



Onderzoek hergebruikpotentie

Betonnen prefab liggers

Rijkswaterstaat

24 februari 2023

Project Onderzoek hergebruikpotentie
Opdrachtgever Rijkswaterstaat

Document Betonnen prefab liggers
Status Definitief 02
Datum 24 februari 2023
Referentie 129722/23-003.586

Projectcode 129722
Projectleider Ir. R. Dijcker
Projectdirecteur Ir. A.C. de Wit

Auteur(s) Ir. S.H.L. Lamerichs, MSc. J. Sykes, F. Huinink MSc
Gecontroleerd door Ir. R. Dijcker
Goedgekeurd door Ir. R. Dijcker

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Bron foto voorpagina <https://www.ballast-nedam.nl/nieuwsoverzicht/2021/deze-oude-liggers-uit-1980-kunnen-nu-geschiedenis-gaan-schrijven>

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING	5
1	INLEIDING	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doel van het onderzoek	6
1.3	Wat is een betonnen prefab ligger?	7
1.4	Aanleiding keuze betonnen prefab liggers	8
1.5	Aanpak	9
1.6	Referenties	10
1.7	Leeswijzer	10
2	HERGEBRUIKPOTENTIE PREFAB BETONNEN LIGGERS	11
2.1	Wat komt er vrij tot en met 2030?	11
2.1.1	Welk types zijn er?	11
2.2	Vrijkomende liggers tot en met 2030	13
2.2.1	Disk Database analyse	13
2.2.2	W+B projecten analyse	14
2.2.3	Totaal aantal verwachte vrijkomende liggers tot 2030	15
2.3	Hergebruikpotentie: Technisch	15
2.3.1	Typen prefab liggers	15
2.3.2	Conditie	18
2.3.3	Rekenkundige onderbouwing herbruikbaarheid	19
2.4	Hergebruikpotentie: Klimaat- en milieuwinst	20
2.4.1	Omschrijving activiteiten conventioneel- en hergebruikproces	20
2.4.2	MKI per levensfase	20
2.4.3	Milieu-impact hergebruik en sloop-nieuwbouw	24
2.4.4	Besparing in primaire grondstoffen	25
2.5	Hergebruikpotentie: Kosten en baten	25
2.5.1	Referenties	25
3	HANDELINGSPERSPECTIEF	28
3.1	Hergebruikproces	28

3.1.1	Conventioneel proces	28
3.1.2	Proces bij hergebruik	29
3.2	Inzicht in ketenpartners	29
3.2.1	Leveranciers/producenten	30
3.2.2	Bewerking/Sloop/Reparatie	30
3.2.3	Transport	32
3.2.4	Opslag	32
3.2.5	Adviesbureaus	32
3.3	Barrières en oplossingsrichtingen	33
3.3.1	Wat is nodig?	33
3.3.2	Algemene en prefab ligger specifieke risico's en belemmeringen	34
3.3.3	Wet- en regelgeving	35
3.4	Impact op organisatie RWS	36
3.5	Fase van markttransformatie	37
3.6	Organisatiemodellen	38
3.6.1	Korte-termijnperspectief (1-3 jaar)	38
3.6.2	Langere-termijnperspectief (5 – 8 jaar)	39
4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	40
4.1	Conclusies	40
4.1.1	Technische hergebruikpotentie	40
4.1.2	Klimaat- en milieuwinst bij hergebruik	40
4.1.3	Kosten en baten van hergebruik	40
4.2	Aanbevelingen	41
	Laatste pagina	42
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Bronnen	2
II	Onderbouwing aantal kunstwerken	7
III	Lopende initiatieven	5

SAMENVATTING

Rijkswaterstaat heeft de ambitie om in 2030 circulair te werken. Inzet op hergebruik is daar een belangrijk onderdeel van. De hergebruikpotentie van een objecttype is afhankelijk van onder meer de technische eigenschappen, de potentiële milieu-impact en de financiële haalbaarheid. Voor de rol van Rijkswaterstaat is onder meer de fase van markttransformatie en het bijpassende organisatiemodel van belang.

De hergebruikpotentie ten opzichte van de opgave 2022-2030 van prefab betonnen liggers is groot. De exacte aantallen vrijkomende liggers is niet vast te stellen, wel is met zekerheid te zeggen dat meerdere kunstwerken, bestaande uit prefab dekken worden gesloopt of vervangen in de periode tot 2030. Een deel van deze prefab dekken zullen uit omgekeerde T-, I- of kokerliggers bestaan, welke herbruikbaar zijn. De staat en nieuwe functie van de liggers is maatgevend in de herbruikbaarheid van de liggers.

Technisch zijn bepaalde prefab betonnen liggers goed geschikt voor hergebruik. De prefab liggers zijn in de basis niet ontworpen voor hergebruik en zijn niet zondermeer losmaakbaar. Pilot projecten tonen aan dat prefab betonnen liggers, voornamelijk kokerliggers, omgekeerde T-liggers en I-liggers goed te oogsten zijn. De verscheidenheid aan type liggers is groot, en ieder dek gebruikt andere type liggers met anders toegepaste wapening en voorspanningsconfiguratie. Het aantonen dat een ligger geschikt is voor hergebruik kan een barrière zijn, door de grote tijdsinvestering. Belangrijke aspecten om rekening mee te houden zijn de staat van de ligger in bestaande situatie en de rekenkundige onderbouwing dat de bestaande ligger in een nieuwe toepassing een ontwerplevensduur van 100 jaar heeft.

De beperking van potentiële milieu-impact door hergebruik van prefab betonnen liggers is redelijk groot. Voor de periode tot 2030 is de potentiële milieuwinst bij hergebruik van vrijkomende en herbruikbare objecten EUR 0,7 - 2,0 miljoen MKI en 7,2 - 21,6 miljoen kg CO₂-eq. Deze winst is vooral het gevolg van het voorkomen van de productie van nieuw beton, wapeningsstaal en voorspanstaal dat het hergebruik van prefab betonnen liggers vervangt. De potentiële besparing in massa primaire grondstoffen tot 2030 door het hergebruiken van liggers is 44.000 - 130.000 ton gewapend beton.

De financiële haalbaarheid van hergebruik van prefab betonnen liggers is onzeker. De grootste onzekerheid zijn de kosten van opslag en met name de duur van de opslag die direct invloed heeft op de kosten. Daarnaast dienen afweging gemaakt te worden of de kosten (afhankelijk van de hoeveelheid) herstelwerkzaamheden opwegen tegen de kosten van een nieuwe ligger.

Vanuit het markttransformatiemodel bevindt de markt zich voor hergebruik van prefab betonnen liggers zich in fase 2. Dit betekent dat de toepassing in enkele pilot projecten wordt uitgevoerd. Om volgende stappen te zetten naar meer hergebruik is het van belang om meer zekerheid te krijgen over de kosten van opslag en matchmaking binnen en buiten projecten. Omdat het organiseren van hergebruik op dit moment nog niet vanzelf door de markt wordt opgepakt, het aanbod beperkt is en Rijkswaterstaat het meest complete overzicht heeft van zowel vraag als aanbod, ligt hier een logische rol voor Rijkswaterstaat om op te pakken in de komende jaren. Op lange termijn is het mogelijk de 2 producenten van betonnen liggers te betrekken bij retourname, kwaliteitscontrole en levering. De belangrijkste stap naar een volgende fase (fase 3) van markttransformatie lijkt te liggen bij deze leveranciers of andere partijen, die hergebruik omarmen. Daarmee kan Rijkswaterstaat richting fase 4 haar (tijdelijk) intensievere rol weer beperken wanneer duidelijk is dat herinzet door marktpartijen kan worden opgepakt. Op lange termijn kan hergebruik van betonnen liggers mogelijk weer door de markt worden georganiseerd.

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

In de afgelopen eeuw is de wereldwijde vraag naar grondstoffen explosief gestegen. De verwachting is dat de vraag naar grondstoffen in de komende decennia verder toeneemt, door een groeiende wereldbevolking en toenemende consumptie. Dit gaat gepaard met een forse impact op het milieu. Hierdoor wordt het steeds belangrijker om het gebruik van (niet hernieuwbare) grondstoffen zoveel mogelijk terug te dringen en om de beschikbare grondstoffen zo efficiënt en hoogwaardig mogelijk te (her)gebruiken en uitstoot van broeikasgassen terug te dringen.

In september 2016 heeft het Rijk hiertoe het Rijks-brede programma Circulaire Economie (CE) gelanceerd. Hierin wordt het perspectief op een toekomstbestendige, duurzame economie en een leefbare aarde voor toekomstige generaties geschetst. De ambitie van het kabinet is om samen met maatschappelijke partners in 2030 een (tussen)doelstelling te realiseren van 50 % minder gebruik van primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen) en om in 2050 100 % hernieuwbare (gerecyclede en biobased) materialen toe te passen.

Rijkswaterstaat (hierna RWS) heeft zelf de doelstelling om in 2030 volledig circulair te werken. In 2017 is daarom het 'Impulsprogramma Circulaire Economie' gestart, dat tot en met eind 2021 loopt, om de kennis te ontwikkelen waarmee handen en voeten gegeven kan worden aan 'circulair werken in 2030'. Om de opgedane kennis ook daadwerkelijk te implementeren in de organisatie, is eind 2019 de strategie 'Naar klimaatneutrale en circulaire Rijksinfrastructuurprojecten'(KCI) vastgesteld door het ministerie van IenW, in samenwerking met RWS en ProRail. Deze strategie, die gericht is op het behalen van meetbare doelen, moet ertoe leiden dat in 2030 alle processen en werkwijzen zo zijn ingericht dat circulair wordt gewerkt, dat deze klimaatneutraal zijn en een reductie van 50 % minder primaire grondstoffen is behaald. Hergebruik van vrijkomende objecten en onderdelen wordt als een van de belangrijkste mogelijkheden gezien om de doelstellingen op korte termijn te realiseren.

RWS wil nadrukkelijk inzetten op hergebruik en hiervoor een organisatie brede hergebruikstrategie ontwikkelen. Als input voor deze strategie is de hergebruikpotentie bepaald voor zeven objecttypen, te weten betonnen prefab liggers, geleiderails, vaste stalen bruggen, stootplaten, oeverconstructies (damwanden), portalen en installaties. Deze rapportage beschrijft de resultaten van het onderzoek naar de hergebruikpotentie van betonnen prefab liggers.

1.2 Doel van het onderzoek

Dit rapport beschrijft het onderzoek naar de hergebruikpotentie van betonnen prefab liggers die vrijkomen in de periode 2022 - 2030. Doel van dit rapport is om inzicht te krijgen in de hergebruikpotentie: een schatting van het aantal betonnen prefab liggers dat vrijkomt en de potentiële milieuwinst die met hergebruik te halen valt. Daarnaast worden praktische en financiële aspecten van het hergebruik onderzocht. Tot slot wordt het handelingsperspectief bekeken door het hergebruikproces, eventuele barrières en oplossingsrichtingen en consequenties te beschouwen. Uiteindelijk worden op basis van het bovenstaande conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

Dit rapport is onderdeel van het onderzoek 'strategie hergebruik' waarin in totaal 7 objecten worden onderzocht. Door het onderzoek wordt inzicht verkregen in de hergebruikpotentie van de verschillende objecten. Op basis van het verkregen inzicht kan RWS een onderbouwde strategie opstellen voor het hoogwaardig hergebruik met focus op de objecten met hoge potentie van hergebruik.

Om het onderzoek 'strategie hergebruik' te structureren zijn door RWS per object een aantal onderzoeksvragen/opdrachten uitgezet. Deze vragen/opdrachten worden hieronder opgesomd, inclusief de paragraaf waar deze worden behandeld:

- hoeveel van het object komt op jaarbasis gemiddeld vrij, uitgaande van MIRT, VenR, en B&O opgave, met daarbij een gevoeligheidsanalyse van de betrouwbaarheid van de aangeleverde data, zie 2.1;
- wat gebeurt er momenteel met de vrijkomende onderdelen/objecten gebeurt in de keten, zie 3.1.1;
- wat is de potentie van hergebruik, inclusief scan behoefte/potentiële afnemers/markt, met daarbij de belangrijkste stappen/maatregelen die nodig zijn om hergebruik mogelijk te maken, zie 3.3;
- uitwerken milieu en klimaatwinst en vermeden grondstoffen verbruik bij hoogwaardig hergebruik versus nieuw en recycling, zie 2.3;
- indicatie van kosten en baten hoogwaardig hergebruik versus nieuw en recycling, zie 2.4;
- wet- en regelgeving die van toepassing/missend/belemmerend/ in ontwikkeling zijn voor hergebruik, zie 3.3.3;
- algemene en object/onderdeel specifieke risico's en belemmeringen voor hergebruik, inclusief voorstellen en beheersmaatregelen, zie 3.3.2;
- impact van hergebruik op de RWS-organisatie, zie 3.4;
- inzicht in de ketenpartners voor hergebruik en impact van hergebruik op de betreffende ketenpartners (leveranciers en opdrachtnemers), zie 3.2.

1.3 Wat is een betonnen prefab ligger?

Een ligger, in de volksmond ook wel een balk genoemd, is een constructief element dat belasting afdraagt naar nabijgelegen steunpunten. Liggers helpen bij het 'overbruggen' van afstanden, ze zijn daarom vaak onderdeel van bruggen en viaducten. De liggers in voorliggend document zijn afkomstig uit bruggen of viaducten, andere bronnen (gebouwen) worden niet beschouwd. Voorliggend onderzoek gaat over betonnen prefab liggers. 'Prefab' of 'geprefabriceerd' betekent dat een bouwelement voor aanvang van het bouwproces in een fabriek wordt gemaakt, waarna het in zijn geheel op de bouwplaats kan worden toegepast. Tegenhanger van 'prefab' is 'in-situ', waarbij elementen op de bouwplaats zelf worden gemaakt. Omdat liggers vaak in vergelijkbare situaties worden toegepast (veelal viaducten over snelweg), zijn de beschikbare soorten en afmetingen grotendeels gestandaardiseerd. In paragraaf 2.1 worden de meest voorkomende prefab liggers behandeld.

Afbeelding 1.1 Hier wordt een prefab betonnen ligger (omgekeerde T-ligger) geplaatst bij de bouw van een viaduct. Bron: RWS



1.4 Aanleiding keuze betonnen prefab liggers

In de vraagspecificatie van het onderzoek waar dit rapport onder valt, zijn prefab betonnen liggers expliciet benoemd als 1 van de 7 objecten waarvan de hergebruikpotentie in kaart gebracht moet worden. Momenteel worden prefab liggers voornamelijk laagwaardig hergebruikt (vermalen tot puin en verwerkt in fundering van wegen), terwijl er ook potentie is om deze liggers in hun originele functie te hergebruiken (als ligger in een andere constructie).

CE Delft heeft, in opdracht van RWS, een zwaartepuntanalyse gedaan over de milieu-impact (MKI) en klimaatimpact van kunstwerken tussen 2021-2030 [ref.1]. Deze analyse kijkt naar de vervanging en renovatie van 12 verschillende objecttypes. Hieruit blijkt dat de top 10 ongeveer 95 % aandeel heeft in de MKI en klimaatimpact van het gehele transitiepad kunstwerken. Sterker nog, de top 5 heeft een aandeel van 75 % in de MKI van de totale opgave van het transitiepad tussen 2021-2030. Hoe hoger in de top, hoe meer verduurzaming op dit objecttypen te behalen is.

Betonnen bruggen en viaducten staan tweemaal in de top 10. In tabel 1.1 is te zien dat betonnen bruggen en viaducten op nummer 2 staat betreffende de MKI en op nummer 1 wat betreft impact voor het klimaat. Daarom is het een logische keuze om betonnen bruggen en viaducten als component te kiezen voor de strategie hergebruik. Betonnen bruggen en viaducten hebben een grote milieu-impact, dit komt vooral door de productie van beton en dan specifiek cement. De impact beperkt zich niet tot prefab liggers, ook in-situ gestorte dekken (plaat- en kokerdekken) en de onderbouw (landhoofden en funderingen) worden van beton gemaakt. Prefab liggers lijken echter eenvoudiger her te gebruiken dan in-situ onderdelen, daarom focust dit onderzoek zich op betonnen prefab liggers.

De constructie van een brug of een viaduct bestaat voor 34-54 %¹, van de totale kunstwerken uit prefab onderdelen. Dit verklaart het belang voor hergebruik van deze onderdelen, de prefab liggers.

¹ Deze getallen komen uit het onderzoek van RHDHV en het VenR rapport. De getallen van het RHDHV rapport zijn afkomstig van de DISK database en kunnen niet gereproduceerd worden.

Tabel 1.1 Top 10 MKI en klimaatimpact van Transitiepad Kunstwerken

Opgavecategorie	MKI # Top 10	Klimaatimpact # Top 10
Damwandoevers (vervangings & renovatie)	1	2
Betonnen bruggen & viaducten (aanleg)	2	1
Geleiderails (vervangings & renovatie)	3	4
Tunnels & verdiepte wegen (aanleg)	4	3
Geluidswerende voorzieningen (aanleg)	5	5
Stalen bruggen (aanleg)	6	7
Geluidswerende voorzieningen (vervangings & renovatie)	7	6
Geleiderails (aanleg)	8	8
3B- & overige installaties (vervangings & renovatie)	9	9
Stormvloedkering (vervangings & renovatie)	10	12
Betonnen bruggen & viaducten (vervangings & renovatie)	12	10

1.5 Aanpak

Om de potentie van hergebruik van prefab liggers te onderzoeken zijn eerst alle literatuurstudies, aangeleverd door RWS, geanalyseerd. Voor de geraadpleegde documentatie zie 1.6. Wanneer informatie ontbreekt of de gegeven studies niet reproduceerbaar zijn wordt die benoemd in de teksten.

2 pilot projecten, SBIR Hergebruik liggers (HGL) en SBIR Closing the Loop (CTL), zijn 2 onderzoeken die momenteel liggers aan het hergebruiken zijn. Hier komt veel kennis vandaan. Daarnaast is er de vraag hoeveel liggers vrijkomen in de komende jaren. Op basis van studies en projecten analyseren wij of hier een uitspraak over te doen is of wat er nog onbekend is/onderzocht moet worden. In veel stukken wordt gereflecteerd op beide pilotprojecten en of de claims die zijn doen, zijn te onderbouwen vanuit expert kennis of vanuit literatuur.

Als eerste is deze analyse aangevuld met de kennis van experts binnen Witteveen+Bos (W+B). Deze input is verkregen aan de hand van interviews en gevalideerd met projectdata. De betrokken experts zijn de heer ir. A. ten Voor de (Arjan) en de heer ing. M.P.A. Janssen MEng (Marcel), beiden hebben > 15 jaar ervaring in zowel voorbereiding als uitvoeringsfase voor RWS en aannemers op het gebied van prefab betonnen bruggen en viaducten. Marcel is tevens expert op het uitvoeren van verificatieberekeningen van bestaande (prefab) betonnen viaducten en bruggen.

Vervolgens is een werksessie georganiseerd, met aanwezig van RWS, W+B en externe specialisten. De aanwezigen waren:

- RWS:
 - Barbara Kuipers;
 - Kees Quartel;
 - Wietse de Jong;
- W+B:
 - Stephanie Lamerichs;
 - Coen Hulsebosch;
- Copper8:
 - Sybren Bosch;
 - Eline van Terwisga;
- RHDHV - Rob Vergoossen (SBIR hergebruik liggers);
- Nebest - Wouter van der Berg (SBIR Closing the Loop);
- Haitsma - Wim Comello (SBIR hergebruik liggers);
- Romein beton - Joost van 't Veld.

In deze sessie zijn de eerste uitkomsten gepresenteerd en gediscussieerd over de opschaling van de toepassing van hergebruik van liggers. Naar aanleiding van de review van RWS op concept 1 van deze notitie is nog een afstemmingsoverleg geweest met Kees Quartel, prefab specialist en betrokken bij de SBIR van RWS.

1.6 Referenties

Voor het thema hergebruik liggers zijn meerdere relevante studies uitgevoerd, of worden momenteel uitgevoerd. In dit document wordt gebruik gemaakt van de volgende referenties:

- ref.1. Zwaartepuntsanalyse MKI en klimaatimpact Transitiepad kunstwerken RWS 2021-2030, CE Delft, d.d. juli 2021;
- ref.2. SBIR circulaire viaducten, haalbaarheidsstudie Closing the Loop (CTL), Nebest, Antea, Strukton Civiel, GBN e.a., d.d. 16 maart 2021;
- ref.3. SBIR circulaire viaducten, Haalbaarheidsonderzoek hergebruik prefabliggers (HPL), RHDHV, Vlasman, SGS, Dura Vermeer en Haitsma, d.d. 15 maart 2021;
- ref.4. Prognoserapport 2021 Vervanging en Renovatie, Leo Klatter (RWS), d.d.26 oktober 2021;
- ref.5. MIRT Overzicht 2021, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, d.d. onbekend;
- ref.6. Digitaal Informatie Systeem Kunstwerken (DISK) database, excel ontvangen van RWS i.h.k.v. SBIR;
- ref.7. RWS bruggen en viaducten tot 2030, excel ontvangen van B. Kuipers, d.d. 2 juni 2022;
- ref.8. Wat gaan we doen met de liggers van de A9 BaHo, Anke Zindler en Tom van Ogtrop (RWS), d.d. 9 juni 2022 (groeidocument - vertrouwelijk);
- ref.9. Verdiepende handreiking Circulaire economie voor MIRT projecten, RWS, d.d. juli 2019.

