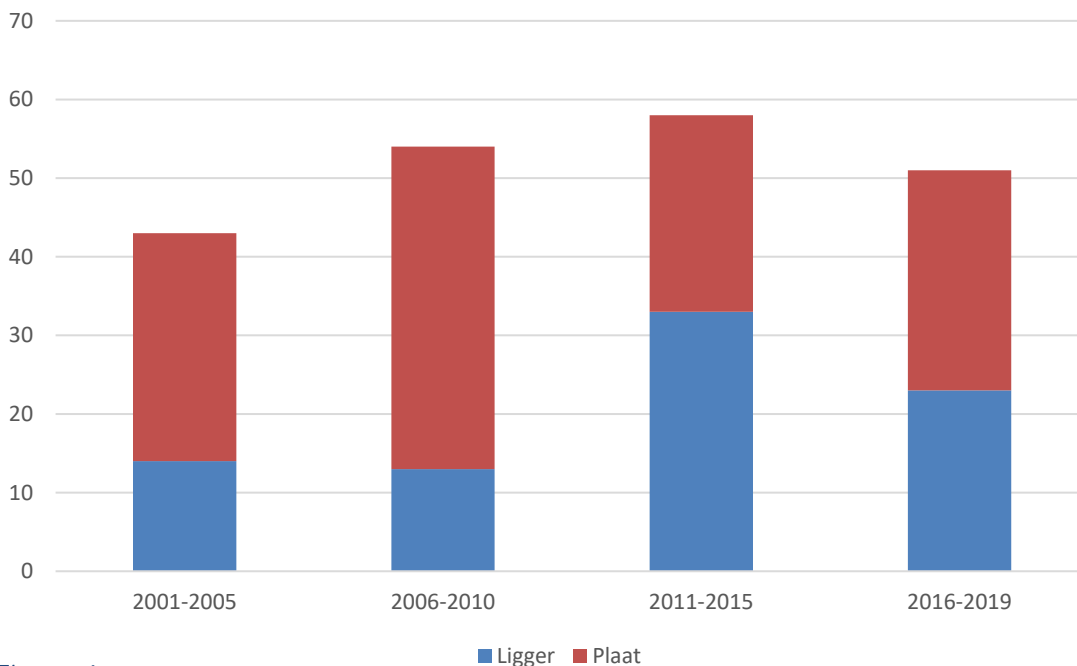
De gemiddelde leeftijd van deze liggerconstructies is 25 jaar en de gemiddelde kruisingshoek is 75°.

Hierbij heeft 32% een haakse kruising en 25% een kruisingshoek >81°.

Van deze ligger-kunstwerken (ca. 70%) ligt er 1140 in een rijksweg. Van de viaducten over de rijksweg (te beschouwen volgens de SBIR-uitvraag) is de gemiddelde leeftijd 29 jaar en de gemiddelde kruisingshoek 77.5°.

Hiervan heeft 46% een haakse kruising en 19% een kruisingshoek >81°. In figuur-3 is duidelijk te zien dat in de laatste decennia ongeveer 90% van de nieuwe constructies opgebouwd is met liggers.

Sloopjaren Plaat/Ligger bruggen (vast)&viaducten

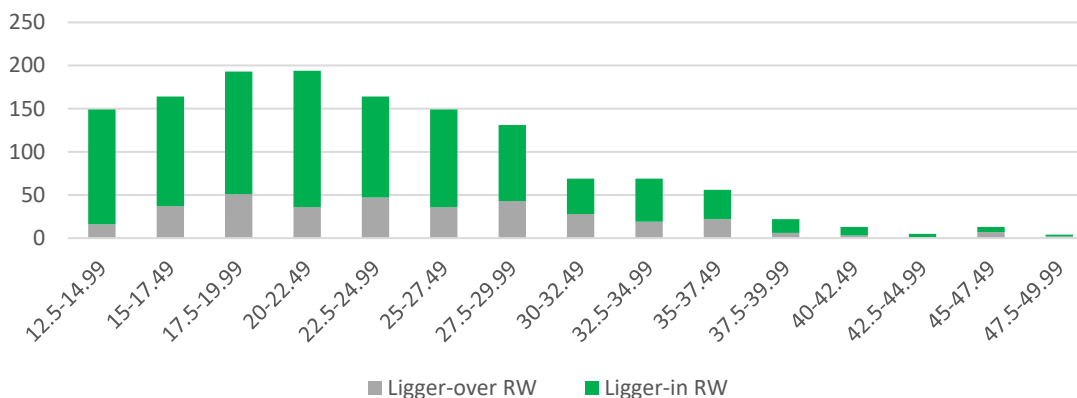


Figuur-4

Ook de sloopjaren van de constructies wordt bijgehouden, zie figuur-4. Gemiddeld zijn in het laatste decennium 12 viaducten per jaar gesloopt waarvan 7 met liggers. De gemiddelde leeftijd van deze gesloopte liggerviaducten bedraagt 40 jaar en de gemiddelde kruisingshoek 79°.

Ruim de helft van de bestaande liggers in het areaal van Rijkswaterstaat is tussen 17,5m en 30m lang. Ongeveer een kwart van de viaducten over de rijksweg heeft een overspanning >30m. Zie figuur-4.

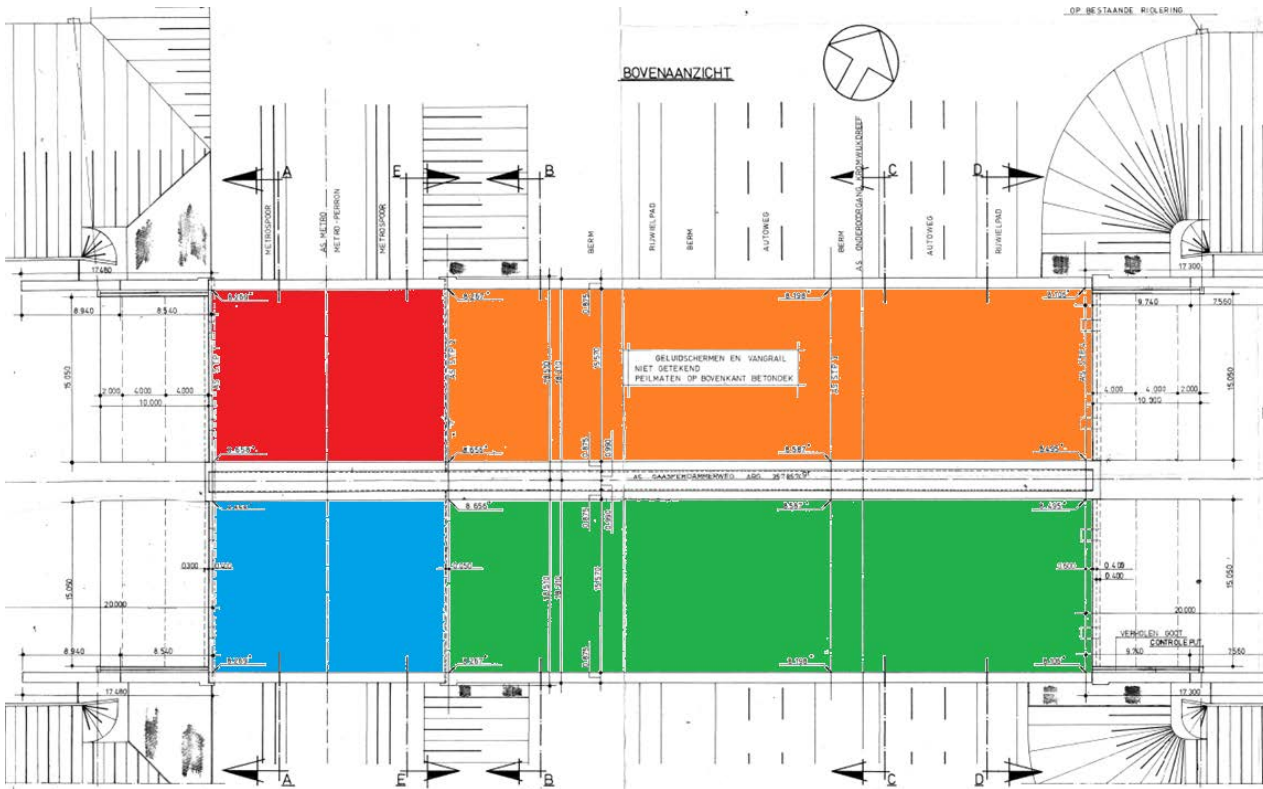
Gemiddelde overspanningslengte Liggers bruggen (vast)&viaducten



Figuur-5

Viaduct A9 Kromwijkdreef

Bij ons onderzoek stuitte wij op vrijkomende liggers in de A9 Gaasperdammerweg. Wij realiseerden ons dat wij via dit project een aantal liggers konden laten demonteren ten behoeve van de mogelijke pilotfase van ons initiatief. De sloop van het viaduct Kromwijkdreef bood deze kans en bouwcombinatie IXAS en Rijkswaterstaat hebben hieraan hun volledige medewerking gegeven. Wij baseren ons eindrapport op dit viaduct, dat tijdens deze haalbaarheidsstudiefase is gesloopt. Door aanleg van de Gaasperdammertunnel in de A9 is dit viaduct overbodig geworden.



Figuur-6 Bovenaanzicht viaduct KW155-Kromwijkdreef



Figuur-7 Foto's uit 2013

2016 en

2019

In de opname uit 2013 zijn de originele viaducten (1980) te zien. De westelijke overspanning van 22,05m gaat met omgekeerde T-liggers over de metrolijn. De overige twee overspanningen gaan over de Kromwijkdreef (in-situ voorgespannen beton). Aan de zuidzijde is in 2015 een bypass gemaakt met 3 overspanningen van omgekeerde T-liggers van 22m en 35,5m lang. De A9 is in zuidelijke richting verschoven over het originele zuidelijke viaduct en de tijdelijke uitbreiding. In 2016 is het noordelijke viaduct gesloopt om plaats te maken voor de tunnel. In 2021 zijn het originele zuidelijke viaduct en de tijdelijke bypass gesloopt.

Wij hebben afgewogen hoe wij met de vrijkomende liggers zouden omgaan. Het viaduct heeft meerdere overspanningen en is ook tussentijds met nieuwere liggers verbreed. De liggers met een kleinere lengte (zie rood dek, figuur-6) kunnen we toepassen in onze pilot voor fase 2; we hebben ervoor gekozen om deze te oogsten. Hierbij was nog keus tussen de 5 jaar oude liggers uit de bypass en de 40 jaar oude liggers uit het oorspronkelijke viaduct. We hebben voor de oude liggers gekozen omdat deze de situatie representeren die we bij opschalen het meest zullen tegenkomen. De liggers met de grote overspanning (35,5m) passen wij toe in onze case, om hiermee voor fase 1 de winst in MKI en kosten te bepalen t.o.v. een traditionele oplossing.

