



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



Viaductbehout

SBIR oproep Circulaire viaducten, Rijkswaterstaat

16 maart 2021



SBIR oproep Circulaire viaducten, Rijkswaterstaat

Eindrapport - Fase 1 Haalbaarheidsonderzoek

RWS INFORMATIE

Kenmerk: AT/2020/03

Bijlage 4

Viaductbehout

Mobilis | TBI

Contactpersoon: A.L. (Anne) Schotman, Projectcoördinator

T +31 55 538 22 22

M +31 6 27 88 30 89

al.schotman@mobilis.nl

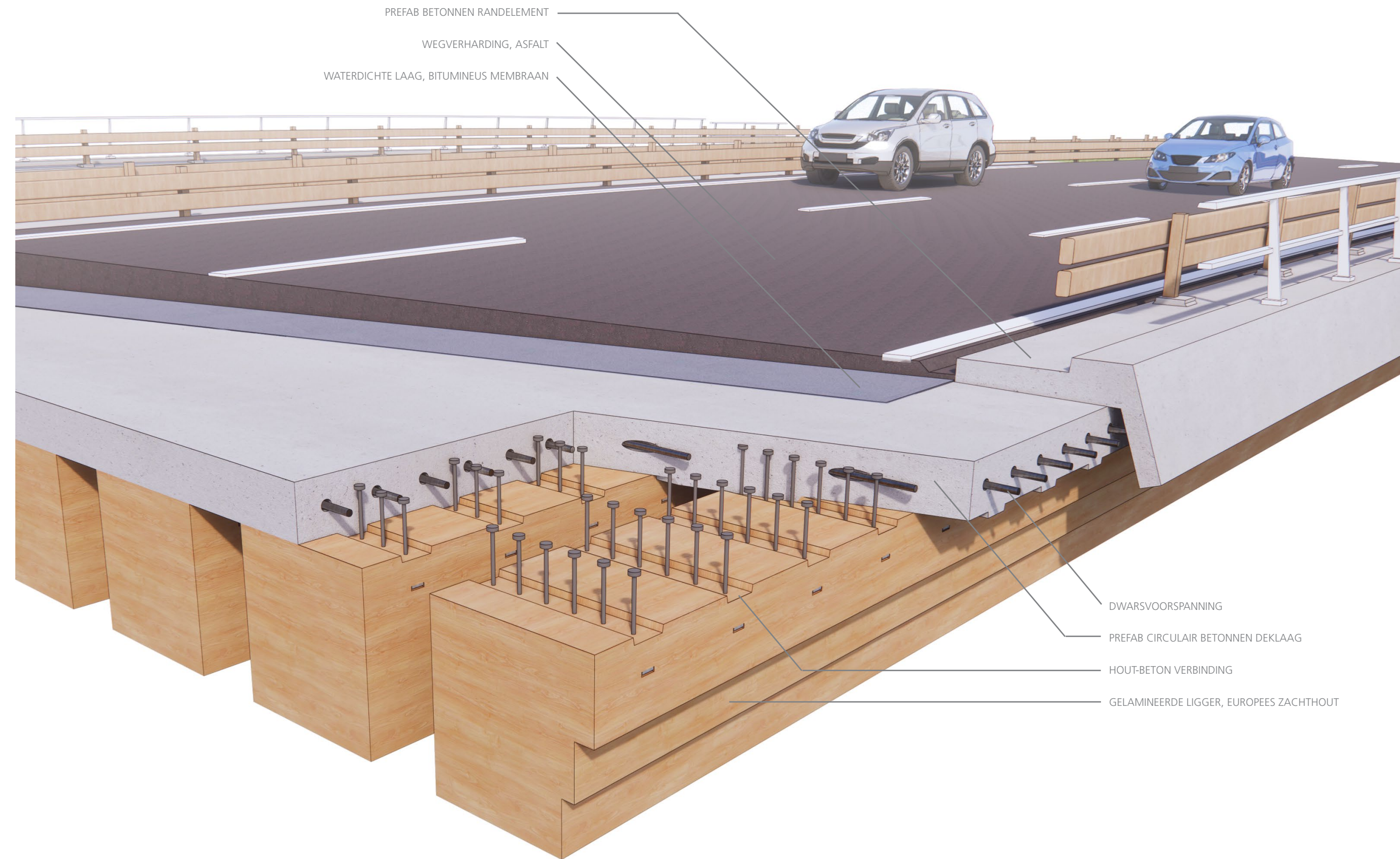
www.mobilis.nl

Datum: 16 maart 2021



Inhoud

1. Management samenvatting	5
2. Uitvoering van het project	7
2.1. Inleiding	7
2.2. Doelstelling	7
2.3. Probleemstelling	7
2.4. Projectorganisatie	7
2.5. Activiteiten uitgevoerd in Fase 1	9
2.6. Kernteam en taakverdeling	9
2.7. Verloop proces en samenwerking	9
3. inhoudelijke bevindingen	11
3.1. Impact	11
3.2. Haalbaarheid	17
3.3. Economisch perspectief	25
4. Voorstel fase 2	27
4.1. Prototype fase 2A	27
4.2. Prototype fase 2B	29
4.3. Kansen en Risico's	29
5. Begroting fase 2	31
Technische tekeningen	32
Literatuurlijst	36
Colofon	36



1. Management samenvatting

Klimaatneutraal en circulair werken in 2030 met toepassing van 100% hernieuwbare en gerecyclede materialen. Dit vraagt om een pragmatische, daadkrachtige aanpak anno nu.

Onze innovatie Viaductbehout past in zo'n aanpak. De naam verwijst naar het circulair beton en hout dat wij als materiaal gebruiken en knipoogt naar circulair materiaalbehoud. Ons viaduct bestaat uit een prefab hout-betonliggersysteem met een maximale overspanning van 15-35 meter en dekbreedte van circa 26 meter. 70%¹ van de viaducten, uit het areaal van Rijkswaterstaat, zijn ermee te vervangen. De prefab ligger heeft een breedte van 1,6 meter en bestaat voor ¼ deel uit gerecycled beton en ¾ deel uit Europees vurenhout. Het hout wordt beschermd tegen weersinvloeden door de beton. Hierdoor heeft het systeem een levensduur van minimaal 100 jaar.

Doelstelling

Het ontwikkelen, technisch en financieel mogelijk maken van een **standaard modulair liggersysteem**, bestaande uit Europees vurenhout en **gerecycled beton**, als gevalideerde oplossing voor circulaire viaducten om het verbruik van water, energie en grondstoffen in de bouw terug te dringen.

Probleemstelling

Hoe realiseren we een hout-betonliggersysteem voor een zo circulair mogelijk viaductontwerp dat demontabel is, technisch maakbaar, betrouwbaar, betaalbaar en er mooi uitziet?

De belangrijkste voordelen van Viaductbehout voor Rijkswaterstaat:

- De grootste mogelijke impact: Onze innovatie richt zich op een grootschalige toepassing in vervangings- en renovatieprojecten. De maximale MKI-winst is 44% in vergelijking met het liggersysteem van het traditionele referentieviaduct en 41% voor het gehele viaduct.
- Realistische **haalbaarheid**: Ons voorstel is direct technische haalbaar door een combinatie van grotendeels bestaande technieken. Hiermee besparen we kostbare tijd.
- Een aantrekkelijk **economisch perspectief**: Viaductbehout is een duurzaam en commercieel haalbaar alternatief voor de traditionele beton-liggermarkt. Ons gebruikerslicentiemodel zorgt voor een versnelling in tijd en schaalvergroting. Door deze investeringen bereiken we een snelle kostprijsverlaging.
- Een **snel te bouwen** en in de toekomst te demonteren viaduct: door de modulaire opbouw met prefab onderdelen en minimale overlast voor de eindgebruiker en de omgeving.
- Onze innovatie is de **oplossing van het maatschappelijke vraagstuk**: inzetbaar om 70% viaducten van Rijkswaterstaat mee te vervangen. De toegepaste producten en materialen zijn na afloop van de technische levensduur geschikt voor **hoogwaardige circulaire herinzet, ook buiten de GWW**.

Fase 2A - Mockup

Doel: testen van het hout-betonliggersysteem onder relevante omstandigheden. In deze fase ligt de focus op test- en berekeningsoptimalisaties: de demontabele verbinding hout-beton, optimaliseren van de hout-betonverbinding en de dwarsvoorspanning aan de hand van berekening.

Mock-up van de demontabele beton-houtverbinding

We testen de demontabele beton-houtverbinding op een 1:1 schaalmodel, bestaande uit een 2,0m lang en 1,0m breed proefstuk met hierin 2 stalen doken- en nokverbindingen. De verbinding tussen het hout en beton is essentieel om de schuifkrachten en trekkrachten over te brengen. Om dit mogelijk te maken bestaat de verbinding uit ingefreesde nokken (schuifkrachten) en stalen doken (trekkrachten).

Fase 2B - Prototype

Doel: aantonen haalbare innovatie op korte termijn, grootschalig toepasbaar bij vervangings- en nieuwbouwopgaves. Testen van het hout-betonliggersysteem onder operationele omstandigheden. De focus op test- en berekeningsoptimalisaties van het totale systeem: Detailberekening maken van het totale systeem; produceren prototype; aanbrengen monitoringsystemen; Testen en rapporteren prototype. Het prototype zetten we in als tijdelijke hulpbrug voor werkverkeer. Na de testfase demonteren we de brug en bouwen deze vervolgens weer op als brug voor gebruik door fietsers, voetgangers of landbouwverkeer. De dubbele functie (testen en hergebruik) vergroten de testmogelijkheden. Deze handelswijze voorkomt dat materialen verloren gaan. Mobilis verkent de mogelijkheden hiervoor binnen eigen projecten.

Prototype hout-betonliggersysteem

Het prototype bestaat uit: een 1:1 schaal model, opgebouwd uit drie hout-beton liggers (4,8m breed), met een lengte van circa 15m.

Aandachtspunten

We zien de volgende aandachtspunten: gedrag van de constructie; (de) monteerbaarheid liggers; scheidbaarheid beton van hout; waterdichtheid brugdek; bescherming tegen weersinvloeden door randelementen; onvoorziene zaken.

Met Viaductbehout zetten wij samen met Rijkswaterstaat in 2021 een belangrijke en haalbare stap naar het realiseren van onze circulaire ambitie in 2030!



Samen werken aan een duurzame leefomgeving voor een leefbare toekomst



Liberator, recycling beton, Rutte groep



Bouwen met gelamineerde Europees zacht hout, Heko Spanten

2. Uitvoering van het project

2.1. Inleiding

De ambities zijn helder: Het kabinet wil in 2050 100% hernieuwbare en gerecyclede materialen toepassen, klimaatneutraal en circulair werken. Al in 2030 wil Rijkswaterstaat circulair werken. De CO₂-uitstoot moet worden teruggedrongen, bestaande grondstoffen en producten zo efficiënt en hoogwaardig mogelijk gebruikt en hergebruikt worden. Nieuwe en duurzame oplossingen maken dit mogelijk. Onze modulaire dekconstructie van standaard prefab hout-betonliggers, is zo'n innovatieve oplossing. In dit haalbaarheidsonderzoek hebben wij ons innovatieve liggersysteem verder uitgewerkt. Om tot een totaaloplossing te komen, stellen wij een mogelijke onderbouwconstructie voor.

Wij hebben onze innovatie een nieuwe naam gegeven: **Viaductbehout**. Het acroniem verwijst naar de materialen circulair beton en hout en er klinkt het woord Behoud in door als knipoog naar duurzaamheid. Behouden is ook de vorm van het huidige viaduct. Een bewuste keuze om de aansluiting van de innovatie op het bestaande wegennetwerk direct mogelijk te maken. Zonder ingrijpende wijzigingen aan bestaande wegen in de omgeving (in met name de hoogteligging). Ons liggersysteem is inzetbaar voor overspanningen tussen de 15 en 35 meter met een maximale dekbreedte van circa 26 meter. Hiermee kunnen wij 70%¹ van viaducten uit het areaal van Rijkswaterstaat vervangen. De prefab liggers hebben elk een breedte van 1,6 meter. De hoogte van de ligger bestaat voor ¼ deel uit gerecycled beton en ¾ deel uit Europees vuren hout. Het hout wordt beschermd tegen weersinvloeden door de betonnen plaat. Hierdoor heeft het systeem een levensduur van minimaal 100 jaar.

Met ons ontwerp behalen we een MKI-reductie van 44% in vergelijking met een traditioneel betonnen liggersysteem en een gewichtsreductie van circa 20%.

2.2. Doelstelling

Doelstelling is het ontwikkelen, technisch en financieel mogelijk maken van een **standaard modulair liggersysteem**, bestaande uit **Europees vuren hout** en **gerecycled beton**, als gevalideerde oplossing voor circulaire viaducten om het verbruik van water, energie en grondstoffen in de bouw terug te dringen.

Daarbij hoort ook het bedenken van een nieuw én realistisch verdienmodel dat uitgaat van informatiedeling en samenwerking. Dit is nodig en passend bij de fundamenteel andere aanpak en denkwijze, om deze transitie economisch interessant en haalbaar te maken.

2.3. Probleemstelling

Hoe realiseren we een hout-betonliggersysteem voor een zo circulair mogelijk viaductontwerp dat demontabel is, technisch maakbaar, betrouwbaar, betaalbaar en er mooi uitziet?

Nieuw in Nederland is een demontabele draagconstructie voor viaducten (voor zwaar verkeer), opgebouwd uit hout-betonliggers van Europees vuren hout en circulair beton. Wel zijn in Sneek in 2008-2010 twee 'zwaar verkeersbruggen' met een houten draagconstructie gerealiseerd (Krúsrak en Dúvelsrak). Echter, de bouwkosten van deze bruggen waren hoog door o.a. het toepassen van een dure houtsoort (geacetyleerd Accoyahout) en de RVS verbindingen. Door de onbeschermd houtconstructie is de levensduur 50 jaar. Ons ontwerp verschilt wezenlijk van dit voorbeeld door een ander type brugconstructie, namelijk liggers van hout en beton, de toegepaste houtsoort en de modulaire opbouw en de levensduur. Door hout en beton te combineren is de duurzaamheid van het viaduct aanzienlijk verbeterd: MKI reductie van 44%.

In de haalbaarheidsstudie richten wij ons in onderstaande hiërarchie op het onderzoek, de ontwikkeling en het aantonen van de haalbaarheid van:

- een standaard hout-betonliggersysteem;
- de toepassing van gerecycled beton;
- een modulair systeem.

Hiervoor voerden wij in deze haalbaarheidsfase nader onderzoek uit, waarin onderstaande onderzoeksvragen uit de projectvoorstelfase voor het hout-betonliggersysteem centraal stonden:

- Vraag 1: Wat zijn de optimale afmetingen voor het liggersysteem?
- Vraag 2: Wat is de optimale constructie, opbouw, vorm en materialen van de ligger en het liggersysteem?
- Vraag 3: Wat is de meest geschikte hout-beton verbindingstechniek?
- Vraag 4: Hoe maken we het liggersysteem demontabel?
- Vraag 5A: Hoeveel duurzamer is de hout-betonligger in vergelijking met een betonnen ligger?
- Vraag 5B: Wat zijn de kosten van het hout-betonliggersysteem?
- Vraag 6: Wat is het meest circulaire beton dat we kunnen toepassen in het betonnen deel van ons systeem?
- Vraag 7: Wat is het meest circulaire beton dat we kunnen toepassen in betonnen steunpunten, landhoofden en fundering?
- Vraag 8: Hoe ziet ons circulaire totaalontwerp (landhoofden, tussensteunpunt) eruit?

De antwoorden op deze vragen waren input voor hoofdstuk 3 over impact, haalbaarheid en economisch perspectief. De onderzoeksvragen uit fase 0 bleven in fase 1 ongewijzigd. De uitkomsten zijn verwerkt in dit haalbaarheidsonderzoek (zonder letterlijke verwijzing naar bovengenoemde onderzoeksvragen).