1.7 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de hergebruikpotentie van prefab liggers en zoomt daarbij in op 4 aspecten: schatten van het aantal vrijkomende objecten en de technische, milieutechnische en financiële aspecten van de hergebruikpotentie. Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op het handelingsperspectief door het hergebruikproces te schetsen, eventuele barrières en oplossingsrichtingen te noemen en de consequenties aan te stippen (vooral op organisatorisch gebied). Tot slot worden in hoofdstuk 4 conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

2

HERGEBRUIKPOTENTIE PREFAB BETONNEN LIGGERS

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de potentie van prefab liggers om hergebruikt te worden. Om de potentie te bepalen is onderzoek gedaan naar de volgende 4 aspecten:

- 1 wat komt er vrij tot en met 2030 (het potentiële aanbod);
- 2 technische hergebruikpotentie (het reëel aanbod);
- 3 potentiële klimaat- en milieuwinst;
- 4 kosten en baten van hergebruik.

2.1 Wat komt er vrij tot en met 2030?

Om te bepalen hoeveel liggers er tot 2030 vrijkomen is inzicht nodig in het areaal van RWS en hoeveel kunstwerken tot aan 2030 komen te vervallen of worden vervangen. Vervallen betekent hierbij dat functie vervalt, het kunstwerk wordt gesloopt en geen nieuwe wordt voorzien. Bij vervangen wordt een bestaand kunstwerk gesloopt en door een nieuwe vervangen. Vervangen kan meerdere oorzaken hebben, functie voldoet niet meer, ruimte gebruik of het kunstwerk is (te) oud om de belastingen te kunnen dragen.

In verschillende databases / onderzoeken wordt aangegeven wat er met kunstwerken wordt gedaan. Hieronder per bron het aantal kunstwerken:

- **MIRT [ref.5]**, onbekend. Hier worden opgaven benoemd in de trant van tracés, maar niet het specifieke aantal objecten welke daarmee gemoed gaan.
- **Beheer en Onderhoud [ref.7]**, Excel vanuit RWS, wordt naar MIRT verwezen en volgt vervangen van 41 bruggen en aanleg 86 bruggen.
- **prognose VenR opgave [ref.4]**, vervangen van 36 objecten binnen betonnen bruggen en viaducten. Dit is tot 2040 en niet tot 2030.
- **CE Delft [ref.1]** referentie: vervangen brug/viaduct 41 stuks, aanleg nieuwe brug/viaduct 86 stuks. Dit is gelijk aan de hoeveelheden van beheer en onderhoud.

Van bovenstaande opsomming is niet van alle bronnen te achterhalen om welke objecten het gaat en of het gaat om wat voor een deksoort het gaat. Dit kan in-situ beton, prefab beton liggers of zelfs stalen dekken, zijn.

Om met meer zekerheid het aantal vrijkomende liggers te bepalen gaan we eerst in op welke verschillende prefab liggers in het areaal worden toegepast.

2.1.1 Welk types zijn er?

De ene prefab ligger is de andere niet, de categorieën prefab liggers worden hieronder benoemd. De hergebruik potentie, wordt in 2.3 behandeld.

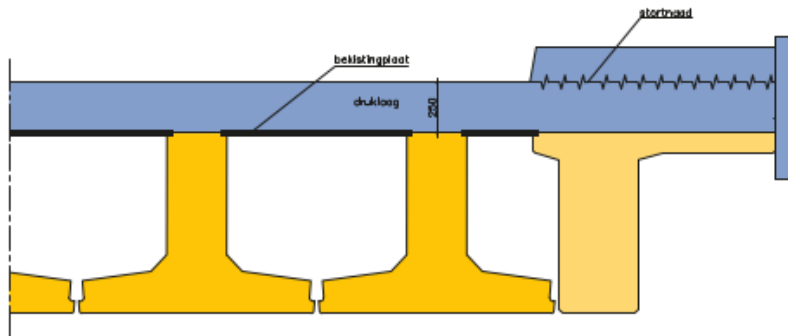
Randliggers

Ieder prefab betonnen dek heeft 2 randliggers, welke aan de zijkanten van het dek worden toegepast. Dit zijn veelal op maat gemaakte prefab liggers voor afwerking, esthetica en bevestiging leuningwerk.

Omgekeerde T-ligger

Een omgekeerde T-ligger is exact wat de naam zegt, een T op zijn kop, zie afbeelding 2.1.

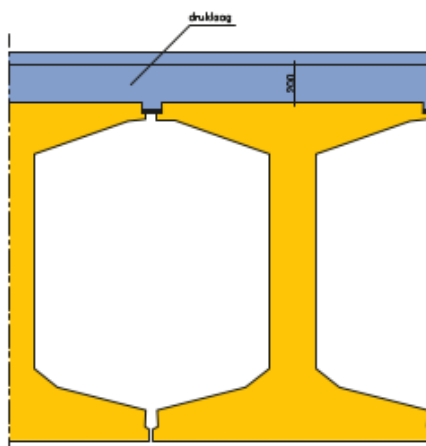
Afbeelding 2.1 Standaard detail omgekeerde T-liggers met druklaag (bron Haitsma)



I-liggers

I-liggers, zie afbeelding 2.2 zijn varianten op omgekeerde T-liggers voor grotere overspanningen. Ze hebben daarmee een groter verbonden oppervlak tussen prefab beton en druklaag.

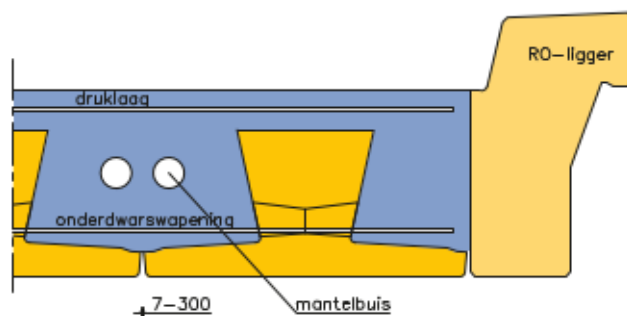
Afbeelding 2.2 Standaard detail I-liggers met druklaag (bron Haitsma)



Volstortliggers

Volstortliggers, hebben een druklaag die de complete prefab ligger omsluit, dit betekent dat de druklaag niet een plaat is zoals bij de andere prefab liggers.

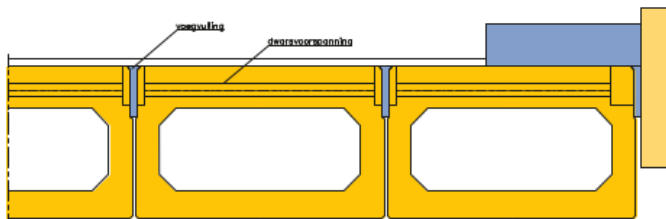
Afbeelding 2.3 Standaard detail volstortligger (bron Haitsma)



Kokerliggers

Kokerliggers zijn rechthoekige betonnen profielen die in dwarsrichting worden nagespannen, zie afbeelding 2.4, zodat de lasten vanuit het verkeer gespreid kunnen worden over de profielen. Doordat de dwarsvoorspanning hiervoor zorgt is standaard geen in-situ druklaag nodig zoals bij de nadere prefab liggers.

Afbeelding 2.4 Standaard detail kokerligger (bron Haitsma)



2.2 Vrijkomende liggers tot en met 2030

Om een inschatting te maken van wat er vrijkomt dient eerst uiteengezet te worden welke verschillen er tussen prefab liggers zijn en het verschil in hergebruikpotentie tussen de verschillende typen liggers. Dit wordt in de volgende paragrafen uiteengezet.

Om tot een betere inschatting te komen zijn 2 aanpakken doorlopen; een bovengrens en een ondergrens methode. De DISK database analyse vormt de bovengrens en een W+B projecten analyse de ondergrens.

2.2.1 Disk Database analyse

In het Digitale Informatie Systeem Kunstwerken (DISK) is het complete areaal van RWS opgenomen. Hierin staan de eigenschappen van de verschillende objecten. Dit is echter tot op het niveau prefab ligger uitgewerkt. Dus daarin staat niet het type ligger vermeld. Om daar toch een inschatting van te kunnen maken, doorlopen we ontwerpaanpak van een project om tot een selectie te kunnen komen. Hoe dit wordt gedaan is door te kijken naar de overspanning(en) die nodig zijn en daarbij een profiel te kiezen. In DISK kunnen we dit doen door te kijken naar de gemiddelde overspanningslengte. Hierbij is een aandachtspunt dat grote objecten, a la Merwedeburg, vaak 1 of 2 hele grote overspanningen hebben en meerdere kleine overspanningen. In DISK staat alleen de grootste overspanning, de gemiddelde overspanning en het aantal overspanningen. Op basis hiervan is een overzicht gemaakt. Voor de complete analyse zie Bijlage II.

Uit de analyse komt dat de gemiddelde overspanningslengte 25 meter en de moduswaarde is 20 meter. Een kunstwerk heeft gemiddeld 3 overspanningen en een breedte van 14 prefab liggers. Vanaf 1974 zijn de richtlijnen voor het ontwerpen gewijzigd. Om een aanneme te kunnen doen van het aantal vrijkomende liggers gaan we uit van het volgende: Kunstwerken na 1974 zullen eenvoudiger her te gebruiken zijn dan voor 1974. Kunstwerken van na 2000 worden niet gesloopt, omdat deze nog geen 25 jaar bestaan. Gemiddeld worden kunstwerken na circa 50 jaar gesloopt, niet door het bereiken van theoretisch levensduur, maar door functiewijzigingen. Daarmee komen we tot de analyse dat alle kunstwerken gebouwd tussen 1974 tot en met 2000 tussen nu en 2050 vervangen worden en in potentie her te gebruiken zijn. In DISK selecteren we daarom de "in gebruik" zijnde kunstwerken met een "prefab dek", gebouwd tussen 1974 t/m 2000. Dit zijn 562 kunstwerken. Het gemiddelde kunstwerk heeft 3 overspanningen en is 14 prefab liggers breed, hiermee komen we op $562 * 3 * 14 = 23.604$ vrijkomende liggers tot 2050. Jaarlijks, vanaf 2022 tot 2050 beslaat 28 jaar, wat neerkomt op 843 liggers jaarlijks wat resulteert in een bovengrens van 7.000 prefab liggers tot 2030.

2.2.2 W+B projecten analyse

Om een ondergrens te stellen aan de vrijkomende prefab liggers is een database opgezet met alle kunstwerken in de projecten waar W+B de laatste jaren aan heeft gewerkt, in verschillende fasen. Vanuit onze eigen validatieprojecten (niet zijnde VenR) komen wij uit op 21 prefab kunstwerken vervangen en 34 nieuw aan te leggen kunstwerken. De onderbouwing hiervan is weergegeven in bijlage ii. Mogelijk zit in onze database een overlap met de voorgenoemde referenties. De lijst vanuit de MIRT-projecten Hoofdwegen is onderstaand weergegeven. De blauw gearceerde projecten zitten in de W+B validatieprojecten en de B&O Excel, de paarse projecten zitten alleen in de W+B validatieprojecten en de gele alleen in de B&O Excel van RWS. Dit betekent dat veel projecten ontbreken en onze database daarmee niet compleet is en zal zijn. De aantallen van CE Delft/beheer en onderhoud kunnen bij VenR en de validatieprojecten van W+B worden opgeteld, de minimale overlap is dan de A27/A12, dit is in de schatting verwaarloosbaar.

Afbeelding 2.5 Projectenlijst

1. A1/A6/A9 Schiphol-Amsterdam-Almere
2. A10 Knooppunten Nieuwe Meer en Amstel
3. A27/A12 Ring Utrecht
4. A28/A1 Knooppunt Hoevelaken
5. A6 Almere Oostvaarders-Lelystad
6. A7/A8 Amsterdam-Hoorn
7. A9 Rottepolderplein (valt onder SBaB programma)
8. Noordelijke Randweg Utrecht (NRU)
9. ZuidasDok
10. Zuidwestkant Amsterdam-Schiphol-Hoofddorp (valt onder SBaB programma)
11. A4 Burgerveen-N14
12. A4 Haaglanden-N14
13. A15 Papendrecht-Gorinchem (valt onder GVC programma)
14. A15 Papendrecht-Sliedrecht
15. A15 Suurhoffbrug
16. A16 Rotterdam
17. A20 Nieuwerkerk aan de IJssel-Gouda
18. A24 Blankenburgverbinding
19. Oeververbindingen Rotterdam (valt onder MoVe programma)
20. Rijnlandroute
21. Rotterdamsebaan
22. Tijdelijke tolheffing A24 Blankenburgverbinding
23. A2 Deil-'s Hertogenbosch-Vught
24. A2 Het Vonderen-Kerensheide
25. A27 Houten-Hooipolder
26. A67/A73 knooppunt Zaarderheiken
27. A76 Aansluiting Nuth
28. N65 Vught-Haaren
29. A58 Tilburg-Breda (valt onder SmartwayZ.NL programma)
30. A67 Leenderheide-Geldrop (valt onder SmartwayZ.NL programma)
31. InnoVA58 (valt onder SmartwayZ.NL programma)
32. A1 Apeldoorn-Azelo
33. A1/A30 Barneveld
34. A1/A35 Knooppunt Azelo-Buren
35. A12/A15 Ressen-Oudbroeken (ViA15)
36. A28 Amersfoort-Hoogeveen
37. A50 Ewijk-Bankhoef-Paalgraven
38. Bereikbaarheid in wisselwerking met Verstedelijkingsopgave Zwolle en omgeving
39. N35 Nijverdalen-Wierden
40. N50 Kampen-Kampen-Zuid
41. Tijdelijke tolheffing A12/A15 Ressen Oudbroeken (ViA15)
42. A7 Zuidelijke Ringweg Groningen, fase 2
43. N33 Zuidbroek-Appingedam

Het complete aantal vervangen objecten komt dan uit op: 139 vervangen. Binnen de W+B validatieprojecten zijn 21 van de 52 kunstwerken prefab, dit is 40 %. Als dit voor alle te vervangen kunstwerken geldt zouden dat 56 prefab kunstwerken zijn. Met de gemiddelde breedte van 14 liggers en 3 overspanning per brugdek wordt de ondergrens van vrijkomende prefab liggers $56 * 14 * 3 = 2.352$. In de verschillende studies wordt niets gezegd over de type prefab liggers (volstortliggers, omgekeerde T-liggers, I-liggers et cetera).

2.2.3 Totaal aantal verwachte vrijkomende liggers tot 2030

Vanuit de verschillende studies en documentaties komen verschillende aantal van vrijkomende objecten/elementen. Hieronder een uiteenzetting met beschouwing of waarde te valideren is. Als we vanuit de verschillende referenties en onze projectdatabase het aantal te vervangen kunstwerken bepalen, wordt een **ondergrens** gevonden van **2.352 prefab liggers** en een **bovengrens** van **7.000 prefab liggers**. Aandachtspunt hierbij is dat het type ligger onbekend is, waarmee de daadwerkelijk her te gebruiken liggers niet eenduidig is vast te stellen. Welke typen prefab liggers wel en niet her te gebruiken zijn, wordt in de volgende paragraaf uiteengezet.

2.3 Hergebruikpotentie: Technisch

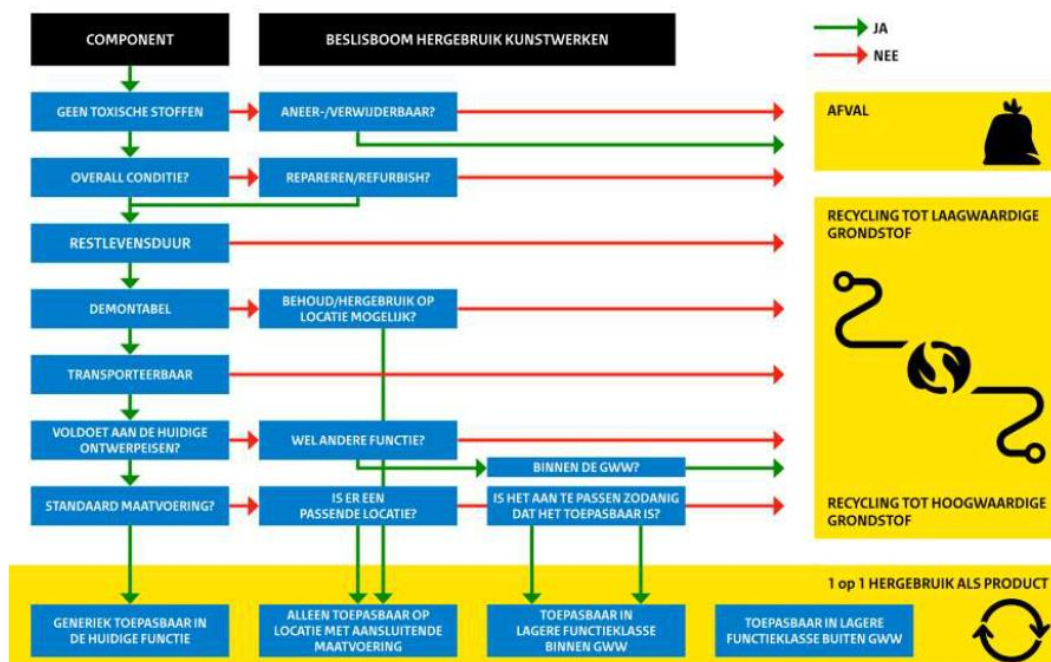
Hierbij gaat het om de potentie van het element zelf, dus hoe geschikt is een prefab ligger om te worden hergebruikt als prefab ligger.

De mate van herbruikbaarheid ligt aan meerdere aspecten:

- soort prefab ligger;
- staat van de liggers;
- ontwerprandvoorwaarden bij aanleg liggers;
- nieuwe toepassing liggers, zoals lengte, alignement en belastingen.

Ter bepaling van de mate van herbruikbaarheid van (onderdelen van) kunstwerken is in de Verdiepende Handreiking circulaire economie voor MIRT projecten [ref.9], van RWS, een beslisboom opgesteld. De beslisboom is weergegeven in afbeelding 2.6.

Afbeelding 2.6 Beslisboom hergebruik mogelijkheden voor betonnen kunstwerken (bron: verdiepende handreiking circulaire economie voor MIRT projecten, RWS, juli 2019)



2.3.1 Typen prefab liggers

Om de mate van hergebruik te kwalificeren is het van belang om te weten om welk type liggers er vrij kunnen komen en welke typen in aanmerking komen voor hergebruik. In tabel 2.1 staat een opsomming van alle mogelijke type liggers samengesteld op basis van bestudeerde referentieprojecten en interviews met

experts. Hieruit volgt dat kokerliggers, omgekeerde T-liggers en railliggers aantoonbaar hergebruikt kunnen worden. Voor randliggers en I-liggers is nader onderzoek mogelijk en volstortliggers moeten ook onderzocht worden, maar door de verhouding in-situ/prefab is dit een minder logische optie en daarmee minder interessant.

Tabel 2.1 Herbruikbaarheid per type ligger

Type ligger	Herbruikbaarheid onderzocht	Hoe beoordeeld	Bron
Omgekeerde T ligger	ja	<p>constructieve veiligheid is gebaseerd op basis van herberekeningen ROK en RBK</p> <p>constructieve veiligheid is op basis van laboratoriumonderzoek door de TU Delft op liggers afkomstig van de Vechtbrug en Helperzoombrug</p>	<p>RHDHV</p> <p>Afstudeeronderzoek TUDelft</p>
Kokerliggers	ja	constructieve veiligheid is gebaseerd op basis van herberekeningen ROK en RBK	CTL
Randliggers	onbekend/onzeker	<p>constructieve veiligheid - Nader onderzoek vereist</p> <p>demontage is aangetoond in praktijkvoorbeeld</p>	CTL
Railliggers	ja	<p>constructieve veiligheid is op basis van laboratoriumonderzoek door de TU Delft op liggers afkomstig van de Vechtbrug en Helperzoombrug</p> <p>demontage is aangetoond is casus Vechtbrug</p>	CTL
I-liggers	onbekend/onzeker	nader onderzoek vereist	expert judgement
Volstortliggers	onbekend/onzeker	nader onderzoek vereist	expert judgement

Hieronder worden de aandachtspunten benoemd voor Randliggers, I-liggers en Volstortliggers waar de hergebruikpotentie nog onvoldoende bekend is.