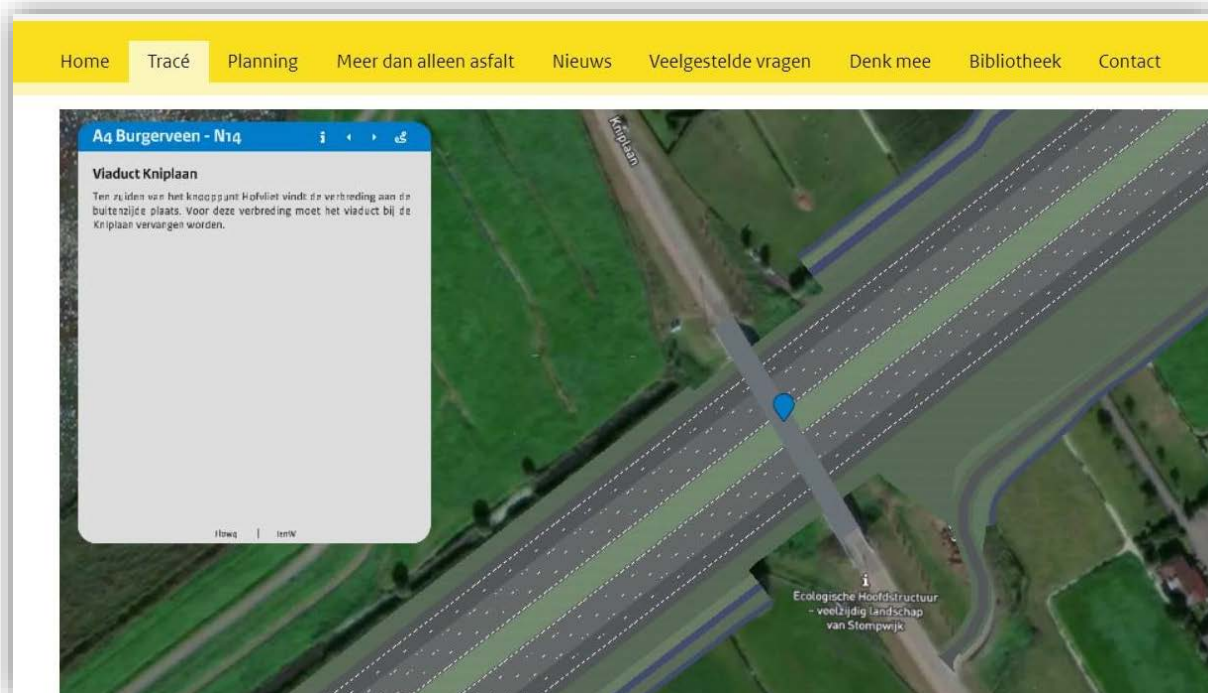
Case

Voor de case maken we gebruik van de (5 jaar oude) liggers met een lengte van 35,5m (dek tussen assen 2--3, zie foto-4). Deze liggers zijn ontworpen op de huidige eisen voor 'Nieuwbouw' uit het Bouwbesluit. In het haalbaarheidsonderzoek tonen we met een berekening aan dat deze liggers in de nieuwe situatie aan de nieuwbouweisen voldoen.



Foto-4

Vanuit dit aanbod hebben we gekeken naar de vraagkant. Hiervoor hebben wij de case Viaduct Kniplaan in de A4 Burgerveen-N14 gekozen. Zie de interactieve kaart bij <https://www.a4burgerveen-n14.nl/trace/default.aspx>. "Ten zuiden van het knooppunt Hofvliet vindt de verbreding aan de buitenzijde plaats. Voor deze verbreding moet het viaduct bij de Kniplaan vervangen worden."



Figuur-8

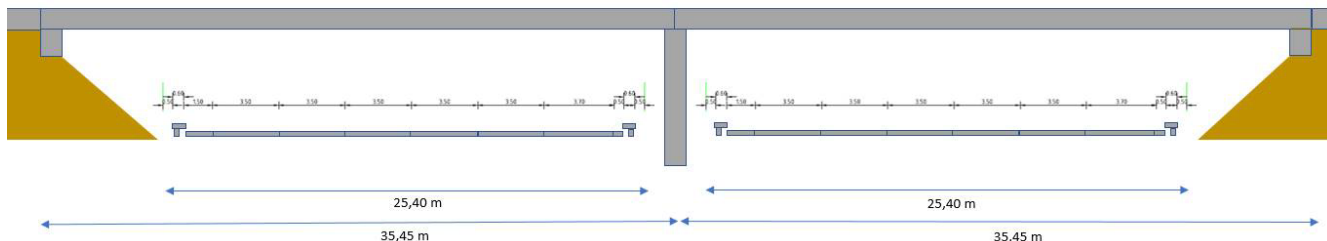
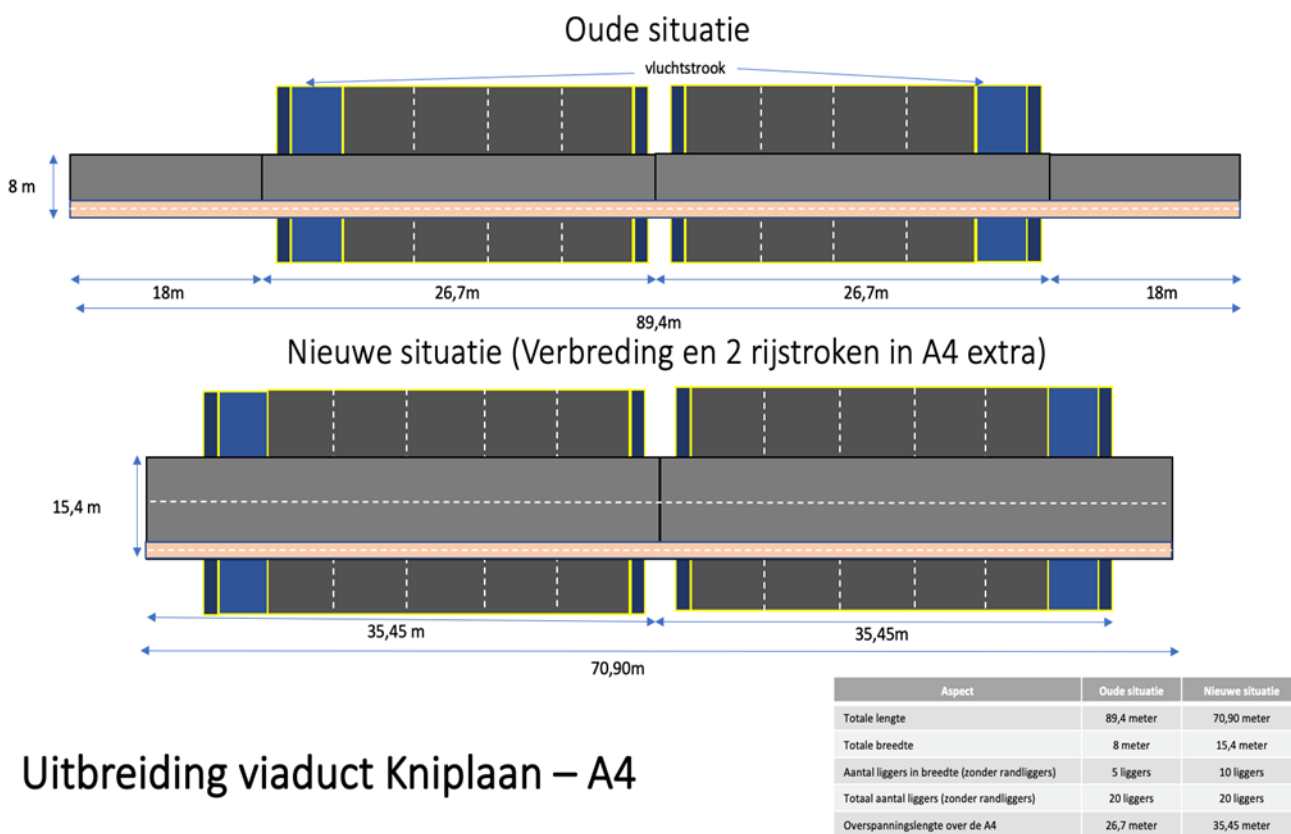
De Kniplaan gaat over de A4 heen. Voor onze case gaan we uit van de komende vervangingsopgave (zie figuren 8 en 9). Behalve met de verbreding van de A4 (2x4 naar 2x5 rijstroken) en verbreding van de Kniplaan, wordt rekening gehouden met een toekomstige verdere verbreding naar 2x6 rijstroken. Met onze lange liggers is het mogelijk gebleken om conform de huidige situatie te werken met een economisch aantrekkelijk hooggefundeerd landhoofd met een talud. In tegenstelling tot de huidige situatie is hiervoor geen extra

overspanning nodig en beperken wij de lengte van het gehele viaduct tot 2x35,5m, waarbij we het principe refuse/rethink hebben toegepast. Wij maken daarbij gebruik van vrijkomende liggers bij de Kromwijkdreef. Aangenomen is dat de liggers een half jaar worden opgeslagen voordat ze op transport gaan. Na plaatsing van de liggers op de onderbouw wordt een in-situ betonnen druklaag aangebracht, idealiter van eco-beton (beton met tot 100% gerecycled toeslagmateriaal); dit kon niet in de MKI-berekening worden verwerkt. In tegenstelling tot het gangbare ontwerp wordt geen eindbalk toegepast, vanuit het principe refuse/rethink. We onderbouwen dat slechts met een (beperkte) verdikking van de druklaag t.p.v. de voegconstructie volstaan kan worden. Ook wordt hierdoor de mogelijkheid tot demontage (modulair/losmaakbaar) groter. Indien het brugdek (zoals nu na 30 jaar) eerder dan 100 jaar wederom functioneel niet voldoet kan het viaduct hierdoor eenvoudiger gedemonteerd worden en zijn de liggers voor een derde leven beschikbaar!

Voor de middenpijler gaan we uit van de ontwerpfilosofie van het bestaande kunstwerk: stalen buispalen als fundering, gedeeltelijk met beton gevuld en voorzien van een oplegbalk. De combinatie van buispalen en beton zorgt voor een lange levensduur en hoog draagvermogen. Hierdoor kan het tussensteunpunt in de toekomst hergebruikt worden. Ook is de stalen buispaal na sloop te hergebruiken of recycelen en wordt in totaliteit op materiaal bespaard.

De prefabliggers in het bestaande Kniplaanviaduct kunnen goed hergebruikt worden in het project InnovA58. Ze worden voor de case dan ook gedemonteerd en afgevoerd naar een opslaglocatie. Deze liggers krijgen zo eveneens een 2^e leven (en wellicht 3^e of 4^e leven).

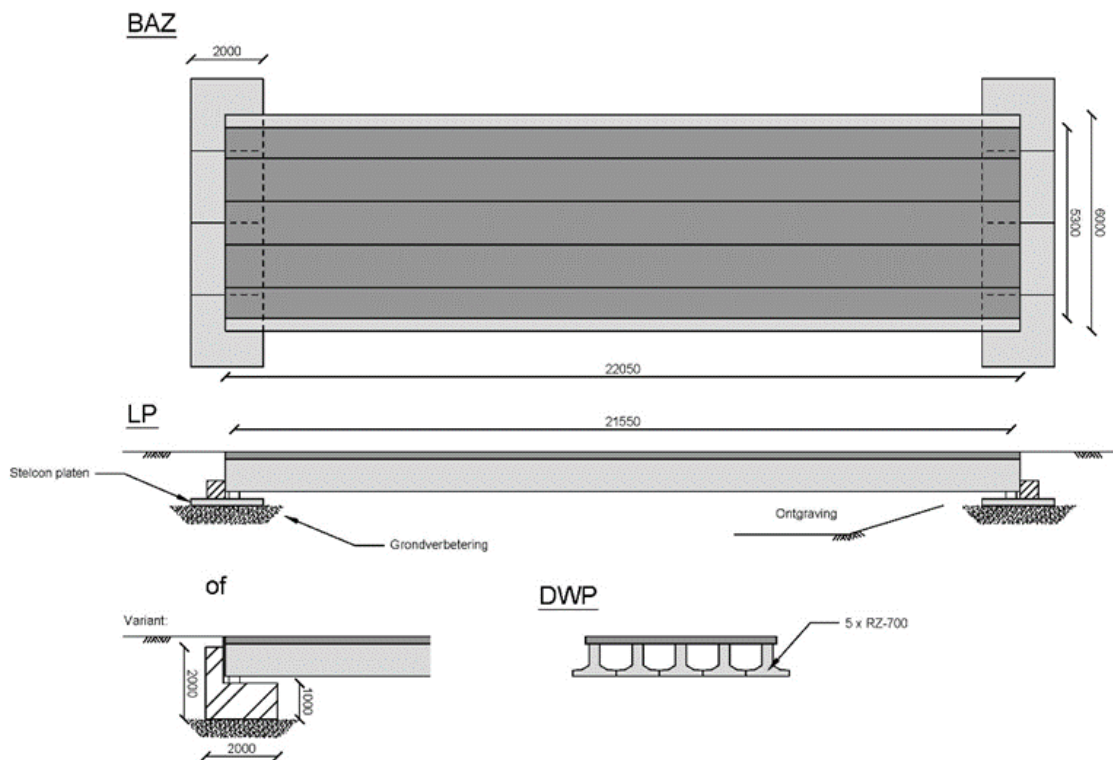
Voor het referentieviaduct maken wij gebruik van hetzelfde ontwerp met nieuwe liggers, een in-situ eindbalk en een druklaag van traditioneel beton. Wanneer de ontwerpfilosofie van het bestaande viaduct zou zijn doorgezet, was de hoofdoverspanning kleiner maar waren extra zijoverspanningen nodig. De lengte van het referentieviaduct zou dan langer worden wat de vergelijkbaarheid bemoeilijkt en een te gunstige voorstelling van zaken geeft voor het viaduct met de hergebruikte liggers. Voor het referentieviaduct gaan wij uit van een traditionele middenpijler met een op betonpalen gefundeerde middenpijler, een funderingsbalk, betonnen kolommen en een oplegbalk.