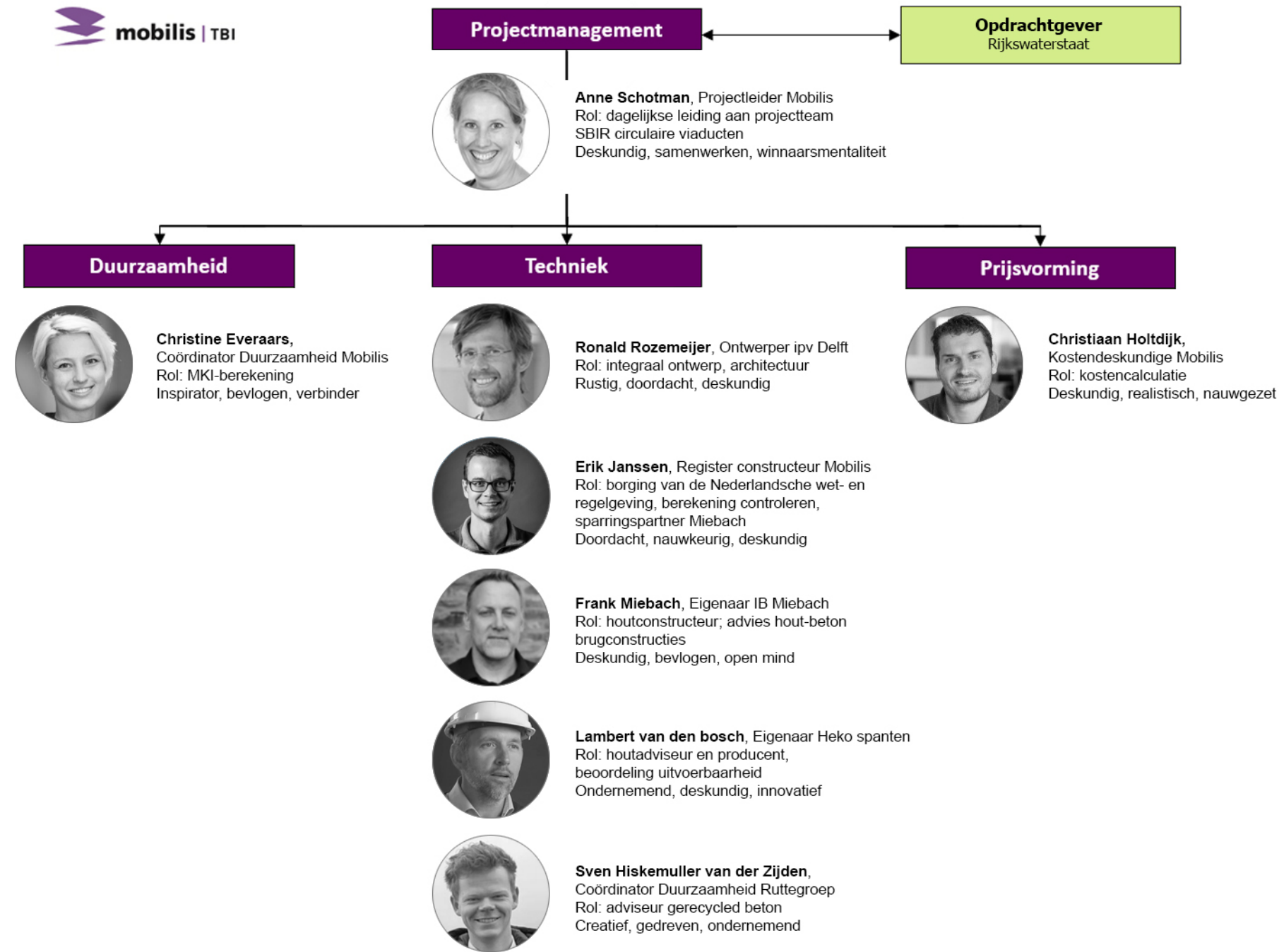
2.4. Projectorganisatie

Ons team bestaat uit Mobilis (ontwerpde en innoverende civiele bouwer), IPV Delft (creatieve ingenieurs), Heko Spanten (houtconstructie-specialist), Ruttegroep (recycling beton) en ingenieursbureau Miebach (constructief ontwerp hout-beton). Hiermee beschikt ons consortium over alle kennis en ervaring om een hout-betonliggersysteem te ontwikkelen/ontwerpen en demontabele circulaire viaduct te construeren en bouwen.

Miebach

Voor het uitwerken van het ontwerp voegden wij deze fase een nieuwe partner toe aan ons projectteam: ingenieursbureau Miebach. Sinds het oprichtingsjaar 2005 ontwerpt dit Duitse bedrijf uitsluitend constructies in hout, met als grootste passie (beton-)houten bruggen. CEO Frank Miebach heeft hier ruim 20 jaar ervaring mee. Miebach ontwierp de afgelopen jaren verschillende hout-beton bruggen in Duitsland, Zwitserland, Oostenrijk, Franse Luxemburg, Finland, Noorwegen en Nederland. Miebach kent dan ook alle gangbare Europese ontwerpvoorschriften en de landspecifieke regelgeving.

Om te borgen dat het ontwerp voldoet aan de Nederlandse regelgeving (zoals ROK en NEN-normen) is een register-constructeur van Mobilis betrokken bij het ontwerpproces door Miebach. Deze schreef onder andere het uitgangspuntenrapport dat de basis vormde voor de hout-betonberekening van Miebach. Daarnaast heeft de Mobilis-constructeur de 3D-berekening van het dek gecontroleerd en voorspanningsdetails uitgewerkt. Bij constructieve vraagstukken was hij sparringpartner voor Miebach.



Figuur 1. Organogram



2.5. Activiteiten uitgevoerd in Fase 1

De volgende stappen voerden wij in het haalbaarheidsonderzoek uit om de onderzoeksvragen te beantwoorden:

- Bureaustudie: bepalen van de hoofdafmetingen op inpasbaarheid (analyse DISK-gegevens¹) en maakbaarheid (productie, transport).
- Opstellen notitierapport met uitgangspunten ontwerp²
- Miebach: 3D-berekening van hout-betonliggersysteem^{3,4} en ⁵
- Diverse brainstormsessies over detaillering van de demontabele koppeling hout-beton^{4,5}
- Opstellen en afwegen varianten voor onderbouwconstructie (landhoofd en tussensteunpunt)
- MKI-berekening van referentie- en circulair viaduct.
- Kostenraming van referentie- en circulair viaduct⁸
- Inventarisatie van openstaande onzekerheden en testbehoefte in de prototype fase 2A en 2B
- Architectonisch ontwerp

2.6. Kernteam en taakverdeling

In organogram op de linker pagina (Figuur 1) stellen wij het kernteam aan u voor en ziet u wie welke bijdrage leverde.

2.7. Verloop proces en samenwerking

In Fase 0 zetten wij de eerste stappen om het concept vorm te geven: een standaard hout-betonliggersysteem voor de Nederlandse markt, dat voldoet aan de Nederlandse wet- en regelgeving en normen. In deze Fase (1) onderzochten we de haalbaarheid van het systeem en de onderdelen om tot een gedetailleerd ontwerp te komen. Ten opzichte van Fase 0 zijn de belangrijkste wijzigingen, zie tabel 1 en figuur 2 (pagina 10).

De terugkoppeling van de beoordelingscommissie en voortschrijdend inzicht gaven waardevolle input voor de uitwerking in Fase 1. Inleidend op de actuele stand van zaken bekijken we hier op terug:

Beoordeling projectvoorstel fase:

Voorafgaand aan het haalbaarheidsonderzoek analyseerden wij uw beoordeling van projectvoorstel fase 0. Waar zitten de zorgen van de beoordelingscommissie? Welke ideeën hebben wij nog onvoldoende helder uiteengezet? Deze aspecten pakten wij op in het haalbaarheidsonderzoek:

Uw beoordeling op Impact

1. 'Risico dat hout en beton aan het einde van de levensduur niet zijn te scheiden'. Het liggersysteem is op vier niveaus demontabel zie paragraaf 3.1.C - Circulariteit - hoogwaardig hergebruik. Wij ontwikkelden een nieuwe verbindingstechniek om de scheidbaarheid van het beton en het hout te verbeteren.
2. 'Innovatie niet schaalbaar buiten de GWW-sector'. De combinatie hout-beton is goed toepasbaar in andere bouwkundige werken. De uitgeverkte verbindingstechniek is algemeen inzetbaar om modulariteit te bereiken in circulaire hout-beton bouwwerken, zie paragraaf 3.1.C - Circulariteit- hoogwaardig hergebruik en 3.1.D.
3. 'Toepasbaarheid van voegovergangen kan lastig zijn'. De houten liggers worden aan de kopsen voorzien van een betonnen omhulling. Hiermee voorkomen wij aantastingsproblemen aan deze kwetsbare zijden. Zo is het mogelijk om een 'standaard' voegovergang in te bouwen, zie paragraaf 3.2.A - Beheer & onderhoud. Een andere mogelijkheid is een (semi) integrale oplossing zonder voegovergangen.

Uw beoordeling op Haalbaarheid

1. 'Constructieve werking van hout i.c.m. beton is wel complex'. De hout-betonverbinding is een aandachtspunt met name door de verschilwerking. Om deze reden voegden wij voor de ontwerpuitwerkingen ingenieursbureau Miebach toe aan ons team, zie paragraaf 2.4. Miebach is zeer ervaren in het ontwerpen van hout-betonconstructies en het omgaan met de verschilwerking van deze materialen. In de ontwerpberekening zijn de belastingen doorgerekend die ontstaan door verschilwerking, temperatuur, krimp en vochtigheidsgraad.
2. U beoordeelt onze innovatie als 'een deeloplossing'. Het brugdek is weliswaar een deeloplossing, maar conform onze onderzoeksvragen maken wij in deze fase ook een variantenstudie en ontwerpvoorstel voor de landhoofden en het middensteunpunt. Hiermee bieden wij een mooie totaaloplossing aan! Bovendien biedt onze alternatieve oplossing voor het dek de grootste milieu-impact. Zie ook paragraaf 3.1.C - Onderbouw milieupact materialen.

Uw beoordeling op Economisch perspectief

1. 'Onduidelijk of levensduur van 100 jaar gehaald gaat worden'. Wanneer het hout beschermd wordt tegen weersinvloeden, is deze levensduur gegarandeerd. Voorbeelden in het buitenland laten zien dat 100 jaar haalbaar is. 100 jaar is het uitgangspunt voor de ontwerpberekening.
2. 'Geen kostenvergelijk opgenomen'. In deze fase onderzochten wij de kostencomponent. Het hout-betonligger viaduct is initieel 30% duurder dan een traditioneel viaduct. Dit blijkt uit de calculatie, opgesteld voor het referentieviaduct en het circulaire viaduct.
3. '6% licentiekosten is ambitieus'. Wij hebben het verdienmodel aangepast, zie paragraaf 3.3.B

Samenwerking

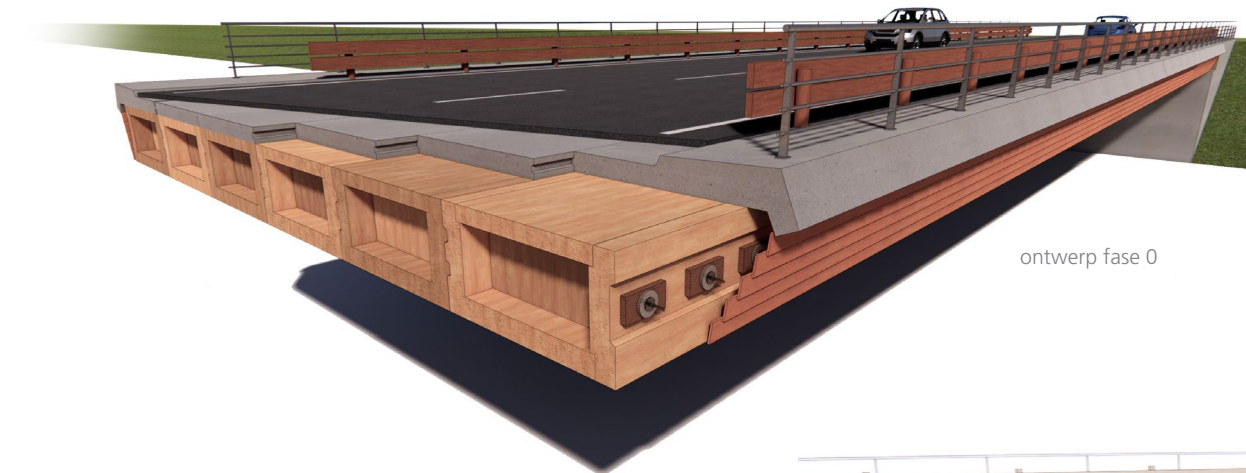
Samenwerking met Rijkswaterstaat als Opdrachtgever

De voortgangsoverleggen tussen Rijkswaterstaat en Mobilis tijdens de haalbaarheidsfase vonden wij door de open sfeer erg prettig verlopen. Hierdoor kregen wij inzicht in de wensen en zorgen van Rijkswaterstaat over onze innovatie. Uw advies en kritische vragen verwerkten wij in ons vervolgonderzoek waarin wij onze uitgangspunten aanscherpten. Dit geldt ook voor de ontvangen feedback in het driegesprek met kennisinstellingen als TU Delft, TNO, Avans Hogeschool, TU Eindhoven en Rijkswaterstaat.

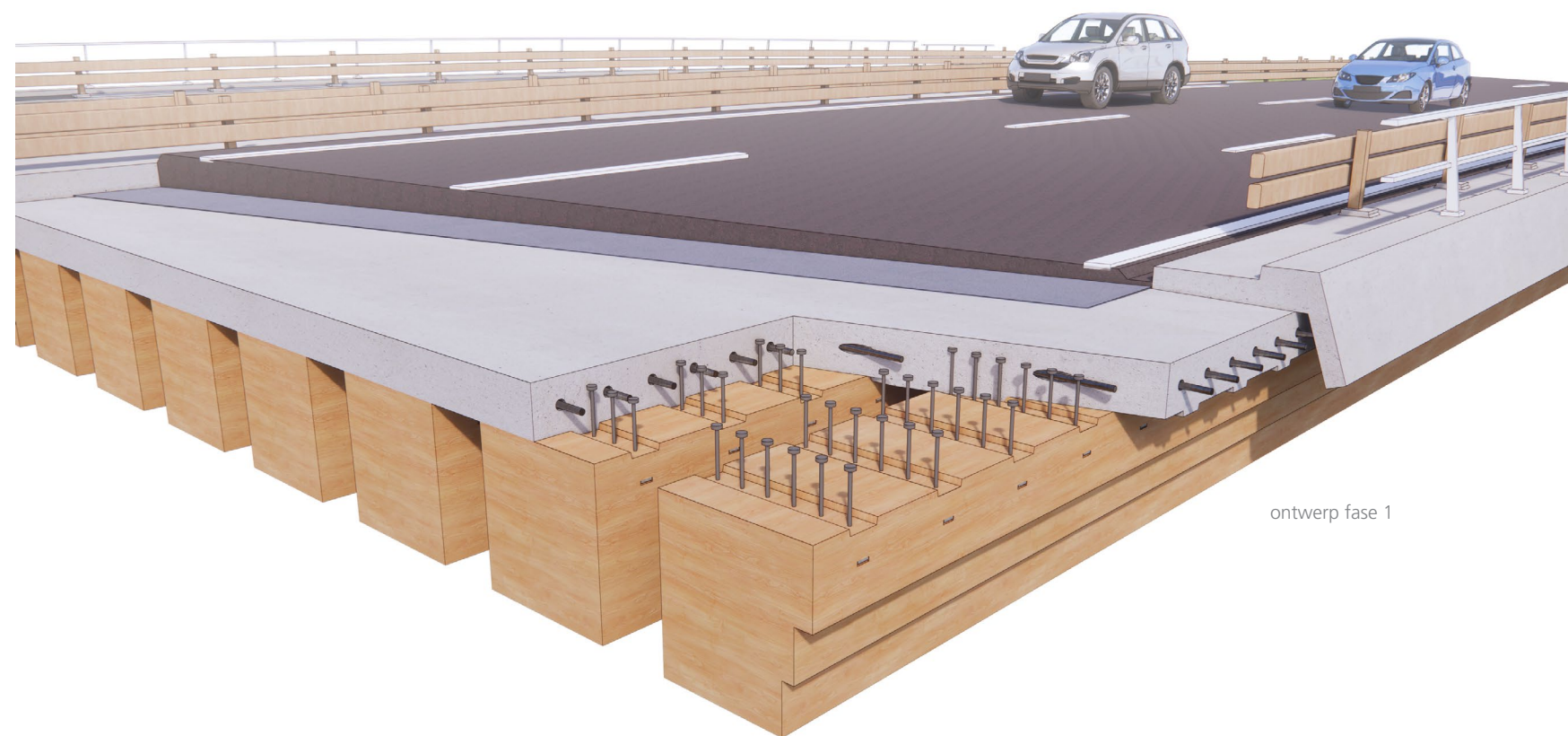
Samenwerking binnen het consortium

Ons kernteam uit projectfase 0 was ook verantwoordelijk voor deze haalbaarheidsfase. Hierdoor trad er geen kennisverlies op en was het team goed op elkaar ingespeeld. De samenwerking verliep heel natuurlijk en iedere partner bracht zijn eigen expertise in.

Met allemaal hetzelfde doel voor ogen hebben wij samen dit mooie resultaat neergezet. In intentieovereenkomsten tussen Mobilis en de partners zijn onze samenwerking, intellectueel eigendom en afspraken over gebruiksrechten vastgelegd.



ontwerp fase 0



ontwerp fase 1

Figuur 2. Wijzigingen ontwerp fase 0 - fase 1

Omschrijving	Fase 0	Fase 1
Positionering van de hout-betonliggers t.o.v. elkaar	Aansluitend	Met tussenruimte
Liggerlengte	21,5m	35m (voorbeeld project 26m)
Verbindingstechniek liggers	Dwarsvoorspanning door het hout	Dwarsvoorspanning door het beton
Verbindingstechniek	Nokken	Nokken en doken
Licentiemodel	Gedurende 10 jaar	Open source leeromgeving
Randafwerking	Verduurzaamde lamellen	Getrapte randligger

Tabel 1. wijzigingen ontwerp fase 0 - fase 1

3. inhoudelijke bevindingen

Hieronder vindt u een gedetailleerde uitwerking van onze innovatie, gebaseerd op het beschreven onderzoek in hoofdstuk 2. In deze onderzoeksfase zijn constructie, opbouw, vorm en materialen uitgewerkt in een integraal ontwerp. Het ontwerp is duurzaam en circulair. Het voldoet verder aan alle eisen op het gebied van constructie, levensduur, demonteerbaarheid, uitvoerbaarheid, beheer & onderhoud en architectuur.

Met Viaductbehout krijgt u:

- De grootste mogelijke **impact**. Onze innovatie richt zich op een grootschalige toepassing in vervangings- en renovatieprojecten, waarmee 70% van het totale areaal viaducten van Rijkswaterstaat in heel Nederland vervangen kan worden.
- Realistische **haalbaarheid**. Ons voorstel is direct technische haalbaar door een combinatie van grotendeels bestaande technieken. Hiermee besparen we kostbare tijd.
- Een aantrekkelijk **economisch perspectief**. Wij brengen een circulair alternatief op de traditionele beton-liggermarkt dat direct toepasbaar is. Voor een **eerlijke prijs**. Met ons gebruikerslicentiemodel zorgen we voor een versnelling in tijd en schaalvergroting. Door deze investeringen bereiken we een snelle kostprijsverlaging.
- Een **snel te bouwen** viaduct. Door de modulaire opbouw met prefab onderdelen is het viaduct snel te bouwen en later ook weer te demonteren met minimale overlast voor de eindgebruiker.