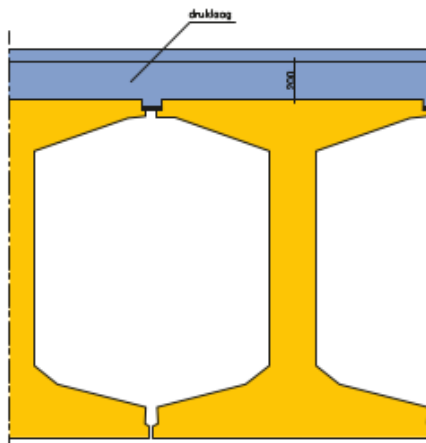
Randliggers

Vanuit expert judgement is geanalyseerd hoe waarschijnlijk het is dat onderdelen her te gebruiken zijn. Een prefab liggerdek wordt aan de zijkanten opgesloten door randliggers. Deze zijn anders van vorm dan de overige liggers in een prefab dek en hebben daarmee een grotere variëteit. De hergebruik potentie van randliggers is daarmee minder kansrijk dan de overige dekliggers. Tot nu toe is gering onderzoek gedaan naar hergebruik van randliggers en zijn deze als onbekend en onzeker beoordeeld.

I-liggers

I-liggers zijn varianten op omgekeerde T-liggers voor grotere overspanningen. Ze hebben daarmee een groter verbonden oppervlak tussen prefab beton en druklaag. Hierdoor zijn ze bewerkelijker om te scheiden dan een omgekeerde T-Liggers, maar eenvoudiger dan een volstortligger. De herbruikbaarheid is in potentie groot, echter bewerkelijk om te oogsten, daarom is de hergebruikpotentie als onzeker beoordeeld.

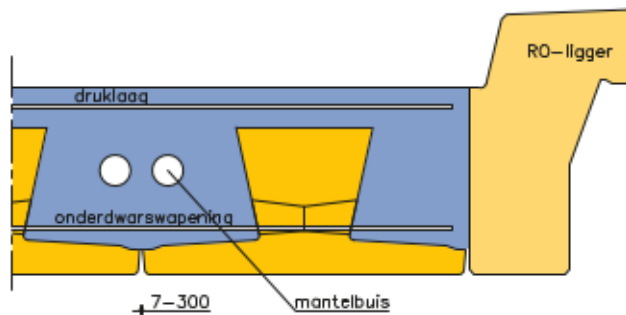
Afbeelding 2.7 Standaard detail I-liggers met druklaag (bron Haitsma)



Volstortliggers

Volstortliggers zijn momenteel nauwelijks her te gebruiken, het prefab zit volledig omsloten in in-situ beton, waardoor de druklaag lastig van het prefab beton te scheiden is. Zie afbeelding 2.8 voor verduidelijking.

Afbeelding 2.8 Standaard detail volstortligger (bron Haitsma)



2.3.2 Conditie

Onder conditie wordt verstaan de staat waarin bestaande liggers zich bevinden. Zowel HGL als CTL heeft onderzoek gedaan naar de staat van de verschillende liggers in pilot projecten voordat deze worden gesloopt/geoogst. Hierbij gaat het om de visuele staat van de elementen, dit zegt niet per definitie iets over de rekenkundige (rest) capaciteit van de elementen. Zowel de staat van de ligger als de rekenkundige onderbouwning dient op orde te zijn. Als er niets aan een liggers mankeert is de conditie goed/als nieuw. Echter kunnen door de tijd allerlei fenomenen optreden die invloed hebben op de conditie van de ligger. Hierbij valt te denken aan carbonatie, stootschade, scheurvorming, chloride indringing, grindnesten et cetera. Sommige van deze fenomenen, zoals betonrot, zijn deels met een visuele inspectie aantoonbaar, andere schadebeelden zijn dat niet en dienen middels (niet)destructief onderzoek aangetoond danwel uitgesloten te worden.

HGL

'In het algemeen is gevonden dat de hoogwaardige, fabrieksmatige productie van voorgespannen betonnen prefab liggers, 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 prefab liggers.'

Kortom, concludeerde HGL [ref.3] dat alle liggers met uitzondering van randliggers, goed herbruikbaar zijn op basis van de visuele staat van de liggers. De studie was slechts gericht op omgekeerde T-liggers. Van het totaal aan vrijgekomen liggers, concluderen zij dat maar 5 % niet bruikbaar is.

Closing TheLoop

125 van 125 onderzochte liggers zijn herbruikbaar volgens de herbruikbaarheidsscan van CLT [ref.2]. De conclusie van de studie is dat bestaande liggers in goede staat zijn. Wel wordt aangegeven dat door toenemende verkeerbelasting het waarschijnlijk nodig is om liggers in te korten.

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 carbonatie en chloride-indringing;
- materiaalkundig onderzoek in laboratorium NEBEST.

'De kokerliggers en railliggers, van dit onderzoek, kunnen worden hergebruikt over de volledige lengte. Dit blijkt uit proefbelastingen en laboratoriumonderzoek van de TU Delft. Zo blijkt uit dat de bezwijkbelasting 2 keer zo hoog ligt als rekenkundig bepaald. De verkeersbelasting neemt echter toe. Om toch constructieve veiligheid te waarborgen, moment- en dwarskracht, dienen de liggers ingekort te worden.'

Expert judgement

De conditie van liggers is van 2 dingen afhankelijk. De theoretische eigenschappen van de liggers tijdens aanleg en de praktische bestaande staat van de kunstwerken.

De theoretische eigenschappen, opgenomen in DISK,¹ zijn onder andere:

- jaar van aanleg;
- doorsnede;
- betonsterkte en mengsel;
- toegepaste wapening en voorspanning;
- toegepaste dekking.

Deze eigenschappen zijn doorgaans vastgelegd in berekeningen/bestek/tekeningen. Voorwaarde is daarmee dat deze gegevens beschikbaar zijn.

2.3.3 Rekenkundige onderbouwing herbruikbaarheid

Wat de huidige staat echter niet aanduidt is de mate waarin een object constructief theoretisch is her te gebruiken, dit wordt met een herberekening (conform RBK) aangetoond op basis van areaalgegevens. Als 1 van de 2 onderdelen niet voldoet (staat of herberekening), is het element niet zondermeer her te gebruiken. Zowel de herberekening als de huidige staat van het element dient voldoende te zijn. Als de constructie rekenkundig nog 30 jaar of langer meekan, maar de staat van het beton en/of staal onvoldoende is door bijvoorbeeld aantasting of schade door aanrijding, kan een element niet zonder maatregelen hergebruikt worden. Andersom kan ook, dat de staat van het element perfect is, maar de capaciteit van de elementen onvoldoende is om nog minimaal 30 jaar verkeersbelasting te kunnen dragen.

Uit de CTL [ref.2] volgt dat zij sommige elementen hebben ingekort om rekenkundig aan te tonen dat de elementen in het nieuwe dek conform nieuwbouweisen voldoen. Dat betekent dat is aangetoond dat het dek als nieuw is en daarmee een ontwerplevensduur heeft van 100 jaar. Uit deze analyse valt af te leiden, dat wanneer de liggers niet ingekort waren deze niet zondermeer als nieuwbouw her te gebruiken zijn. Dit wordt beaamd door expert judgement vanuit onze herberekeningsspecialist.

¹ In de praktijk blijkt dat in DISK niet te allen tijde correcte informatie is vastgelegd, soms komen aanlegjaar, dimensies, type en dergelijke niet overeen met de werkelijke waarden

Ir. A. ten Voorde: 'bestaande liggers gaan vaak stuk op dwarskracht. Dit komt door strengere eisen door de jaren heen. Om bezwijken te voorkomen moet de constructiehoogte worden vergroot. Andere knelpunten zijn de scheurwijdte van het beton bij de toegepaste wapeningsconfiguratie. Daarnaast is bij omgekeerde T-liggers de schuifspanning tussen de ligger en de druklaag een knelpunt.'

2.4 Hergebruikpotentie: Klimaat- en milieuwinst

In deze paragraaf wordt de potentiële klimaat- en milieuwinst onderzocht die behaald kan worden door hergebruik van prefab liggers. Deze winst ontstaat doordat door bij hergebruik bepaalde activiteiten en bijhorende impact uit het conventionele proces worden voorkomen. In paragraaf 2.4.1 wordt een opsomming gemaakt van de activiteiten in het conventionele proces en het proces van hergebruik. In paragraaf 2.4.2 wordt de MKI per levensfase omschreven en bepaald. Paragraaf 2.4.3 toont de gecombineerde milieu-impact voor de activiteiten van hergebruik en sloop-nieuwbouw. Paragraaf 2.4.4 gaat in op de besparing aan primaire grondstoffen.

2.4.1 Omschrijving activiteiten conventioneel- en hergebruikproces

Onderstaande tabel geeft een overzicht met daarin een vergelijking in activiteiten die nodig zijn in het conventionele proces en het proces van hergebruik. De milieu-impact gerelateerd aan de combinatie van de verschillende activiteiten van het hergebruikproces moet opwegen tegen de milieu-impact van het slopen, verwerken en het produceren van een nieuwe prefab ligger, oftewel het conventionele proces.

Tabel 2.1 Overzicht van activiteiten in conventioneel proces en proces van hergebruik

Activiteit	Conventioneel proces	Proces van hergebruik
productie van nieuw beton	ja	nee
productie van nieuw wapeningstaal	ja	nee
fabricage van nieuwe ligger	ja	nee
vervoer naar te bouwen kunstwerk	ja	ja
installatie van ligger in kunstwerk	ja	ja
onderhoud	n.v.t.	n.v.t.
slopen van ligger (in-situ)	ja	nee
uitzagen ligger uit kunstwerk	nee	ja
vervoer vrijgekomen ligger naar depot	nee	ja
vervoer betonpuin naar verwerker	ja	nee
matching	nee	ja
aanpassingen/reparaties aan ligger	nee	ja
wachttijd in depot	nee	ja
verwerking van betonpuin	ja	nee

2.4.2 MKI per levensfase

In de milieukosten indicatie (MKI) wordt de milieu-impact van de gehele levenscyclus van een product beschouwt. Om inzicht te krijgen in het aandeel MKI dat wordt bespaard door hergebruik is het belangrijk inzicht te krijgen in het aandeel MKI dat wordt toegeschreven aan het produceren van de prefab liggers

(A1-A3), het transport (A4) en de installatie op locatie (A5). Wanneer prefab liggers worden hergebruikt wordt namelijk bespaard op de materiaalproductie (A1-A3). In de levensfasen (gecontroleerde) sloop (C1), transport naar de nieuwe locatie (C2) en herinstallatie (A5) vindt extra milieu-impact plaats.

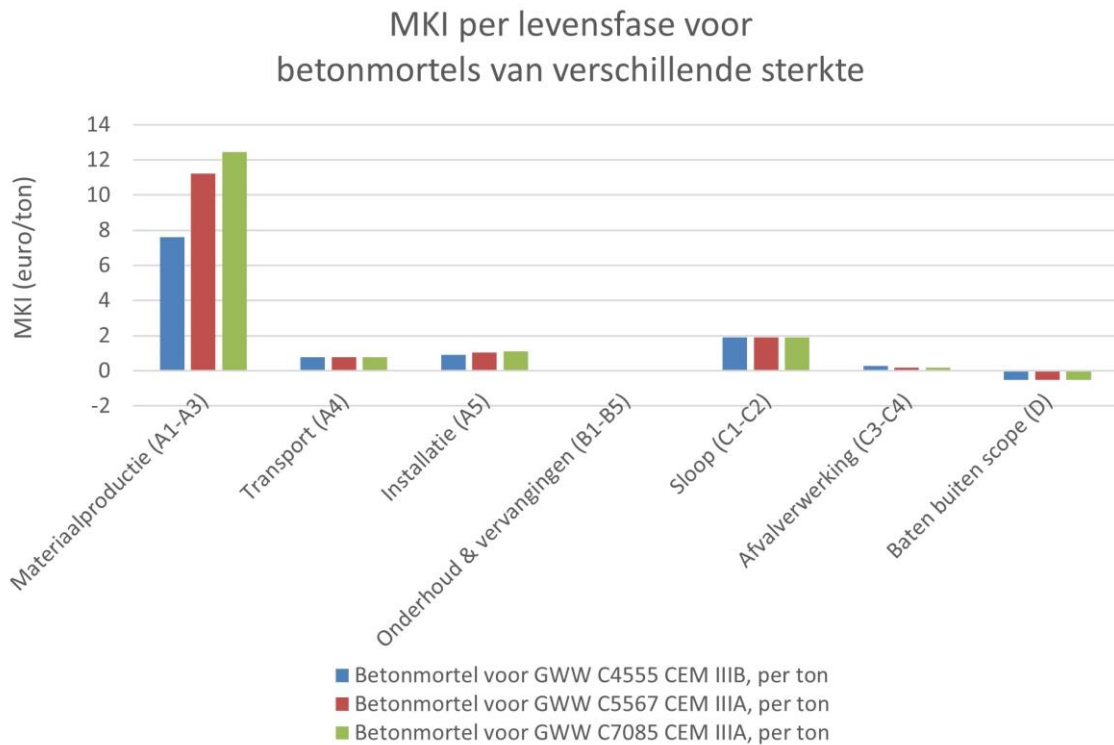
Productie van nieuw beton

Productie van nieuw beton is nodig in het conventionele proces: bestaande liggers slopen en nieuwe liggers produceren. Voor prefab betonliggers wordt in het algemeen beton van sterkteklasse C55/67 of C70/85 toegepast. De milieu-impact van de betonproductie is grotendeels afhankelijk van de cementproductiemethode en de hoeveelheid die wordt toegepast in het betonmortel.

In Nederland wordt CEM III veel toegepast. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in type A en B. CEM IIIA kent een 50 %/50 % verhouding tussen portlandklinkercement en hoogovenslakkencement, CEM IIIB kent respectievelijk een 20%/80% verhouding tussen deze cementsoorten. Cement vervaardigd van hoogovenslakken heeft een lagere milieu-impact dan portlandcement. Echter, CEM IIIB is nauwelijks of niet beschikbaar in de hoogste cementklasse¹ en wordt dus niet toegepast voor betonsoorten van hogere sterkte.

afbeelding 2.9 geeft de MKI per levensfase weer voor 3 NMD-productkaarten voor beton van verschillende sterkteklassen. tabel 2.2 geeft de samenstelling weer van betonproducten waarop deze productkaarten zijn gebaseerd. Uit de figuur volgt dat het grootste deel van de milieu-impact vindt plaats tijdens de materiaalproductiefase. Het grootste verschil tussen de producten onderling is ook te zien in de materiaalproductiefase. Dit verschil is verklaarbaar door enerzijds de toename van de cementverhouding bij hogere betonsterktes, zie tabel 2.2, anderzijds door de samenstelling van het cement. Voor de berekening wordt dus uitgegaan van CEM IIIA. Voor de materiaalproductie (A1-A3) van nieuw beton wordt EUR 12 MKI/ton beton aangehouden.

Afbeelding 2.9 Overzicht van de milieu-impact per levensfase voor betonmortel van verschillende sterkte.



¹ Nationale Milieudatabase (2021). LCA Rapportage categorie 3 data - Hoofdstuk 42 Betonconstructies, Hoge sterkte betonmortels.

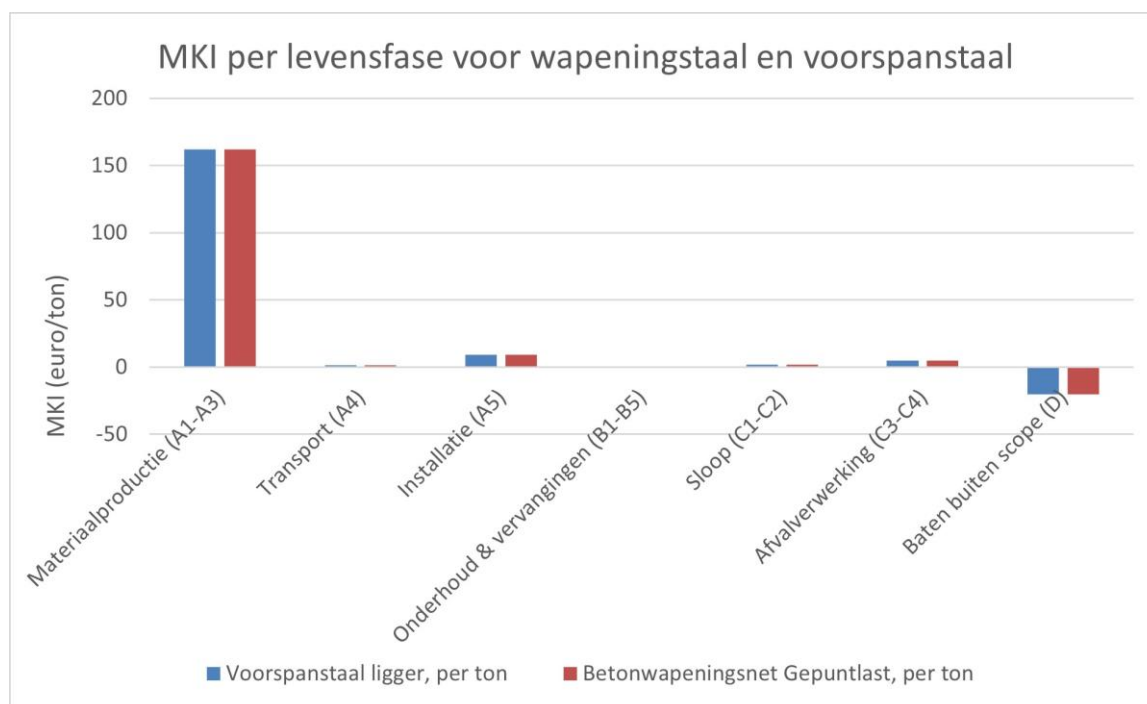
Tabel 2.2 Overzicht van betonsamenstelling zoals toegepast in beschouwde NMD-productkaarten

Samenstelling betonmortel in kg/m ³	Grind	Zand	CEM III	Hulpstof	Water	Totaal
Betonmortel voor GWW C4555 CEM III, per ton	945	760	505	2,2	175	2387,2
Betonmortel voor GWW C5567 CEM IIIA, per ton	900	825	515	2,6	175	2417,6
Betonmortel voor GWW C7085 CEM IIIA, per ton	850	825	590	2,4	165	2432,4

Productie van wapeningsstaal

Productie van nieuw wapeningsstaal is nodig in het conventionele proces. afbeelding 2.10 geeft de MKI per levensfase weer voor 2 NMD-productkaarten; wapeningsstaal en voorspanstaal. Uit de figuur volgt dat het grootste deel van de milieu-impact plaatsvindt tijdens de materiaalproductiefase. De NMD-producten zijn vergelijkbaar opgebouwd en tonen onderling slechts kleine verschillen in de fases transport, installatie en sloop. Voor de productie van het wapeningsstaal (A1-A3) wordt EUR 160 MKI/ton aangehouden. Verder is een wapeningspercentage van 1,5 opp.% in acht genomen. Dit komt overeen met 120 kg staal/m³ beton en EUR 8 MKI/ton prefab beton.

Afbeelding 2.10 Overzicht van de milieu-impact per levensfase voor wapeningsstaal en voorspanstaal.



Fabricage van de prefab ligger

Voor de fabricage van de ligger wordt de MKI van de beton- en wapeningproducten toegepast overeenkomend met levensfase A5 van beide NMD-producten zoals weergegeven in afbeelding 2.9 en afbeelding 2.10 en geschaald naar de massaverhouding per ton gewapend beton. Dit komt overeen met EUR 1,5 MKI/ton prefab ligger.

Vervoer naar te bouwen kunstwerk

Voor het vervoer naar het te bouwen kunstwerk wordt de MKI van levensfase A4 van de betonproducten aangehouden. Dit komt overeen met EUR 0,8 MKI/ton prefab ligger.

Installatie van ligger in kunstwerk

Voor de installatie van de liggers in het nieuw te bouwen kunstwerk wordt uitgegaan van installatie met een telekraan. Het NMD-product Telekraan (hybride) is hiervoor aangehouden. In dit product wordt een productiecapaciteit van 4 ton/uur aangehouden. Dit komt overeen met EUR 3,6 MKI/ton prefab ligger.

Onderhoud en vervangingen

Aangenomen wordt dat de liggers geen onderhoud vereisen nadat deze in een nieuw kunstwerk zijn verwerkt. Daarbij is het zeer onwaarschijnlijk dat liggers worden vervangen voor de eindelevensduur van het kunstwerk. Daarom wordt geen noemenswaardige milieu-impact verwacht voor onderhoud en vervangingen en gerekend met EUR 0 MKI/ton prefab ligger.

Slopen van ligger in-situ (conventioneel proces)

Het slopen van een kunstwerk wordt vaak geoptimaliseerd om verkeershinder zo veel mogelijk te reduceren. Deze fase omvat enkel het afbreken van het object (middels sloophamer en betonbreker) en het laden van puin voor transport. Voor de sloop van de ligger wordt de MKI van de beton- en wapeningproducten toegepast overeenkomend met levensfase C1 van beide NMD-producten zoals weergegeven in afbeelding 2.9 en afbeelding 2.10 en geschaald naar de massaverhouding tussen staal en beton. Dit komt overeen met EUR 1,1 MKI/ton prefab ligger.