Figuur-9

Pilot

Voor onze pilot werken we met 40 jaar oude liggers van 22,05m lengte. In het haalbaarheidsonderzoek hebben we rekenkundig aangetoond dat deze liggers conform de vigerende richtlijnen en het Bouwbesluit voldoen om constructief veilig toe te passen.



Figuur-10 Principe-opstelling Pilot (terugvaloptie)

We tonen met de pilot aan dat deze oude liggers gedemonteerd en hergebruikt kunnen worden (zie figuur 10&18). Anderzijds zijn de kosten voor demontage, transport en opslag van 22,05m lange liggers lager dan voor 35,5m lange liggers. Hoewel 13 liggers beschikbaar waren kon voor de pilot volstaan worden met 6 liggers.

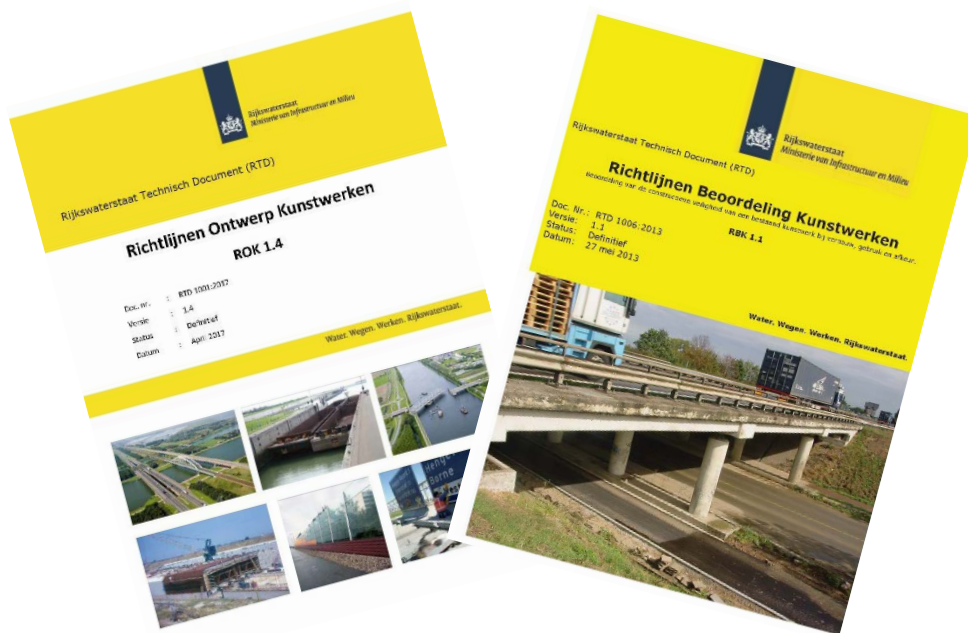
We hebben er bewust voor gekozen om de oudere liggers, die gedimensioneerd zijn volgens de oudere norm VB'74 voor de pilot te gebruiken. De 5 jaar oude liggers zouden uiteraard ook herbruikbaar zijn geweest. Deze liggers zijn helaas conform het reguliere proces gesloopt.

T.b.v. de haalbaarheidsstudie zijn 4 notities opgesteld (zie hoofdstuk 7). De inhoud van deze notities is hier kort weergegeven.

Notitie SBIR Gebruik (bouw)regelgeving voor hergebruik prefabliggers

Voor de berekening van prefabliggers die hergebruikt worden in nieuwe viaducten is bouwregelgeving beschikbaar. Voor een viaduct met omgekeerde T-liggers met druklaag worden de hergebruikte prefabliggers berekend volgens de eisen voor 'Verbouw' vanuit NEN 8700. Voor het Rijkswaterstaatareaal betekent dit dat voor de hergebruikte prefabliggers de RBK wordt toegepast.

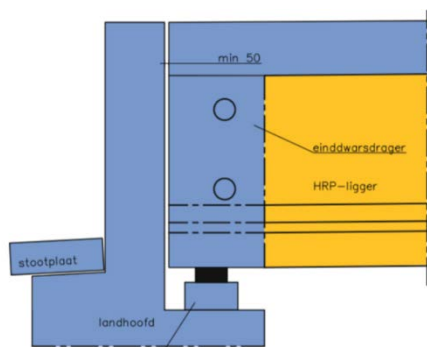
De druklaag is een nieuwe constructie op de hergebruikte liggers. De detaillering van de wapening in de druklaag (dekking e.d.) moet aan de Nieuwbouweisen voldoen. Voor het Rijkswaterstaatareaal betekent dit dat voor de berekening en detaillering van de druklaag de ROK wordt toegepast.



Figuur-11

Notitie SBIR Einddwarsdragers

In deze notitie zijn aan de hand van de functies van de einddwarsdragers oplossingen aangedragen om deze functies anders te vervullen. Dit kan voor alle functies. Einddwarsdragers kunnen dus achterwege blijven bij prefabliggerdekken. Voor de einddwarsdragers passen we hiermee het hoogste R-niveau, 'refuse', van mate van circulariteit toe. Indien in (nieuwe) viaducten, opgebouwd uit (nieuwe/hergebruikte) liggers dit principe toegepast wordt, nemen de mogelijkheden voor hergebruik van deze liggers (demontabel bouwen) in de toekomst toe. De principes van de NTA voor industrieel, flexibel en demontabel bouwen voor vaste bruggen (door NEN in ontwikkeling met de markt) zijn hier al toegepast.



Figuur-12

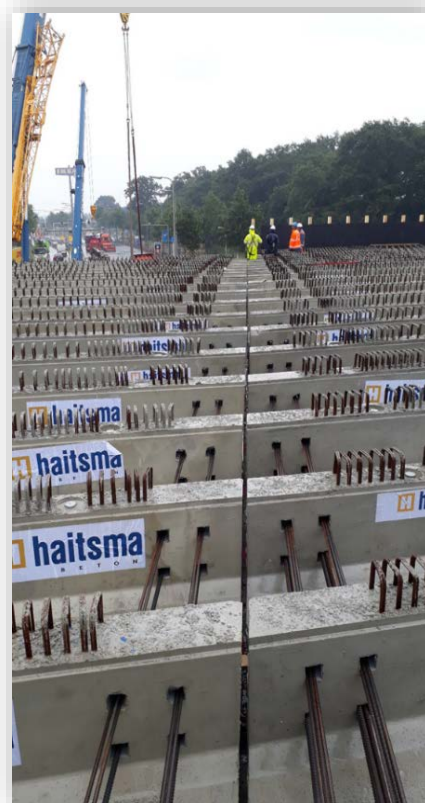


Foto-5 Wapening t.b.v. reguliere einddwarsdrager

Notitie SBIR Restlevensduur

In het algemeen heeft de hoogwaardige, fabrieksmatige productie van voorgespannen betonnen prefabliggers, met een hoge betonkwaliteit en een goede dekking, geleid tot liggers die niet aangetast worden in de eerste 50 jaar. Dit blijkt ook uit onderzoek aan representatieve liggers. Bij extrapolatie van de gevonden aantasting wordt geen aantasting in de eerste honderden jaren verwacht. Daarmee is het mogelijk om alleen met een visuele inspectie de specifieke liggers te inspecteren om risico op verminderde levensduur te borgen. Er is geen aanleiding om op voorhand (destructief)-onderzoek te doen naar de aantasting van te hergebruiken prefabliggers.

Daarmee kan ook worden vastgesteld dat tijdens de levensduur (volgens SBIR-uitvraag maximaal 200 jaar) geen onderhoud aan deze liggers hoeft te worden uitgevoerd.



Foto-6 Omgekeerde T-liggers Af fabriek



Foto-7 Montage

Notitie SBIR Procedure delven prefabliggers

Voor de pilot zijn liggers gedemonteerd. Het sloopbedrijf heeft geen extra maatregelen getroffen t.o.v. de reguliere manier van slopen. Het enige verschil voor deze operatie was dat de liggers in zijn geheel zijn afgevoerd in plaats van ze na het uithijzen in kleinere delen te slopen (zie foto-8). Deze liggers zijn voor de pilot herbruikbaar. De notitie beschrijft de demontage en aandachtspunten bij de sloop.



Foto-8 Demontage Kromwijkdreef

Door de sloop zijn enkele voorspanstrengen beschadigd (zie foto-9) van één ligger tijdens het reguliere aanbrengen van een hijsgat. In de herberekening hebben we dit effect meegenomen. Door de robuustheid van de liggers heeft deze schade geen invloed op de toepasbaarheid en restlevensduur van de ligger.

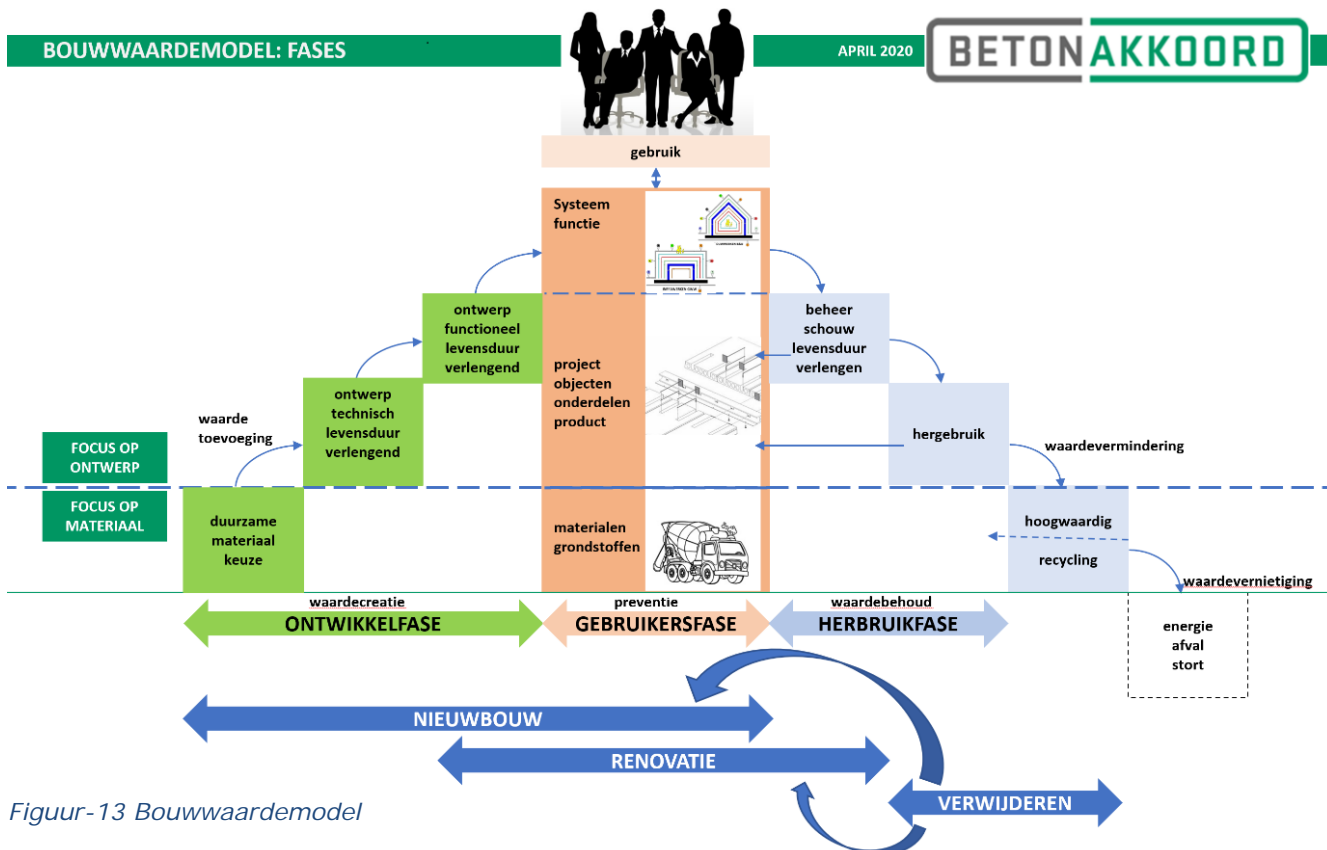


Foto-9 Beschadigde voorspanstrengen t.p.v. hijsgat

3.1 Impact

De bijdrage van het consortium aan de oplossing van het probleem uit de oproep.