Viaductbehout is een demontabel prefab liggersysteem van hout-betonliggers met een levensduur van tenminste 100 jaar.

De liggers bestaan voor ¾ uit massief Europees vurenhout en voor ¼ circulair beton. Deze combinatie levert een enorme gewichtsbesparing: **de toegepaste houtsoort is 5x lichter dan beton**. Dit heeft een positief effect op de CO2-uitstoot tijdens transport en montage met lichter materieel. Bovendien is hout een natuurlijke CO2-opslag. Reductie van de hoeveelheid beton heeft een positief effect op de MKI-score. De liggers zijn toepasbaar voor viaducten met een **overspanning van 15-35m**¹. In ons voorbeeldproject gaan wij uit van een overspanning van 2x26m¹ om de volgende redenen:

- toepasbaarheid (overspanning is geschikt voor het passeren van een weg met 2x3 rijstroken),
- economische productie (optimale productietechniek voor lengte en hoeveelheid benodigd hout),
- transporteerbaarheid (met dit gewicht/deze lengte nog te vervoeren over de weg),
- schaalbaarheid (in grote hoeveelheden te produceren).

Qua **breedte** zijn de maximale afmetingen circa **26m**¹. De liggers maken we demontabel door toepassing van dwarsvoorspanning. Na afloop van de functionele levensduur van het viaduct (gemiddeld 43,6 jaar¹) zijn de liggers herinzetbaar in een nieuw te bouwen viaduct. Hergebruik van een betonnen liggerconstructie is veel beperkter doordat het beton na de sloop van het viaduct alleen gerecycled kan worden.

Ook beschrijven we in dit rapport nieuwe toepassingen buiten GWW (zie paragraaf 3.1.C en 3.1.D).

Het prefab liggersysteem is modulair zodat de bouwtijd ter plaatse minimaal 6 weken korter is dan een traditioneel betonnen viaduct. De overlast tijdens de bouw voor de weggebruiker neemt hierdoor af, met een gunstig effect op de Nederlandse economie.

Uit onze analyse blijkt dat de grootste impact op de MKI-score bereikt wordt met aanpassing van de dekconstructie. Hier focussen wij ons dan ook op. Om tot een totaaloplossing te komen verkenden we daarnaast de mogelijkheden voor fundering, landhoofden, steunpunten en wegmeubilair. In paragraaf 3.2.A - overige aspecten beschrijven wij onze totaaloplossing.

3.1. Impact

Gevalideerde circulaire viaductontwerpen bieden Rijkswaterstaat de mogelijkheid om deze repeterend in te kopen en grootschalig toe te passen in (vervangings- en renovatie) projecten. Uw doel is om klimaatneutraal te bouwen, waarnaar wij streven met Viaductbehout. Onze innovatie is inzetbaar om de meeste viaducten van Rijkswaterstaat mee te vervangen. De circulaire waarde van de toegepaste producten en materialen na afloop van de technische levensduur biedt mogelijkheden voor hoogwaardige herinzet, ook buiten de GWW.

A. Binnen onze eigen invloedssfeer bijdragen aan het oplossen van het brede maatschappelijke probleem in deze SBIR

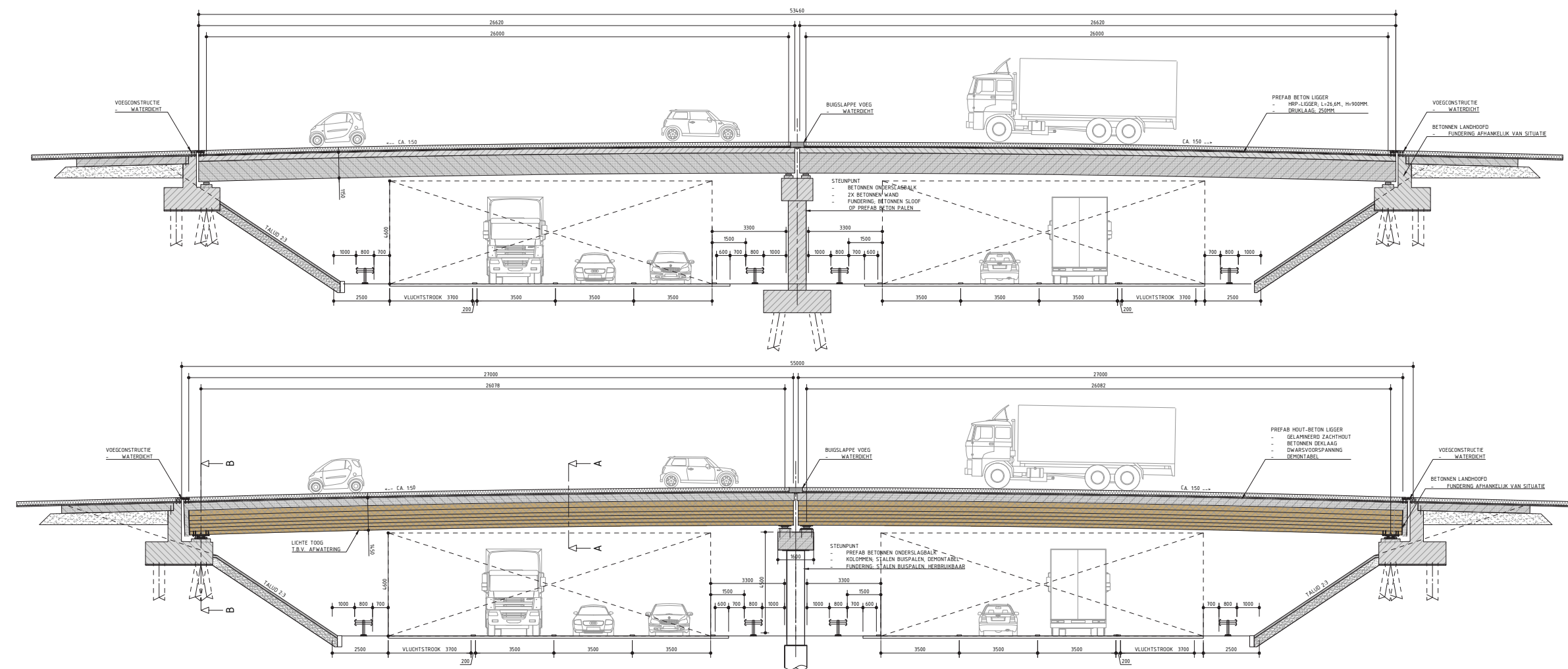
Onze maatschappelijke bijdrage voor deze opgave bestaat uit het ontwerpen en bouwen van een zo circulair/duurzaam mogelijk, betrouwbaar en betaalbaar viaduct voor de Nederlandse markt. Dat doen wij ontwerpend (ipv Delft), construerend (Miebach), organiserend (Mobilis) en bouwend (Mobilis en Heko Spanten). Met het hout-betonliggersysteem geven wij hier invulling aan.

Daarnaast dragen de volgende ontwikkelingen en kwaliteiten binnen onze organisaties bij:

Mobilis is koploper in de inframarkt in het toepassen van constructief geopolymerbeton, zonder cement. Cementproductie veroorzaakt namelijk een aanzienlijke ongewenste milieu-impact. In plaats van cement (her)gebruiken we industriële bijproducten als bindmiddel. Hiermee bieden wij een gelijkwaardig betonproduct met een positieve CO2-footprint. Dit type beton is toepasbaar in onze innovatie.

Ipv Delft ontwikkelt hout- en beton-brugconstructies voor de Nederlandse markt conform het IFD-principe (Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen). Deze geïntegreerde benadering van modulair ontwerpen en bouwen draagt bij aan de ontwikkeling en keuzes binnen onze innovatie.

Rutte Groep is gespecialiseerd in hoogwaardige betonrecycling. Oud betonpuin wordt op duurzame wijze teruggebracht tot de originele grondstoffen: zand, grind en (on)gehydrateerd cement. Deze materialen worden hergebruikt in nieuw beton. Doordat bestaande bouwmaterialen een nieuw leven krijgen, draagt Rutte Groep bij aan de circulaire economie. Niet slopen, maar oogsten. Ook dit type beton is toepasbaar in onze innovatie.



Figuur 3. Langsdoorsneden 'referentievaduct' (boven) en 'viaductbehout' (onder)

	Referentie-viaduct	MKI-waarde	Viaductbehout	MKI-waarde	Vershil
Dek	Prefab beton liggers, Type HRP-liggers 900mm ² en druklaag h=250 mm ²	48192	hout-betonliggers (1,1x1,08m ²) en druklaag h=350mm ²	26990	44%
Overspanning	26m ²	-	26m ²	-	-
(Dwars) voorspanning	Voorgespannen prefab liggers	-	Dwarsvoorspanning 90 kanalen + 7 strengvoorspanning	-	-
Breedte dek	26m ²	-	26m ²	-	-
Landhoofd	Hoog gefundeerd betonnen landhoofd	13708	Hoog gefundeerd betonnen landhoofd	10525	23%
Afmetingen	2,5x1,0m ²	-	2,5x1,0m ²	-	-
Tussensteunpunt	Oplegbalk met wanden	9725	Betonnen oplegbalk met stalen buispalen	3498	64%
Afmetingen	Betonnen oplegbalk 26x1,4x1,0m ² (lxbxh) Fundatiebalk: 26x3,0x1,0m ² (lxbxh) Wanden: 2x 9,0x0,8x4m ²	-	Oplegbalk: 26x1,3x0,8m ² (lxbxh) Stalen buispalen	-	-
Afbouw (Stootplaten, randelementen etc.)	-	12834	-	8542	33%

Tabel 2. MKI-waarden en reductie (*= MKI-reductie conform geldende richtlijnen)

Nr.	Omschrijving	MKI-waarde	Verdere MKI-reductie van Behoutviaduct
1	Referentie viaduct	84.459	
2	Circulair viaduct (MKI DuboCalc)	58.769	-30%
3	Circulair viaduct met gerecycled beton toegestaan conform de huidige richtlijnen.	49.556	-41%
4	Circulair viaduct met gerecycled beton, toepasbaar nadat in overleg met Rijkswaterstaat de richtlijnen gedeeltelijk losgelaten worden.	47.083	-44%
5	Circulair viaduct met Geopolymeerbeton.	53.519	-37%

Tabel 3. MKI-reductie beton

Heko spanten produceert gelamineerde producten met FSC-houtkeurmerk dat u de garantie geeft dat voor bosbehoud voor elke gekapte boom een nieuwe wordt geplant. Hout is een grondstof dat weer opnieuw verkregen wordt door een natuurlijk proces en draagt bij aan een duurzame CO2-opslag. Het produceren en bewerken van gelijmde houtconstructies kost weinig energie. De toegepaste lijmen zijn milieuvriendelijk. De natuurlijke hout-eigenschappen zijn uitstekend geschikt als licht constructiemateriaal en daarom het juiste basismateriaal voor onze innovatie.

Miebach ontwerpt hout (-beton) bruggen en streeft naar een constructief aantrekkelijk bouwwerk, gebruikmakend van de sterkte punten van hout. Resultaat is geavanceerde sierlijke constructies als alternatief voor beton/ staal. Deze kennis en creativiteit is van grote meerwaarde voor het uitwerken van onze innovatie.

B. Onze bijdrage aan het oplossen van het brede maatschappelijke probleem in deze SBIR

Ons hout-betonliggersysteem sluit materiaalkundig perfect aan bij uw innovatievraag. Wij bieden een demontabele viaductconstructie, opgebouwd uit een hernieuwbaar materiaal (Europees) zacht hout in combinatie met circulair beton. Hiermee dragen wij bij aan de maatschappelijke doelstelling, klimaatneutraal en circulaire bouwen.

Naast milieubewuster bouwen, bouwen we ook sneller. De bouwplaats wordt een montageplaats. Dit draagt positief bij aan het stikstofprobleem. We zetten lichter montage materiaal in en bouwen in kortere tijd dan bij een traditioneel viaduct. Deze snelle bouwtijd verkleint de hinder voor de weggebruiker. Als ervaren bruggenbouwer weten wij hoe bepalend het aspect tijd is voor de bouw van een viaduct. Hoe korter de wegafsluiting, hoe minder de verkeershinder en hoe beter de veiligheid van de weggebruikers gewaarborgd is. Tijdsbesparing door een uitgekend modulair prefab ontwerp is dan ook een speerpunt in ons concept. Door de modulaire opbouw zijn zowel de opbouw als demontage aan het einde van de levensduur in korte tijd en zonder hinder voor de omgeving voltooid. Bovendien is het materiaal na afloop van de gebruikperiode hierdoor hoogwaardig te hergebruiken.

Nederlandse kennis en ervaring met bouwen met hout is nog beperkt en staat nog in de kinderschoenen. Met dit eerste hout-beton viaduct dragen wij bij om dit duurzame alternatief binnen de GWW-sector in een stroomversnelling te brengen. De modulaire deeloplossingen van ligger- en verbindingstechniek zijn bovendien in potentie inzetbaar buiten de GWW-sector.

C. Mate van milieu-impact en circulariteit van de voorgestelde innovatie

De volgende milieu-impact factoren waren doorslaggevend:

- Focus op een nieuw brugdek-ontwerp, nadat wij uit ons projectvoorstel concludeerden dat dit onderdeel de grootste milieu-impact heeft wanneer duurzaam materiaal toegepast en circulair (modulair) gebouwd wordt.
- Grondstoffenverbruik: we introduceren het duurzame bouw materiaal hout: hernieuwbaar, zorgt als natuurlijk CO2-opslag direct voor CO2-reductie. Waar we hout toepassen, verminderen we de component gevapende en voorgespannen beton. We passen circulair beton toe. De materiaalkeuze van onze ligger heeft een zeer gunstige milieu-impact door de hernieuwbaarheid en de CO2-opslag.
- In ons ontwerp zijn de specifieke eigenschappen van hout en beton optimaal toegepast. Met een doordacht ontwerp van de betonnen deklaag en randelement is het hout afgeschermd van vocht en andere weersinvloeden. De verwachte levensduur van het liggersysteem is hierdoor 100 jaar.
- Herinzetbaarheid van de hout-betonligger en het brugdek door het demontabele ontwerp. De lengte van de liggers is relatief eenvoudig in te korten. De breedte van het dek is schaalbaar.
- Ons liggerontwerp is geschikt om bestaande landhoofden en funderingen te hergebruiken, mits de functie van het te vervangen viaduct gelijk blijft. Door gewichtsafname van de dekconstructie is het aannemelijk dat bestaande landhoofden en funderingen voldoen.

Onderbouwing milieu-impact materialen

De milieu-impact van onze innovatie berekenen we met het programma DuboCalc. De milieukostenindicator (MKI) drukt het milieueffect uit in euro's. Om te komen tot een realistisch en betrouwbaar meetresultaat vergelijken wij onze innovatie met een referentievaduct, zie figuur 3.

Dit haalbaarheidsonderzoek gaat uit van een viaduct met 2x2 rijstroken dat onderliggend 2x3 rijstroken kruist. Het referentievaduct bestaat uit een traditionele betonnen constructie met twee velden, een lengte van 27 meter, opgelegd op een tussen-steunpunt en met verzonken landhoofden. Dit type oplossing passen wij veelvuldig toe bij projecten met vergelijkbare afmetingen. Ons ontwerp heeft een demontabel midden-steunpunt. De breedte van beide ontwerpen is circa 26 meter.

Onze innovatie levert een maximale MKI-winst op van 44% in vergelijking met het liggersysteem van het traditionele referentievaduct en 41% voor het gehele viaduct. Qua CO2 reductie is dit 63% ook 314.119 ton. In de separate bijlage is de onderbouwende berekening toegevoegd, waarmee wij deze MKI-waarden aantonen.

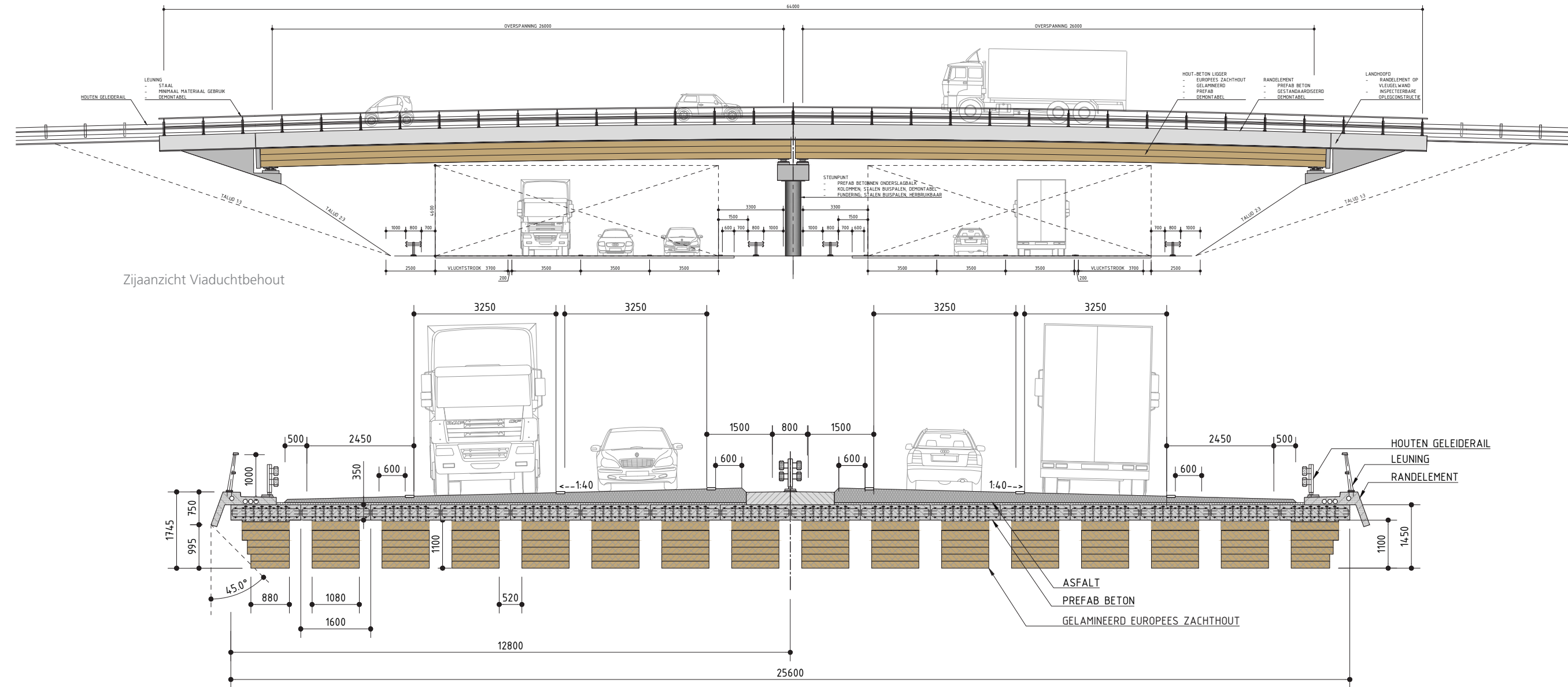
Mogelijkheden voor verdergaande CO2-reductie

Een verdergaande CO2-reductie bereiken we door duurzame betonsoorten toe te passen:

- Gerecycled beton (ontwikkeling Rutte Groep): gemaakt met secundaire grondstoffen zoals gerecycled zand, grind en/of betongranulaat. Deze grondstoffen komen vrij door de sloop van betonnen gebouwen of viaducten.
- Geopolymeerbeton (ontwikkeling Mobilis) waarbij het bestanddeel cement vervangen is door geopolymeren (minerale stoffen).