Uitzagen van liggers (hergebruikproces)

Er is nog beperkt ervaring met het non-destructief verwijderen van prefab liggers uit een RWS kunstwerk. Recent is een artikel online gepubliceerd in Cement¹, een kennisplatform over betonconstructies waarin het demonteren van liggers uit een donorproject in Groningen wordt beschreven door het consortium Combinatie Liggers 2.0. Voor het bepalen van de milieu-impact van het uitzagen van liggers is informatie over zowel het type materieel als het aantal draaiuren benodigd. In deze analyse wordt uitgegaan van de gedeelde ervaringen vanuit dit pilotproject.

Uitgaande van een liggerlengte van 20 meter, zie paragraaf 2.2.1, wordt op basis van dwarskrachtgrafieken voor HRP-liggers van Haitsma Beton een overeenkomende dwarsdoorsnede van 0,375 m² toegepast. Dit resulteert in een liggermassa van 18,8 ton/prefab ligger. In het online artikel wordt omschreven dat 40 uur werk per overspanningsveld nodig was om de liggers succesvol uit te zagen. In dit voorbeeld bestond het veld uit 7 liggers. Omgerekend resulteert dit in ongeveer 6 uur zagen per prefab ligger. Het NMD-product 'Asfalt-betonzaag' wordt hiervoor als representatieve productkaart gehanteerd. Na het demonteren wordt de ligger uit het kunstwerk gehesen, waarvoor wederom het NMD-product Telekraan (Hybride) als representatieve productkaart wordt toegepast. Op basis van de gestelde liggermassa, zaagtijd en hijscapaciteit van de telekraan is de gemoduleerde milieu-impact voor het uitzagen van liggers EUR 5,2 MKI/ton prefab ligger.

Vervoer vrijkomende liggers naar depot (hergebruikproces)

Voor het vervoer van de liggers naar het depot wordt een EURO5 dieselvrachtwagen aangehouden. Daarnaast is een transportafstand van 100 km, overeenkomend met de forfaitaire waarden binnen de bepalingsmethode, aangehouden. Dit komt overeen met EUR 0,9 MKI/ton prefab ligger.

Vervoer betonpuin naar verwerker (conventioneel proces)

Voor het vervoer van betonpuin naar het depot wordt een EURO5 dieselvrachtwagen aangehouden. Daarnaast is een transportafstand van 50 km, overeenkomend met de forfaitaire waarden binnen de bepalingsmethode, aangehouden. Dit komt overeen met EUR 0,9 MKI/ton prefab ligger.

Matching (hergebruikproces)

De milieu-impact voor matching wordt verwaarloosbaar geacht. Daarom wordt gerekend met EUR 0 MKI/ton prefab ligger.

Aanpassingen aan liggers (hergebruikproces)

Gezien de beperkte ervaring met het hergebruiken van prefab liggers kent deze processtap nog veel onzekerheid. Echter, in het geval van omgekeerde T-liggers wordt de in het werk gestorte druklaag van de

¹ Bron: <https://www.cementonline.nl/hergebruik-prefab-t-liggers-2>.

ligger verwijderd. In het online artikel¹ wordt beschreven dat de druklaag wordt verwijderd met een lichte hydraulische hamer. Het NMD-product 'Sloop steenachtig materiaal klein materieel' wordt als representatief beschouwd. Uitgaande van een druklaag van 0,3 meter hoog, een liggerlijfbreedte van 0,3 meter breed en een liggerlengte van 20 meter resulteert dit 4,5 ton te verwijderen druklaag per ligger. Dit komt overeen met EUR 1,5 MKI/ton prefab ligger.

Wachttijd in depot (hergebruikproces)

De milieu-impact voor wachttijd van de liggers in een depot wordt verwaarloosbaar geacht. Mogelijk worden de liggers binnen een depot verplaatst, maar de onzekerheid hierover is groot. Daarom is besloten dit niet verder te beschouwen in deze analyse en wordt gerekend met EUR 0 MKI/ton prefab ligger.

Verwerking van betonpuin (conventioneel proces)

Voor de verwerking van het beton en staal uit de ligger wordt de MKI van de beton- en wapeningproducten toegepast overeenkomend met levensfase C3-C4 van beide NMD-producten zoals weergegeven in afbeelding 2.9 en afbeelding 2.10 en geschaald naar de massaverhouding tussen staal en beton. Dit komt overeen met EUR 0,4 MKI/ton prefab ligger.

2.4.3 Milieu-impact hergebruik en sloop-nieuwbouw

In paragraaf 2.2.1 en 2.2.2 zijn een ondergrens en bovengrens bepaald voor het aantal vrijkomende liggers tot 2030, namelijk 2350 - 7000 prefab liggers. Op basis van deze aantallen en de uitgangspunten zoals beschreven in paragraaf 2.4.2 kan de milieu-impact van het hergebruiken van de prefab liggers worden ingeschat. Een overzicht van de milieu-impact per activiteit is weergegeven in onderstaande tabel. Voor conventionele sloop-nieuwbouw wordt de milieu-impact gevonden als EUR 1,2 - 3,6 miljoen MKI en 12,4 - 37,0 miljoen kg CO₂-eq. In het geval van hergebruik wordt de milieu-impact gevonden als EUR 0,5 - 1,6 miljoen MKI en 5,2 - 15,3 miljoen kg CO₂-eq. Door te hergebruiken kan tot 2030 dus EUR 0,7 - 2,0 miljoen MKI en 7,2 - 21,6 miljoen kg CO₂-eq worden bespaard.

Tabel 2.1 overzicht van de milieu-impact per activiteit

Activiteit	MKI conventioneel (tot 2030)		MKI hergebruik (tot 2030)	
	laag	hoog	laag	hoog
productie nieuw beton	498.646	1.485.327	-	-
productie nieuw wapeningsstaal	349.927	1.042.335	-	-
fabricage van de ligger	65.071	193.830	-	-
vervoer naar te bouwen kunstwerk	34.993	104.234	34.993	104.234
installatie ligger in kunstwerk	158.570	472.335	158.570	472.335
onderhoud	-	-	-	-
slopen van ligger (in-situ)	49.508	147.470	-	-
uitzagen ligger uit kunstwerk	-	-	225.975	673.116
vervoer vrijgekomen ligger naar depot	-	-	41.466	123.517
vervoer betonpuin naar verwerker	20.733	61.758	-	-
matching	-	-	-	-
aanpassingen/reparaties aan ligger	-	-	65.345	194.644
wachttijd in depot	-	-	-	-
verwerking van betonpuin	17.632	52.522	-	-
totaal	1.195.079	3.559.811	526.348	1.567.844

2.4.4 Besparing in primaire grondstoffen

Door het beton en staal in de prefab liggers te hergebruiken wordt productie van nieuwe bouwmaterialen voorkomen. Uitgaande van een representatief liggergewicht van 18,8 ton bij een liggerlengte van 20 meter, zie paragraaf 2.2.1, en 2.350 - 7.000 vrijkomende liggers tot 2030, zie paragraaf 2.2.3, is de bespaarde massa primaire grondstoffen 44.000 - 130.000 ton gewapend beton.

2.5 Hergebruikpotentie: Kosten en baten

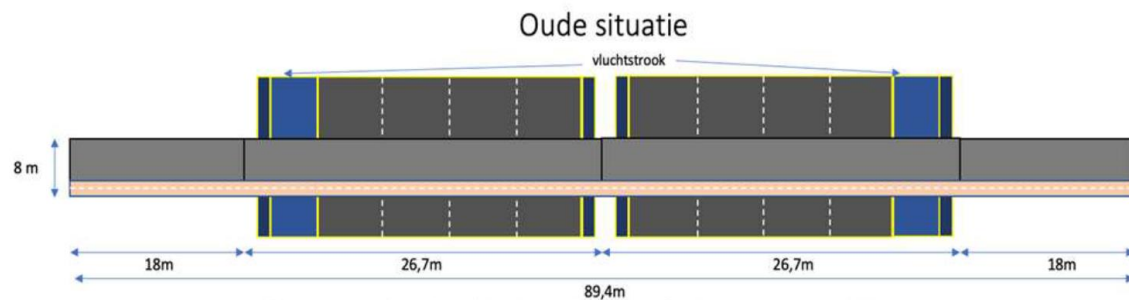
Het is vanzelfsprekend dat een economisch perspectief van hergebruik belangrijk is voor alle ketenpartijen (RWS en marktpartijen). Een kundige kostenraming is standaard opgesteld op basis van kengetallen gebaseerd op projectervaringen uit het verleden. Het probleem bij het opstellen van een raming voor hergebruik en het proces dat daarvoor noodzakelijk is, is dat het nog nieuw is en alleen met pilotprojecten wordt uitgevoerd. Hierdoor is de risicospreiding en daarmee de bandbreedte groot. Om inzicht te krijgen in de kostendragende elementen worden de SBIR-aanbiedingen van HGL en CTL geanalyseerd door een kostendeskundige. Binnen de SBIR diende economisch perspectief van de innovatie uitgewerkt te worden. Daarnaast is RWS momenteel bezig om binnen het DBFM-contract van de A9BaHo liggers te kunnen oogsten, hiervoor is [ref.8] geraadpleegd om de bevindingen van dit project mee te nemen. Vervolgens wordt beschouwd welke onderdelen bij hergebruik significant aanwezig zijn bij hergebruik. Als laatste worden aandachtspunten vanuit kostenexperts gegeven over het mogelijk maken van hergebruik.

2.5.1 Referenties

SBIR - HGL

HGL [ref.3] heeft een kostenvergelijking gemaakt van 2 scenario's om inzicht in het economisch perspectief te geven. Dit is uitgewerkt voor de Viaduct Kniplaan.

Afbeelding 2.11 Situatie Viaduct Kniplaan



Tabel 2.3

Aspect	Totale lengte
totale lengte	89,4 meter
totale breedte	8 meter
aantal liggers in breedte (zonder randliggers)	5 liggers
totaal aantal randliggers (zonder randliggers)	20 liggers
overspanningslengte over de A4	26,7 meter

Voor het uitwerken van de kosten beschrijft RHDHV 2 scenario's. Scenario 1 is de reguliere methode en omvat de sloop van het bestaande viaduct en bouw van een nieuw viaduct met nieuwe prefab liggers. 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 uitkomt (ten opzichte van totale kosten voor de nieuwbouw van het viaduct) en 31 % lager als we alleen het brugdek beschouwen.

Afbeelding 2.12 Kostenvergelijking scenario's (Studie vanuit RHDHV)

	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	€813.785	€561.317	-31%

Bij de kostenvergelijking worden volgende aandachtspunten meegegeven:

- voor de geselecteerde objecten/onderdelen worden de kosten en baten voor zowel hoogwaardig hergebruik als nieuwbouw en recyclen in beeld gebracht;
- daarbij worden ook bijvoorbeeld transportkosten en opslagkosten meegenomen. Uitgangspunt bij de transportkosten voor hergebruik is dat per geselecteerd item gekeken wordt wat een realistische gemiddelde transportafstand is;
- belangrijk hierbij is om de kosten en baten vanuit de diverse organisatiescenario's (eigen beheer/volledig uitbesteden e.d.) te alloceren bij de partij/organisatieonderdeel waar deze onder kunnen vallen;
- onderbouwing van scenario's ontbreekt, dit resulteert in de vraag waarom bijvoorbeeld het bouwen van landhoofden en tussensteunpunten in beide scenario's verschilt.

SBIR - CTL

CTL [ref.2] heeft in hun haalbaarheidsstudie eveneens een economisch model uitgewerkt. Hierbij is onderscheid gemaakt in 3 verschillende ontwerpconcepten. *De kosten zijn begroot voor de realisatie van de ontwerpconcepten vanuit de Closing the Loop innovatie. 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 met de onderdelen afkomstig uit de 4 bestaande viaducten 4 nieuwe CTL-viaducten realiseren binnen de ontwerpogave (N33). Hiermee komen de materiaalkosten grotendeels te vervallen maar zijn ook het aantal transportbewegingen en de kosten voor opslag minimaal. Exacte kostenuitwerking is niet bijgevoegd, opvallend is dat het uitgangspunt is genomen dat de liggers direct na oogst verwerkt worden in een nieuw viaduct en dat daarmee geen kosten opgenomen hoeven te worden voor opslag en transport.

A9 Groeidocument

Binnen het groeidocument van de A9 ligt de geschatte bandbreedte voor de meerkosten voor het oogsten van een viaduct tussen de EUR 50.000,-- per kunstwerk over het water tot EUR 1.000.000,-- per kunstwerk over een Rijksweg. De belangrijkste analyse hierin is dat de meerkosten voor het oogsten van een brug minimaal zijn (over water), maar van een viaduct (over land) significant zullen zijn. Bij waterwegen dient bij traditioneel slopen al hijsmaterieel te worden voorzien, waar dat bij slopen boven lang niet standaard toegepast wordt. De doorlooptijd (wat ook resulteert in extra kosten) kan tot maximaal 3 weken oplopen om te oogsten in plaats van traditioneel te slopen. Dit betekent ook dat de hinder, waar soms ook kosten aan zijn verbonden, ook langduriger is. Of de extra kosten door tijdsduur en hinder meegenomen zijn in de bandbreedte schatting is onbekend.

Expert judgement

Bij de kostenvergelijking in hiervoor beschreven pilotprojecten (HGL, CTL en A9) valt op dat voor hergebruik van vrijkomende liggers uitgegaan is van het ultieme optimale scenario. Dit wil zeggen dat vrijkomende liggers worden toegepast op een nieuwe bestemming met een gelijke overspanning en gelijke breedte. In de praktijk zal dit nauwelijks van toepassing zijn, kunstwerken zijn breder of smaller, waardoor er prefab liggers overblijven of ergens anders gevonden moeten worden (hergebruikt dan wel nieuw gemaakt). Tevens kan de lengte variëren, waarbij momenteel de enige optie is dat bestaande liggers worden verkort en niet worden verlengd, waarmee een nieuw kunstwerk bestaande uit hergebruikte liggers niet langer kan zijn dan het kunstwerk waaruit de liggers zijn geoogst.

Tevens valt op dat bij CTL uitgegaan wordt van geen (langdurige) opslag. Het slopen, opslaan en transport bij HGL is voor EUR 136.052,-- meegenomen, daar waar de inschatting bij de A9 BaHo varieert tussen de EUR 50.000,-- en EUR 1.000.000,-- voor alleen het oogsten. Dit is een (zeer) grote spreiding. De werkelijkheid is momenteel moeilijk te bepalen aangezien dit nog in de pilotfase is en er daardoor geen referentiewaarden zijn. De duur van de opslag zal significante impact hebben op de kosten.

Bij het opstellen van de kostenvergelijking is gebruik gemaakt van opslag percentages om de bijkomende kosten te bepalen. Gezien de aard van de kostenvergelijking gaat dit niet op. De ontwerp werkzaamheden (tekeningen en berekeningen) voor het hergebruik zijn naar verwachting complexer en vergen daarmee een grotere inspanning. Dit geldt ook voor de instandhoudingskosten die nu zijn aangenomen. Liggers van 10-20 jaar oud vergen direct na hun nieuwe bestemming meer onderhoud dan nieuwe liggers, aangezien het onderhoudsregime van betonnen objecten intensiever wordt naar mate de jaren vorderen. Advies zou zijn deze kosten minimaal gelijk te houden dan wel de opslag voor het hergebruikte viaduct een hoger percentage te geven. Bij de bouwkosten van HGL valt specifiek op dat de kosten van de landhoofden en steunpunten van elkaar verschillen. Onduidelijk is waardoor deze verschillen worden veroorzaakt. Ook hier zegt het eerste gevoel dat deze onderdelen eerder een hogere investering vragen ten opzichte van nieuwe liggers ook omdat de uitvoerig naar verwachting meer tegenslagen kent.

Als laatste dient meer inzicht verkregen te worden in het risicoverschil tussen toepassen van nieuwe liggers (standaard hedendaagse praktijk) en het toepassen van hergebruikte liggers (gewenste toekomstige praktijk). Het risico bij hergebruik is naar verwachting groter doordat er meer handelingen nodig zijn en men afhankelijk is of de oogst succes vol is en de actuele staat van het kunstwerk. Door al deze onduidelijkheden is het momenteel nog niet te zeggen of in iedere situatie hergebruik van liggers, economisch, voordeliger is dan nieuwbouw. Of het voorkomen van productie van een ligger opweegt tegen hergebruik van een ligger hangt voornamelijk af van: het type ligger, de wijze van oogsten, de (herstel)werkzaamheden die aan een ligger uitgevoerd moeten worden en de (eventuele) duur van opslag.

3

HANDELINGSPERSPECTIEF

3.1 Hergebruikproces

Als eerste wordt het hedendaagse projectproces toegelicht waarna vervolgens wordt ingegaan op het gewenste project proces.

3.1.1 Conventioneel proces

Wanneer prefab liggers niet meer nodig zijn worden deze vermalen tot betonpuin, verreweg het meeste beton eindigt als wegfundering. Hierbij gaat functionele waarde van het betonproduct verloren, oftewel downcycling.

De verschillende stappen in de verschillende fasen van projecten gebeurt momenteel het volgende:

- verkenning: Hoe wordt het knelpunt opgelost? Verbreden van de weg, nieuwe weg et cetera. hierbij wordt inzichtelijk gemaakt hoeveel kunstwerken komen te vervallen door mogelijke functionele (niet) inpasbaarheid;
- tracébesluit: benodigd ruimtegebruik en haalbaarheid/maakbaarheid aantonen. Op basis van levensduur, areaalinformatie en aanpassingen aan/onder het kunstwerk wordt bepaald of het kunstwerk functioneel her te gebruiken is. Als het object oud is of conflicten oplevert met profiel van vrije ruimte (PvR), volgt dat object gesloopt moet worden. Momenteel worden in deze fase van de (mogelijk) her te gebruiken/uit te breiden kunstwerken herberekeningen gemaakt. Van de te vervallen kunstwerken NIET. Daarvan wordt uitgegaan dat deze in 1 weekendafsluiting (hinder) te slopen zijn en de kosten op (O)TB niveau zijn goed in te schatten. Per object wordt uiteindelijk aangegeven of het te behouden, aan te passen of vervangen objecten zijn. Als dit vaststaat in het TB, is wijzigen in andere fasen lastig;
- ontwerp: Ontwerpen worden gemaakt voor de nieuwe en uit te breiden kunstwerken. Voor de vervallen kunstwerken wordt in een faseringsplan de werkwijze aangegeven en de hinder bepaald. De kosten worden bepaald op basis van m² te slopen object. Te behouden/aan te passen objecten worden geïnspecteerd om de staat te bepalen, in eerste instantie visueel. Als inspectie aanleiding geeft wordt mogelijk vervolg (destructief) onderzoek uitgevoerd;
- contractvoorbereiding: Hier wordt voorgeschreven of kunstwerken te behouden, uit te breiden, of vervangen zijn;
- realisatie: Op basis van contractstukken worden de objecten gemaakt, aangepast of gesloopt. Te vervallen kunstwerken komen in eigendom van de aannemer en worden gesloopt en tot granulaat vermalen.

Te zien is dat in het project proces, momenteel, geen tijd en ruimte wordt gereserveerd of gevraagd om de te vervallen kunstwerken te analyseren. Vervallen kunstwerken zijn kunstwerken die in het project compleet worden vervangen of waarvan de functie vervalt en dus worden gesloopt om vervolgens nergens door te worden vervangen. Van de te vervallen kunstwerken dient bepaalt te worden in wat het voor elementen zijn, en de staat daarvan is, en hoe dit zo hoogwaardig mogelijk her te gebruiken is en wat daarvoor nodig is.

3.1.2 Proces bij hergebruik

Het ideale proces voor hergebruik zou zijn:

- tijdens voorfase:
 - te vervallen en vervangen kunstwerken binnen project inspecteren, met herbruikbaarheidsscan of gelijkwaardig, om staat van de elementen en exacte eigenschappen (doorsnedes, lengtes en dergelijke) vast te stellen;
 - bepalen of en hoe te vervallen/vervangen kunstwerken te demonteren oogsten zijn;
 - uitvoeren van een verificatieberekening om vast te stellen of liggers herbruikbaar zijn als nieuwe of tijdelijke liggers en of er versterkingsmaatregelen uitgevoerd moeten worden;
 - inventarisatie binnen project waar liggers hergebruikt kunnen worden;
 - inventarisatie buiten project waar liggers hergebruikt kunnen worden;
 - eventueel voorschrijven in contract waar vrijkomende liggers naar toe moeten of voorschrijven welke prefab liggers in het project moeten worden toegepast.
- tijdens realisatiefase (deze stappen kunnen in verschillende projecten plaatsvinden)
 - demonteren van de prefab liggers;
 - transport van de prefab liggers, naar opslagplaats, werkplaats of nieuwe locatie;
 - bewerking van de prefab liggers;
 - transport van de prefab liggers naar de toekomstige locatie;
 - installatie van de prefab liggers in het nieuwe dek.