Ieder lid van ons consortium heeft duurzaamheid in zijn bedrijfsdoelstellingen staan. Zo werkt iedere partij binnen zijn eigen netwerk aan het creëren en het vergroten van het draagvlak in projecten voor het toepassen van gebruikte liggers en andere componenten. Voorbeelden daarvan zijn de filmpjes die gepost zijn op sociale media van het demonteren en opslaan van liggers. En het actief zoeken naar projecten waar liggers vrijkomen en naar projecten die nieuwe liggers nodig hebben zodat mogelijk een match gemaakt kan worden. Hierbij ondervinden wij groot enthousiasme bij zowel overheden als bedrijven voor ons idee, waardoor het draagvlak voor circulaire viaducten wordt vergroot.



Figuur-13 Bouwwaardemodel

De impact van onze oplossing voor het probleem uit de oproep.

Onze innovatie draagt direct (dus niet over 40 jaar) significant bij aan het verminderen van het gebruik van primaire grondstoffen en CO2-uitstoot. Dit is een onderdeel van het volledig circulair worden van de sector (zie figuur-13). Hiervoor moet het draagvlak voor het gebruik van herbruikbare materialen (of dat nu liggers zijn of andere onderdelen) worden vergroot. De cultuur in de sector is gericht op het gebruik van nieuwe elementen en dat moet veranderen! Daarom zijn wij fase 1 begonnen met het inventariseren van de belemmeringen voor hergebruik. Daaruit komt veel nuttige informatie die wij gebruiken om de drempels voor hergebruik zoveel mogelijk te verlagen. Een belangrijk effect is dat de spelbepalers in de sector door de vragen in de interviews uitgedaagd zijn om na te denken over hergebruik. Daarmee werken wij al concreet aan de noodzakelijke cultuurverandering.

Bij de haalbaarheid gaan we in op de belemmeringen en stimuleringsmogelijkheden. We geven duidelijkheid in regelgeving en restlevensduur, zorgen voor opslagmogelijkheden en voor economisch perspectief. We zijn overtuigd dat we zonder grote investeringen een substantiële bijdrage (zie onderstaande tabel) leveren aan het gedefinieerde maatschappelijke probleem.

De mate van milieu-impact en circulariteit van de voorgestelde innovatie

De meerwaarde van onze innovatie zit in het hergebruik van prefabliggers, wat een aanzienlijke besparing oplevert in het grondstoffenverbruik, de milieu-impact en de CO2-uitstoot in vergelijking met de traditionele werkwijze. Zie onze Excel bijlage met de berekening conform het format 'milieu-impact en circulariteit SBIR CiVi'. De milieu-impact is gebaseerd op de representatieve case uit het begin van dit hoofdstuk. Ook is gekeken naar de ontwerpoptimalisatie die hierbij mogelijk is.

We hebben in onderstaande tabel de impact niet alleen op het totale viaduct beschouwd maar ook op de verschillende onderdelen. Waaruit blijkt dat de MKI-besparing van 40% voor het gehele viaduct toeneemt naar 73% als je het op de ligger zelf beschouwd.

Besparing o.b.v. case	Hergebruik heel viaduct	Hergebruik bovenbouw	Hergebruik ligger+druklaag	Hergebruik ligger alleen	Per viaduct	Per jaar (10 viaducten)
MKI-besparing	40%	49%	61%	73%	€29.460	€294.600
CO2-besparing	45%	57%	72%	87%	331 ton	3310 ton
Abiotische grondstoffen besparing	48%	58%	73%	93%	0,3 kg	3 kg

De MKI-waarde van de innovatie is €44.056 bij een levensduur van 50 jaar. Ten opzichte van onze referentiesituatie (€73.516) bespaart dit €29.460, een verschil van 40%. De winst is in de eerste plaats te verklaren door het hergebruik van materiaal waardoor hiervoor geen milieu-impact hoeft te worden gerekend. Daarnaast zijn nog enkele optimalisaties in het ontwerp mogelijk door het hergebruik. Tot slot is demontage van het vorige viaduct duurzamer dan slopen.

De besparing op CO2-uitstoot is 45% ten opzichte van de referentiesituatie en is op dezelfde manier te verklaren als de reductie van de MKI-waarde. De besparing van abiotische grondstoffen is 48% t.o.v. de referentiesituatie. In ons ontwerp passen we 1.814ton aan beton en staal toe; in het traditionele ontwerp 3.340ton. Dat is een besparing van 1.526ton aan materiaal per viaduct. In de bijlage is nog geen rekening gehouden met het gebruik van Ecobeton voor de in-situ onderdelen zoals de druklaag. Toepassing hiervan zorgt voor een verdere reductie.

Als levensduur voor het viaduct is gekozen voor 50 jaar, omdat uit de praktijk blijkt dat dit de gemiddelde functionele levensduur is. Tegelijk is het mogelijk dat de liggers tot meer dan 200 jaar meegaan. Dit schept mogelijkheden om de levensduur voor de MKI-berekening op te rekken naar 200 jaar. Weliswaar verandert de MKI-besparing relatief weinig (de principes blijven hetzelfde), maar door de liggers voor een 2^e en zelfs 3^e keer te hergebruiken kan de MKI-waarde over de gehele levensduur van 200 jaar wel aanzienlijk worden gedrukt. Na afloop (leeftijd liggers >200 jaar) kan het beton alsnog tot betonpuingranulaat (in grind, zand en cement) vergruisd worden. Door de hoge kwaliteit van het materiaal en minimale indringing van agressieve stoffen is de kwaliteit van dit granulaat zodanig dat dit zelfs voor 100% het toeslagmateriaal in nieuwe liggers kan vormen.

Om dit inzichtelijk te maken is een kleine rekensom gemaakt met 3 scenario's:

- Scenario 1: traditionele variant(tv) na elke 50 jaar (tv – tv – tv).
- Scenario 2: traditionele variant en hergebruik(hg) wisselen elkaar af (hg – tv – hg).
- Scenario 3: liggers worden elke 50 jaar hergebruikt (hg – hg – hg).

Scenario	MKI-waarde	Besparing (€)	(%)
1	€209.901		
2	€150.982	€58.919	-28%
3	€119.938	€89.963	-43%

De toepasbaarheid en schaalbaarheid van de voorgestelde innovatie

Het hergebruik van liggers kan bij kleine- en grote overspanningen en voor smalle- en brede brugdekken. Voor viaducten waar de snelweg onderlangs of bovenlangs gaat en voor kruisingen met (spoor)wegen, water en natuur. Voor nieuwe viaducten en verbredingen van bestaande viaducten. Hergebruikte liggers kunnen gecombineerd worden met nieuwe, modern vormgegeven randliggers. De liggers zijn aanpasbaarheid in lengte en kruisingshoek; het hoeven dus geen haakse kruisingen te zijn. Ze zijn ook herbruikbaar bij provincies, gemeenten of waterschappen. We hebben bijvoorbeeld nu al een concrete mogelijkheid bij de provincie Drenthe.

3.2 Haalbaarheid

Zoals eerder genoemd wordt zowel naar de technische- als de culturele-, organisatorische-, financiële- en institutionele haalbaarheid gekeken. In samenwerking met TU Delft is aan de hand van 29 wetenschappelijke interviews onderzocht wat de belemmeringen zijn voor hergebruik van prefabliggers. De geïnterviewden samen vormen een representatieve afspiegeling van actoren uit het gehele werkveld: opdrachtgevers, kennisinstellingen, engineering-&consultancybedrijven, (sloop)aannemers, vergunningverleners en liggerleveranciers. Uit wetenschappelijk literatuuronderzoek en interviews zijn de belemmeringen en stimulansen geïnventariseerd waaruit de oplossingen zijn geformuleerd. Het hele rapport met een uitgebreide analyse van de belemmeringen, stimulansen en oplossingen staat in hoofdstuk 7. De grootste belemmeringen worden hieronder kort benoemd.

De grootste belemmeringen zijn:

- Restlevensduur: de geïnterviewden geven aan dat de restlevensduur niet goed te beoordelen is en dat dit een grote belemmering is om liggers opnieuw toe te passen in een viaduct. Wij tonen in onze notitie Restlevensduur aan dat dit geen probleem is.
- Wet-®elgeving: de veranderende wet-®elgeving voor betonnen constructies wordt ook gezien als grote belemmering. Vanaf 1970 is de regelgeving regelmatig aangepast en aangescherpt. Hierdoor wordt verondersteld dat oudere viaducten niet aan de eisen van de nieuwste regelgeving voldoen. Met Rijkswaterstaat, TNO en TU Delft staat Royal HaskoningDHV aan de basis van de rekenrichtlijnen voor bestaande constructies, waarmee de restlevensduur van betonnen constructies getoetst wordt. Hieruit blijkt dat ligger die geproduceerd is op basis van oude normen, toch voldoet aan de geldende richtlijnen bij toepassing in een nieuw viaduct.
Onwetendheid en het denken in lineaire en op zichzelf staande projecten. Uit de interviews blijkt dat nog niet eerder is nagedacht over het hergebruik van viaductliggers en dat de hele bouwsector geënt is op een lineaire markt waarin geld en tijd de belangrijkste factoren zijn. We pleiten daarom voor een cultuuromslag en het is daarbij essentieel om kennis over het hergebruik van liggers beter te delen.
- De onzekerheid of een ligger in goede staat uit een viaduct kan worden gedemonteerd. Wij tonen aan dat dit wel mogelijk is.
- Het idee dat herbruikbare onderdelen niet passen in het ontwerp van een nieuw viaduct. Dit heeft te maken met de lengte, hoogte en kruisingshoek van de viaductliggers en met de beperkte ontwerpvrijheid voor nieuwe viaducten. Verder is er nog geen opslagplaats en digitale database waar de liggers opgeslagen zijn. Hierdoor worden vraag&aanbod niet bij elkaar gebracht. Wij hebben de toepasbaarheid van viaductliggers onderzocht, zie hoofdstuk 7. Liggers kunnen verantwoord worden ingekort en de kruisingshoek kan worden aangepast zodat prefabliggers vaak kunnen worden toegepast.



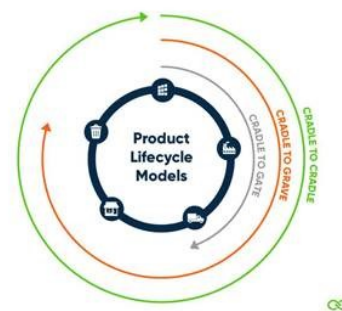
Foto-10 Voorbeeld van zagen en gezaagde prefabligger

Hoe meer bekend wordt over de toepassing van herbruikbare prefabliggers, hoe beter we met de hele infrastructuurmarkt de mogelijkheden kunnen benutten. We gaan met Rijkswaterstaat in gesprek over het principe Hergebruik gaat voor Nieuwbouw. We introduceren ons platform www.liggerbank.nl om marktbreed vraag&antwoord beter op elkaar af te stemmen en gaan verder met de database om herbruikbare liggers uit het areaal van te slopen viaducten te detecteren. We gaan door om helderheid te verschaffen welke regelgeving toegepast moet worden om herbruikbare liggers voor nieuwe situaties door te rekenen. En we delen de aandachtspunten bij het demonteren van liggers en het keuren bij de vrijgave van herbruikbare liggers. Hergebruik van prefabliggers is dan door een groot aantal partijen te realiseren.