Beide soorten zijn geschikt voor de productie van betonelementen in een viaduct zoals deklaag, landhoofden en midden-steunpunt.

De ontwikkelingen van deze soorten beton gaan snel. Conform de ROK en Eurocode zijn maximale hoeveelheid toeslagmaterialen in gerecycled beton bepaald. Om genoemde duurzamere betonsoorten te kunnen toepassen zijn aanvullende afspraken nodig over de huidige richtlijnen die Rijkswaterstaat hanteert. Ter illustratie van de mogelijke impact toont tabel 3 de MKI-reductie van de drie betonsoorten.



Zijaanzicht Viaductbeton



Project La Léchère, Freiburg, Zwitserland | Miebach



Project Pont de Riou, Alpes Maritimes, Frankrijk | Miebach



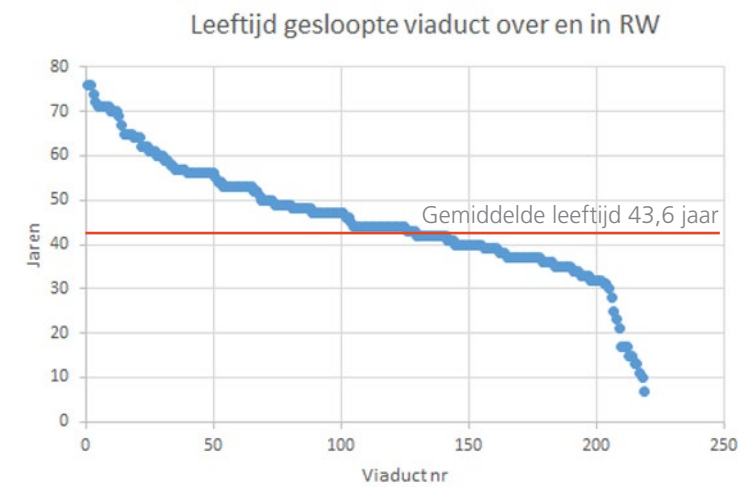
Project HBV-Brücke Lohmar, Duitsland | Miebach

Aanvullende informatie

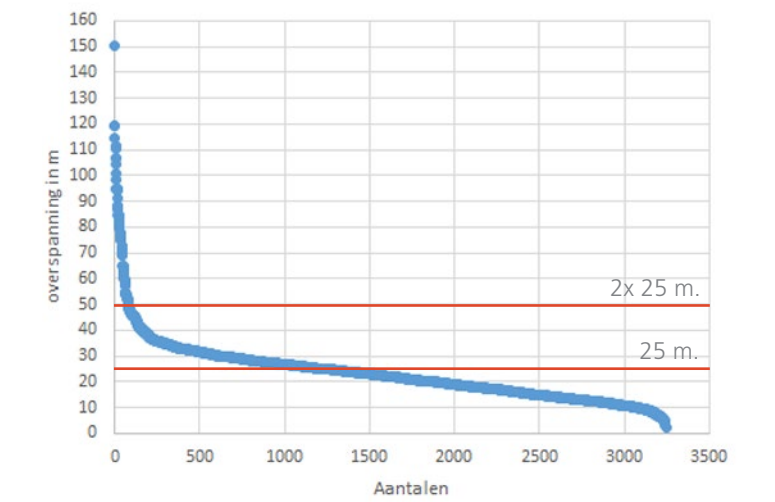
kaart van aantal rijstroken in Nederland



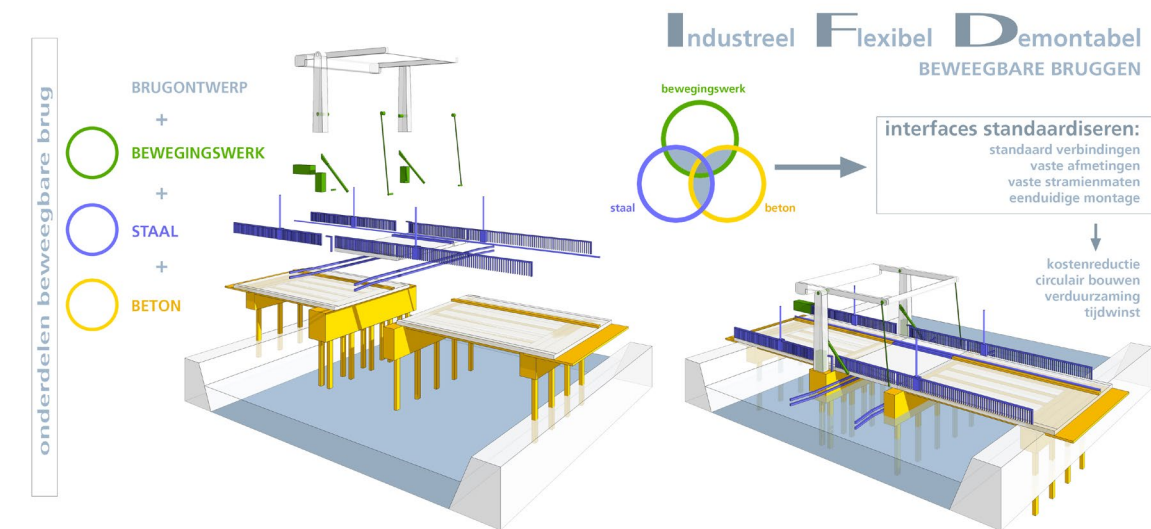
Kaart aantal rijstroken in Nederland



Leeftijd gesloopte viaduct over en in RW, Bron: DISK Rijkswaterstaat



Breedte huidige viaducten, Bron: DISK Rijkswaterstaat



IFD beweegbare bruggen | ipv Delft



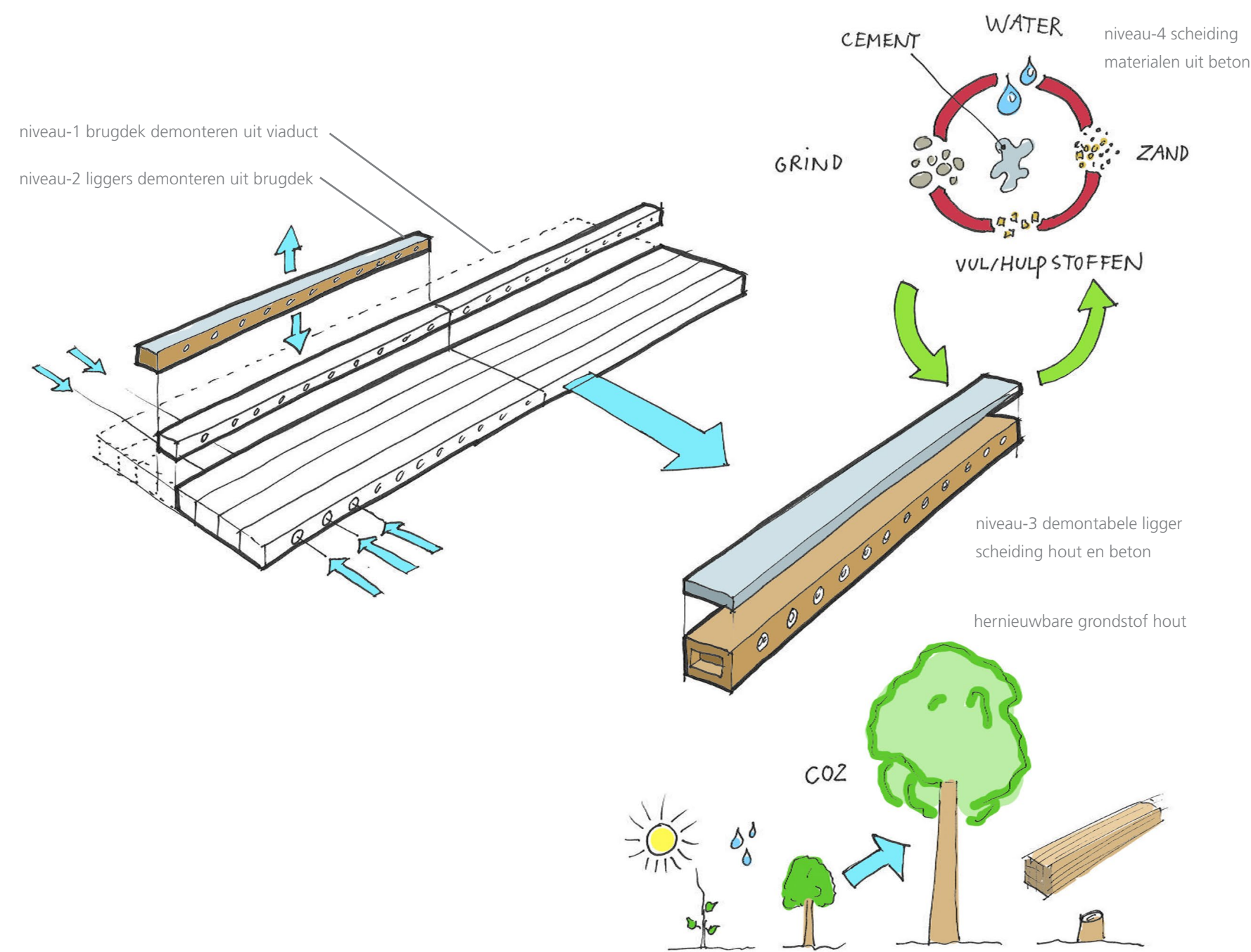
Project station Assen | Heko Spanten



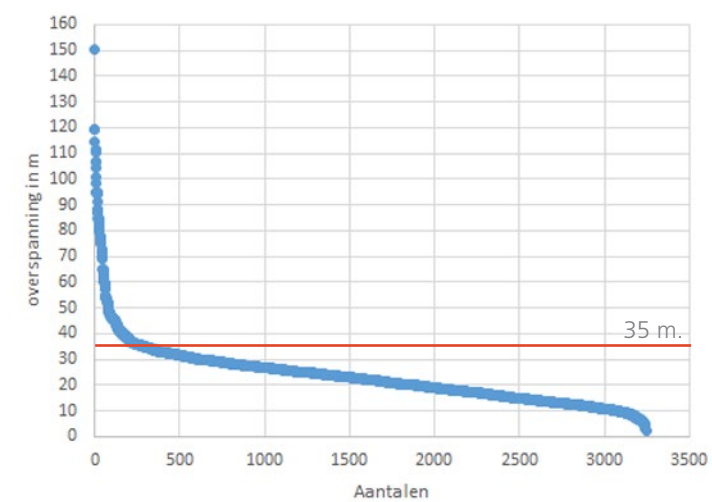
Voorspanttechniek | Mobilis



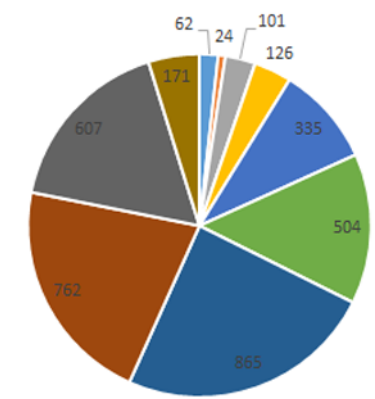
Geopolymeer betonconstructies | Mobilis



Figuur 4. Modulaire opbouw op 4 niveaus



gemiddelde overspanningslengte (m)



■ 60-groter ■ 50-60 ■ 40-50 ■ 35-40 ■ 30-35 ■ 26-30 ■ 20-26 ■ 15-20 ■ 10-15 ■ 0-10

Met onze oplossing (15-35m) kunnen wij 2466 van de 3557 viaducten invullen. Dit is 69%.

Met onze oplossing van 26m1 kunnen wij 1627 van de 3557 viaducten invullen. Dit is 46%

Figuur 5. Overzicht toegepaste overspanning huidige viaducten areaal
Bron: DISK Rijkswaterstaat

Circulariteit - hoogwaardig hergebruik

Onze uitdaging is een brugdek op te bouwen uit prefab hout-beton liggers en deze demontabel en waterdicht te maken. Hiervoor onderzochten we diverse koppeltechnieken. Meest kansrijk zijn stalen koppelplaten, een natte knoopconstructie of het aanbrengen van dwarsvoorspanning:

- Stalen koppelplaten zijn corrosie- en onderhoudsgevoelige onderdelen en daarom onwenselijk.
- Een natte knoopconstructie kan aan het einde van de functionele levensduur weggezaagd worden, waarna in het betonnen deel van de hout-betonligger weer ankers worden geboord. Nadeel: kostbaar en minder duurzaam.
- De dwarsvoorspanningstechniek is een bestaande en bewezen techniek. Het enige verschil is de toepassing i.r.t. demonteerbaarheid. Het vullen van voorspankanalen met betonmortel moet voorkomen worden. Dit is een afwijking van de ROK maar reeds eerder gedaan.

De dwarsvoorspanningstechniek is de beste optie, omdat dit een beproefde, onderhoudsarme techniek is.

Ons ontwerp hout-beton is op 4 niveaus modulair opgebouwd. Hiermee bereiken we hoogwaardig hergebruik na de eerste gebruiksfase:

Niveau-1;

Het gehele brugdek ligt op oplegblocken en is te demonteren van de landhoofden en steunpunten.

Niveau-2;

De liggers zijn onderling verbonden met dwarsvoorspanning in de prefab betonnen deklaag. Na demontage van de dwarsvoorspanning worden de hout-betonliggers geheel uit het brugdek genomen voor hergebruik.

Circulair gezien maken we op dit niveau de grootste impact door optimale demontage na afloop van de functionele levensduur.

Niveau-3;

Aan het einde van de technische levensduur van de ligger zijn de hout- en betoncomponenten van elkaar te scheiden. Hout is uitstekend herbruikbaar en zien we bijvoorbeeld toegepast in liggers, balken, interieurbouw en meubels.

- Om de houten ligger te kunnen hergebruiken moet al het staal gegarandeerd uit het hout zijn verwijderd. Staal veroorzaakt namelijk veel schade aan de houtbewerkingsmachines. Daarom hebben wij een demonteerbare koppeling ontworpen, bestaande uit stalen doken die in een stalen montageplaat gedraaid zijn. De montageplaten zijn ingesloten in gefreesde uitsparingen in het hout. De koppen van de doken brengen we verzonken aan in het beton en werken we waterdicht af biohars. Voor demontage verwijderen we de biohars, de doken en montageplaat.

- Na demontage inspecteren we de gelamineerde houten ligger op geschiktheid voor (geheel of gedeeltelijk) hergebruik. De ligger bestaat uit lagen, die elk te vervangen zijn in geval van materiaal aantasting. Ook als de houten ligger na deze aanpassing een kleinere afmeting heeft, is het hout geheel inzetbaar in de constructie van bouwelementen (zogeheten urban mining):
 - Viaducten en bruggen van kleinere afmetingen
 - Opbouw nieuwe gelamineerde liggers van willekeurige afmeting (zowel langer als korter dan oorspronkelijke lengte). Toepasbaar in utiliteits- en woningbouw.
 - Verzagen van de balken tot (straat-) meubilair of interieurbouw.
 - Opbouw nieuwe gelamineerde liggers van willekeurige afmeting (zowel langer als korter dan oorspronkelijke lengte).

Niveau-4;

Uit de betonnen prefab winnen we grondstoffen terug om als secundair/ tertiair materiaal te hergebruiken. Resthout is voor 100% te recyclen en te verwerken in bijvoorbeeld spaanplaat, kantoormeubilair of meermaals te gebruiken verpakkingsmateriaal. Tevens is het een goede grondstof voor bio-energie.

In figuur 4 is de modulaire opbouw op 4 niveaus weergegeven.

D. Toepasbaarheid en schaalbaarheid van onze innovatie binnen en buiten het areaal van Rijkswaterstaat en andere opdrachtgevers

Onze innovatie is toepasbaar voor bruggen en viaducten met een overspanning van circa 15 tot 35 meter. Zoals eerder vermeld is dit 70% van het areaal (bruggen en viaducten) van Rijkswaterstaat. 50% van deze viaducten zijn gebouwd tussen 1960-1980 en worden de komende decennia vernieuwd. Vertaald naar de 40.000 viaducten in Nederland gaat het om maar liefst 28.000 viaducten die we kunnen vervangen met onze hout-betonliggersysteem waarvan 14.000 stuks de komende 10 jaar. Dit levert minimaal een betonbesparing op van 2,6 miljoen m³ en 4,4 miljard ton CO₂.

