

EINDRAPPORT FASE 1
HAALBAARHEIDSONDERZOEK

MODULAIR VIADUCT BÖGL

S B I R C i r c u l a i r e V i a d u c t e n

16 maart 2021



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



INHOUD

1.	Managementsamenvatting	3	4.	Voorstel voor fase 2	22
1.1.	Doelstelling en probleemstelling haalbaarheidsonderzoek	3	4.1.	Prototype in fase 2	22
1.2.	Resultaten en conclusies van het onderzoek	3	4.1.1.	Schaal	22
1.2.1.	Impact	3	4.1.2.	Fysiek /digitaal	22
1.2.2.	Technische haalbaarheid	3	4.1.3.	Objecten in prototype	22
1.2.3.	Economisch perspectief	3	4.2.	Test- en validatieplan	22
1.3.	Vervolg – fase 2	3	4.3.	Risico's en kansen fase 2	23
1.3.1.	Hoe ziet fase 2 eruit	3	4.4.	Visie op fase 2b	23
1.3.2.	Aandachtspunten (technisch, economisch en organisatorisch)	3			
2.	Uitvoering van het project	4	5.	Begroting fase 2	24
2.1.	Doelstelling en probleemstelling haalbaarheidsonderzoek	4	6.	Colofon	25
2.1.1.	Doelstelling	4			
2.1.2.	Probleemstelling	4			
2.2.	Projectorganisatie en taakverdeling	4			
2.3.	Uitgevoerde activiteiten	6			
2.4.	Evaluatie samenwerking en taakverdeling	9			
2.4.1.	Ontwikkelingen	9			
3.	Inhoudelijke bevindingen	10			
3.1.	Impact	10			
3.1.1.	Bijdrage Max Bögl als organisatie aan oplossen maatschappelijk probleem	10			
3.1.2.	Milieu-impact en circulariteit Modulair Viaduct Bögl	10			
3.1.3.	Toepasbaarheid en schaalbaarheid Modulair Viaduct Bögl	11			
3.2.	Haalbaarheid	12			
3.2.1.	Technologie en haalbaarheid Modulair Viaduct Bögl	12			
3.3.	Economisch perspectief	19			
3.3.1.	Businessmodel, IE-recht en gebruiksrecht	19			
3.3.2.	Op de markt brengen en opschalen	20			
3.3.3.	LCC-analyse	21			

1. MANAGEMENTSAMENVATTING

1.1. Doelstelling en probleemstelling haalbaarheids-onderzoek

Het doel van Max Bögl voor het haalbaarheidsonderzoek van het Modulair Viaduct Bögl (MVB) is om met onderzoek en berekeningen aan te tonen dat:

- alle MVB-onderdelen modulair en circulair zijn met een verlaagde CO₂-uitstoot en minimaal materiaalverbruik;
- het viaduct bouwbaar is conform vigerende normen en richtlijnen of gelijkwaardigheid wordt aangetoond;
- het viaduct aan alle gestelde veiligheidsfactoren voldoet;
- de businesscase haalbaar wordt, in samenwerking met Rijkswaterstaat (RWS).

Hiermee leveren wij een maximale bijdrage aan de milieudoelstellingen van RWS.

1.2. Resultaten en conclusies van het onderzoek

1.2.1. Impact

Het MVB is projectonafhankelijk en breed toepasbaar binnen het RWS-areaal. Alle onderdelen van het MVB zijn modulair en circulair, hebben een 73% lagere MKI-uitstoot, een 70% lagere CO₂-uitstoot en geminimaliseerd materiaalverbruik. Hiermee zijn onze doelstellingen op het gebied van impact behaald.

1.2.2. Technische haalbaarheid

Het MVB is bouwbaar conform vigerende normen en richtlijnen. Waar het MVB afwijkt van normen en richtlijnen is de gelijkwaardigheid aangetoond. Daarnaast voldoet het MVB aan alle gestelde veiligheidsfactoren. Hiermee zijn onze doelstellingen op het gebied van technische haalbaarheid behaald.