In de interviews wordt aangegeven dat er meerdere oplossingen zijn om de bovengenoemde belemmeringen weg te nemen. De oplossingen zijn in detail uitgewerkt in de op te vragen documenten.

Technologische en haalbare benadering

Ons idee is technologisch voor de hand liggend omdat momenteel (technologisch startpunt) hoogwaardige liggers gemiddeld al na 40 jaar gesloopt worden terwijl ze minimaal 200 jaar meekunnen. Uit het onderzoek aan TU Delft naar de huidige belemmeringen blijkt dat de technische haalbaarheid geen grote belemmering is. Uit ons haalbaarheidsonderzoek blijkt dat liggers gedemonteerd en in hun originele functie hergebruikt kunnen worden (figuur-14). Per jaar worden ongeveer 4x zoveel liggerviaducten gebouwd dan gesloopt/gedemonteerd (vraag >> aanbod). Daardoor kan de tijd in een tijdelijke opslag kort zijn (veelal <1 jaar). Bovendien kunnen liggers ingekort worden tot ca. 80% van hun lengte waardoor gemakkelijker matches worden gemaakt. Het afstemmen van vraag&aanbod is belangrijk. Daarvoor moeten de gegevens van te slopen viaducten bekend zijn en moet zicht zijn op te realiseren viaducten. Ook is van belang om te weten welke voorspanning aanwezig is in de liggers en met welke norm deze zijn gedimensioneerd. Voor 90% van de viaducten is dit nu al bij ons bekend.



Figuur-14 ReUse(Cradle to Cradle)

Samenwerking consortium om innovatie te ontwikkelen

Ons consortium is uitgebreid om de innovatieontwikkeling nog sterker te borgen en ook na fase 2 een totaaloplossing te bieden en opschaling mogelijk te maken.

Zo is meer expertise aanwezig voor uitwerking van de businesscase en het voorbereiden van opschaling en hebben wij directere ingangen voor potentiële gastprojecten. Ook kunnen we nu als combinatie de hele cyclus met ervaren partijen invullen. Van het signaleren van vrijkomende liggers, berekenen, demonteren, transporteren, opslaan, aanpassen tot keuren. Ook is expertise voor het bouwen van nieuwe viaducten met gebruikte liggers (met kwaliteitsverklaring), en het fabriceren van aanvullende (rand)liggers in onze combinatie aanwezig. De onderbouwing van TRL-score 5 is opvraagbaar, zie hoofdstuk 7.

Kan een oude ligger in een nieuw viaduct voldoen aan vigerende normen?

In de afgelopen jaren zijn nieuwe, verzwarende normen gaan gelden. Het beeld leeft dat oudere liggers niet aan deze nieuwe normen kunnen voldoen. Uit de notitie "Gebruik (bouw)regelgeving voor hergebruik prefabliggers" volgt:

Voor het hergebruik van prefabliggers geldt de RBK als aanvulling op de ROK voor onderdelen die verbouwd (hergebruikt, aangepast, versterkt) worden (dus de liggers). Voor volledig nieuwe onderdelen gelden de nieuwbouwnormen (onderbouw) en dus ook de ROK. De RBK is op die onderdelen niet van toepassing. Omdat bij het type omgekeerde T met druklaag, de druklaag een nieuw onderdeel is en de ligger een bestaand onderdeel, geldt voor de samengestelde constructie de RBK. Echter de detaillering van de wapening in de druklaag (dekking e.d.) moet aan de Nieuwbouweisen (dus ROK) voldoen.

De memo is in het driegesprek met de kennisinstututen besproken. Hier kwamen geen inhoudelijke belemmeringen naar voren m.b.t. de beschreven uitgangspunten.

Op basis van deze uitgangspunten zijn de gedemonteerde liggers gecontroleerd voor toepassing in de pilot. Uit deze berekeningen blijkt dat deze omgekeerde T-liggers RZ700 van 40 jaar oud voldoen. De liggers zijn oorspronkelijk ontworpen conform VB'74 met verkeersklasse 60 uit de VOSB. Voor mogelijke nieuwe situaties zijn de liggers getoetst aan de RBK, de NEN8700 serie en de Eurocodes.

Hergebruik van fysiek ongewijzigde omgekeerde T-liggers

De technische haalbaarheid van hergebruik van omgekeerde T-liggers is aangetoond door herberekeningen uit te voeren voor twee fictieve situaties, waarin liggers uit 1980 van leverancier Liesbosch zijn toegepast in een kunstwerk met dwarsprofiel van een erftoegangsweg (8,6m breed met randafstand van 0,7m) en een gebiedsontsluitingsweg (12m breed met randafstand van 1,4m). Het kunstwerk is hierbij gelegen over de rijksweg. Uit de herberekeningen volgt dat de liggers over zowel voldoende momentcapaciteit als dwarskrachtcapaciteit beschikken om in een nieuwe situatie te worden toegepast. De dikkere druklaag in de nieuwe situatie resulteert in meer capaciteit van het brugdek. De liggers zijn ook getoetst op vermoeiing. De spanningen wijzigen t.o.v. het ontwerp door een toename in gewicht van de dikkere druklaag. Desondanks voldoen de toetsen van beton op druk en spanningswisseling in de strengen, waarmee een oneindige vermoeiingsrestlevensduur is aangetoond voor de liggers in een nieuw toepassingsgebied.

Tot slot is de scheurwijdte getoetst op basis van toelaatbare spanningswisseling in de voorspanstrengen. Deze toets voldoet ruimschoots, waarmee wordt voldaan aan de duurzaamheidseisen. Zodoende concluderen wij dat hergebruik van fysiek ongewijzigde omgekeerde T-liggers technisch haalbaar is. Door de fors hogere capaciteit zijn de liggers ook toepasbaar voor een viaduct IN de Rijksweg.

De toepasbaarheid van de liggers wordt vergroot als de liggers gemodificeerd kunnen worden. Voor een virtuele situatie is gewerkt met fysiek gewijzigde omgekeerde T-liggers door deze in te korten en de kruisingshoek aan te passen. Inkorten en aanpassen van de scheefheid van liggers is nader beschouwd door de invloed op de

reeds uitgevoerde toetsingen van de Liesbosch liggers inzichtelijk te maken. Het inkorten van liggers zorgt voor een positief effect op alle uitgevoerde toetsingen. Het optredend moment en de optredende dwarskracht wordt bij een kortere overspanning lager, terwijl de capaciteit voor buigend moment gelijk blijft in de middendoorsnede. De aanwezige beugels zijn afdoende om de resterende dwarskracht op te nemen. De spanningen bij de vermoeiingscontrole worden lager bij een kortere overspanning.

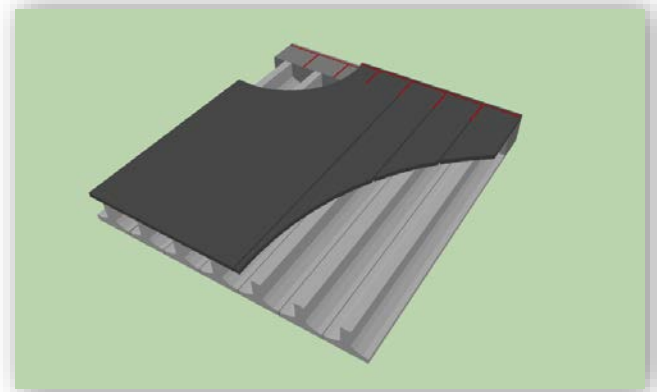
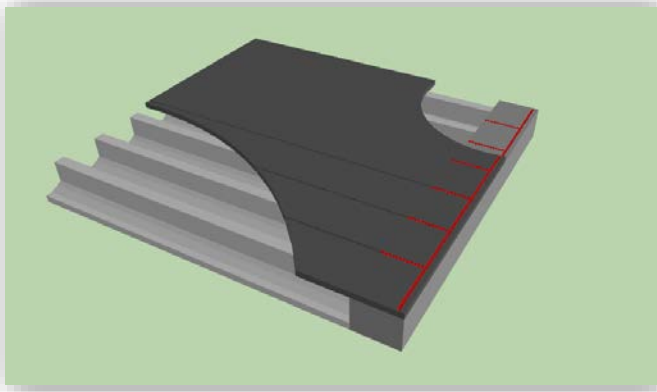
Voor het inkorten van de liggers is een extra controle nodig op splijten. Deze toets is uitgevoerd voor de Liesbosch liggers die fictief aan beide zijden zijn ingekort met 1m. Hieruit volgt dat de lagere voorspankracht (vanwege krimp, kruip en relaxatie) en toename in betonkwaliteit van de ligger, de toets op splijten zodanig positief beïnvloedt dat de opneembare kracht groter is dan de optredende splijtkracht. Verwacht wordt dan ook dat de voorspanning na inkorten van een ligger niet zorgt voor scheurvorming. Dit wordt bevestigd door een praktijksituatie waarbij liggers van Haitsma zijn ingekort, waarbij na het inkorten geen splijtscheuren zijn opgetreden. Zodoende concluderen wij dat hergebruik van ingekorte omgekeerde T-liggers, technisch haalbaar is. Daarmee is ook het wijzigen van een scheve ligger naar een rechte ligger mogelijk. Het aanpassen van de scheefheid kan in beperkte mate tot ca. 80% van de originele lengte.

Om aan te tonen dat liggers zonder onherstelbare schade zijn te demonteren, zijn op 6 februari 2021 liggers gedemonteerd en naar een opslagterrein getransporteerd. Deze liggers lagen al 40 jaar in het viaduct Kromwijkdreef in de A9 (zie Hoofdstuk 3) en zijn in goede staat gedemonteerd. Voor de sloopwerkzaamheden is een notitie gemaakt waarin het demontageproces beschreven is. Het onderzoek naar de technische haalbaarheid geeft een positief beeld.

In de pilotfase gaan we de liggers voor hergebruik geschikt maken en toepassen bij het samenstellen van een nieuw viaduct. Gekozen is om hierin een voorinvestering te doen omdat de gelegenheid zich voordeed. Het demonteren is met videobeelden gedocumenteerd. De gedemonteerde liggers hebben een druklaag en een gedeelte van de eindbalken. In fase 2a worden deze liggers verder behandeld voor hergebruik in fase 2b.

Kan een viaduct slimmer worden gebouwd zodat herbruikbaarheid eenvoudiger wordt.

In onze notitie "SBIR Einddwarsdragers" onderbouwen wij dat alle functies van de einddwarsdrager ook op een andere manier kunnen worden vervuld. Door einddwarsdragers weg te laten, wordt de demonteerbaarheid beter. Het doorboren van de einddwarsdrager (zie figuur-15,16&17, foto 11) is voor het demonteren een tijdrovende, dure en risicovol onderdeel.



Figuur-15&16



Foto-11 Resultaat boren en zagen

3.3 Economisch perspectief

De businesscase

Wij hebben voor onze case 'Viaduct Kniplaan' de investeringskosten vergeleken. Scenario 1 is de reguliere methode en omvat de sloop van het bestaande viaduct en bouw van een nieuw viaduct met nieuwe prefabliggers. Scenario 2 is de hergebruik methode, met het 'oogsten' van gebruikte liggers en bouw van een nieuw viaduct met de herbruikbare liggers die hiervoor aangepast zijn. Uit deze vergelijking volgt dat de investeringskosten bij hergebruik van liggers 8% lager zijn en 31% lager als we alleen het brugdek beschouwen. N.B. de tabel is een samenvatting van de SSK-calculatie (opvraagbaar, zie hoofdstuk 7).