Als er ligger zijn die nergens hergebruikt kunnen worden, dienen deze opgeslagen te worden. Bij andere projecten moet dan een stap worden ingevoegd waarbij geïnventariseerd wordt of voorradige gebruikte liggers voldoen aan de randvoorwaarden van het project om hergebruikt te kunnen worden.

3.2 Inzicht in ketenpartners

De volgende 3 categorieën worden onderscheiden binnen de ketenpartners:

- leveranciers/producten:
 - liggerproducenten;
 - grondstoffenleveranciers (cement, grind, staal en dergelijke);
- aannemers:
 - sloopbedrijven;
 - transporteurs (inclusief hijswerkzaamheden);
 - opslaglocaties;
 - betonreparateurs/bewerkingsbedrijven;
- adviesbureaus:
 - ontwerp;
 - betononderzoeken;
 - verificatieberekeningen.

Een nieuwe ketenpartner zijn de mogelijke (digitale) marktplaats aanbieders, zoals Duspot, Dura Vermeer Urban Miner, de nationale bruggenbank en de bruggenbank. Zij kunnen een plek krijgen om vraag en aanbod aan elkaar te kunnen matchen. Hierbij hebben zij inzicht in vrijkomende onderdelen en projecten die aanstaand zijn. Zowel leveranciers als opdrachtgevers kunnen mogelijk een rol spelen in de opslag van liggers. Ook eventueel andere partijen zouden een opslaglocatie kunnen oprichten. Aandachtspunt is waar de garantiestelling/certificering komt te liggen. Dit zou bij de leveranciers kunnen die de liggers hebben vervaardigd, maar ook bij een partij als RWS als opdrachtgever/eigenaar of een adviesbureau die aantoont dat liggers nog constructief veilig voor een nieuwe toepassing bruikbaar zijn of bij aannemers die na bewerking garant staat voor de kwaliteit van de aangepaste prefab ligger.

In gesprek met de prefab leveranciers gaf Romein beton aan dat zij openstaan om garanties af te geven bij hergebruik, Haitsma wil dat liever niet.

3.2.1 Leveranciers/producenten

Momenteel zijn er in Nederland 2 grote prefab ligger leveranciers: Haitsma en Romein beton. Spanbeton was eerder ook een grote leverancier van prefab liggers, zij zijn recentelijk gestopt. De prefab producenten kopen de grondstoffen voor de liggers in en produceren de liggers welke door aannemers worden ingekocht en verwerkt. Binnen HGL [ref.3] werkt Haitsma momenteel samen om hergebruik van liggers mogelijk te maken, opslag van de liggers gebeurt niet op hun terrein maar op die van Dura Vermeer, dus daarmee hebben zij (nog) geen mogelijkheid om naast productie ook opslag van liggers te faciliteren.

Mogelijk kunnen leveranciers van prefab liggers meer naar standaardisatie toe om een grotere eenheid in liggers te creëren. Momenteel wordt iedere ligger/viaduct apart ge-engineerd en daarmee een individuele configuratie gerealiseerd. Dit beperkt de mogelijkheden tot generalistisch hergebruik. Faciliteren van standaardisering betekent dat het voor de producenten bedrijfstechnisch aantrekkelijk gemaakt moet worden om hiertoe over te gaan. Standaardisering levert mogelijk minder engineeringwerkzaamheden op voor leveranciers.

3.2.2 Bewerking/Sloop/Reparatie

Voor de HGL [ref.3] pilot zijn liggers gedemonteerd. Het sloopbedrijf (onderaannemer) heeft geen extra maatregelen getroffen ten opzichte van 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. Vanuit de studie zijn in de pilot 6 liggers gedemonteerd. Door demontage zijn enkele voorspanstrengen beschadigd tijdens het reguliere aanbrengen van een hijsgat. Volgens de studie heeft deze schade geen invloed op de toepasbaarheid en restlevensduur van de ligger.

CTL [ref.2] heeft meerdere projecten waar demontage is toegepast. De onderdelen kokerliggers, randliggers en tussensteunpunten van KW10 '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 prefab liggers). Binnen het project Ring Groningen Zuid zijn de liggers geoogst door een snede in het dek te maken met de breedte van een prefab ligger en dan de complete ligger inclusief druklaag uit te hysen en gereed te maken voor transport om vervolgens de druklaag en prefab ligger van elkaar te kunnen scheiden.

Afbeelding 3.1 Oogsten van liggers Ring Groningen (bron: https://www.cementonline.nl/liggers2_0)



Door beschadigingen gedurende levensduur als tijdens het oogsten zijn mogelijk reparaties noodzakelijk. Deze kunnen worden uitgevoerd door de prefab leveranciers of door de aannemers zelf.

3.2.3 Transport

Momenteel bestaat het transport van de te vervallen kunstwerken voornamelijk uit transporteren van stukken beton. Om hergebruik mogelijk te maken dienen complete liggers (al dan niet inclusief druklaag) verplaatst te worden. Dit betekent dat gelijk (of zwaarder) transport als bij realisatie benodigd is. De mogelijkheid om te transporteren over water zal sterk de business/value case beïnvloeden. Dit geeft extra werkgelegenheid voor de aannemer/transporteur, omdat meer en groter transport nodig is.

3.2.4 Opslag

Momenteel zijn er geen grote opslaglocaties beschikbaar voor het opslaan van prefab liggers, aangezien deze standaard niet worden geogst. Meerdere aannemers zijn bezig met het opzetten van bouwhubs, waarmee zij een rol kunnen krijgen in de (tijdelijke) opslag van de liggers. De bouwhubs worden niet specifiek voor liggers opgezet, maar voor meerdere objecten/materialen. HGL [ref.3] geeft aan dat per jaar 4x zoveel keer liggerviaducten gebouwd worden dan gesloopt/gedemonteerd. Daardoor kan de tijd in een tijdelijk opslag kort zijn (veelal minder dan 1 jaar). HGL heeft de Urban Miner van Dura Vermeer benoemd als opslagruimte en locatie om de liggers te bewerken. Deze locatie ligt in 's Gravendeel (nabij Dordrecht). CTL geeft aan dat meerdere fysieke regionale opslaglocaties nodig zijn. Een strategisch netwerk van opslaglocaties zal bijdragen aan het mogelijk maken van hergebruik in de toekomst. Om de nood voor opslagruimte voor RWS te bepalen (aantal bouwhubs en locatie) is een analyse van vrijkomende objecten nodig.

Opslag kan ook bij overheden komen te liggen of nieuwe partijen, zoals bij bouwhubs besproken wordt. Tevens dient er vraag- en aanbod gecreëerd te worden wat impact heeft op mogelijke opslag. Risico van het opslaan van elementen is dat deze niet hergebruikt worden en daarmee veel ruimte vragen en op locatie onderhouden moeten worden, bij slecht/geen onderhoud, zal de staat van de elementen degraderen en de hergebruik potentie verkleinen.

Expert Judgement

Een en ander is ook erg afhankelijk van het te kiezen business model. Het HGL model gaat uit van opslag bij de markt, terwijl CTL de overheid vraagt om opslag te regisseren. Dit zal tevens moeten blijken uit de uit te werken organisatiemodellen. Feit blijft dat momenteel niet in grootschalige opslaglocaties en bewerkingslocaties is voorzien, wat voor het hergebruik wel bevorderd dient te worden. Het bewerken van de liggers is een nieuw vak, al zal dit uitgevoerd kunnen worden door marktpartijen die versterkingsmaatregelen aan objecten uitvoeren. Dit zal dan een extra markt voor de partijen kunnen worden. Tevens kunnen aannemers dit zelf oppakken of is het een service die prefab leveranciers kunnen gaan aanbieden.

3.2.5 Adviesbureaus

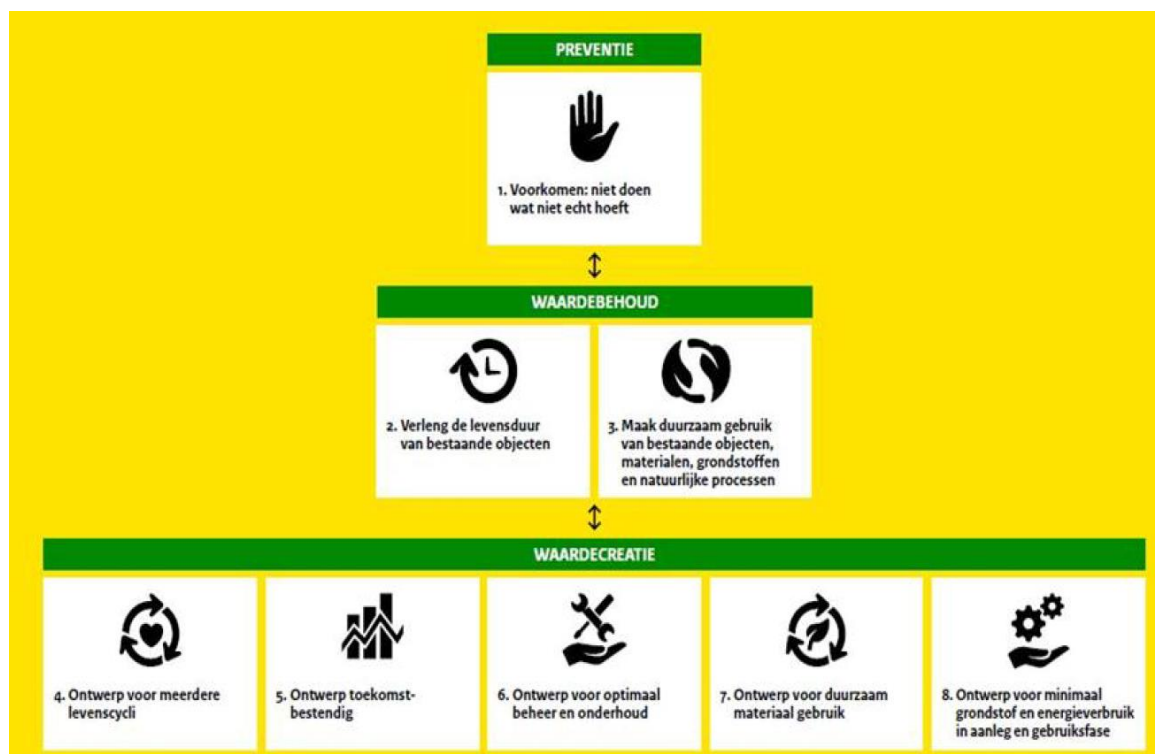
RHDHV, Nebest, Antea en Imd zijn betrokken bij de SBIR initiatieven om hergebruik van liggers uit te voeren. Voor adviesbureaus zit het grootste werk in het (technisch) aantonen van de herbruikbaarheid van een bepaald object en onderdelen uit dit object. Adviesbureaus moeten in het voorbereiden van het project deze mogelijkheid inbouwen. Dit betekent dat zij bij contractvoorbereiding en ontwerp de mogelijkheden moeten onderzoeken en mogelijk vastleggen/voorschrijven, maar ook bij verkenningen de fysieke ruimte opnemen in de systeemgrens. Het oogsten en transporteren meenemen in de planning/fasering en inventariseren in welke projecten liggers vrijkomen, maar ook waar liggers mogelijk toegepast kunnen worden. Dit zal adviesbureaus voornamelijk meer tijd en inzet kosten. Daarnaast moeten zij niet alleen kennis hebben van de projecten die zij zelf uitvoeren, maar ook die andere partijen uitvoeren. Hier kan een tussenpartij (matching teams, marktplaats of iets dergelijks) een mogelijke uitkomst bieden.

3.3 Barrières en oplossingsrichtingen

3.3.1 Wat is nodig?

Naast ervaring met hergebruik van liggers om meer inzicht te krijgen in de (on)mogelijkheden, de risico's, kosten en tijdsbesteding dienen projecten anders ingericht te worden. Aan het begin van het project moet beschouwd worden welke objecten komen te vervallen en hoe deze herbruikbaar zijn, zonder te slopen. Daarnaast moet bij nieuwe ontwerpen rekening gehouden worden met de mogelijkheid om onderdelen, eenvoudig, terug te winnen. Dit betekent dat moet worden ingezet op standaardisatie in het ontwerp, met behulp van losmaakbaarheid/IFD/aanpasbaarheid/flexibiliteit kan dit bereikt worden. Hierbij dienen de circulaire ontwerpprincipes van RWS gevolgd te worden, afbeelding 3.2.

Afbeelding 3.2 Circulaire ontwerpprincipes MIRT



Inzicht is noodzakelijk in vrijkomende elementen, de eigenschappen van de vrijkomende elementen, de staat van de elementen, de datum dat de onderdelen vrijkomen en waar deze vrijkomen. Hoe eerder dit inzichtelijk is, hoe eerder een mogelijke match voor hergebruik kan worden gevonden. Dit betekent dat er een nauwkeurige en completere database binnen RWS nodig is om beter in kaart te brengen wat voor kunstwerken en type liggers er in het areaal van RWS aanwezig zijn. Wat de staat van deze kunstwerken is, zijn ontwerpdocumenten beschikbaar en wat is het plan voor de objecten binnen projecten van RWS (handhaven, vervangen, uitbreiden et cetera). Hiermee verkrijgt RWS meer inzicht in wat er de komende jaren vrij komt, zodat een duidelijkere match gemaakt kan worden tussen oogst viaducten en donor viaducten. Daarna dient de staat van deze elementen bepaald en vastgelegd te worden om de herbruikbaarheid te vergoten. Tevens is er meer inzicht nodig in de scenario's van eigenaarschap, fase 2 van dit onderzoek, en welke impact dit heeft op contractvorming en voorbereiding.

3.3.2 Algemene en prefab ligger specifieke risico's en belemmeringen

Voor de prefab ligger is tabel 3.1 een risico-inventarisatie gemaakt. Inclusief de oorzaak en mogelijke risicobeheersingsmaatregelen.

Tabel 3.1 Risico inventarisatie

Risico	Oorzaak	Beheersmaatregel
hoeveelheid beschikbare liggers onduidelijk	onvoldoende inzicht in projecten, staat van elementen en type elementen	nader onderzoek naar Areaal en lopende projecten binnen RWS (en daarbuiten) over vrij te komen objecten
liggers zijn niet makkelijk demontabel	type toegepaste ligger maakt losmaakbaarheid eenvoudiger of niet	inventarisatie complete areaal over hoeveelheid
kosten van reparatie maken hergebruik niet rendabel	staat ligger blijkt na oogsten slechter of ligger is beschadigd, wat leidt tot reparaties	post onvoorzien bij hergebruik opnemen
restlevensduur onvoldoende	verificatieberekening komt niet uit	ligger versterken of ligger niet hergebruiken
kosten oogsten/transport maken hergebruik niet rendabel	kosten van netjes oogsten of transport naar opslaglocatie wordt te duur	-opslag ligger nabij transport; -in budget rekening houden met lang transport en hijsmaterieel
onvoldoende opslaglocaties / ruimte	opslag vergt veel ruimte en liggers moeten mogelijk lang opgeslagen worden	-aankopen terreinen -geschikt maken / inrichten eigen terreinen -opslag bij markt laten
conditie van liggers in het areaal onbekend	constructieve staat van veel objecten is onbekend	nadere onderzoeken naar staat doen inzetten monitoring
planning vrijkomende ligger vraag & aanbod zorgt voor gemiste kansen	momenteel is het (nog) niet bekend waar welke elementen vrij komen en waar deze opnieuw ingezet kunnen worden	areaal onderzoek en projectonderzoek uitvoeren over vrijkomende en nieuwe viaducten/bruggen
beheerder wil gebruikte liggerviaduct niet accepteren	beheerder is niet meegenomen in het feit dat hij/zij hergebruikte onderdelen kent, en wil object niet overnemen	-beheerder in vroeg stadium meenemen -randvoorwaarden ophalen om hergebruikt object over te nemen -certificering van her te gebruiken elementen
wet- en regelgeving	niet alle wet- en regelgeving is ingericht op hergebruik	pilot projecten om haalbaarheid en vertrouwen aan te tonen

Overige risico's/aandachtspunten uit onderzoeken:

- alle onderzoeken die in deze studie zijn opgenomen, geven aan dat prefab liggers in goede staat verkeren en geschikt zouden zijn gebruikt. Conditie is nu nog voornamelijk bepaald met visuele inspecties. Geen informatie over betonkwaliteit en wapening et cetera. Er zijn onvoldoende studies gedaan om dit te concluderen;
- uit onderzoek van HGL [ref.3] blijkt dat omgekeerde T liggers zonder extra aandacht kunnen worden gedemonteerd. Dit bewijst echter niet dat andere soorten dat ook kunnen zijn, ook met het oog op liggers met een druklaag. Het was ook maar een beperkt aantal liggers die werden gedemonteerd;
- transport heeft invloed op de kosten en MKI. Zonder informatie over opslaglocaties is het niet mogelijk te zeggen wat deze kosten zijn;
- als er een disbalans is tussen vraag & aanbod kan het invloed hebben op de beschikbaarheid van vrijkomende objecten en de kosten voor opslag. Als er meer aanbod is dan vraag worden de voorraden groot en duurt de opslag van elementen lang, wat tot verhoging van de kosten voor opslag leidt en verlaging van de kosten voor een element. Andersom als er meer vraag is dan aanbod van vrijkomende elementen, worden de elementen zelf duurder, maar is minder (lang) opslag nodig en de kosten die daarmee gemoeid zijn;

- hoewel liggers niet vaak zijn hergebruikt en er daarom beperkte informatie over onderhoud is, geven alle partijen aan dat er minimaal onderhoud nodig zal zijn vanwege de hoge kwaliteit van de constructie van geprefabriceerde elementen;
- als de dwarskrachtcapaciteit van de liggers niet goed uitgewerkt is of de belasting in de toekomst (ten opzichte van de originele situatie) toeneemt kan dit (grote) invloed hebben op de constructieve veiligheid;
- de MKI impact van hergebruik van elementen is in de systematiek van de SBIR meegerekend als 0 %. In de huidige MKI bepalingmethode zou dat 20 % moeten zijn, waardoor de exacte claims van de partijen kunnen afwijken van de werkelijkheid en negatiever uitvallen.

3.3.3 Wet- en regelgeving

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar welke wet- en regelgeving van toepassing zijn bij hergebruik van prefab liggers.

Zowel de studie van HGL als die van Closing the Loop geven aan dat normen en richtlijnen van invloed zijn op de mogelijke herbruikbaarheid van liggers. HGL gaat vooral in op het feit dat zowel de nieuwe druklaag aan nieuwbouw normen dient te voldoen als de bestaande ligger die hergebruikt wordt. Dit betekent dat een herberekening conform RKB (aantoning dat element nog 30 jaar constructief veilig gebruikt kan worden) niet voldoende is, maar de herberekening moet aantonen dat de her te gebruiken ligger aan nieuwbouweisen voldoet.

Algemeen geldt dat in de loop der jaren, de normen zijn veranderd. W+B heeft in het kader van InnovA58 een afwegingsmodel gemaakt voor het risicoprofiel van een kunstwerk (ongeacht of deze prefab is of niet). bij het afwegingsmodel is vooral van toepassing:

- in de loop der jaren zijn de normen en richtlijnen aangescherpt voor wat betreft de belastingen, dit betekent dat hoe ouder een kunstwerk is, deze met andere uitgangspunten is ontworpen. De betonnormen door de jaren heen:
 - eurocode;
 - voorschrift Beton Constructies - VBC 1995;
 - VBC 1990;
 - voorschriften beton - VB 1974;
 - gewapend beton voorschriften -GBV 1962;
 - GBV 1950;
 - GBV 1940;
 - GBV 1930;
 - GBV 1918;
 - GBV 1912;
- is het kunstwerk van voor 1974 dan is de wegingdeling niet verdeeld over het complete dek en daarmee is niet iedere prefab ligger voor complete verkeersbelasting ontworpen;
- vroeger werd het aandeel van beton en staal voor de dwarskrachttoets gecombineerd, momenteel mag je het aandeel beton niet meer meenemen wanneer de dwarskrachtcapaciteit van alleen het beton onvoldoende is. RWS heeft een dwarskrachtlijst¹ waarop kunstwerken staan waar de dwarskracht van getoetst moet worden;
- het aantal spanningswisselingen (vermoeiing) dat werkelijk is opgetreden is onbekend, waardoor niet exact is vast te stellen hoeveel spanningswisselingen zowel het beton als staal nog aankunnen.