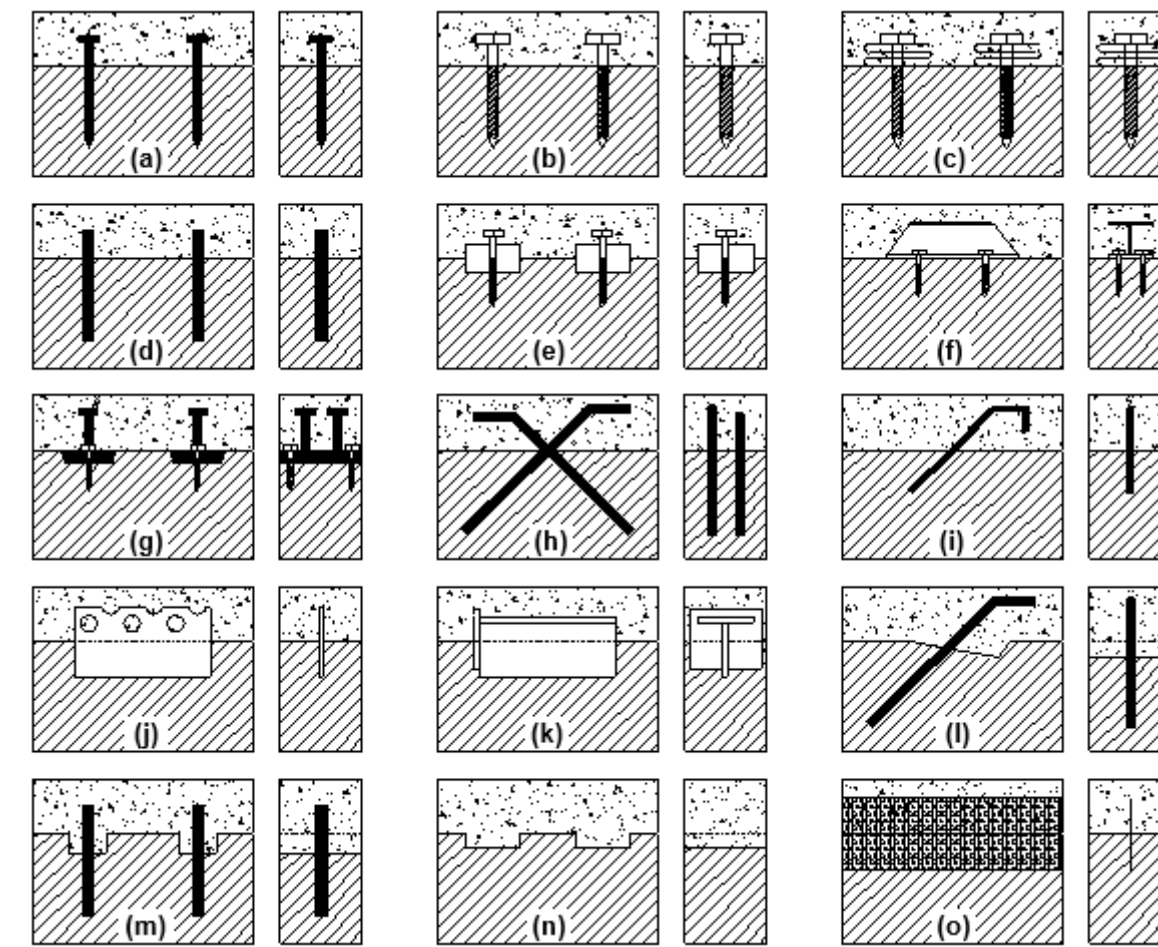
Het combineren van hout en beton is ook buiten de GWW-sector toepasbaar. Immers, succesvol toegepast in viaducten, onder zware buitenomstandigheden beproefd, zijn deze overspanningen ook geschikt om toe te passen in de utiliteitsbouw. De verbindingstechniek zorgt ervoor dat gebouwen in de toekomst eenvoudig gedemonteerd worden.

3.2. Haalbaarheid

A. In hoeverre het voorstel een technologisch interessante en haalbare benadering voorstelt

Ons uitgangspunt is te komen tot een ontwerp dat per direct technisch haalbaar is. De uitgevoerde constructieve berekeningen voldoen aan de huidige regelgeving: NEN-EN, ROK 1.4, DIN 68800. Daarnaast bestaat onze innovatie grotendeels uit bestaande technieken, zoals:

- Een zogeheten hybride brugdekconstructie, waarbij het brugdek is samengesteld uit hout en beton. Deze brugdekconstructies zijn reeds frequent toegepast in het buitenland (projectreferenties⁴). Zoals:
 - La Léchère, Freiburg (Zwitserland); 45m overspanning en 11m breed; bouwjaar 2005;
 - Pont de Riou, Alpes Maritimes (Frankrijk); 20,5m overspanning en 5m breed; bouwjaar 2016;
 - HBV-Brücke over rivier die Agger, Lohmar (Duitsland); 40m overspanning en 4,5m breed; bouwjaar 2014.
- Het verbinden van liggers met een dwarsvoorspanning. In Nederland is hierover veel kennis en ervaring beschikbaar omdat het al jaren toegepast wordt bij prefab betonnen kokerliggers-brugdekken. Mobilis heeft kennis en ervaring in huis om het voorspanningsontwerp verder te specificeren samen met een voorspanningsleverancier.



Figuur 6. verbindingssystemen hout-beton
(linker - langsdoorsnede, rechter - doorsnede): (a) spijkers; (b) schroeven; (c) schroeven + veren; (d) pluggen; (e) CHS + schroeven; (f) UCS; (g) HSP + noppen; (h) X-connector; (i) wapeningsstaven; (j) PSP; (k) TSP; (l) wapeningsstaven + inkepingen; (m) pluggen + inkepingen; (n) gegroefde verbinding; (o) HBV

Bron: Timber-Concrete-Composite-Bridges_State-of-the-Art_Review.docx



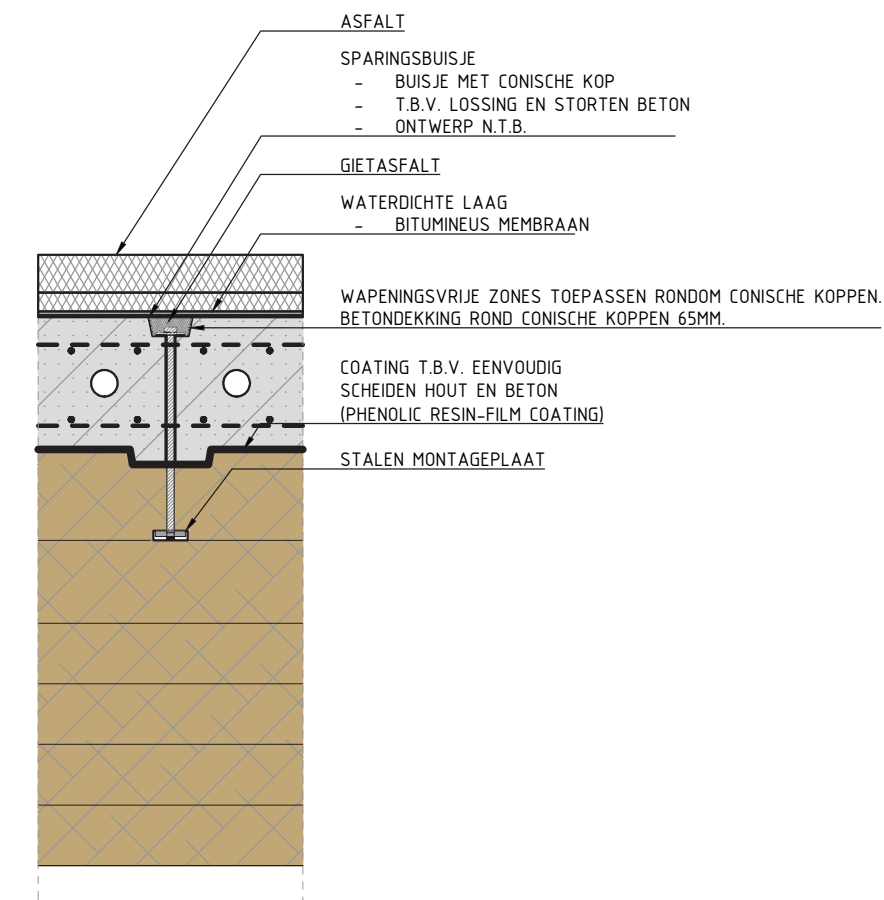
Figuur 7a. lamellen (schub) verbinding



Figuur 7b. verbinding met nokken en wapening



Figuur 7c. doken (kopbouten) verbinding



Figuur 8. innovatieve demontabele nok-dook verbinding

De hout-betonverbinding met demontabele stalen doken en verwijderbare stalen montageplaat dient verder uitgewerkt en getest te worden (zie hoofdstuk 4).

Het ontwerp van het modulaire hout-betonliggersysteem wijkt op één onderdeel af van de huidige ROK versie 1.4., namelijk het voorspannsysteem. In hoofdstuk 6, artikel 5.10.1. schrijft de ROK voor dat de buis voor de voorspankabels gevuld dient te worden met betonmortel. Echter, voor een demontbaar systeem is het belangrijk dat de buizen niet gevuld worden met betonmortel. Wij verwachten niet dat deze afwijking een probleem vormt omdat deze afwijking reeds beproefd is toegepast in het eerste circulaire viaduct gebouwd door Van Hattum en Blankevoort, prefab-bouwer Consolis Spanbeton en Rijkswaterstaat. Hierbij zijn de staaldraden voorzien van een kunststof omhulling.

Constructieve maximale afmetingen

De hout-betonligger heeft constructie-technisch een maximale lengte van circa 35 meter. Door de samenwerkende hout-betonconstructie is de hoogte/lengte-verhouding van de samengestelde ligger circa 1:18. Bij een prefab betonnen ligger is deze verhouding 1:22,5 (referentieontwerp). Bij grotere lengtes neemt de hoogte van de hout-betonligger aanzienlijk toe. In ons voorbeeldproject gaan wij uit van een overspanning van 26 meter. De bijbehorende liggerhoogte is 1450mm i.p.v. 1150mm voor een vergelijkbare prefab ligger.

De dwarsvoorspanning en de lengte van de liggers bepalen de maximale breedte. Voor dit haalbaarheidsonderzoek heeft ons ontwerp bij een lengte van 26 meter een maximale breedte van circa 26 meter. De breedte van het viaduct verdubbelt wanneer twee brugdekken naast elkaar geplaatst worden: één dek voor elke verkeersrichting.

Architectuur

Architectuur is een minder voor de hand liggend aspect voor duurzaamheid in deze SBIR-uitraag. Door de rol in stedelijke en landschappelijke inpasbaarheid heeft architectuur wel degelijk impact. Met een doelmatig en helder ontwerp maken we de opbouw en materialen van de hout-betonconstructie zichtbaar. In deze fase ligt de focus op het ontwerp van brugdek.

Uit een vormstudie van de randliggers volgde een trapvorm met drie treden met een rustig en helder aanzicht. Hierdoor komt de gelamineerde opbouw en het houten karakter duidelijk naar voren.

Ook de vorm van de middelste liggers onderzochten we. Een rechthoekige ligger geeft een regelmatig en helder beeld. Het betonnen randelement beschermt het hout en heeft daarom een robuuste vorm met een schuine zijde dat als afdak fungeert en ook herkenbaar is als zodanig.

Het ontwerp van de landhoofden (+ grondkerende constructie) en steunpunten is sterk situatie afhankelijk. Per situatie dient de constructie, inpassing en architectuur van de landhoofden (grondkerende constructie) en steunpunten nader bepaald te worden.

Totaalgewicht in verband met transport

De hout-betonligger is een prefab product. De ligger wordt vanuit de productielocatie getransporteerd naar de locatie van het viaduct. Inclusief het transportmiddel volgt hieruit een maximale totale lengte van 27,5m. In situaties waarin de ligger inclusief transportmiddel langer is dan 27,5m, is de inzet van exceptioneel transport noodzakelijk. Vanwege het vastgestelde maximale totaalgewicht hebben we gekozen voor een liggerbreedte van 1,60m. Met deze breedte blijft de ligger inclusief transportmiddel binnen de 100 ton.

Materiaaleigenschappen

Hout

Onderzocht is welke houtsoort het meest geschikt is voor de hout-betonligger. Hierbij vergeleken we hardhout, Accoya hout en zacht hout.

- Hardhout blijkt vanwege beschikbare lengtes en prijs niet geschikt voor lange liggers. Tevens dient deze houtsoort mechanisch (met stalen verbindingmiddelen) samengesteld te worden. Ook is hardhout ongeschikt om met lijm te laminieren.
- Voordeel van verduurzaamd Accoya hout is de gegarandeerde levensduur van 50 jaar in de buitenlucht. Echter, massief verduurzaamd hout is momenteel zeer kostbaar en minder milieuvriendelijk.
- Zacht hout is volop verkrijgbaar, goed te produceren en daardoor economisch toepasbaar in massieve gelamineerde liggers. Onbeschermde tegen weersinvloeden is zacht hout wel kwetsbaar in de buitenlucht. In ons ontwerp zijn wij uitgegaan van vuren hout. Aan de boven- en onderzijde passen we hout toe met een hoge kwaliteit, klasse GL30hT22 en in het midden met een lagere kwaliteit, GL24hT14. De samengestelde ligger heeft hiermee een kwaliteit van GL30c. We voorzien de liggers van een waterdichte coating en verharding. Met

deze opbouw bereiken we een optimale verhouding in prijs-kwaliteit/veiligheid.

Beton

Voor de betonnen deklaag hebben we drie typen betonsterkteklassen met bijbehorende diktes vergeleken:

1. C30/37 met een dikte van 370mm
2. C90/105 met een dikte van 250mm
3. C35/45 met een dikte van 310mm

Op basis van de MKI-berekening, de beschikbare hoogte voor wapening en het voorspanningsysteem hebben we gekozen voor de 3e variant. Het beton wordt uitgevoerd in gerecycled beton of geopolymerbeton.

Hout-beton verbindingstechniek

Om de krachten tussen het beton en hout over te brengen is een degelijke verbinding noodzakelijk. Voor deze verbinding zijn diverse bestaande technieken bekend, zie figuur 6 en 7a,b,c. Deze technieken zijn ontwikkeld in landen als Duitsland, Oostenrijk, Zwitserland, Noorwegen, Zweden en Verenigde Staten. Op basis van literatuurstudie^{4,5} en de ervaring van Miebach (literatuurlijst) zijn de diverse verbindingstechnieken afwogen. De constructieve uitgangspunten, kosten, productietechniek en mogelijkheid tot demontage bepaalden de ontwerpkeuze. De verbinding combineert een bestaande oplossing (nokverbinding) met een demontabele component (doken), zie figuur 8. In de prototypefase testen wij deze verbinding, zie hoofdstuk 4.

Productietechniek

De productietechniek van de hout-betonligger bestaat uit drie stappen.

- Voor de houten ligger maakt Heko Spanten een mal voor de noodzakelijke bouwzeeg en/of toog. Daarop worden de houten lamellen geplaatst, verlijmd en geperst. In de productiefase van Heko Spanten is op dit moment een standaardlengte tot 27m mogelijk. Met aanpassingen zijn grotere lengtes mogelijk.
- Na het produceren van de houten ligger dient deze houtenligger bewerkt te worden voor de verbinding met het beton: uitfrezen van holten voor de nokken en stalen montageplaten voor de deuvels. Daarna het in positie brengen van de stalen platen voor de deuvels en het bewerken van het oppervlak voor het aanbrengen van het beton.



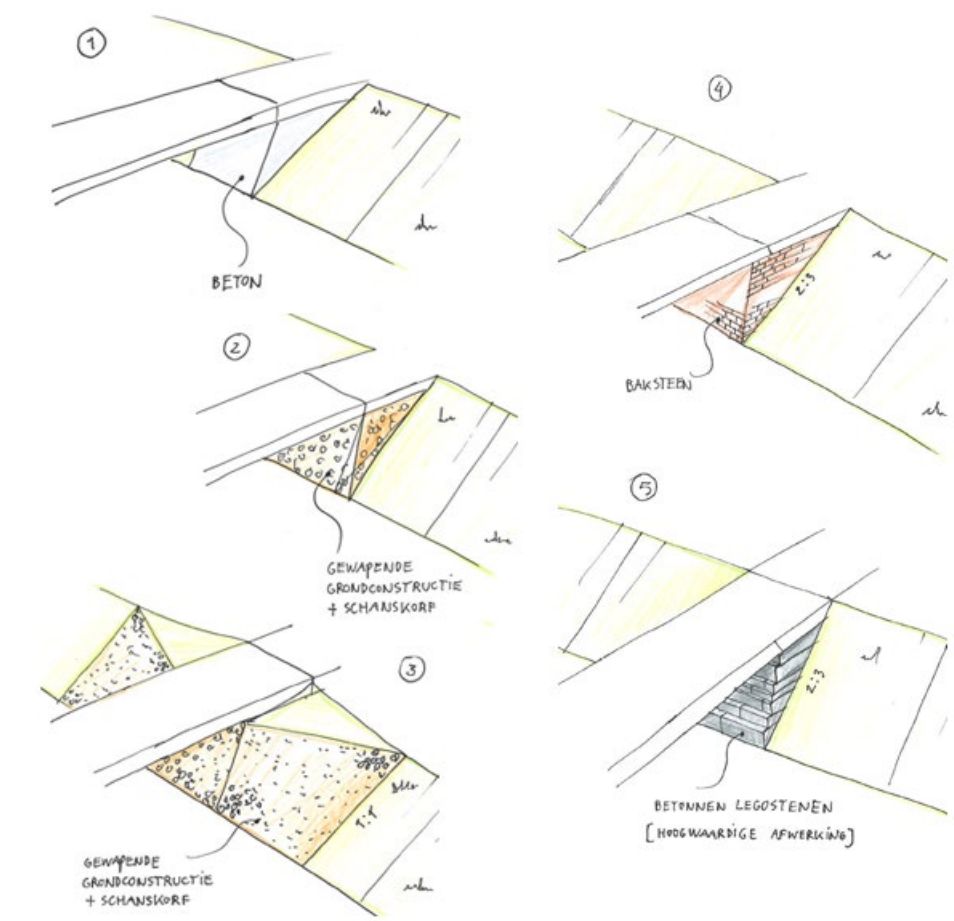
Circulair steunpunt > fundering; stalen buispalen, kolommen; stalen buispalen, onderslagbalk; beton. Alle delen zijn demontabel



Architectonisch steunpunt > passend bij brugdekontwerp, modulaire opbouw nader uit te werken



Voorbeeld circulair steunpunt, AZ Zaltbommel



Figuur 13. grondconstructies landhoofden

Het beschreven steunpunt met stalen buispalen heeft circulair gezien de voorkeur, maar laat te wensen over qua architectuur. Voor het steunpunt tonen wij daarom een alternatief dat architectonisch beter aansluit op het brugdekontwerp. Ons voorstel is dit steunpunt op te bouwen uit demontabele prefab betonnen pilaren en een betonnen onderslagbalk. Dit is nader uit te werken.