	Kosten	Kosten	
Samenvatting	scenario 1	scenario 2	
Slopen betonnen dek (traditioneel)	€47.928		
Demonteren, opslag en vervoer betonnen dek (hergebruik)		€136.052	
Slopen steunpunten	€29.280	€29.280	
Slopen landhoofden	€14.920	€14.920	
Aanpassen prefabliggers		€33.375	
Bouwen landhoofden	€179.231	€182.218	
Bouwen steunpunt	€70.908	€42.889	
Bouwen brugdek	€765.857	€391.890	
Benoemde directe bouwkosten	€1.108.124	€830.624	
Bouwkosten	€1.690.357	€1.267.052	
Subtotaal investeringskosten	€2.135.996	€1.819.947	
Objectoverstijgende risico's 15%	€320.399	€272.992	
Totaal incl. BTW	€2.972.238	€2.532.456	
Levensduurkosten(LCC)	€2.791.566	€2.773.199	
Totale projectkosten incl. BTW	€5.763.805	€5.305.655	-8%
Benoemde directe bouwkosten brugdek	€13.785	€61.317	-31%

Voor deze innovatie is geen extra onderhoud nodig na inzet in een nieuw viaduct. De ervaring leert dat liggers onderhoudsvrij zijn zoals wij hebben aangetoond in onze notitie Restlevensduur. Deze case is bovendien een representatief praktijkvoorbeeld.

Kortom: de businesscase is gunstig omdat hergebruik van prefabliggers financieel concurrerend is en bovendien aantoonbaar duurzamer dan de reguliere werkwijze.

Stimuleringsmaatregelen voor opschaling

Uit het haalbaarheidsonderzoek blijkt dat hergebruik van prefabliggers nu al goed mogelijk is. Ogenscheinlijke belemmeringen voorkomen dat hergebruik nu niet plaatsvindt. In dat kader zien wij twee belangrijke opgaven om hergebruik van prefabliggers te bevorderen, namelijk kennisdeling en het extra stimuleren van hergebruik. Via kennisdelingssessies willen wij – samen met Rijkswaterstaat – opgedane kennis en ervaringen delen over hergebruik van prefabliggers, om daarmee koudwatervrees in de markt en bij (andere) opdrachtgevers weg te nemen. Hierbij denken wij aan de Bouwcampus en vakbladen. Het is belangrijk om hergebruik te stimuleren in aanbestedingen. Zo wordt hergebruik nu niet bevorderd ten opzichte van nieuwe liggers. Door naast MKI ook abiotisch grondstofgebruik (zwaarder) mee te wegen in EMVI-criteria wordt circulair hergebruik aangemoedigd. Door extra voorwaarden te stellen bij de sloop van viaducten met liggers ontstaat extra motivatie voor hergebruik. Hierbij denken wij bijvoorbeeld aan het tijdig aanbieden van herbruikbare liggers op www.Liggerbank.nl, om daarmee vraag&aanbod en omloopsnelheid in hergebruik te stimuleren. En het ter beschikking stellen van transport en opslag t.b.v. hergebruik, aangezien dit financieel opweegt tegen sloop ter plaatse. In fase 2 willen wij hiervoor samen met u en onze contractadviseurs tekstvoorstellen maken.

Circulair businessmodel

Het circulaire businessmodel (Figuur-17) dat wij in hergebruik van prefabliggers (ReUse) zien is tweeledig. Enerzijds zien wij het hergebruik als een vorm van duurzaam bouwen en duurzaam ondernemen, waar we met onze interne duurzaamheidsambities graag op inspelen. Uitdaging die we daarbij zien is om een kwalitatief gelijkwaardige optie te bieden met hergebruikte liggers die financieel concurrerend is, duurzamer is en die een gezonde marge oplevert. Dit haalbaarheidsonderzoek geeft ons het vertrouwen dat dit goed realiseerbaar is. Wij zien hergebruik van prefabliggers als een eerste stap naar grootschaliger hergebruik van bouwelementen, als onderdeel van de circulaire economie. Anderzijds zijn wij ons ervan bewust dat duurzaam bouwen een steeds zwaarder aspect wordt bij de gunning en realisatie van infraprojecten. Door in te spelen op hergebruik van prefabliggers nemen we als combinatie het voortouw en creëren we ook voor onszelf nieuwe mogelijkheden om duurzamer te bouwen. Dit versterkt voor alle combinanten de concurrentiekracht bij het verwerven van nieuwe projecten waarin duurzaamheid meeweegt.

IE-recht en gebruiksrecht

Wij gaan geen IE recht claimen of een gebruiksrecht vragen. Wij zijn bereid om vanuit een open source filosofie de opgedane kennis, inzichten en ervaringen samen met Rijkswaterstaat met de markt te delen. Daarmee bieden wij wat betreft IE-recht en gebruiksrecht de bovengrens aan. Wij hebben notities opgesteld die opvraagbaar zijn, zie 'Opvraagbare producten fase 1'. In fase 2 starten we met het opstellen van een (BRL-)richtlijn/aanbeveling voor hergebruik prefabliggers.

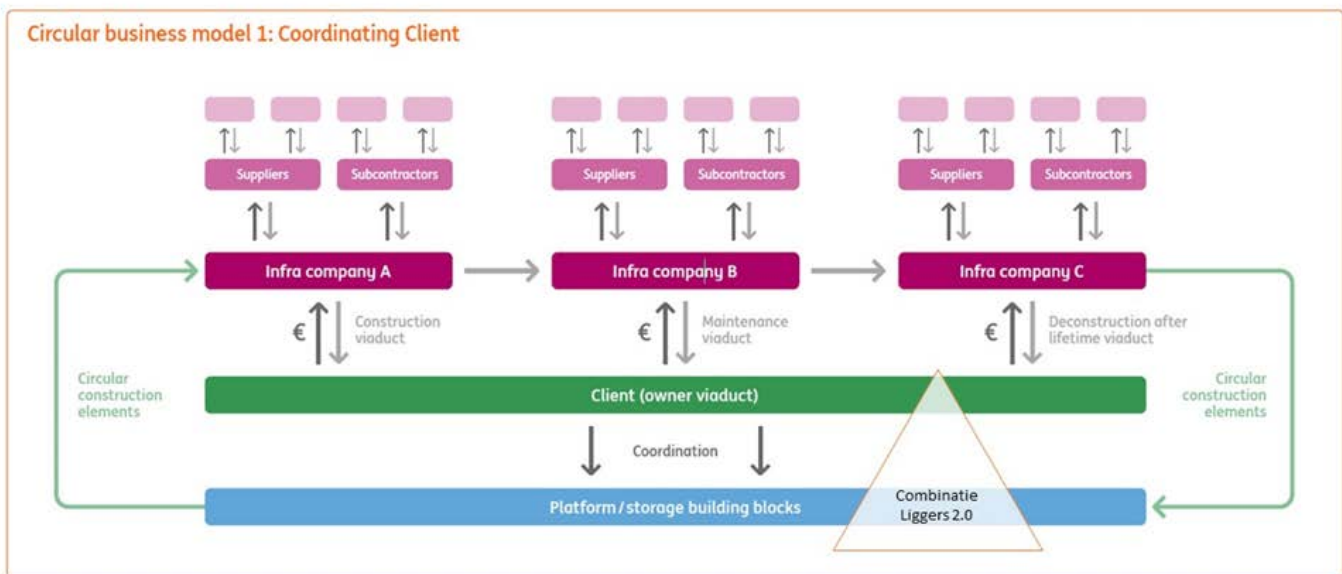
Marktbenadering en -bediening

In de volgende fase willen wij scherp krijgen welke rol Rijkswaterstaat voor zichzelf ziet in de keten om tot hergebruik te komen, zoals bijvoorbeeld opslag, koppelen van vraag&aanbod en (rest)waardebepaling. Liggers2.0 is klaar om onze innovatie in de praktijk te tonen en na fase 2 op te schalen naar de herinzet van herbruikbare prefabliggers. SGS Intron verzorgt de onafhankelijke keuring, toetsing en kwaliteitsverklaring.

Andere partijen mogen dat ook, we laten ieder vrij om ook liggers te gaan hergebruiken en willen hierin een stimulerende rol pakken.

Wij beschikken als combinatie over de expertise en middelen om al deze stappen in te vullen. Zo hebben wij de expertise in huis om de technische toestand, de capaciteit en restlevensduur te bepalen en herberekening van gebruikte liggers te verzorgen. Ook hebben wij opslagterreinen beschikbaar om tijdelijke opslag van herbruikbare liggers mogelijk te maken en eventuele modificatie te verzorgen. Verder beschikken wij samen over een sterk netwerk om vrijkomende liggers tijdig in beeld te krijgen en te kunnen oogsten en via ons netwerk te komen tot herinzet in projecten. Wij gaan daarbij niet exclusief werken voor de eigen combinatie, maar bieden hergebruikte liggers markt breed aan. Aanvullend willen wij een niet-exclusieve openbare marktplaats creëren, om herinzet in de brede markt mogelijk te maken. Het hergebruik van prefabliggers is als innovatie nagenoeg marktrijp. De innovatie vraagt een aantal handelingen om van het oogsten van gebruikte prefabliggers tot herinzet te komen in een nieuw viaduct. Deze handelingen zijn bekende bewezen technieken.

Wij denken hiermee in te spelen op een behoefte die de komende jaren een grote vlucht gaat nemen. Met onze dienstverlening verwachten we verschillende partijen in de keten te ontzorgen. Op deze manier willen we een open manier maximaal samenwerken met Rijkswaterstaat en de markt en onze gezamenlijke circulaire ambities daadwerkelijk realiseren.



Figuur-17

4. Voorstel voor fase 2

In fase 2 gaan wij de pilot met herbruikbare prefabliggers uitvoeren. Hiervoor zijn zes (RZ700) liggers uit 1980 aangeschaft, met een lengte van 22,05m. Deze liggers komen uit het A9 viaduct Kromwijkdreef. Deze liggers zijn op 6 februari 2021 getransporteerd naar het Cirwinn opslagterrein in Almere op initiatief van onze combinant Vlasman.

In fase 2a gaan wij:

- Het test- en validatieplan verder met SGS en Rijkswaterstaat uitwerken.
- De door ons uitgevoerde berekeningen en onze onderzoeksnotities door Rijkswaterstaat, kennisinstellingen en/of onafhankelijke partij (bijv. TIS) verder laten toetsen.
- De notitie "Demonteren van herbruikbare liggers" algemeen toegankelijk maken.
- De liggers ontdoen van de druklaag en eindwarsdrager.
 - Voor het verwijderen van de druklaag passen wij als test minimaal 2 en mogelijk 3 verschillende methodes uit. We maken gebruik van reguliere en bewezen sloop- en bouwtechnieken. Tijdens de pilot onderzoeken wij wat het efficiëntste is: slopen met de luchthamer of zagen eventueel aangevuld met hydrodemolition. Uit de uitgevoerde herberekening blijkt dat de huidige verbindingswapening voor de druklaag voldoet. Indien deze door de wijze van verwijderen van de druklaag (deels) verloren kan gaan boren we de benodigde extra verbindingswapening in. Bij de methode zagen ruwen wij het betonoppervlak op.