We hebben interne experts geïnterviewd om meer informatie over hergebruik potentie te bepalen in verband met wet- en regelgeving. Hier zijn onze bevindingen:

- Als de bovenbouw wordt vervangen dient het nieuwe dek ontworpen te worden op nieuwbouw en niet op verbouw/gebruiksniveau. In de RBK (par 1.5) staat dat dit moet, behalve wanneer een onevenredig grote inspanning (disproportioneel) vereist is, dan mag hiervan afgeweken worden. Onze experts kunnen voorstellen dat als gevolg van de nieuwbouweis nieuwe liggers de enige mogelijke toepassing zijn voor

¹ Bronvermelding van dwarskrachtenlijst is niet mogelijk, hebben wij ontvangen in het kader van de A58, navraag kan gedaan worden bij Paul Spencer (GPO).

veel objecten, maar dat onderzocht moet worden of de nieuwbouwniveau eis niet een disproportionele eis is. De liggers binnen de CTL studie voldoen aantoonbaar aan nieuwbouw niveau;

- In principe is de huidige regelgeving geschikt voor het toepassen van hergebruik, maar het maximaal benutten van hergebruikpotentie wordt bevorderd bij opzetten van een aparte aanbeveling/handreiking komt, zodat eenduidig bepaald kan worden wat wel en niet mag;
- als benoemd in de HGL en CTL studies moet er een herberekingprotocol geschreven worden die de stappen doorloopt om tot hergebruik te komen goed vast te leggen, zodat geen stappen vergeten worden of alle bureaus hun eigen visie hierop ontwikkelen;
- vasthouden aan het profiel van Vrije Ruimte (4,6 m) van onderliggende weg, conform Richtlijn Ontwerp Autosnelweg, waardoor onderdoorgaand profiel krap wordt en alleen aan eis voldaan kan worden met, dunnere, in-situ dekken. Prefab resulteert over het algemeen in minder materiaalgebruik, maar in hogere constructiediktes, waardoor bij onvoldoende beschikbare ruimte uitgeweken wordt naar, minder herbruikbare, in-situ dekken.

Daarnaast zijn er vooral punten die belemmerend werken voor het ontwerpen van nieuwe kunstwerken waardoor demontage bij einde levensduur niet mogelijk is:

- er mag geen langsvoeg in een kunstwerk aanwezig zijn;
- voorspanning zonder aanhechting mag in ROK 2.0 inmiddels in dwarsrichting, maar niet in langsrichting.

In projecten zien we ook dat Esthetische/inpassingseisen invloed hebben op de (gewenste) uitstraling van de kunstwerken, wat hergebruik belemmerd. Voorbeelden hiervan zijn:

- prefab/hergebruik sluit niet aan bij historische waarde of het te creëren beeld, waardoor specifiek wordt ontworpen met locatiespecifieke oplossingen, in plaats van generieke oplossingen die herbruikbaarheid stimuleren;
- de wens om de onderzijde van het dek vlak af te werken, zodat geen naden aan de onderzijde van het dek zichtbaar zijn. Hierdoor kiest aannemer vaak voor in-situ uitvoering van het dek;
- de wens om geen onderslagbalken toe te passen. Bij het toepassen van prefab wordt een onderslagbalk vaak gebruikt om de liggers op te leggen, als er geen onderslagbalk gewenst is ondersteund een bekisting de tijdens realisatie het dek, waardoor in-situ toegepast wordt.

3.4 Impact op organisatie RWS

RWS is werkgever, opdrachtgever en beheerder. Hierom hebben zij grote invloed op de potentie van hergebruik. Om hoogwaardig hergebruik van prefab liggers te garanderen moet het ontwerpproces worden aangepast. Dit betekent dat in vroege fasen van een project, uiterlijk bij opstellen (O)TB, onderzoek gedaan moet worden naar de staat van de kunstwerken, het type kunstwerk, leeftijd, berekeningsinformatie en de gevolgen van oogsten van een ligger op het project. Dit betekent dat in het ontwerp en projectproces rekening gehouden moet worden in tijd, scope en geld:

- vaststellen welke objecten binnen het project prefab liggers bevatten en welke objecten daarvan komen te vervallen;
- areaalgegevens dienen ABC te zijn, actueel, betrouwbaar en compleet. Als voorspantekeningen/berekening ontbreken is met minder zekerheid herbruikbaarheid aan te tonen en zal project voor zekerheid kiezen en daarmee voor vervangen;
- staat van het object dient bekend te zijn. Zijn de elementen aangetast of beschadigd. Corrosie van de voorspankop, chloride indringing, ASR en aanrijdschade. Mogelijk aangevuld met destructief onderzoek (boorkernonderzoek);
- verificatieberekening dient aan te tonen dat element nog minimaal 30 jaar constructief veilig te gebruiken is in bestaande toepassing of 100 jaar wanneer de ligger in een nieuw dek wordt toegepast;
- hinder op (vaar)verkeer dient inzichtelijk te zijn over hoe de elementen worden geoogst, hiermee dient in de planning rekening gehouden te worden;
- opslaglocatie liggers dient bepaald en vastgelegd te worden, mogelijk ook al inventarisatie naar bruikbaarheid binnen en buiten project.

Deze andere manier van werken kost tijd om te implementeren en zal niet in elk project zomaar uitgevoerd kunnen worden. In de voorfase van een project dient meer werk verzet te worden om aan te kunnen tonen dat liggers herbruikbaar zijn, dit vraagt concreet om:

- RWS moet areaalonderzoek uit laten voeren, hiervoor zal in het RWS archief gezocht moeten worden. Bij het ontbreken van gegevens kunnen onderzoeken aan objecten worden uitgevoerd. Dit kan RWS zelf doen, zelf coördineren of uitbesteden;
- meer materiaal onderzoeken uitvoeren, dit zal RWS voornamelijk coördineren en geld kosten voor het uitvoeren van de onderzoeken;
- Berekningen uitvoeren aan de liggers, dit besteedt RWS uit en zal daardoor kosten opleveren.

3.5 Fase van markttransformatie

Structureel hergebruik van objecten, onderdelen en materialen vraagt om een andere manier van werken dan de manier die lange tijd gebruikelijk was. Het toewerken naar deze nieuwe manier is te zien als een 'markttransformatie'. Ieder van de 4 fasen van markttransformatie¹ heeft daarbij eigen kenmerken en vraagt een specifieke inzet van RWS. De 4 fasen zijn toegelicht in tekstkader Fasering markttransformatie op de volgende pagina. Door per objecttype te bepalen in welke fase van markttransformatie deze zich bevindt, wordt duidelijk welke interventies en inzet hier vanuit RWS bij horen om versnelling van het transitieproces te realiseren.

Fasering markttransformatie

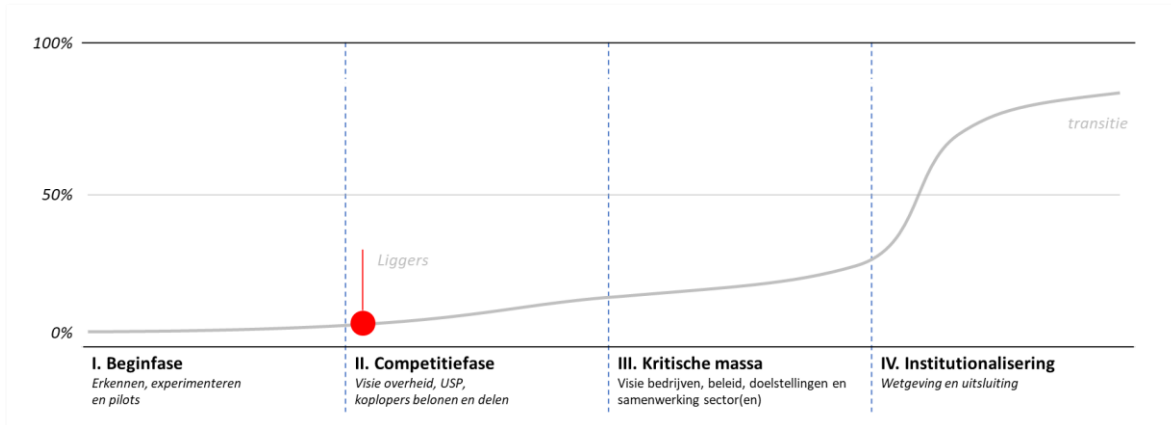
De 4 fasen van markttransformatie volgens het model van Simons & Nijhof:

- Fase 1: Beginfase:
In deze eerste fase wordt gewerkt aan een gezamenlijke erkenning van het probleem. Ook vinden de eerste experimenten en pilots plaats, waarmee duidelijk wordt welke oplossingsrichtingen mogelijk zijn.
- Fase 2: Competitiefase:
In deze tweede fase zien meerdere partijen kansen om bij te dragen aan de oplossing, en ontstaat competitief voordeel vanuit koplopers. Daarbij hoort een heldere visie vanuit de overheid over de richting die wordt ingezet.
- Fase 3: Kritische massa:
In deze derde fase gaan steeds meer partijen met oplossingen aan de slag, waarbij zij ook pre-competitief samenwerken. Daarbij stellen partijen meetbare doelstellingen en ontwikkelen zowel overheid als bedrijven beleid en strategie.
- Fase 4: Institutionalisering:
In deze vierde fase worden de oplossingen het 'nieuwe normaal'. Daarbij worden zaken gevat in wetgeving en richtlijnen. Ook vindt uitsluiting van partijen plaats die niet op deze nieuwe manier werken.

Hergebruik van betonnen liggers bevindt zich in fase 2. Dit lijkt het begin van fase 2 te zijn: er zijn enkele experimenten (kenmerk fase 1), maar die zijn het gevolg van een SBIR-regeling, waar partijen zijn uitgedaagd om met elkaar te concurreren naar de beste oplossing (kenmerk fase 2). In de praktijk zijn er 3 projecten waar gewerkt wordt aan hergebruik van liggers: 2 trajecten uit het SBIR-traject (Closing the Loop + Hergebruik liggers) en het hergebruik van vrijkomende liggers uit de A9, wat momenteel verkend wordt. De praktijkervaringen zijn beginnend en de businesscase van hergebruik is nog onduidelijk.

¹ Simons & Nijhof (2020) *Changing the Game: duurzame markttransformaties*.

Afbeelding 3.3 Positie van hergebruik betonnen liggers in transformatiemodel



Bron: 'Changing the game' Lucas Simons & André Nijhof (2018)

3.6 Organisatiemodellen

In de huidige manier van werken van RWS worden vrijwel alle werkzaamheden door marktpartijen uitgevoerd. RWS is eigenaar en beheerder van haar objecten tijdens de levensduur en zet vanuit een projectmatige aanpak opdrachten in de markt wanneer werkzaamheden moeten worden uitgevoerd. De stap naar 'hergebruik, tenzij' kan vragen om een ander organisatiemodel.

Mogelijke organisatiemodellen

Op hoofdlijnen zijn er 3 organisatiemodellen te onderscheiden in de relatie tussen RWS en uitvoerende partijen, wanneer we kijken naar rollen en verantwoordelijkheden:

- **'Markt aan het stuur'**, waarin in het realiseren van de ambities en projecten van RWS naar marktpartijen wordt gekeken voor de innovatieve ideeën, inhoudelijke expertise en uitvoeringscapaciteit. Daarmee bepalen marktpartijen in feite op welke manier de circulaire ambities in de praktijk worden gebracht;
- **'Ieder zijn eigen expertise'**, waarin de rollen en verantwoordelijkheden gelijkmatig zijn verdeeld tussen RWS en marktpartijen. Daarbij neemt RWS initiatief voor zaken op ketenniveau en werken marktpartijen op projectniveau.
- **'RWS organiseert'**, waar RWS een sterke verantwoordelijkheid naar zich toetrekt om de ambities te realiseren. Daarbij gaat het onder meer om het organiseren van de keten van hergebruik, van opslag en logistiek tot herinzet.

Wanneer we kijken naar de markt van betonnen, prefab liggers ligt op dit moment vrijwel alle initiatief bij marktpartijen ('markt aan het stuur'). Hergebruik vindt hier in de praktijk nog nauwelijks plaats (zie paragraaf 3.1). Vanwege de vroege fase van markttransformatie naar hergebruik (zie paragraaf 3.5) liggen er dus veel mogelijkheden om een nieuwe rol- en taakverdeling vorm te geven.

3.6.1 Korte-termijnperspectief (1-3 jaar)

Het toewerken naar 'hergebruik, tenzij' voor betonnen, prefab liggers gaat niet vanzelf: er is nog geen automatische businesscase voor hergebruik. Eerste ervaringen (zie ref.2, ref.3 en het pilotproject A9) laten zien dat er mogelijkheden liggen, wanneer de randvoorwaarden op projectniveau op orde zijn. Daarbij gaat het voornamelijk om de planning: er moet voldoende tijd zijn voor matchmaking en aantonen van herbruikbaarheid. Ook is er een herbesteding voor deze liggers nodig, die er nu vaak nog niet is – mede door het gebrek aan aanbod. Omdat het organiseren van hergebruik op dit moment nog niet vanzelf door de markt wordt opgepakt, het aanbod beperkt is en RWS het meest complete overzicht heeft van zowel vraag als aanbod, ligt hier een logische rol voor RWS om op te pakken in de komende jaren. Dit vraagt voor deze periode wel intensieve samenwerking met marktpartijen rondom onder meer de kwaliteitscontrole en verdeling van technische risico's.

3.6.2 Langere-termijnperspectief (5 – 8 jaar)

Gezien het beperkte aantal producenten in de markt (2) lijkt het kansrijk dat zij op termijn een belangrijke rol gaan spelen in retourname, kwaliteitscontrole en levering van deze liggers. Hier ligt immers hun expertise. Daarnaast hebben deze leveranciers het beste zicht op de daadwerkelijke vraag. Ook kan op deze manier de bestaande keten grotendeels in stand blijven. De belangrijkste stap naar een volgende fase (fase 3) van markttransformatie lijkt dus te liggen bij deze leveranciers, die hergebruik omarmen. Daarmee kan RWS haar (tijdelijk) intensievere rol mogelijk weer beperken wanneer duidelijk is dat herinzet door marktpartijen kan worden opgepakt. Op lange termijn hoeft hergebruik van betonnen liggers dus niet tot een andere marktorganisatie te leiden. Wanneer de partijen deze rol niet pakken/willen kan RWS ervoor kiezen om zelf de regie in handen te houden.

4

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

De conclusies worden onderverdeeld in 3 delen:

- technische hergebruikpotentie;
- klimaat- en milieuwinst bij hergebruik;
- kosten en baten van hergebruik.

4.1.1 Technische hergebruikpotentie

Het is technisch mogelijk om prefab liggers, voornamelijk I-liggers, omgekeerde T-liggers en kokerliggers, her te gebruiken. De pilots binnen de SBIR hebben aangetoond dat liggers rekenkundig aantoonbaar herbruikbaar zijn en dat de staat van elementen het toelaat om hergebruikt te worden. Projecten binnen RWS hebben een doorlooptijd van meerdere jaren, in de huidige projectenaanpak worden kunstwerken die komen te vervallen of worden vervangen nauwelijks uitgewerkt. De hergebruikpotentie kan vergroot worden door een inventarisatie naar te vervangen en slopen objecten in projecten en de eigenschappen van de dekken van deze objecten. Op deze wijze kan ook vraag en aanbod beter aan elkaar gekoppeld worden.

4.1.2 Klimaat- en milieuwinst bij hergebruik

Bij het hergebruiken van prefab liggers wordt het grootste gedeelte van de impact van het produceren van een nieuwe prefab ligger voorkomen. Uit de analyse blijkt dat er statistisch gezien mogelijk 2.350 - 7.000 prefab liggers vrijkomen tot 2030. Op basis van deze analyse wordt gesteld dat door te hergebruiken tot 2030 dus EUR 0,7 - 2,0 miljoen MKI en 7,2 - 21,6 miljoen kg CO₂-eq kan worden bespaard. De potentiële besparing van massa primaire grondstoffen tot 2030 door het hergebruiken van liggers is 44.000 - 130.000 ton gewapend beton.

4.1.3 Kosten en baten van hergebruik

Binnen de SBIR hebben zowel HGL [ref.3] als CTL [ref.2] een onderbouwing moeten geven van de kosten en baten die hun innovatie met zich meebrengt. Hierbij vallen een aantal dingen op:

- HGL [ref.3] gaat uit van een opslagtermijn van minder dan 1 jaar op een bestaand opslagterrein van een van de projectpartners;
- CTL [ref.2] gaat uit van geen opslag, aangezien de liggers direct van oogstlocatie in donorviaduct geplaatst kunnen worden. Zij hebben geen eigen opslaglocaties;
- HGL [ref.3] heeft circa EUR 33.000,-- meegenomen om herstelwerkzaamheden aan de liggers uit te voeren, voor CTL [ref.2] is dit onbekend;
- HGL [ref.3] gaat uit van een andere kostenpost voor het bouwen van landhoofden voor de hergebruik en nieuwe situatie.

Binnen de A9 BaHo [ref.8] wordt gesteld dat het oogsten van liggers tussen de EUR 50.000,-- en EUR 1.000.000,-- kost, afhankelijk van de locatie en situatie. Dit wijkt af van de kosten die binnen de

haalbaarheidsstudie van de SBIR zijn bepaald. Dit is ook een gevolg van het feit dat in de voorbereiding van het project nog geen sprake was van hergebruik, als het in de toekomst in het complete projectproces meegenomen wordt zal dit hoogst waarschijnlijk een positief effect hebben op de kosten.

Daarnaast zijn er ook risico's/meerkosten aan het hergebruiken:

- meer tijd en onderzoek nodig voor aantonen dat liggers herbruikbaar zijn, ten opzichte van slopen. met risico dat uitkomst van onderzoek negatief is;
- hoe langer de opslag van elementen nodig is voor deze in een nieuw project kunnen worden toegepast, hoe duurder de opslag wordt. E.e.a. ook afhankelijk van hoe eigenaarschap van de liggers wordt geregeld. Beide hebben impact op de bandbreedte van de kosten;
- aanpassingen aan bestaande liggers zijn op voorhand moeilijk in te schatten en daarmee is de bandbreedte van de kosten onzeker. Wat scheuren dichtten heeft minder effect op de kosten dan inkorten en/of versterken van liggers.

In projecten, waar het in de voorfase voornamelijk om bandbreedtes gaat die gebaseerd zijn op ervaringsgetallen uit het verleden is het lastig om in te schatten wat de kosten en bandbreedte moeten zijn van het hergebruik van prefab liggers.

4.2 Aanbevelingen

Om de potentie voor hergebruik te vergroten is het verstandig om nauwkeuriger inzicht in het areaal en de projecten te krijgen. Het inzicht in aantal vrijkomende liggers en de eigenschappen van bestaande dekken dient vergroot te worden. Om dit te bereiken worden de volgende aanbevelingen gedaan.

Op de korte termijn:

- zorg dat bij het ontwerpen van nieuwe kunstwerken voorgeschreven wordt dat dekken (eenvoudig) demontabel zijn, dit dient in de basisspecificatie eisen (kunstwerken) opgenomen te worden. Zo wordt voorkomen dat nieuwe kunstwerken in de toekomst niet te oogsten zijn;
- voer kostenonderzoek uit naar kosten voor demonteren en opslag, bij opslag voornamelijk afhankelijk van eigenaarschap:
 - laat een demontageplan van een standaard kunstwerk opstellen;
 - vraag marktpartijen wat het zou kosten om dit uit te voeren;
 - vraag marktpartijen wat opslag van liggers zou kosten (met verschillende tijdsduren, van 1 maand, half jaar, 1 jaar en 2 jaar) in hun beheer en op hun terrein;
 - voer eigen onderzoek uit naar de kosten van het aankopen van locaties om liggers op te slaan of het inrichten van reeds in bezit zijnde locaties. Of laat dit door een andere partij doen, maar met de randvoorwaarde dat RWS eigenaar is van de grond.

Op de middellange termijn:

- zorg dat DISK-database wordt aangevuld met type ligger per kunstwerken, dit kan mogelijk bij projecten worden opgehaald. Dit kan door RWS zelf (portfoliomanagement, GPO, bruggen en viaducten o.i.d.) gedaan worden of door adviesbureaus die aan de projecten werken;
- zorg dat er een concreet beeld is van welke objecten komen te vervallen of worden vervangen in de komende paar jaren. Dit kan wederom door de afdelingen bruggen en viaducten gedaan worden of door adviesbureaus die aan de projecten werken;
- zorg dat van alle (vrijkomende) prefab liggers areaalinformatie ABC (Actueel, betrouwbaar en compleet) beschikbaar is/komt. Hiervoor dient eerst archief onderzoek gedaan te worden en RWS is beheerder van het archief, dus is meest logische om dit zelf te doen. Als informatie ontbreekt kan RWS onderzoek uitvragen om informatie aan te vullen. Dit kan variëren tussen visuele inspectie om vast te stellen wat voor een type ligger is toegepast, maar ook het uitvoeren van betonkernboringen om betonsterkteklasse vast te stellen;
- voer onderzoek uit naar de staat van de (vrijkomende) liggers, schades en dergelijke. Deze onderzoeken kunnen binnen projecten worden uitgevraagd, of kan RWS zelf uitzetten;
- onderzoek de vraag binnen projecten waar nieuwe kunstwerken of kunstwerken worden uitgebreid wat voor type liggers nodig zijn en wanneer;

- van liggers die herbruikbaar blijken en waar een donorproject beschikbaar is voer verificatieberekeningen uit om aan te tonen dat de liggers voldoen of welke herstel/versterkingsmaatregelen nodig zijn;
- voer kostenonderzoek uit naar kosten voor demonteren en opslag, bij opslag voornamelijk afhankelijk van eigenaarschap:
 - laat een demontageplan van een standaard kunstwerk opstellen;
 - vraag marktpartijen wat het zou kosten om dit uit te voeren;
 - vraag marktpartijen wat opslag van liggers zou kosten (met verschillende tijdsduren, van 1 maand, half jaar, 1 jaar en 2 jaar) in hun beheer en op hun terrein;
 - voer eigen onderzoek uit naar de kosten van het aankopen van locaties om liggers op te slaan. Of laat dit door een andere partij doen, maar met de randvoorwaarde dat RWS eigenaar is van de grond.