Wegmeubilair

Het brugdek bouwen we af met betonnen randelementen, wegverharding en wegmeubilair. Dit prefab betonnen randelement is demontabel en standaard voorzien van geleiderails en leuningwerk. De afmetingen van het ontwerp zijn gebaseerd op de standaard detaillering uit de ROK.

De geleiderail bestaat uit hout. Het leuningwerk is daarentegen van staal, omdat hout hier te weinig MKI-voordeel oplevert ten opzichte van beheer & onderhoud en zichtbaarheid (zie figuur 12).

B. De mate waarin wij de juiste partij blijken te zijn voor ontwikkeling van de innovatie of totaaloplossing

In hoofdstuk 2 maakte u kennis met de consortiumpartners. Stuk voor stuk financieel gezonde partners. Samen zijn wij in staat het concept door te ontwikkelen en op te schalen tot een standaard. Onze robuuste bedrijven hebben veel ervaring waardoor innovatie ook bij hindernissen doorontwikkeld wordt. Valt een partner uit het consortium weg, is de innovatie toegankelijk genoeg om dit gat op te vangen. In ons concept is uitgegaan van een open source leeromgeving zoals bewezen succesvol is voor een transitie naar een circulaire samenleving.

Heko Spanten maakt deel uit van ons consortium. In Nederland is Heko Spanten momenteel de enige producent van gelamineerde houten constructies en liggers. In Duitsland zijn 40-50 vergelijkbare leveranciers voor opschaling van de ontwikkeling in de nabije toekomst. Het gelamineerde liggersysteem is namelijk eenvoudig te produceren en daardoor geschikt om uit te besteden.

C. De kwaliteit van de technische onderbouwing

In hoofdstuk 2 (paragraaf Activiteiten uitgevoerd in fase 1) tonen wij u de stappen die wij namen om tot een haalbaar ontwerp te komen. Startpunt hierbij was het ontwerp zoals beschreven in het projectvoorstel fase 0. In hoofdstuk 4 beschrijven wij de vervolgstappen om tot een gevalideerde innovatie te komen en hoe het prototype er uit komt te zien.



3.3. Economisch perspectief

A. Kwaliteit van aanpak en strategie om de innovatie een plaats in de markt te bezorgen

Ons projectvoorstel is gericht op het bereiken van de grootst mogelijke impact. Een standaard hout-betonliggersysteem is breed toepasbaar: in aantal en maatvariatie. Met Viaductbehout bieden wij een duurzaam en commercieel haalbaar alternatief voor de traditionele beton-liggermarkt. Door schaalvergroting in het toepassen zakt de kostprijs.

Uit onze raming⁹ blijkt dat de directe kosten van het hout-betonligger viaduct zo'n 30% hoger ligt dan het referentie viaduct. Deze toename komt o.a. door de houtenliggers productie, de dickere druklaag, de demontabele verbinding en het circulaire beton. Door het vergelijken tussen een economische geoptimaliseerde viaduct en een nieuwe nog nooit gebouwde constructie, verwachten wij dat de kosten door ontwerp optimalisaties, schaalvergroting, fabrieksmatig bouwen en economische restwaarde zullen dalen.

B. Kwaliteit van verdien-/businessmodel, incl. uitwerking van het intellectueel eigendom en gebruiksrecht

Rijkswaterstaat is groot voorstander van een open leeromgeving om de duurzaamheidstransitie in een stroomversnelling te brengen. Zo'n transitie vereist een fundamenteel andere aanpak en denkwijze, ook op het gebied van verdienmodellen. In de circulaire transitie staat samenwerking en transparantie voorop om de complexiteit ervan te beheersen. Ons consortium stelt dan ook de opgedane kennis beschikbaar in deze open leeromgeving. Ons doel is dat Viaductbehout als innovatief hout-betonliggersysteem de nieuwe standaard wordt voor nieuwe viaducten. Door de opgedane kennis te delen kunnen branchepartijen doorbouwen op dit uitgewerkte concept zodat het toepassen van de hout-beton liggers in een versnelling komt.

Voorwaarde voor succesvolle lancering en doorontwikkeling van het concept is dat we aantoonbaar maken dat de constructie het gedrag vertoont dat wij voorspelden. Om dit te monitoren passen we sensoren toe. Met nieuwe technieken genereren de sensoren data en sturen deze via Internet of Things door aan intelligente systemen die deze data analyseren. We maken zo zaken inzichtelijk als temperatuurwisselingen, luchtvochtigheid en verplaatsingen door belastingwisselingen, slijtage en duurzaamheid.

Om bouw en datamonitoring te borgen, ontwikkelden wij een gebruikerslicentie. Daarin is opgenomen dat wij de sensoren aanbrenge op elk viaduct gebouwd met ons hout-betonliggersysteem. De sensoren

maken deel uit van de totaalkosten van het viaduct voor de partij die het hout-beton liggersysteem toepast. Voordelen voor deze partijen ontvangst van benodigde kennis tot een bepaald niveau. Ons voordeel is data-input op grote schaal voor doorontwikkeling van onze innovatie naar verbeterde MKI-scores. Eventueel is extra kennis door de partijen in te kopen bij ons. Dataverzameling, -opslag en -beheer organiseren we via onze centrale database, tevens toegankelijk voor Rijkswaterstaat. Uw voordeel is een gewaarborgde doorontwikkeling van een circulair viaduct met een stabiele, ervaren partner. Ook bieden de data waardevolle informatie op het moment van herinzet. Meerwaarde van dit licentiemodel is de versnelling in tijd en schaalvergroting om de innovatie te kunnen doorontwikkelen. Dit zorgt voor een lagere kostprijs, wat eveneens positief is voor de toepasbaarheid.

C. Geschiktheid Mobilis/het consortium om de innovatie in de markt te brengen en op te schalen

Zie haalbaarheid item B.

D. Hebben wij een product ontwikkeld waarvoor men wil betalen; onderbouwd met LCC-analyse

Rijkswaterstaat zoekt een circulair viaductontwerp dat kan worden uitgevraagd in de markt, voldoet aan de reguliere eisen en met een minimale milieu-impact.

Ons circulair viaductontwerp voldoet korte termijn aan de huidige regelgeving en wordt uitgevoerd met MKI-, CO2- en gewichtsreductie, onderbouwd met een LCC-analyse.

Levensduur

Hout is een duurzaam constructiemateriaal dat Rijkswaterstaat reeds toepast in houten verkeersportalen en zoutloodsen. De toepassing ervan in viaducten is in Nederland nog niet gebruikelijk, maar in het buitenland zijn tal van succesvolle brugvoorbeelden met nog grotere overspanningen.¹ Belangrijk te weten is wat de levensduur van hout in het Nederlandse klimaat is wanneer het toegepast wordt in massieve liggers. Op de juiste manier tegen weersinvloeden beschermd is een levensduur van zacht hout mogelijk van 100 jaar⁷. In ons ontwerp zijn de houten liggers door het betondekontwerp volledig afgeschermd aan de boven-, langs- en kopse zijde. Hierdoor is Europees zacht hout toepasbaar en behalen we de optimale levensduur. De constructieve berekening gaat uit van deze 100 jaar. Hout dat structureel beschermd is tegen weersinvloeden heeft een lange levensduur, meer dan 200 jaar oude houten bruggen in de Alpenlanden bewijzen dit reeds.

In de GWW-sector zijn de afgelopen jaren meermaals vuren houten constructies toegepast:

- Zeven (lariks) wegportalen (drie bij knooppunt Zonzeel A16 1999 en vier bij Kooimeerplein Alkmaar 2002)*
- Zoutloodsen
- Fastned oplaadstations

* SHR monitort (tot 2008 continu, daarna periodiek) intensief op het functioneren en kwaliteitsbehoud van de portalen in Alkmaar. De conclusie is dat deze wegportalen na 15 jaar en zonder enige onderhoudsbehoefte nog steeds goed functioneren.

Beheer & Onderhoud

Een belangrijk aspect voor levensduurverlenging is beheer & onderhoud. Wij namen dit aspect vanaf het begin in het ontwerp mee. Ten eerste beschermen we het hout zoals omschreven in de vorige alinea. Door de houten liggers uit elkaar te plaatsen is er voldoende ruimte om de individuele liggers te inspecteren. Het betonnen dek wordt waterdicht afgewerkt. Voor de verbindingstechniek kozen we voor dwarsvoorspanning met een bewezen onderhoudsarme techniek.

Dit viaduct past in het onderhoudsbeleid van Rijkswaterstaat: een jaarlijkse schouw voor klein onderhoud en elke 6 jaar grondige inspectie waarmee de benodigde werkzaamheden in kaart gebracht worden om het viaduct de komende 10 jaar in gebruik te houden.

Klein onderhoud: het hout met water schoongespuiten inclusief de ruimtes tussen liggers en landhoofden.



4. Voorstel fase 2

Uit het haalbaarheidsonderzoek blijkt dat het modulaire hout-betonliggersysteem met bestaande technieken te realiseren is:

- Een hybride hout-beton brugdekconstructie, samengesteld uit hout en beton. Deze brugdekconstructies zijn reeds frequent toegepast in het buitenland (projectreferenties, zie literatuurlijst¹).
- Het verbinden van liggers met een dwarsvoorspanning; in Nederland is hierover veel kennis en ervaring beschikbaar, aangezien dit al jaren wordt toegepast bij met name prefab betonnen kokerliggers-brugdekken. Mobilis heeft kennis en ervaring in huis om het voorspanningsontwerp verder te specificeren samen met voorspanningsleverancier zoals Dywidag Systems International (DSI) of Freyssinet.

Innovatief is de **demontabele verbindingstechniek tussen het hout en het beton**. Het testen van deze verbinding staat centraal in fase 2A en 2B. Met detailberekeningen en prototypes onderbouwen wij dat op korte termijn een innovatie haalbaar en grootschalig toepasbaar is bij vervangings- en nieuwbouwopgaves.

4.1. Prototype fase 2A

In fase 2A testen wij het hout-betonliggersysteem onder relevante omstandigheden. In deze fase ligt de focus op de volgende test- en berekeningsoptimalisaties:

1. De demontabele verbinding hout-beton. Welke stappen ondernemen wij hiervoor:
 - Detailberekening maken van de verbinding; door Miebach.
 - Bepalen diepteligging van de stalen montageplaten in het hout; door Miebach.
 - Ontwerpen van een hulpstuk om de dook los te houden van het beton; door IPV Delft en Mobilis.
 - Opstellen testprotocol; door Mobilis en extern testlab.
 - Produceren van een mock-up van de demontabele beton-houtverbinding; door Heko Spanten en Mobilis.
 - Testen en rapporteren van de mock-up op uitvoerbaarheid, waterdichtheid en demonteerbaarheid door Mobilis.
 - Testen en rapporteren van de mock-up op o.a. sterkte en stijfheid; door extern testlab.
 - Indien noodzakelijk opnieuw produceren en testen van de mock-up; door dezelfde partners.

2. Optimaliseren van de hout-betonverbinding aan de hand van berekening (door Miebach)
 - In de haalbaarheidsfase is de hout-betonverbinding (grotere afstand nokken en aantal doken) conservatief onderzocht. Met detailberekeningen stellen wij vast of en welke optimalisaties mogelijk zijn, met besparing op realisatie- en demontagekosten.
3. Optimaliseren dwarsvoorspanning aan de hand van berekening (door Mobilis en voorspan leverancier):
 - In de haalbaarheidsfase zijn oriënterende berekeningen uitgevoerd voor de dwarsvoorspanning. Hieruit blijkt dat voor een dekbreedte van 26 meter de berekende dwarsvoorspanning de uiterste grens is bereikt. Hiervoor is voorspanning om de 35 centimeter noodzakelijk. Onze aanname is dat wij een reductie in voorspanning en kosten bereiken door opsplitsing van dekbreedte naar rijrichting dus in twee dekken. In deze fase doen we een detailberekening om dit te toetsen. Tevens beschouwen we de invloed van dwarsvoorspanning op de krachswerking in de constructie.
 - Onderzoeken welk type dwarsvoorspanning het beste is voor demonteerbaarheid.
 - Detaillering dwarsvoorspanning

Test en validatieplan

Wat testen we?

- De uitvoerbaarheid van de verbinding.
- De demonteerbaarheid van de verbinding.
- De sterkte en stijfheid van de verbinding.
- De waterdichtheid van de verbinding.

Mock-up van de demontabele beton-houtverbinding

Met de mock-up testen we onder relevante omstandigheden het principe van de demontabele beton-houtverbinding. De verbinding tussen het hout en beton is essentieel om de schuifkrachten en trekkrachten over te brengen. Om dit mogelijk te maken bestaat de verbinding uit ingefreesde nokken (schuifkrachten) en stalen doken (trekkrachten). Om het beton van het hout te demonteren ontwierpen we een demontabele verbinding van de doken, bestaande uit de volgende onderdelen:

- Stalen montageplaat met schroefdraad aangebracht in een uitsparing in de houtenligger net onder de bovenste lamineerlaag.
- Stalen doken van bovenaf door de voorgeboorde gaten in het hout aangebracht en in het schroefdraad van de stalen montageplaat gedraaid. Op deze manier zijn de doken aan de stalen montageplaat

gefixeerd.

- Kunststof sparingsbuisje geplaatst over het uitstekende deel van de stalen doken. Hierdoor ontstaat een sparing in het beton rondom de kop van de dook. Na het storten van het beton verwijderen we deze dop en vullen we de sparing met biohars een waterdichte verbinding te bereiken. Tevens is biohars eenvoudig te verwijderen om de doken in de demontagefase uit het hout te halen.
- Bekistingscoating 'Phenolic Resin-Film Coating' op de bovenzijde van het hout. Doel van deze duurzame coating is om de hechting van het beton op het hout te voorkomen zodat in de demontagefase het hout en beton eenvoudig te scheiden zijn. Normaliter passen we deze coating toe op bekistingshout.

Test en validatieplan

Tijdens het maken en testen van de mock-up van de demontabele verbinding zijn onze aanvullende onderzoeksvragen:

- Is het verbindingprincipe goed uitvoerbaar?
- Blijven de sparingsbuisjes vrij van beton?
- Is de verbinding waterdicht?
- Zijn de doken goed demontabel?
- Kan het beton zodanig van het hout verwijderd worden dat het hout hergebruikt kan worden?
- Is de verbinding qua stijfheid en sterkte zoals berekend?

Hoe de testen uit te voeren?

We maken een mock-up van de verbinding, schaal 1:1, plusminus 2,0 meter lang en 1,0 meter breed. Hierin brengen we tenminste 2 stalen montageplaten aan met stalen doken en twee nokverbindingen. In het werk storten wij het beton op de houten ligger, dat we vervolgens laten uitharden. Na een periode van minimaal drie maanden testen we sterkte, stijfheid en demonteerbaarheid van de onderdelen. Bij deze mock-up testen we geen veroudering door tijd, temperatuurwisselingen en belastingen. Dit gebeurt in prototypefase 2B.

Validatie

Voor het testen betrekken we Stevin laboratorium van de TU Delft om de betrouwbaarheid van de testmethode te waarborgen. Deze voert onafhankelijk testen uit, valideert en is gespecialiseerd in houtconstructies. De resultaten worden vastgelegd in een test- en validatierapportage. Na het uitvoeren van de testen hebben wij een gevalideerde verbinding om toe te passen in prototypefase 2B.



Planning

De verwachte doorlooptijd van bovenstaande testfase is zes maanden. Na opdrachtverstrekking starten wij met het uitvoeren van de berekeningen. Vervolgens stellen wij in samenwerking met het externe testinstituut het testprotocol op waarna aansluitend de mock-up wordt geproduceerd en getest.

4.2. Prototype fase 2B

Testen van het hout-betonliggersysteem onder operationele omstandigheden, de focus ligt op de volgende test- en berekeningsoptimalisaties van het totale systeem:

- Detailberekening maken van het totale systeem; door Miebach en Mobilis.
- Produceren van het prototype; door Heko Spanten en Mobilis.
- Aanbrengen monitoringsystemen; door extern testlab.
- Testen en rapporteren prototype; door extern testlab.