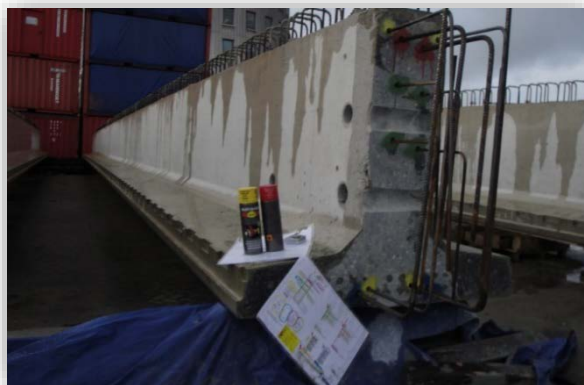


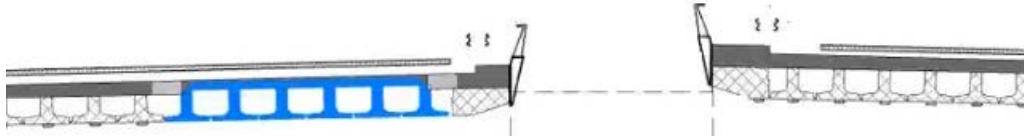
Foto-12, 13, 14&15 impressie slooptechnieken

- Schades (door demontage) herstellen.
- Inspecteren, beproeven en keuren.
 - Het beproeven doen we voor de pilot met een proefbelasting waarbij wij de doorbuiging meten en met een berekening verifiëren.
 - Wij voeren betontechnologisch onderzoek uit op de liggers. Destructief onderzoek wordt alleen uitgevoerd als een partij overtuigd moet worden. Hiervoor kan één ligger worden gebruikt. Wij willen liever geen onnodige schade toebrengen aan de liggers die we gaan hergebruiken in een brugdek.
- Een kwaliteitsverklaring verzorgen.
- De opslag verzorgen.
- Verder afstemmen met Rijkswaterstaat-gastprojecten voor toepassing van de liggers in fase 2b. Dit is onze informatiebehoefte.
- Fase 2b digitaal voorbereiden en gereedmaken van de liggers voor hun nieuwe functie.
- Rapporteren van onderzoeksresultaat fase 2a met een model van de beschikbare ligger.

Het prototype bestaat bij de start van fase 2a uit gedemonteerde liggers met een druklaag en afgezaagde delen van de eindwarsdrager. Het einde van fase 2a levert herbruikbare, gerepareerde en schone liggers op met verbindingswapening t.b.v. de druklaag (incl. engineeringdocumentatie t.b.v. (her)ontwerp).

In fase 2b gaan wij:

- De liggers integreren in een viaduct.
 - Onze combinant Haitsma produceert regelmatig liggers van deze lengte. Wij zijn momenteel in overleg met projecten (o.a. A9 BaHo) om in plaats van nieuwe liggers onze herbruikbare liggers toe te passen. Dit kan zowel bij de uitbreiding van een bestaand viaduct (zie figuur-18) maar ook voor een nieuw viaduct. Als er meer dan 6 liggers benodigd zijn, bouwen wij het viaduct op met een combinatie van nieuwe en hergebruikte liggers. Haitsma kan bijpassende liggers en (architectonische) randliggers maken. De liggers zijn geschikt voor toepassing Over of In de Rijksweg. Anders vallen we terug op oplossing in figuur-10, zie ook het risicodossier.
 - Door het gastproject wordt de onderbouw gerealiseerd.



Figuur-18

- Hergebruikte liggers transporteren en monteren.
- Druklaag aanbrennen.
- Testen en valideren.
- Rapporteren van fase 2b mede t.b.v. opleverdossier gastproject.

Het resultaat van fase 2b is een onderzoeksrapport en een constructief veilig, belastbaar brugdek in het Rijkswaterstaat areaal (TRL-8).

Gedurende fase 2 gaan wij:

- De DISK-database verrijken om herbruikbare liggers te detecteren.
 - We stemmen met Rijkswaterstaat af om informatie aan de bron toe te voegen. Als dit niet kan gaan we door met de huidige opzet om met onze ontwerptool onze eigen database te verrijken. Hierdoor is het voor Rijkswaterstaat inzichtelijk welke liggers de komende jaren succesvol voor hergebruik aangeboden kunnen worden. Voor alle wegenprojecten die op platformparticipatie.nl staan hebben we dit reeds gedaan.
- Met ons netwerk de vraagzijde verder inventariseren, vastleggen en beschikbaar stellen.
- Starten met platform www.liggerbank.nl om vraag&aanbod beter op elkaar af te stemmen. De Bruggenbank, beheerd door RHDHV (www.bruggenbank.nl) is in 1984 ontstaan vanuit het idee om een marktplaats voor bruggen op te richten, als bijdrage aan de circulaire economie. Rijkswaterstaat en de gemeenten Amsterdam en Rotterdam hebben dit initiatief in goed overleg op 11/3/2021 overgenomen als www.nationalebruggenbank.nl. Wij gebruiken de opgedane ervaring voor onze Liggerbank en zoeken de samenwerking met beide platforms. Met Rijkswaterstaat afstemmen hoe de toelichting in de RBK opgenomen kan worden voor de toe te passen bouwrichtlijnen bij hergebruik van prefabliggers.
- Samen met SGS starten met het opstellen van de BRL/richtlijn en herberekeningsprotocol voor hergebruik van liggers, bijvoorbeeld een NTA of CROW-aanbeveling.
- Het herberekeningsprotocol ondersteunen met onze geautomatiseerde ontwerptool.
- Met Rijkswaterstaat afstemmen hoe het hergebruik van de liggers verder gestimuleerd en gecoördineerd kan worden en hoe (eigen)opslagcapaciteit het beste ingezet kan worden.
 - Streven: open markt waardoor Rijkswaterstaat het resultaat ziet van de waarde die het aan circulariteit toekent.
 - Rijkswaterstaat overtuigen dat circulariteit niet gaat werken als Rijkswaterstaat geld wil zien voor te demonteren liggers.
- EMVI-eisen opstellen voor hergebruiken en delven van liggers.
- De combinatie Liggers2.0 juridisch vormgeven.
- Kennis uitdragen met verschillende sessies, publicaties, LinkedIn bijdragen en IABSE-congres (Zie: [Opvraagbare producten fase 1](#)).



Foto-16

Test- en validatieplan

1. Een viaduct is door beheerder gemarkeerd als te slopen.
2. Wij toetsen of liggers van het viaduct herbruikbaar zijn.
 - a. Type prefabligger geschikt?
 - b. In principe zijn alle prefabliggers geschikt; focus is nu omgekeerde T-liggers.
 - c. Is de overspanning geschikt voor hergebruik?
Bij een te kleine overspanning zijn kansen op hergebruik mogelijk te klein binnen het Rijkswaterstaat areaal maar eventueel wel herbruikbaar bij provincie, gemeente of waterschap.
 - d. Is de kruisingshoek van het viaduct voldoende gangbaar? Uit ons onderzoek blijkt dat er standaardisatie heeft plaatsgevonden. De ligger hoeft niet te worden hergebruikt in een viaduct met een identieke kruisingshoek. Ca. 80% is hierdoor herbruikbaar voor kruisingshoeken > 65°.
 - e. Zijn de liggers fabrieksmatig vervaardigd. Voor de restlevensduur is van belang dat hoogwaardig beton is toegepast.
 - f. Volgt uit een schouw/instandhoudingsinspectie dat liggers niet beschadigd zijn door aanrijding, lekkage, aantasting of reconstructie?
 - g. Is in het archief bekend welke liggers en voorspanning is toegepast? Naast het DISK-archief hebben veel prefableveranciers een goed archief (>90% van de liggers heeft voorspangegevens).
 - h. Is er een ontwerpberekening/-tekening aanwezig? Zo nee, dan zal meer moeite gedaan moeten worden voor de herberekening.
 - i. Is herleidbaar met welke norm de liggers zijn ontworpen? Hierin is een driedeling te maken: bij de oudste normen zijn meer toetsen nodig, bij een ligger conform de geldende eurocode hoeft nauwelijks een herberekening plaats te vinden.
 - j. Ziet hoofdconstructeur kans voor hergebruik.
3. Ziet Rijkswaterstaat (beheerder, district, PPO, GPO, project) kans voor hergebruik?
4. Voldoet de ligger aan de vigerende richtlijnen?
Op basis van de beschikbare gegevens wordt de ligger doorgerekend met de vigerende richtlijnen, aangestuurd vanuit het bouwbesluit en Rijkswaterstaat richtlijnen (ROK1.4 en RBK). Door een druklaag met wapening te ontwerpen kan de toelaatbare belasting worden bepaald en gecontroleerd worden of deze geschikt is voor gebruik in het Rijkswaterstaat areaal of in lokale wegen. Wij hebben in fase 1 een herberekening opgesteld en uitgangspunten voor deze berekeningen bepaald. Deze berekening zal door een kennisinstelling (TNO of TU Delft) of Rijkswaterstaat worden gevalideerd.
5. Rijkswaterstaat besluit de liggers veilig te stellen voor hergebruik. Het projectteam van Rijkswaterstaat krijgt opdracht om de liggers door opdrachtnemer gecontroleerd te laten demonteren en op te slaan.
6. Opdrachtnemer demonteert de liggers uit het te slopen viaduct.
Wij brengen kennis in m.b.t. het demonteren.
 - a. Veilig demonteerbaar?
 - b. Acceptabele verkeershinder?
 - c. Beperkte voorziene schade aan liggers bij demontage?
 - d. Veilig transport van viaduct naar opslaglocatie.
De verloren bekisting dient verwijderd te worden als er een risico is dat deze tijdens het transport loslaat.
7. Voor de pilot is het demonteren in beeld gebracht.
Er zijn dan ook van de voorbereidingen (doorboren van de einddwarsdrager) en demontage een groot aantal opnames gemaakt.



Foto-17 Doorboren einddwarsdrager

8. Geschikte opslaglocatie?
 - a. Projectgebied van te slopen viaduct;
 - b. Projectgebied waar liggers hergebruikt kunnen worden;
 - c. Rijkswaterstaatterreinen;
 - d. Vlasman/Cirwinn terrein;
 - e. Dura Vermeer Urban Miner terrein;
 - f. Overig.Hiermee kan de transportafstand beperkt blijven.

9. Controle van de liggers. In lijn met de BRL-kanaalplaatvloeren wordt een controleschema opgesteld. De doorlooptijd en budgetten zijn te beperkt om in de pilotfase tot een formele BRL te komen. Wel kunnen de processen vastgelegd worden en met de pilot in de praktijk worden getoetst. Voor de controles gelden de van toepassing zijnde normen en richtlijnen, zoals de ROK1.4 en CUR-Aanbeveling 117 (2020) "Inspectie en onderzoek van betonconstructies". Onderdelen om te controleren zijn:
- a. Onbeschadigde (voorspan)wapening?
Bij enige schade zal er nog voldoende draagkracht aanwezig zijn.
 - b. Liggerafmetingen conform tekening?
 - c. Acceptabele scheurvorming in de liggers?
Door de voorspanning is de betonconstructie (grote drukspanning) ongescheurd. Met waterspuit en scheurwijdtemeter worden eventuele scheuren nagelopen. Scheuren t.g.v. buiging in het veld, dwarskracht bij de opleggingen of kopsplijtsparing aan de uiteinden van de ligger worden in beeld gebracht.
 - d. Voldoende betonsterkte?
Uit het Rijkswaterstaat onderzoek volgt dat de betonsterkte van prefabliggers altijd zeer hoog is. Bij twijfel kunnen Cilinders rond 100mm worden geboord voor beproeving.
 - e. Voldoende betondekking?
Controle met een betondekkingsmeter.
 - f. Zijn liggers zonder ASR/Chloride- aantastingen?
Regulier is de kwaliteit van de liggers zodanig dat er geen extra controle nodig is. Voor de pilot zal er op verzoek een toetsing worden uitgevoerd.
 - i. Met een elektrische weerstandmeting over de liggerlengte t.b.v. chlorideaantasting.
 - ii. 3x rond 50 boren en uitvoeren test chlorideaantasting m.b.t. schijfje slijpen
Door het SBIR CiVi project 'Closing the Loop' is aangetoond dat restlevensduur geen risico is.
 - g. Doorbuiging wordt gemeten in de situatie met de druklaag.
10. Verwijderen van de druklaag en gedeelte einddwarsdrager. We testen de meest efficiënte manier van verwijderen van het beton met behoud van zoveel mogelijk herbruikbaar materiaal. De opties zijn:
- a. Verwijderen met luchthamer;
 - b. Verwijderen door 2 zaagsneden;
 - c. Verwijderen met hydrodemolition.
- We controleren tijdens de pilot:
- Wat de tijdsduur/inzet van mensen en materieel is.
 - Eventuele schade en herstel t.g.v. de sloopmethode, specifiek van de verbindingswapening.
 - De rommel die het slopen geeft.
 - De herbruikbaarheid van het afval. De voorkeur gaat uit naar verwijderen met de luchthamer, maar dan dient de verbindingswapening wel herbruikbaar te zijn. Zagen gaat sneller maar daarmee ontstaat een gladde stortnaad en doorgezaagde verbindingswapening. Dan moeten we de stortnaad opruwen en nieuwe verbindingswapening inboren. Bij hydrodemolition is de kans op schade het kleinst, maar is dit een methode waarbij het beton in kleine onderdelen verpulvert, waardoor beton verloren gaat en het slopen veel rommel geeft.
- Verder controleren we de liggers visueel op schades en beproeven we de verbindingswapening met een trekproef.
11. Betonreparaties.
Voor het hijsen van de liggers zijn gaten geboord in de ligger. Tevens zijn gaten geboord voor het losmaken van de einddwarsdrager. Daarnaast komen uit de inspecties mogelijke schades naar voren. Deze schades worden hersteld en getoetst aan de NEN-EN 1504.
12. We controleren de doorbuiging van de ligger zonder de druklaag en eindbalk en vergelijken de extra opbuiging met de theoretische waarde vanuit de herberekening.
13. Ook in fase 2b, waarbij de prefabliggers met een druklaag zijn geïntegreerd tot een brugdek zal het brugdek worden belast met een toenemende proefbelasting en wordt gecontroleerd op doorbuiging en op scheurvorming.
14. Opstellen en vrijgeven van liggers met kwaliteitsverklaring.