Bijlagen

BIJLAGE: BRONNEN

I.1 Literatuur

Voor het opstellen van het onderzoek naar het hergebruik van betonnen prefab liggers is gebruik gemaakt van de bronnen en gegevens zoals vermeld in tabel i.1.

Tabel I.1 Referentielijst

Naam	Omschrijving
RHDHV (2021)	eindrapport fase 1 - haalbaarheidsonderzoek hergebruik prefab liggers (HPL)
Closing the Loop	SBIR circulaire viaducten
MIRT_klikbaar	MIRT rapportage over overheidsprojecten de komende jaren
CE Delft Zwaartepuntanalyse (2021)	zwaartepuntanalyse MKI en klimaatimpact transitiepad kunstwerken RWS 2021-2030
prognoserapport_VenR_2021 (definitief 26102021)	vervanging en Renovatie prognose voor de periode 2021 tot en met 2050
IAK pilot herbruikbaarheidsscan (2021)	een pilot uitgevoerd met de herbruikbaarheidsscan voor tien objecten binnen batch 97, 101 en 102 NEBEST
2022 06 29 groeidocument liggers A9BaHo	Rijkswaterstaat stuk over de (on)mogelijkheden om hergebruik van prefab liggers mogelijk te maken binnen de A9 BaHo

I.2 Interviews

Voor het opstellen van het onderzoek naar het hergebruik van betonnen prefab liggers is gebruik gemaakt van kennis binnen W+B. Door interviewen van de experts en het voorleggen van de bevindingen kan theoretische informatie worden getoetst met de werkelijkheid. De experts die geïnterviewd zijn staan in tabel i.2.

Tabel I.2 Geïnterviewde experts W+B organisatie

Naam	Afdeling / expertise	Ervaring
ir. A. ten Voorde	Vervanging en Renovatie van Kunstwerken, Senior Constructeur	15 jaar werkervaring binnen W+B
ing. M.P.A. Janssen MEng	Vervanging en Renovatie van kunstwerken, Senior Constructeur	24 jaar werkervaring binnen W+B



BIJLAGE: ONDERBOUWING AANTAL KUNSTWERKEN

Met inzicht in het complete areaal, overspanningen en type liggers dient beschouwd te worden hoeveel liggers er in de komende jaren vrijkomen.

II.1 Prognose VenR

Binnen de Prognoserapport VenR opgave staat dat tussen 2021-2045 (is dus over meer tijd dan deze analyse) 150 betonnen bruggen en viaducten versterkt dienen te worden en 36 objecten vervangen. Dit gaat over kunstwerken die aan het einde van hun technische levensduur zijn, dit zijn dus geen projectopgaven waarbij wegen worden aangepast.

Afbeelding II.1 Overzicht toegepaste materialen binnen objecten en herbruikbaarheid (bron: Prognoserapport VenR, Rijkswaterstaat, definitief 26 oktober 2021)

Constructietype	Aantal beheer- objecten	Huidig% dat niet voldoet	Verwachte % dat niet voldoet	% vervanging	% versterking
1a Platen gewapend	932	10%	5%	2%	3%
1b Platen voorgespannen	1177	onbekend	0%	0%	0%
2 Onderdoorgangen	1013	5%	1%	1%	0%
3a Prefab liggers statisch bepaald	960	5%	2%	0%	2%
3b Prefab liggers statisch onbepaald (bouw- jaar tot 1976)	346	onbekend		0%	Geschat 10%
4 T-liggers	48				14 ob- jecten
5 Kokers	158	66%	50%	0%	50%
6 bruggen Noordervaart	2			100%	0%
7 Bruggen Naarder Trekvaart A1	2				100%
8 Viaduct Stationsstraat A76	1			100%	

Bovenstaande is gebaseerd op een onderzoek waarbij 35 prefab ligger viaducten zijn herberekend, waarbij 4 van de 35 niet voldoen, wat gelijk is aan 11 %. Verder is de aanname gedaan dat de prefab liggers van objecten van na 1976 allemaal voldoen. Welke 35 objecten dit zijn en of deze representatief zijn kunnen wij op basis van de beschikbare informatie niet beoordelen. Vanuit onze projectervaring blijkt dat over het algemeen alle statisch bepaalde objecten na 1976 rekenkundig blijken te voldoen, dit geeft vertrouwen in de aanname van het prognoserapport VenR.

Ing. M.P.A Janssen MSEng: *'Statisch bepaald na 1976 lukt het ons tot nu toe om inderdaad om objecten recht te rekenen. Statisch onbepaald lukt dat niet, daar hebben we objecten die niet voldoen, voornamelijk doordat voorspanning niet in rekening gebracht mag worden bij controle van de dwarskrachtcapaciteit.'*

In de zwaartepunt analyse van CE-Delft worden binnen vervangen, renovatie en aanleg tussen 2021-2030 78 nieuwe viaducten aangelegd en 41 bruggen/viaducten vervangen (bron: Excel bij zwaartepuntanalyse). Aquaducten, gewapende platen en onderdoorgangen worden niet meegenomen aangezien deze meestal in-

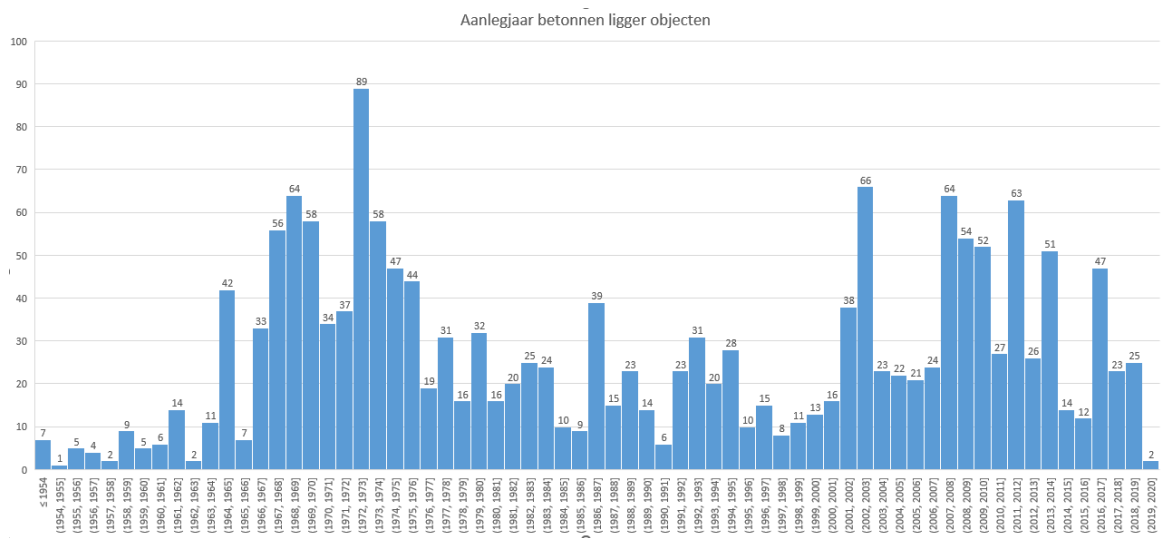
situ worden vervaardigd, dit zijn in totaal 16 objecten. Dan blijven er 25 te vervangen bruggen/viaducten over.

Expert judgement

Het stichtingsjaar conform DISK database [ref.6] is weergegeven in afbeelding II.2. De technische levensduur van kunstwerken is momenteel standaard 100 jaar. Bij invoering in 1974 was dit 50 jaar en in de jaren 1990 is dit opgehoogd naar 80 jaar.

Dit betekent dat kunstwerken van voor 1990 uiterlijk in 2040 hun einde ontwerplevensduur bereiken. Alles vanaf 1990 bereikt medio 2070/2090 einde ontwerplevensduur, dat betekent ook dat alle prefab liggers van na 1990 tot 2040 nog zouden moeten voldoen aan de RBK eis om nog minimaal 30 jaar constructief veilig mee te kunnen¹.

Afbeelding II.2 Stichtingsjaar prefab objecten



In de DISK database selecteren wij het bouwjaar van betonnen prefab objecten, in totaal 1.763 kunstwerken, dit zijn er meer dan uit de VenR opgave blijken te zijn. Hieruit volgt dat er 486 in het areaal aangelegd zijn voor 1974. Deze objecten zijn technisch het eerste aan vervanging toe en hebben een grotere kans om niet te voldoen qua belastingtoename, dwarskrachtcontrole en dergelijke. Het jaar 1974 is in de constructie een belangrijk jaartal aangezien toen de invoering van een nieuw belastingstelsel inging, waarbij niet de daadwerkelijke rijbaanindeling in rekening werd gebracht, maar het complete dek (binnen de voertuigkeringen) werd belast op de meest nadelige belastingcombinatie. Het jaartal 2012 is gekozen aangezien toen de Eurocode (huidige regelgeving) inging, waarmee alle kunstwerken die na 2012 ontworpen/gebouwd zijn aan de hedendaagse regelgeving voldoen.

II.2 Ontwerp - Wanneer welke ligger toepassen

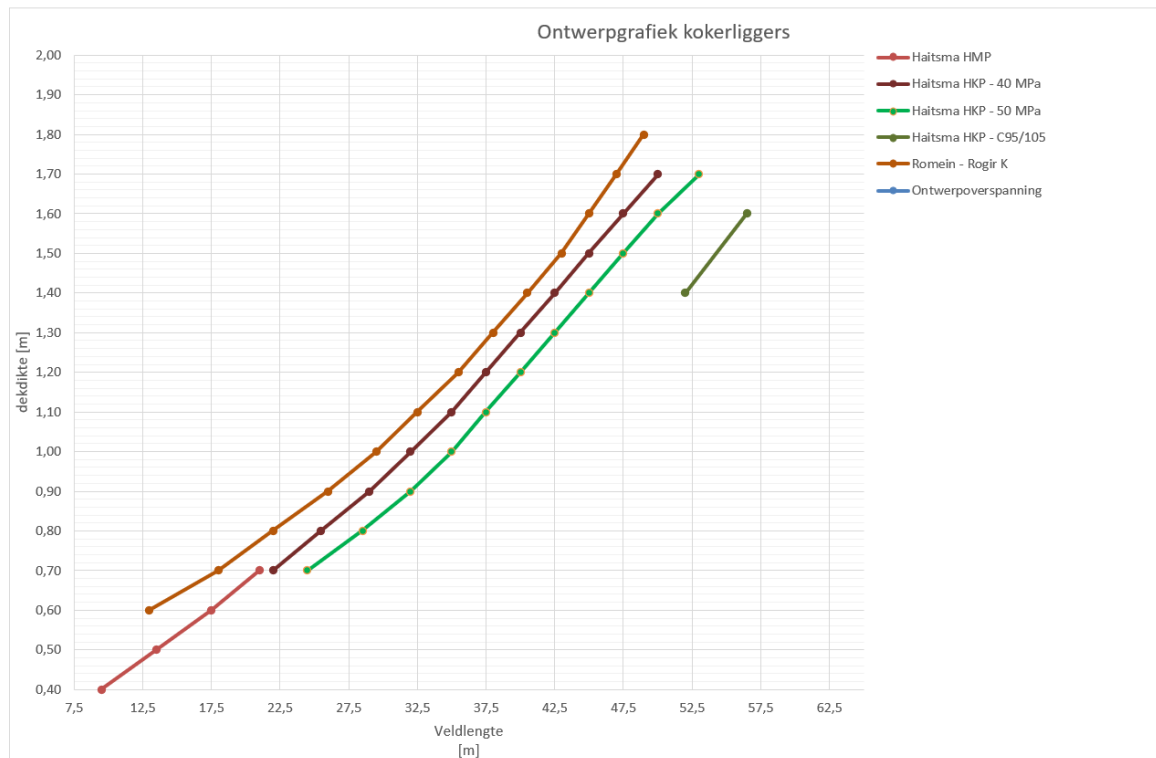
In de DISK database wordt voor het type prefab ligger geen onderscheid naar welk element prefab ligger in het areaal wordt toegepast. Om een inschatting te kunnen maken van het aantal per type wordt op basis van de huidige draagkrachtgrafieken gekeken welk bereik de type liggers hebben. Om daarmee mogelijk een indicatie te kunnen krijgen van het voorkomen van de liggers. De verschillende type liggers hebben een verschillend toepassingsgebied. De I-profiel liggers worden toegepast vanaf een overspanning vanaf 45 meter. De volstortliggers (Rogier-S, HKO en HKO-XL) worden voornamelijk tot 15 meter overspanning toegepast. Tussen 15 en 45 meter wordt de keuze gemaakt om een omgekeerde T- of kokerligger toe te passen. Deze maatgevende lengtes zijn afgeleid van de productbladen van de ligger leveranciers (via

¹ Waar voor hergebruik van prefab liggers aangetoond dient te worden dat de liggers aan nieuwbouweis voldoet, en dus een ontwerplevensduur van 100 jaar heeft.

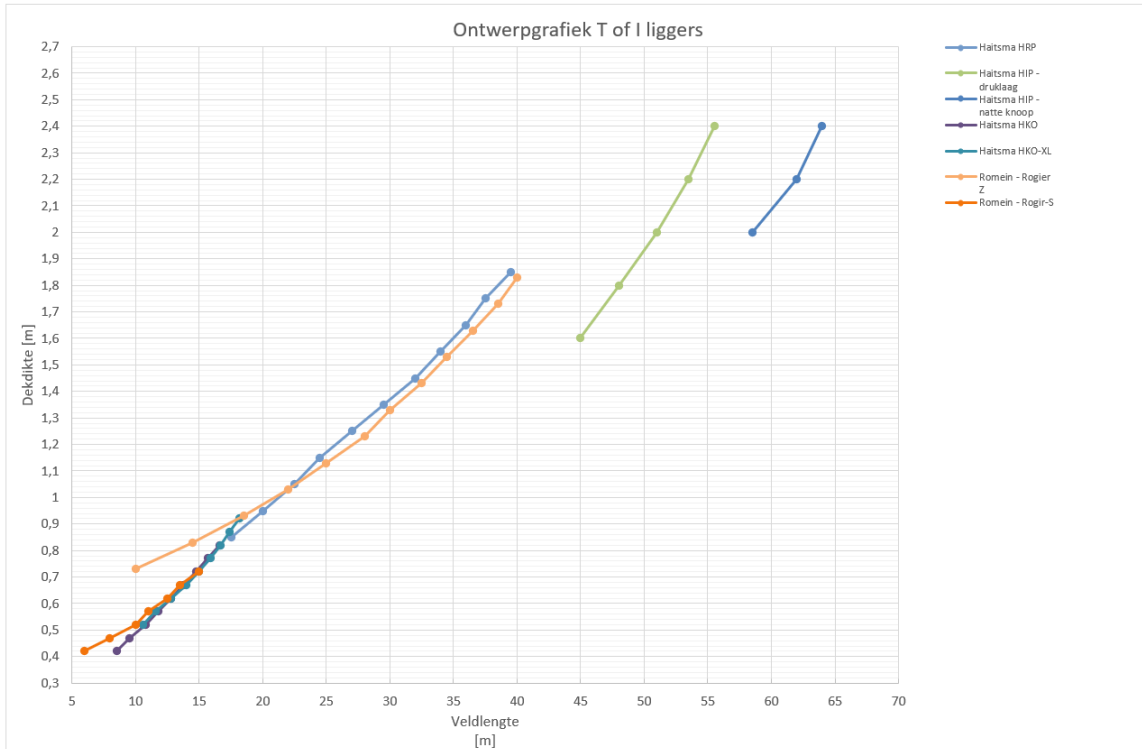
<https://www.haitsma.nl/downloads> en <https://www.romein.nl/producten/bruggen-en-viaducten>). W+B heeft de losse productbladen verwerkt tot onderstaande ontwerpgrafieken. Voor kokerliggers (afbeelding ii.2) en T/I-liggers (afbeelding ii.3). Hierbij per type ligger bij een bepaalde overspanning (x-as) de dekhoogte (y-as) weergegeven.

In afbeelding ii.2 staat HMP voor Haitsma Massief Profiel (massieve kokerliggers), HKP voor Haitsma Koker Profiel. De Rogir K van Romein is een kokerprofiel geproduceerd door Romein beton. De 40 en 50 MPa en C95/105 staan voor de verschillende betonsterkteklassen. In afbeelding ii.3 staat HIP staat voor Haitsma I-profiel, HRP staat voor Haitsma Rail Profiel (omgekeerde T-ligger) en HKO zijn volstortliggers. HKO-XI zijn bredere volstortliggers. Rogir-S staat voor volstortliggers en Rogir-Z zijn omgekeerde T-liggers.

Afbeelding II.2 Ontwerpgrafiek kokerliggers



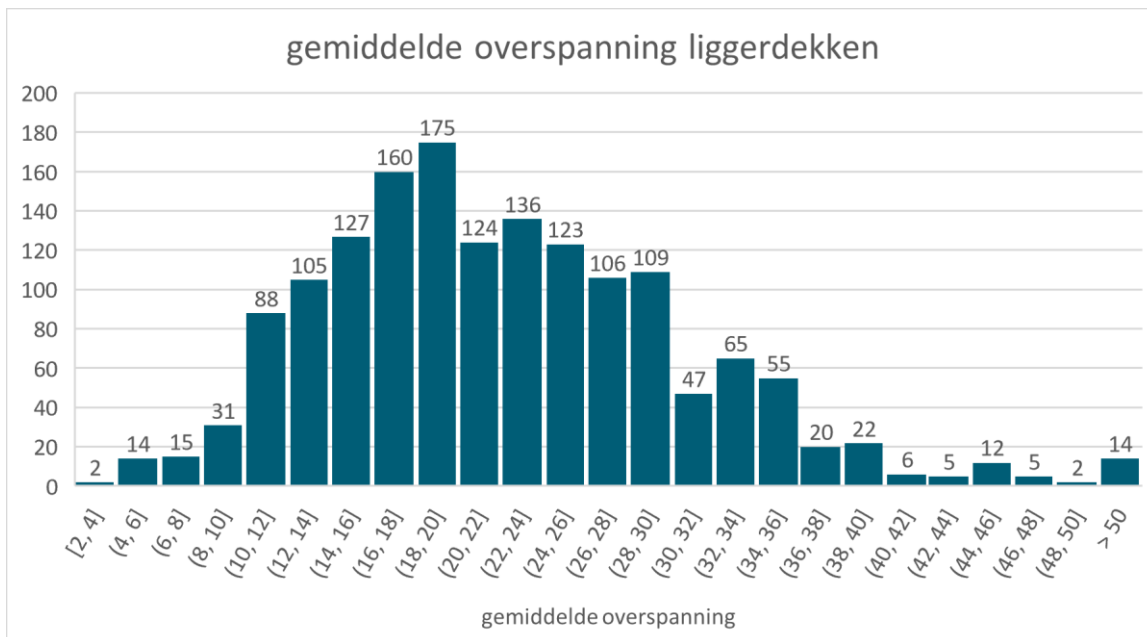
Afbeelding II.3 Ontwerpgrafie T- of I-liggers



II.3 Lengte prefab liggers areaal

Vanuit de DISK database [ref.6] hebben wij onderstaand histogram opgesteld. Hierbij is de database gefilterd op in gebruik zijnde betonnen kunstwerken, met een type dek 'prefab' en is de gemiddelde overspanning genomen. Het aantal keer dat de gemiddelde overspanning in de database voorkomt is weergegeven. Let op, een kunstwerk met meerdere overspanningen heeft vaak 1 of 2 grote overspanningen en vervolgens meerdere kleine overspanningen, waardoor dit een vertekend beeld kan geven.