Wij stellen voor om een prototype voor een project te realiseren. Daar fungeert het prototype bijvoorbeeld als tijdelijke hulpbrug voor werkverkeer. Na de testfase zetten we de brug in voor een andere functie bijvoorbeeld voor gebruik door fietsers, voetgangers of landbouwverkeer. Door het prototype een dubbele functie te geven (testen en hergebruik) verwachten wij de testmogelijkheden te vergroten. Deze handelwijze voorkomt dat materialen verloren gaan. Mobilis verkent de mogelijkheden hiervoor binnen eigen projecten. Doel is om met het prototype aan te tonen dat er op korte termijn een haalbare innovatie is om grootschalig te gaan toepassen bij vervangings- en nieuwbouwpogaves.

Test en validatieplan

Tijdens het maken en testen van het prototype van het hele systeem zijn onze aanvullende onderzoeksvragen:

- Gedraagt de constructie zich zoals verwacht?
- Zijn de liggers te monteren en te demonteren?
- Is het beton van het hout te verwijderen?
- Is het brug dek waterafdichting en bieden de randelementen voldoende bescherming tegen weersinvloeden?
- Komen we onvoorziene zaken tegen?

Hoe de testen uit te voeren?

Een prototype schaal 1:1, opgebouwd uit drie hout-beton liggers (4,8m breed), met een lengte van circa 15m en voorzien van een betonnen

deklaag. We kiezen voor deze afmeting om kosten en materiaalgebruik te beperken. De liggers produceren wij op de productielocatie en voeren wij aan naar de testlocatie. De onderbouwconstructie is afhankelijk van de bodemgesteldheid ter plaatse van de testlocatie, we zijn uitgegaan van een gefundeerde onderbouwconstructie. Na montage voorzien wij de liggers van een waterdichte coating en verharding. Het gebouwde prototype voorzien wij van sensoren om verplaatsingen, vocht, belastingen etc. te meten.

Een mogelijke vervolgttest (buiten de scope van deze SBIR) is om het prototype na de eerste testfase te demonteren, opnieuw op te bouwen waarna testen en nogmaals te demonteren. Hiermee simuleren we de tweede levensfase van het liggersysteem.

Validatie

We vergelijken het theoretisch ontwerp en de berekeningen met de resultaten en bevindingen uit de test van het prototype. Het vastleggen van de resultaten en valideren laten wij uitvoeren door een externe partij.

Planning

Verwachte doorlooptijd van bovenstaande testfase is circa zes maanden, mede afhankelijk van de beschikbaarheid van een geschikt pilotproject. Na validatie van de mock-up (Fase 2A) en go/no moment starten wij met de berekeningen en tekeningen van het prototype. Vervolgens stellen wij in samenwerking met het externe testinstituut het testprotocol op. Aansluitend worden de liggers geproduceerd en getest.

4.3. Kansen en Risico's

Risico's fase 2A

1. Het risico dat het verbingsprincipe niet blijkt te werken en het hout-beton slecht te scheiden. Beheersmaatregel: Ontwikkelen van een nieuw technisch verbingsprincipe om het beton van het hout te demonteren.
2. Uit detailberekeningen blijkt dat de huidige constructie op onderdelen niet voldoet aan de huidige regelgeving. We achten dit risico goed beheersbaar. Beheersmaatregel: aanpassing van het ontwerp.
3. Factoren zoals tijd, belastingen zijn binnen dit tijdsbestek niet te testen waardoor de resultaten niet voldoende representatief zijn voor de werkelijkheid. Beheersmaatregel: prototype maken zoals beschreven in fase 2B.

Kansen fase 2A

1. Kostenreductie door optimaliseren verbinding.
2. Deze verbindingstechniek werkt goed en biedt de mogelijkheid een patent aan te vragen.
3. Deze verbindingstechniek werkt goed waardoor deze voor andere (internationale) hout-betonbrugconstructies ook toepasbaar is en hout en beton beter zijn te scheiden.

Risico's fase 2B

1. Onderdelen van het totaalontwerp blijken niet te werken. Beheersmaatregel: ontwikkelen van een nieuw technisch principe.
2. Factoren zoals tijd, belastingen zijn binnen dit tijdsbestek niet te testen waardoor de resultaten niet voldoende representatief zijn voor de werkelijkheid. Beheersmaatregel: Uitvoeren pilotproject met intensieve monitoring met sensoren. De totale testperiode op het pilotproject verlengen zodat het onderzoek representatief wordt.

Kansen fase 2B

1. Aanvraag financiële bijdrage van maximaal 50.000 euro uit het innovatiefonds van TBI. Dit fonds is bedoeld als stimulering voor nieuwe initiatieven. Voorwaarden zijn 'aantoonbare klantwaarde' en de potentie om 'het verschil te maken'.
2. CO2-reductie door minder transportkilometers van de grondstof hout. Door samenwerking met Staatsbosbeheer, die hout van Nederlandse bodem kan toeleveren.
3. Positieve publiciteit stimuleert de toepassing van hout-beton bruggen.
4. Door een hout-betonconstructie in de GWW-sector te realiseren, overtuigen en inspireren we andere bedrijven om daar meer houtconstructies toe te passen.

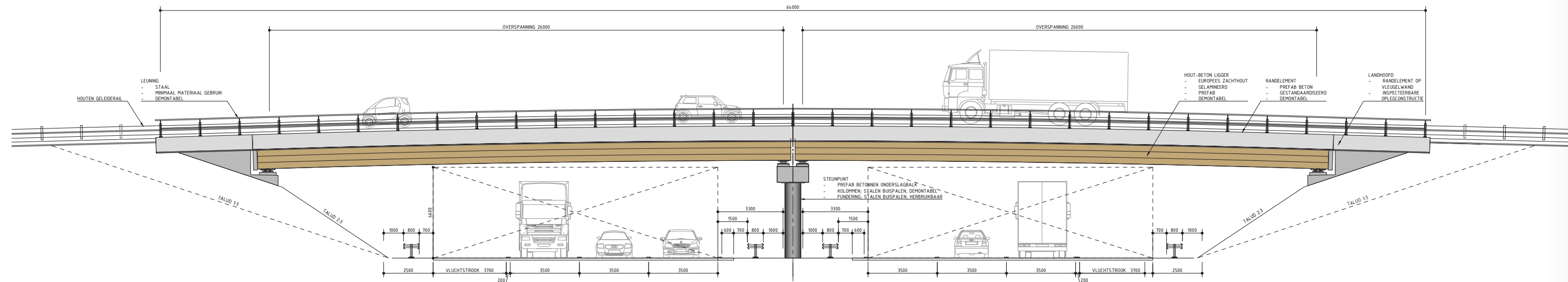


5. Begroting fase 2

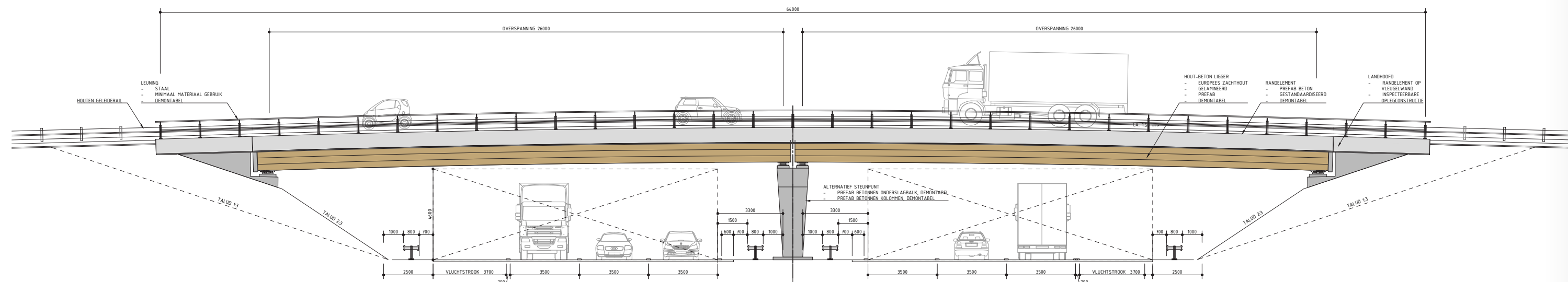
Voor fase 2 maakten wij een gedetailleerde kostenraming¹⁰, opgesplitst naar:

	Totaal in €	Totaal uren
Kosten van arbeid	€ 369.044,33	5.172
Verbruikte materialen	€ 104.233,13	
Machines en apparatuur	€ 44.020,00	
Kosten van arbeid van projectpartners	€ 97.217,25	1.906
Kosten derden	€ 146.957,58	
Overige kosten	€ 478.197,13	
Totaal exclusief BTW	€ 1.239.669,42	
Omzetbelasting (laag)	€ 0,00	
Omzetbelasting (hoog)	€ 260.330,58	
Omzetbelasting (0%)	€ 0,00	
Totaal inclusief BTW	€ 1.500.000,00	