Kansen	Toelichting	Maatregel
1 Meekoppelen andere te hergebruiken onderdelen	<ul style="list-style-type: none"> Combinatie richt zich op liggers. Kansen voor toepassing van andere teruggewonnen onderdelen meepakken. 	<ul style="list-style-type: none"> Samenwerking met Closing the Loop indien de pilot niet in een gastproject kan worden gedaan.
2 Vergroten platform hergebruikte liggers	<ul style="list-style-type: none"> Liggerbank.nl bekender maken. Platform Urban Miner geeft onvoldoende mogelijkheden. 	<ul style="list-style-type: none"> Liggerbank linken aan (nationale) Bruggenbank. Samenwerken met platform Closing the Loop. Aansluiten bij bestaande platforms (bv Insert) voor hergebruik bouwmaterialen.
3 Vergroten van aanbod	<ul style="list-style-type: none"> Bij slopen geen zicht op hergebruik van liggers. 	<ul style="list-style-type: none"> Direct herbruikbare liggers A9 en A7 veiligstellen. RWS vragen om opstellen beleidsregel: verplicht herbruikbare liggers opslaan in plaats van slopen. Financieel stimuleren dat liggers niet gesloopt worden.

Risico's	Toelichting	Maatregel
1 Geen gastproject beschikbaar voor toepassing pilot	<ul style="list-style-type: none"> De opgeslagen liggers kunnen toegepast worden in een gastproject met vraag naar 22m of maximaal 20% korter. Mogelijk ontstaat geen match. 	<ul style="list-style-type: none"> Extra liggers verwerven die passen bij gastproject. Pilot uitvoeren bij verzorgingsplaats InnovA58 (brugdek met 5 liggers waar weg over te graven watergang wordt geleid).
2 VHT heeft problemen met herbruikbare liggers waardoor bouwvergunning pilot niet wordt verleend	<ul style="list-style-type: none"> Voor Pilotviaduct is een omgevingsvergunning nodig; bij aanvraag is geen rekening gehouden met hergebruik liggers. VHT (Veiligheid, handhaving en toezicht) is niet te overtuigen. 	<ul style="list-style-type: none"> Circulariteit op agenda plaatsen van overkoepelend orgaan. Interviews met VHT-vertegenwoordigers. Berekening met VHT'er, RWS en TIS doornemen. Kennisinstituut inschakelen voor verifiëren berekening. RWS vragen om ruimere omgevingsvergunning, waarin de pilot past. Pilotviaduct op eigen terrein van Cirwinn/Vlasman opbouwen. Pilot als tijdelijke constructie; liggers ook beschikbaar voor volgend brugdek. Memo "Toe te passen richtlijnen" laten beoordelen door expert, om VHT-ambtenaar vertrouwen te geven.
3 Problemen met tijdschema pilot in gastproject	<ul style="list-style-type: none"> Door pilot kan vertraging in gastproject ontstaan. 	<ul style="list-style-type: none"> Optioneel nieuwe liggers als back-up produceren voor gastproject. Bij problemen met hergebruik-ligger deze inwisselen voor nieuwe ligger. Overblijvende nieuwe liggers toepassing bij ander gastproject.

Risico's	Toelichting	Maatregel
4 Restlevensduur 100 jaar kan onvoldoende aangetoond worden	<ul style="list-style-type: none"> • Twijfels/angst in de markt. • Onbekendheid met materie. • Discussabele restlevensduurmodellen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Notitie Restlevensduur breed verspreiden. • Met kennispartners TNO/TU Delft restlevensduurmodellen verbeteren. • Nader onderzoek op visueel verdachte plaatsen, dekkingsmeting, CI-indringing, ASR; eventueel ligger afkeuren of repareren.
5 Businessmodel scoort onvoldoende in kosten/EMVI	<ul style="list-style-type: none"> • Bij aanbesteding Hoog Bureel onvoldoende stimulans van EMVI-criteria voor hergebruik van liggers (Ambitieniveau te laag). • Fictieve score (kosten + EMVI-score) lager dan die van nieuwe liggers. • Kosten blijken hoger dan opbrengsten. • Uitval% van te hergebruiken liggers is hoger dan aangenomen. • Rijkswaterstaat/marktpartij gaat prijs vragen voor of kent restwaarde toe aan herbruikbare liggers. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contractschrijvers van RWS helpen met kennis duurzaamheidsadviseurs om EMVI-criteria te bepalen die wél hergebruik van liggers stimuleren. • RWS vragen om voor te schrijven dat te hergebruiken liggers standaard naar opslagterrein worden getransporteerd. Hierdoor worden de extra kosten voor hergebruik van de liggers deels al bij de demontage meegenomen. • Uitgangspunt in businesscase: randliggers en 5% veldliggers onbruikbaar.

Kansen/Risico's fase 2, Algemeen

5. Begroting fase 2

	Totaal in €	Totaal uren
Kosten van arbeid	€239.669,-	1900
Verbruikte materialen	€400.000,-	
Machines en apparatuur	€100.000,-	
Kosten van arbeid van projectpartners	€300.000,-	2850
Kosten derden	€100.000,-	870
Overige kosten	€100.000,-	
Totaal exclusief BTW	€1.239.669,-	
Omzetbelasting (laag)	€0,-	
Omzetbelasting (hoog)	€260.331,-	
Omzetbelasting (0%)	€0,-	
Totaal inclusief BTW	€1.500.000,-	

Naast de realisatie van het prototype is het van belang dat de belemmeringen worden weggehaald om de innovatie succesvol toe te passen. Dit verklaart het aantal uren.

6. Conclusie fase 1 Haalbaarheidsonderzoek

Fase 1 is succesvol verlopen: de haalbaarheid is onderzocht en 40 jaar oude prefabliggers voldoen aan de RBK. De druklaag wordt volgens de ROK ontworpen. Er zijn liggers verkrijgbaar en ze zijn demonteerbaar. We werken als combinatie goed samen en willen als partijen een verdergaande samenwerking aangaan om de innovatie in de markt toe te passen. Wij zien in de Rijkswaterstaat-plannen m.b.t. transitie voldoende mogelijkheden om in goed overleg onze plannen te realiseren.



Foto-18

7. Opvraagbare producten fase 1

- Begeleidend schrijven met toelichting voorgespannen prefabliggers en verslaglegging.
- Notities:
 - SBIR HPL Gebruik (bouw)regelgeving voor hergebruik prefabliggers;
 - SBIR HPL Einddwarsdragers;
 - SBIR HPL Restlevensduur;
 - SBIR HPL Procedure delven prefabliggers.
- Rapport SBIR Hergebruik prefabliggers, technische onderbouwing, BH2830TPRP2102121314, d.d. 12 februari 2021;
- Identifying and Subducting the Key Barriers of Reusing Precast Girders in Dutch Overpasses. Donker J.J. BSc, 16-03-21;
- [Presentatiefilm projectvoorstel](#);
- [Promotiefilm SBIR, Pitch HPL fase haalbaarheidsonderzoek](#);
- [Film met demontage liggers 6 februari met transport en opslag](#);
- Finite element modelling of skew slab-girder bridges, Kassahun K. Minalu August, 2010;
- Circular Infrastructure BusinessModels;
- MKI-berekening Case;
- SSK-calculatie Case;
- TRL-overzicht;
- Overzicht vraag&aanbod;
- www.liggerbank.nl;
- www.bruggenbank.nl;
- www.nationalebruggenbank.nl;
- [Floriade-Een circulaire brug bouwen vergt een beetje lef](#);
- [Urban Miner](#)
- Eindrapportverificatie a.d.h.v. beoordelingscriteria;
- Risico-&Kansendossier;
- IABSE-Paper-HPL.



Foto-19

8. Colofon

- Project: Eindrapport fase 1 – Haalbaarheidsonderzoek
Hergebruik Prefab Liggers (HPL)
SBIR Circulaire viaducten
- Acroniem: HPL
- Deelnemende partijen aan consortium:
 - HaskoningDHV Nederland B.V. [Royal HaskoningDHV/RHDHV]
 - Vlasman Betonbewerkings- en Slooptechnieken B.V. [Vlasman]
 - Dura Vermeer Infra Participaties B.V. (Urban Miner) [Dura Vermeer Urban Miner]
 - Haitsma Beton B.V. [Haitsma]
 - SGS Intron [SGS]
- Contactpersoon en uitvoerder:
 - Gert-Jan van Eck
- Begin- en einddatum van het project:
 - Start: 7 oktober 2020 (startoverleg)
 - Einde: 16 maart 2021 (indiening Eindrapport fase 1)
- Ondertekening door daarvoor bevoegd persoon:



ir. A.R.M. van der Sanden
Directeur
HaskoningDHV Nederland B.V.

BIJLAGE 1 BIJ FORMAT SBIR EINDRAPPORT FASE 1

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

SBIR-projectnummer: Circulaire viaducten Zaak kenmerk: AT2020/03, Hergebruik Prefabliggers(HPL)

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

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

2. Samenwerking en netwerkvorming

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

Naam samenwerkingspartners	Gevestigd in (Land)	Deze is bekend/nieuw voor de organisatie	Soort bedrijf (MKB <250 werknemers of GRB >250 werknemers)	Soort kennisinstelling (Universiteit, HBO, TNO, MBO, etc.)
HaskoningDHV Nederland B.V.	Nederland	Bekend	GRB	
Vlasman Betonbewerkings- en Slooptechnieken B.V	Nederland	Bekend	MKB	
SGS Intron B.V.	Nederland	Bekend	GRB	
Dura Vermeer Infra Participaties B.V. (Urban Miner)	Nederland	Bekend	GRB	
Haitsma Beton B.V.	Nederland	Bekend	MKB	
TU Delft				Universiteit

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

- Ja, met bedrijven en/ of kennisinstellingen
 Nee

3. Het instrument SBIR

3.1 Wat vindt u sterke punten van het instrument SBIR

De investering stimuleert de ontwikkeling; het platform zorgt voor samenwerking. Ook een mooie ontwikkeling is om combinaties te verrijken met partijen waarvan hun idee in een eerdere fase is afgefallen. Ondanks Corona toch doorgegaan. Betaalde opdracht is altijd sterker dan vrijwillige bijdragen of in-kind inspanningen.

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

De samenwerking in Coronatijd gaat moeizamer, hier zou meer aandacht aan gegeven kunnen worden. Vroegtijdig het modelcontract delen gericht op produceren van een product (en niet een dienst) voor de volgende innovatiefase. Een zo'n compleet mogelijke informatieverstrekking aan begin van een fase. Laagdrempeliger communicatie en tussentijdse beoordeling. Geef aan welke waarde de innovatie voor de overheid kan hebben.