Afbeelding II.4 Gemiddelde overspanning liggerdekken



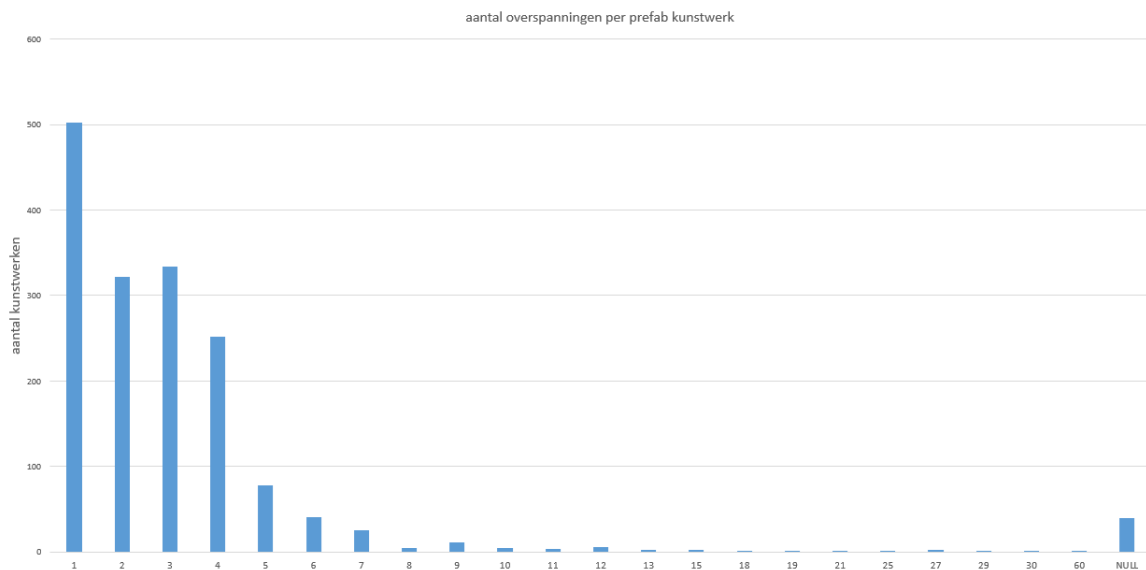
De gemiddelde lengte is 25 meter en de moduswaarde is 20 meter. De meest voorkomende overspanning ligt dus tussen de 18 en 20 meter. Het aantal overspanningen groter dan 50 meter is 14. Onder de 12-14 meter zullen, op basis van de ontwerpgrafieken in ii.2, veelal volstortliggers toegepast zijn.

Volgens de studie van HGL [ref.3] ligt de gemiddelde lengte van een prefab ligger tussen de 17,5 en 30 meter, dit betreft de liggers in bruggen en viaducten in het areaal van RWS. Ongeveer een kwart heeft een grotere overspanning en het andere kwart heeft dan dus een kleinere overspanning. Volgens het CTL rapport [ref.2] is de meest voorkomende overspanningslengte 13,4 - 14,4 meter. Dit is op basis van data uit de DISK, Meridian en CRIAM's uit Nebest-archieven. De afwijkingen in de gemiddelde overspanningslengtes zijn niet duiden. De database van CTL is mogelijk uitgebreider (mogelijk incl. provinciaal areaal) of er is een aanpassing geweest naar aanleiding van het aantal overspanningen, de grootste overspanning en de gemiddelde overspanning.

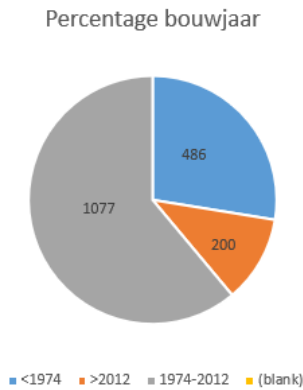
II.4 Aantal overspanningen prefab kunstwerken

De DISK database [ref.6] vermeld het aantal overspanningen dat een kunstwerk heeft, voor de prefab kunstwerken is dat in afbeelding II.5 weergegeven. Het gemiddelde van deze selectie is 2,9 overspanning, dus gemiddeld 3 overspanningen. Met de gemiddelde breedte van 14 prefab liggers, zie 2.4.2. komen we uit op een totaal van $(56 * 14 * 3 = 2.352)$ liggers, met een gemiddelde lengte van 20 meter levert dit 47.040 meter prefab ligger op.

Afbeelding II.5 Aantal overspanning per prefab kunstwerk



Afbeelding II.3 Percentage bouwjaar



Uit onze eigen projectdata (verkenningen en contractvoorbereiding - A4 Haaglanden, A7/A8, A12, Ring Utrecht A27/A12, InnovA58, Zuidasdok en NRU) is een sheet gemaakt met in totaal 518 kunstwerken. Dit betekent dat er in de projecten samen 518 kunstwerken zijn. Daarvan zijn er 133 bestaande prefab bruggen/viaducten en 162 bestaande in-situ bruggen/viaducten en van een deel is onbekend wat voor een type kunstwerken het zijn. Van bijvoorbeeld nieuwe kunstwerken wordt in een verkenning niet voorgeschreven wat voor een object het moet worden, prefab/in-situ. Dit bepaald de aannemer na gunning van het werk. In deze projecten zijn ook onderdoorgangen en aquaducten opgenomen, welke over het algemeen niet prefab zijn. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende kunstwerken. In projecten worden kunstwerken aangepast, gehandhaafd, zijn nieuw, worden verbreed/versterkt/versmalt of komen te vervallen of worden compleet vervangen. Van sommige kunstwerken is nog onbekend wat ermee gebeurt, dat is niet van toepassing of wordt alleen het talud (onder het dek) aangepast, om een extra ruimte te creëren. Daarbij staat het materiaal van de objecten, welke in sommige gevallen onbekend is, een combinatie van staal/beton, in-situ beton is, prefab beton of staal. Blank is tevens onbekend.

Wat op te maken is uit onderstaande tabel is dat 9 prefab ligger bruggen/viaducten komen te vervallen en er 12 worden vervangen. Dit betekent dat er mogelijk 21 prefab ligger kunstwerken zijn waarvan de liggers hergebruikt kunnen worden. Hierbij is het onbekend wat voor een type prefab liggers het zijn (volstortligger, omgekeerde T-liggers et cetera). Deze 21 kunstwerken komen uit MIRT projecten en kunnen daarmee bij de VenR opgave worden toegevoegd.

Tabel II.1 Sheet projectdata MIRT projecten W+B database

Object	Materiaal							Totaal aantal
	onbekend	Combinatie	In situ	n.v.t.	Prefab	Staal	(blank)	
Aanpassen			2		1			3
Handhaven	4	1	73		67		126	271
N.t.b.			1				43	44
Niet voorzien			4					4
Nieuw	5		5	15	2		7	34
talud aanpassen			2		3			5
Verbreden	3	2	46		28		9	88
Verbreden+versterken			3		10		2	15
Versmallen			1		1			2
Vervallen			7		9	1	4	21
Vervangen			18		12		1	31
totaal	12	3	162	15	133	1	192	518



BIJLAGE: LOPENDE INITIATIEVEN

Binnen RWS lopen meerdere onderzoeken/pilots naar het hergebruik van prefab liggers.

Transitie casuslab

Op vrijdag 24 juni heeft RWS het casus lab hergebruik (onderdelen) van bruggen en viaducten georganiseerd. In deze sessie is door RWS een update gegeven over de huidige stand van zaken van hergebruik (onderdelen) van bruggen en viaducten, is de transitie en bijbehorende theorie toegelicht en is door de aanwezigen, bestaande uit diverse stakeholders, inzichtelijk gemaakt wat hergebruik betekent voor de huidige situatie en wat daarin moet veranderen.

Hergebruik

Hergebruik is een van de strategieën waarmee RWS beoogd op korte en lange termijn bij te dragen aan de klimaatdoelen voor reductie van broeikasgassen en gebruik van primaire grondstoffen. Invoering en opschaling van hergebruik raakt vrijwel alle onderdelen van de organisatie en roept complexe organisatorische vraagstukken op. Ook kan meer hergebruik door RWS impact hebben op de rol van de markt en verdeling van de huidige taken en verantwoordelijkheden.

Uitdagingen hergebruik

De huidige inzichten op hergebruik (onderdelen) van bruggen en viaducten leveren verschillende uitdagingen op. Om hergebruik mogelijk maken is het onder andere nodig:

- te ontwerpen met hergebruik (demontabel of bestaande onderdelen) als uitgangspunt;
- hergebruik mogelijk te maken in normering;
- vraag en aanbod te matchen en
- ruimte te eisen/maken in aanbestedingen.

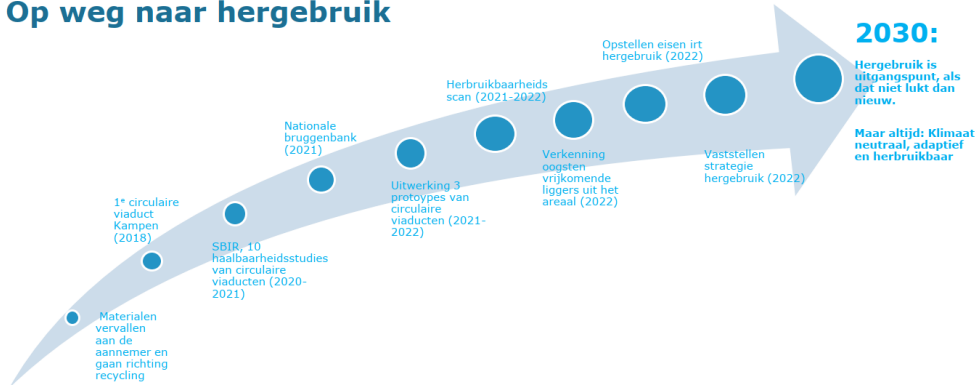
Vragen omtrent eigenaarschap, het matchen van vraag en aanbod en het stellen van eisen voor toepassing van secundaire materialen moeten nog beantwoord worden en zullen met name op organisatorisch vlak spelen.

De bepaling van restwaarde wordt voor liggers in dit rapport uitgewerkt (zowel economisch als waarde voor het milieu), daarnaast spelen ontwikkelingen in schaarste en prijsontwikkelingen van nieuw materiaal een belangrijke rol. Vraagstukken omtrent kwaliteit van vrijkomende materialen liggen bij keuring, kwaliteitsbepaling, normering en veiligheidseisen. Ten slotte worden praktische uitdagingen benoemd, zoals transport, opslag, voorraadbeheer, opslagtermijnen en bewerkingslocaties.

Roadmap

Afbeelding III.1 geeft de weg naar hergebruik weer (tot 2030) zoals Rijkswaterstaat dit momenteel ziet. Hierin zijn lopende initiatieven ook weergegeven. De verdeling van stappen in de tijd is niet gelijk verdeeld en er zullen naar verwachting nog stappen bij moeten om hergebruik in 2030 mogelijk te maken.

Op weg naar hergebruik



Kansen

Hergebruik in het algemeen heeft grote potentie om op korte termijn bij te dragen aan klimaat- en circulariteitsdoelen. Dit vraagt van RWS als OG om meer te gunnen op klimaatdoelen en kwaliteit dan kwaliteit. Echter wordt ook verwacht dat marktpartijen bijdragen kunnen leveren.

Leveringszekerheid wordt een steeds belangrijker onderwerp. Toenemend hergebruik kan zorgen voor minder risico op dit gebied. De nieuwe spelers die zich door hergebruik op de markt zullen gaan positioneren brengen andere expertise met zich mee, die innovatie kan versnellen.

Ten slotte liggen er kansen voor RWS om te versnellen door te kiezen voor nauwere samenwerking vanuit overheden; met een gezamenlijke eenduidige inkoopstrategie kan volume en duidelijkheid voor de markt worden gecreëerd. Dit verhoogt de bereidheid om investeringen te doen.

Lopende initiatieven

Er lopen binnen RWS (maar ook daarbuiten) diverse pilots en initiatieven waarin wordt 'geoefend' met het thema en inzicht wordt opgebouwd in wat er bij hergebruik komt kijken. Afbeelding III.1 geeft hier al enkele van weer. Lopende initiatieven zijn onder andere:

- strategie hergebruik;
- nationale bruggenbank;
- buyer group circulaire bruggen en viaducten;
- pilot herbruikbaarheids scan (Nebest);
- SBIR Circulaire viaducten;
- closing the loop;
- combinatie liggers 2.0;
- inzichten SBIR hergebruik;
- oogsten liggers A9.

Relevante ontwikkelingen en inzichten

Naast lopende initiatieven zijn relevante ontwikkelingen en inzichten aan bod gekomen bij het casus lab. Hierbij zijn de volgende ontwikkelingen en inzichten benoemd:

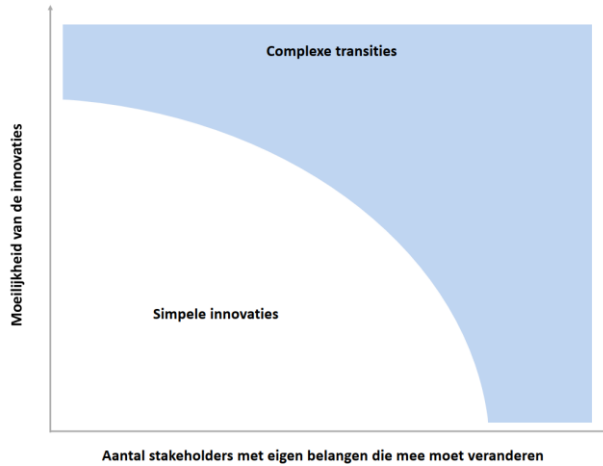
- meer ruimte voor hergebruik wanneer bouwbesluit eind '22 opgaat in nieuwe Omgevingswet;
- in dat kader werken we nu aan het opstellen van een 'proces stappenplan' voor het borgen van constructieve veiligheid bij hergebruik van (onderdelen) van bruggen;
- er wordt gewerkt aan het herijken van de normering zodat hergebruik op termijn mogelijk wordt (NEN);
- bij hergebruik hoofdconstructie stalen bruggen inzetten op lagere verkeersklasse, minder geschikt als fietsbrug;
- verkenning hergebruik hoofdconstructie zo vroeg mogelijk beginnen in verkenning en planfase;
- technisch blijkt het goed mogelijk om vrijkomende liggers te modificeren (bijvoorbeeld in te korten) en eventuele schade van bijvoorbeeld demontage en modificatie te herstellen;
- 'liggers blijven liggers', waarbij voorkeur toepassing zelfde type kunstwerk (qua belasting),

- indien binnen x jaar toepassing bij kunstwerk van een lagere klasse (en dus ook bij een andere opdrachtgever);
- ondersteuning in matching is essentieel!

Transitie

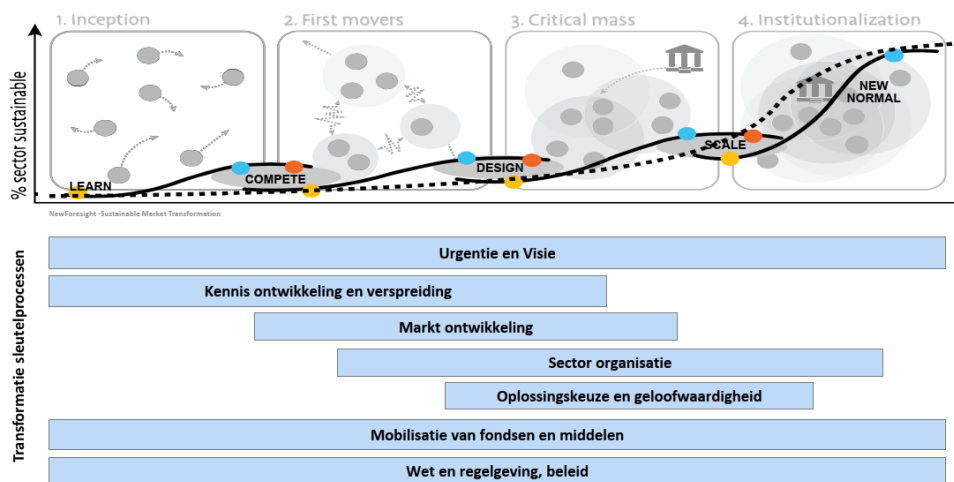
De theorie achter complexe transitie, waar hergebruik een voorbeeld van is, is in het casus lab nader toegelicht. Afbeelding III.2 laat zien dat complexe transitie zich onderscheidt van simpele innovaties door de moeilijkheid van de innovaties én het aantal stakeholders met eigen belangen die mee moet veranderen.

Afbeelding III.2 Theorie complexe transitie. Bron: NewForesight (2022) Transitie naar hergebruik bruggen en viaducten juni '22



Voor een complexe transitie zijn verschillende fasen te onderscheiden. Achtereenvolgens betreffen deze fasen inception (aanvang, start: leren tot competitie), first movers (eerste initiatieven: van leren tot (systeem)ontwerp), critical mass (kritieke massa voor implementatie: van (systeem) ontwerp naar opschalen) en institutionalization (institutionalisering: van opschalen naar het nieuwe normaal). Voor deze fasen gelden verschillende sleutelprocessen. Afbeelding III.3 geeft deze fasen en bijbehorende sleutelprocessen visueel weer.

Afbeelding III.3 Fasen en bijbehorende sleutelprocessen



De transitietheorie geeft handvaten aan de benodigde stappen om tot een nieuw normaal te komen. Tabel 12.1 geeft deze stappen voor verschillende stakeholders weer per fase.

Tabel III.1 Stappen per fase voor verschillende stakeholders

	Inception	First movers	Critical mass	Institutionalization
marktspelers	erken probleem en eigen rol pilots, projecten R&D	differentieer in de markt nieuwe producten en diensten nieuwe business modellen	lange termijn visie organiseer samenwerking druk op achterblijvers	lobby voor nieuwe normaal erken de goede politici voldoe aan wetgeving
overheden	erken probleem zet lange termijn visie uit experimenteer en onderzoek barrières wegnemen	lange termijn visie daag bedrijven uit herken en erken koplopers duurzaam inkopen	wegnemen barrières duidelijk beleid en doelstellingen ondersteun platformen hou sector aansprakelijk	politiek leiderschap kondig wetgeving en beleid aan haal achterblijvers uit het systeem
NGOs (niet-gouvernementele organisaties)	zet druk op probleem help in pilots help in opbouwen visie	beloon koplopers achterblijvers onder druk zetten geloofwaardigheid checken	steun platformen watch dog druk op achterblijvers	lobby voor nieuwe normaal blijft voortgang monitoren blijf druk houden op systeem
financiële instellingen	erken probleem en eigen rol negatieve screening help in pilots	nieuwe Financieringscriteria impact leningen/ beloon koplopers aangeven risico's van achterblijvers	doe mee met samenwerking financieringsoplossingen zet druk op oude oplossingen samen met andere banken optrekken	lobby voor nieuwe standaard sluit partijen uit
onderzoeks- en kennis instellingen	onderzoek problemen systeem oorzaken mogelijke oplossingen	aantonen best practices wat gaat er fout benchmarks onderzoek agenda	wat is verander-agenda wat moet er nog meer gebeuren?	help mee met argumenten geef kosten en baten aan van verandering impact monitoren

Conclusie

Het casuslab heeft voor het hergebruik van liggers voor interessante inzichten gezorgd. De huidige stand van zaken omtrent hergebruik van (onderdelen) van bruggen en viaducten sluit aan bij eerder bevindingen. De transitietheorie biedt voor het onderzoek strategie hergebruik een interessant perspectief om invulling te geven aan de organisatorische vraagstukken die zowel voor liggers (bruggen en viaducten) als alle andere objecten gelden.

De discussies met stakeholders hebben ten slotte er voor gezorgd dat er met diverse stakeholders is gespard over uitdagingen en kansen voor hergebruik. Volgende sessies zullen voor verdere uitwerking hiervan van belang zijn, waarbij onderhavig onderzoek optimaal kan worden benut.

CB'23

Binnen CB'23 is een actiegroep welke zich bezighoudt met toekomstig hergebruik. Op 30 juni 2022 is een eerste leidraad gepresenteerd. Deze is algemeen over hergebruik en niet specifiek over liggers. Doel van de leidraad is het faciliteren van hergebruik via regelgeving, gefocust op B&U en GWW.

Het meest urgent zijn (1) de ontwikkeling van generieke regels in de vorm van bijvoorbeeld een NEN of NTA voor de kwaliteitsbeoordeling van te hergebruiken producten uit bestaande bouwwerken, en (2) expliciete verduidelijking van het begrip 'hergebruik' in het Bouwbesluit en onderzoek hoe hergebruik verder kan worden gestimuleerd door aanpassingen in het Bouwbesluit. Kwaliteitsborgers hebben namelijk op korte termijn meer houvast nodig voor hergebruikte producten, mede vanwege de inwerkingtreding van de Wet kwaliteitsborging voor het bouwen (Wkb) in de loop van 2022, en het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) dat in 2023 in het kader van de nieuwe Omgevingswet het huidige Bouwbesluit zal vervangen.

Aanbevelingen uit de leidraad focussen op 3 onderdelen:

- hergebruik uit bestaande bouw, voornamelijk regelgeving en kwaliteitsborging;
- ontwerpen van nieuwe bouwwerken voor volgende cycli (conform IFD/losmaakbaarheid en dergelijke);
- productprestatie-eisen voor volgende cycli, invoering van markeringen en dergelijke.