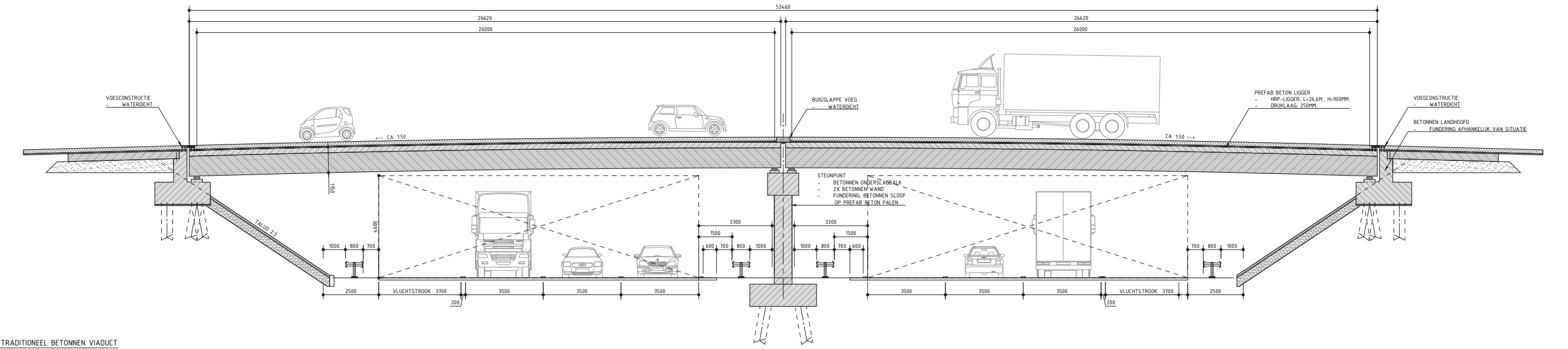
Technische tekeningen



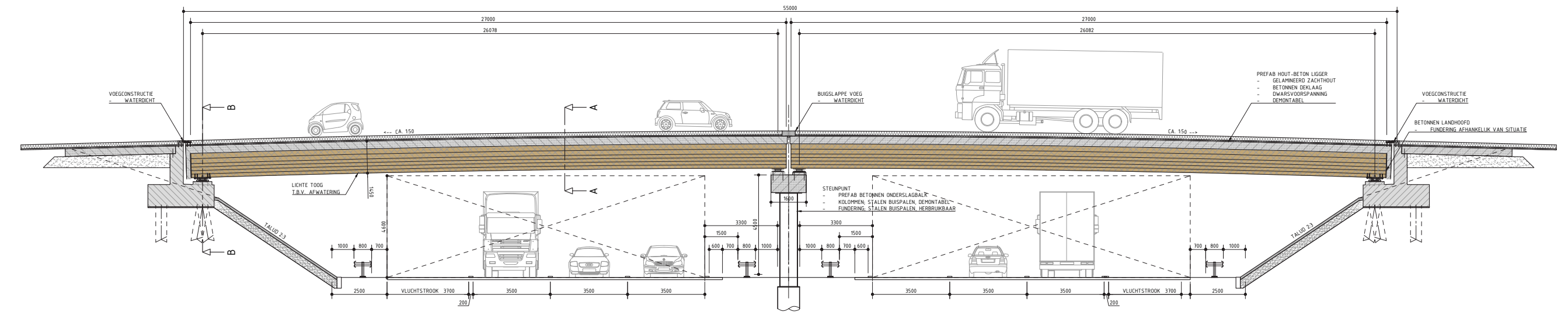
ZIJAZICHT 'BEHOUT VIADUCT'
SCHAL 1:50



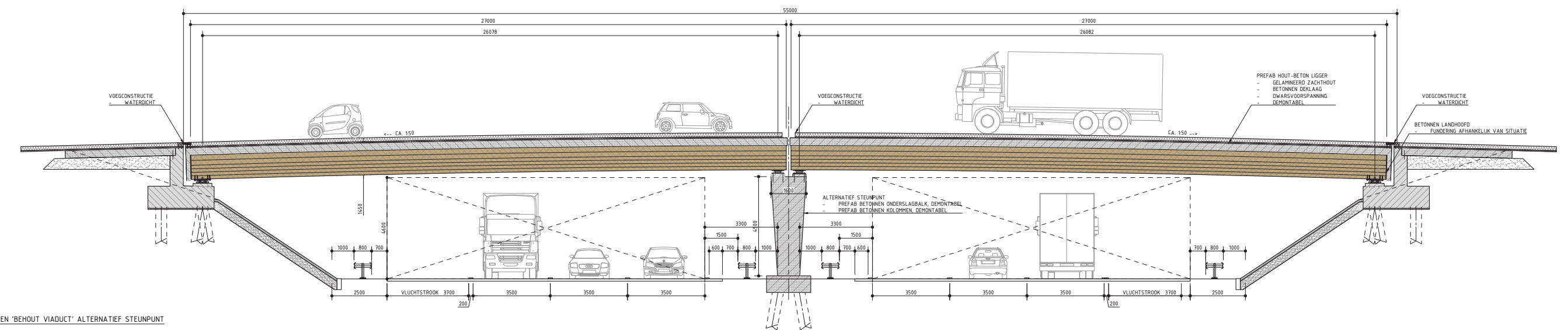
ZIJAZICHT 'BEHOUT VIADUCT' ALTERNATIEF STEUNPUNT
SCHAL 1:50



LANGSDOORSNEDEN TRADITIONEEL BETONNEN VIADUCT
SCHAL 1:50

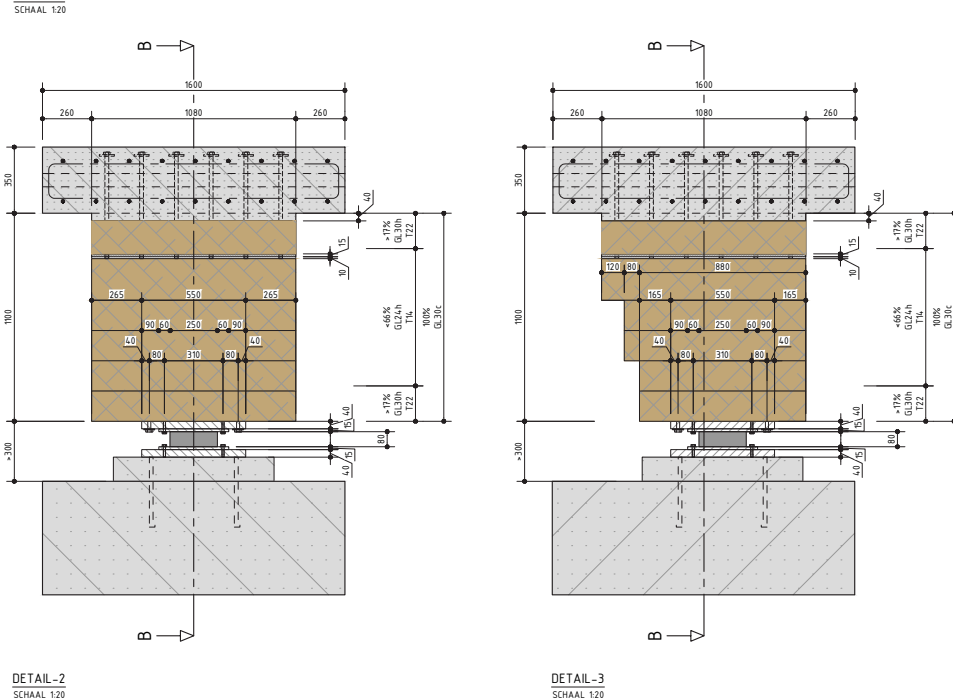
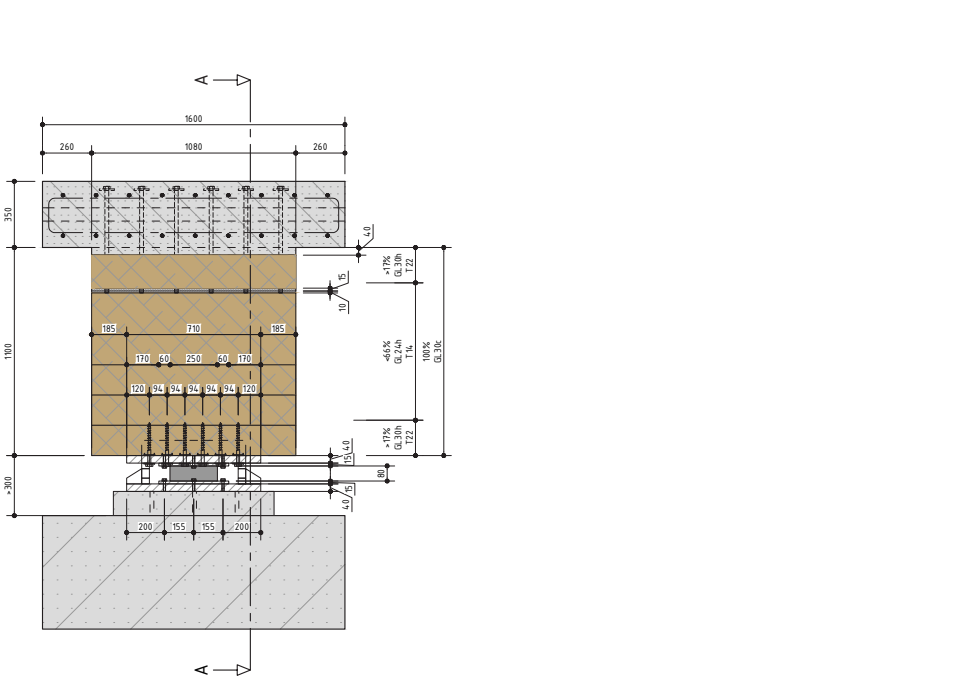
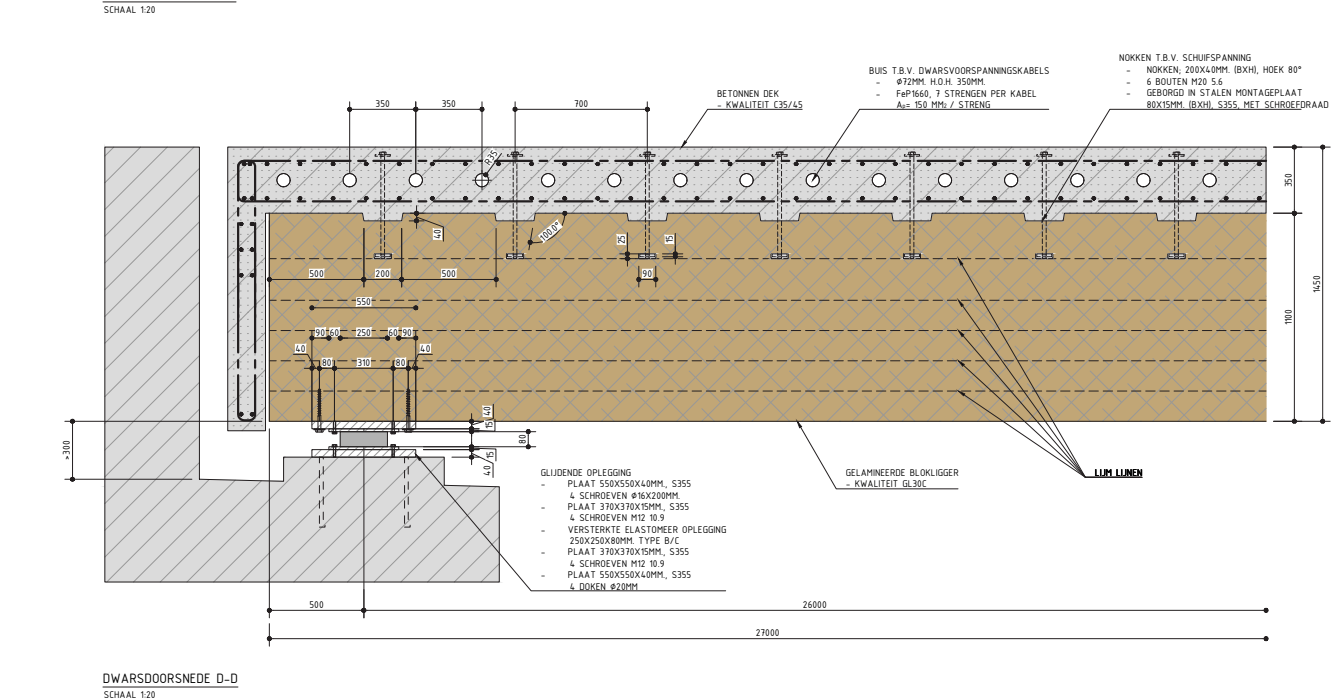
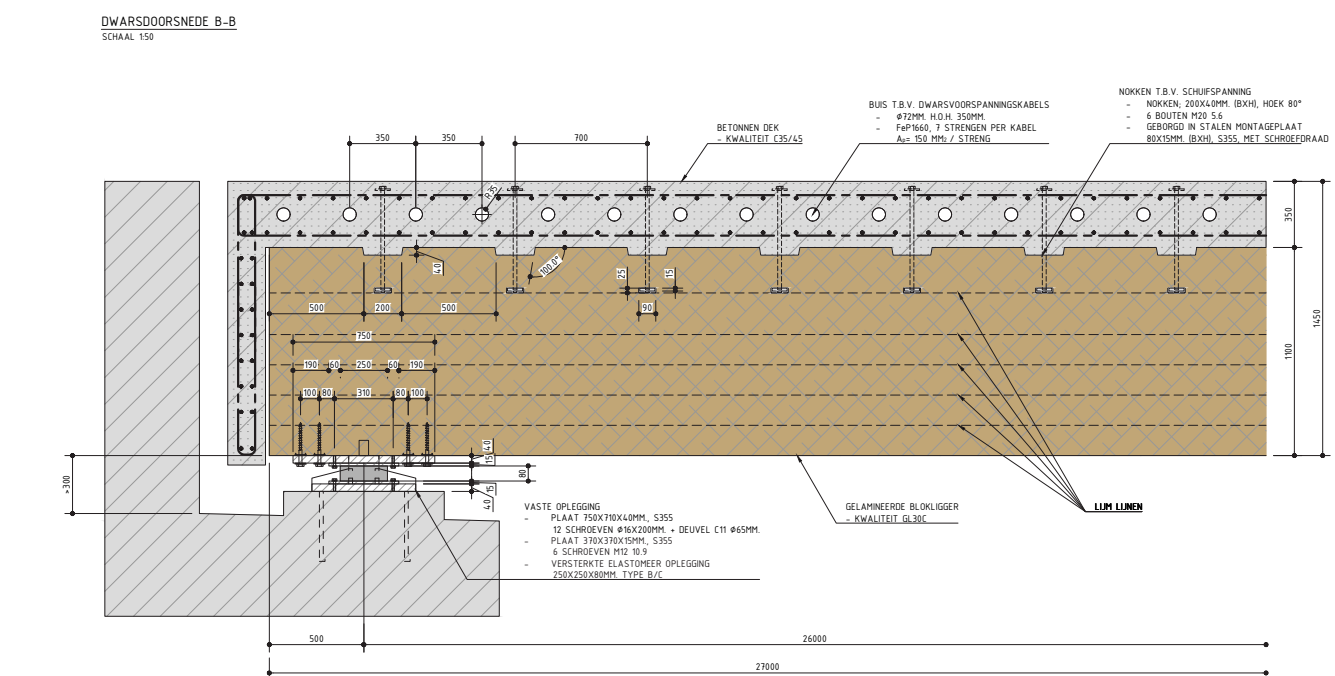
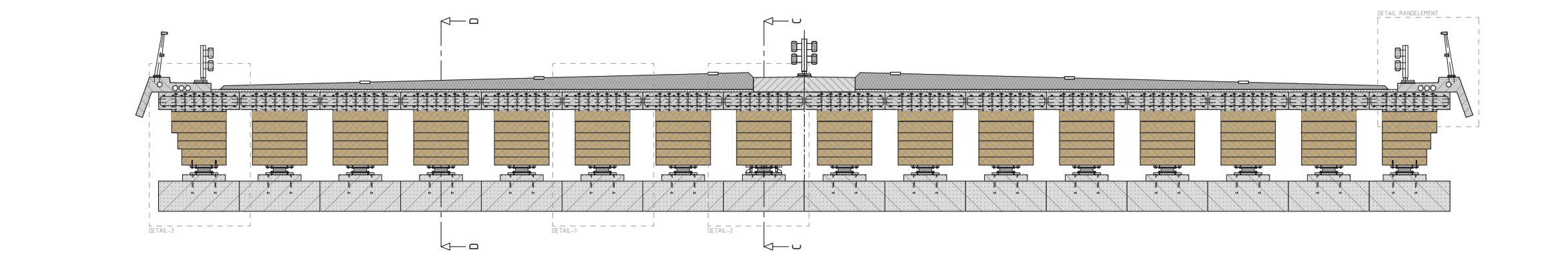
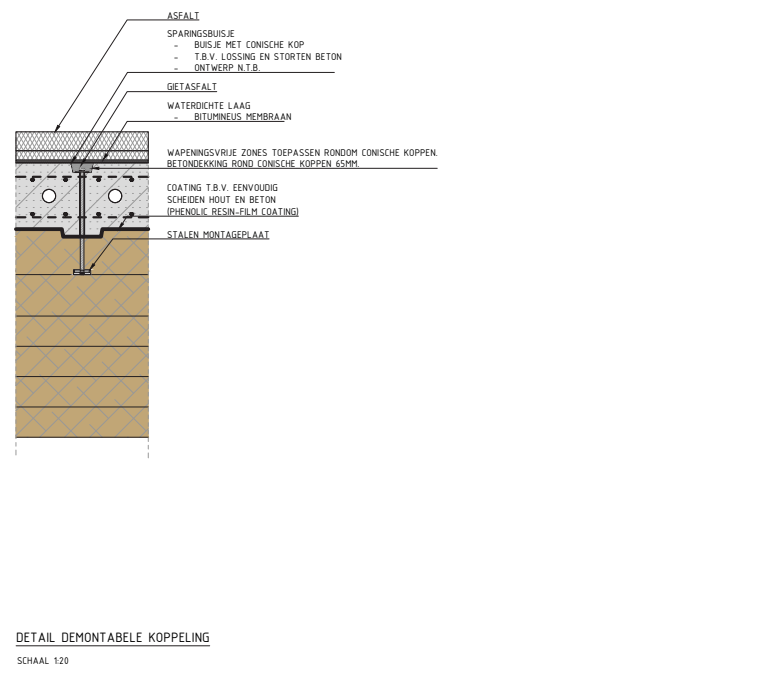
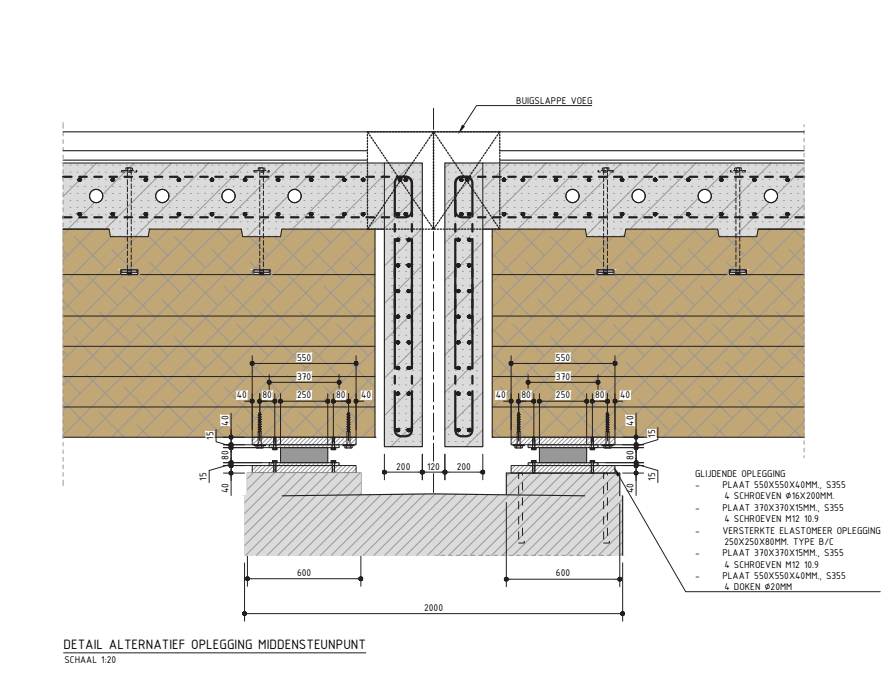
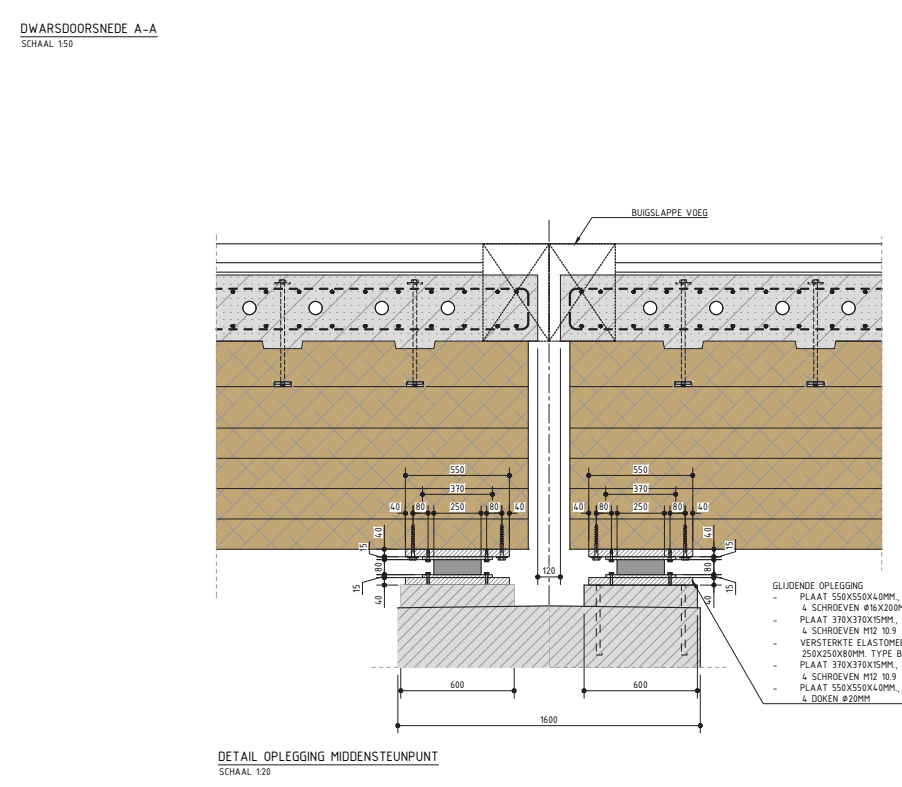
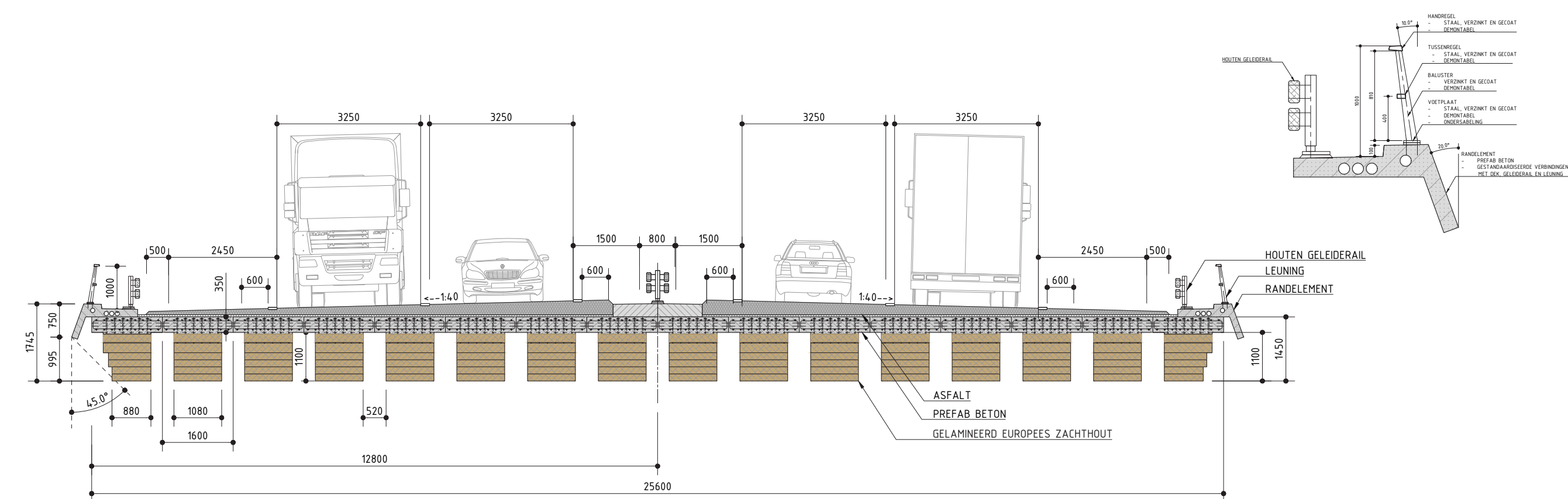


LANGSDOORSNEDEN 'BEHOUT VIADUCT'
SCHAL 1:50



LANGSDOORSNEDEN 'BEHOUT VIADUCT' ALTERNATIEF STEUNPUNT
SCHAL 1:50





Literatuurlijst

¹ Analyse DISKgegevens

² Principles report SBIR Circular Viaduct

³ Timber-Concrete-Composite bridge – Rijkswaterstaat-NL Feasibility study of an TCC roadbridge

⁴ Holz-Beton-Verbundbrücken vor Erfahrungen und Perspektiven

⁵ Design of timber-concrete composite structures door COST Action FP1402 / WG 4

⁶ Vereinfachter Ermüdungsnachweis von Holzbauteilen in Holz- und Holz-Beton-Verbundstrassenbrücken door Universität Stuttgart

⁷ Spezial Unterhaltungskosten und Lebensdauer geschützter Holzbrücken door Informationsdiens Holz

⁸ Houtinfolblad hout, brand & bouwregelgeving door houtinfo.nl

⁹ 20064 Raming Vergelijk prefab T-liggerviaduct vs hout0betonligger viaduct Definitief V1

¹⁰ 20064 Raming prototype Definitief V1

Colofon

Projecttitel: Circulaire viaducten - Modulair standaard hout-beton liggersysteem (SBIR CV-MSHBL)

Deelnemende partijen aan consortium: Mobilis BV, Ipv Delft, Miebach, Heko Spanten, Rutte Groep

Contactpersoon en uitvoerder: Anne Schotman Mobilis B.V.

Begin en einddatum van het project: 16 maart 2021

Ondertekening door een daarvoor bevoegd persoon: Remco Hoeboer