1.2.3. Economisch perspectief

Het businessmodel All-inconsortium, het model dat in ons projectvoorstel de voorkeur had, en het vrije gebruiksrecht

zijn in deze rapportage verder uitgewerkt. In ons projectvoorstel hebben wij aangegeven dat wij dit in samenwerking met RWS wilden realiseren. Tijdens het haalbaarheidsonderzoek werd duidelijk dat in deze fase nog geen inhoudelijke samenwerking van toepassing is aangaande dit onderwerp. Wij hebben vervolgens zelf het economisch perspectief en vrije gebruiksrecht verder uitgewerkt en onze visie hierop beschreven. Daarnaast hebben wij de lifecyclecosts van ons viaduct berekend. Hieruit blijkt dat ons viaduct een voordelige oplossing is, waarbij de bouwkosten momenteel nauwelijks hoger en in de toekomst zelfs lager zijn dan die van een regulier viaduct. Bij een tweede levenscyclus is ons viaduct beduidend goedkoper. Hierdoor kunnen wij onze oplossing toepassen binnen veel uitvragen/aanbestedingen op voorwaarde dat de MKI-waarde en/of circulariteit voldoende wordt gewaardeerd.

1.3. Vervolg – fase 2

1.3.1. Hoe ziet fase 2 eruit?

De ontwikkeling van het MVB bevindt zich in een vergevorderd stadium. Wij zijn er klaar voor om in fase 2 de samenwerking met RWS te versterken, de eisen en wensen van de eindgebruiker te verzamelen, en het prototype van het MVB te fabriceren, bouwen, testen en valideren.

Voordat in fase 2b het prototype gerealiseerd kan worden, voeren wij in fase 2a een beperkt aantal activiteiten uit. Deze hebben wij uitgewerkt in ons test- en validatieplan. In fase 2b bouwen wij het prototype van het MVB op en laten dit gedurende drie maanden intact om het te belasten, gebruiken en monitoren. Aansluitend demonteren wij het prototype en bouwen wij dit opnieuw op, op de door RWS aangewezen projectlocatie.

Op deze wijze tonen wij aan RWS dat het MVB na het eerste gebruik compleet demontabel en herbruikbaar is, wat wij als een belangrijke validatie met RWS zien.

1.3.2. Aandachtspunten (technisch, economisch en organisatorisch)

Zoals hiervoor weergegeven bevindt de ontwikkeling van het MVB zich in een vergevorderd stadium en kunnen wij op korte termijn de productie en realisatie van een prototype opstarten. Onderstaand staan voor fase 2 de belangrijkste aandachtspunten weergegeven op technisch, economisch en organisatorisch gebied.

Technisch:

In fase 2a willen wij de afwijkingen op de Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK) bespreken en valideren met RWS. Daarnaast willen wij ons Umweltbeton Bögl, het door ons zelf ontwikkelde geopolymerbeton, laten certificeren voor het Bouwstoffenbesluit, in onze betoncentrale produceren, en er proefplaten van storten om deze te beproeven.

Economisch:

In fase 2 gaan wij in gesprek met RWS om onze visie aangaande het businessmodel en de samenwerking met RWS te bespreken voor de innovatieve samenwerking na de SBIR.

Organisatorisch:

Om de kennis te borgen zetten wij in fase 2 dezelfde projectorganisatie in als gedurende het schrijven van het projectvoorstel en uitvoeren van het haalbaarheidsonderzoek. Daarnaast vinden wij het belangrijk dat in fase 2 een nauwe samenwerking tussen RWS en Max Bögl ontstaat, om deze fase succesvol af te kunnen ronden.

2. UITVOERING VAN HET PROJECT

2.1. Doelstelling en probleemstelling haalbaarheids-onderzoek

2.1.1. Doelstelling

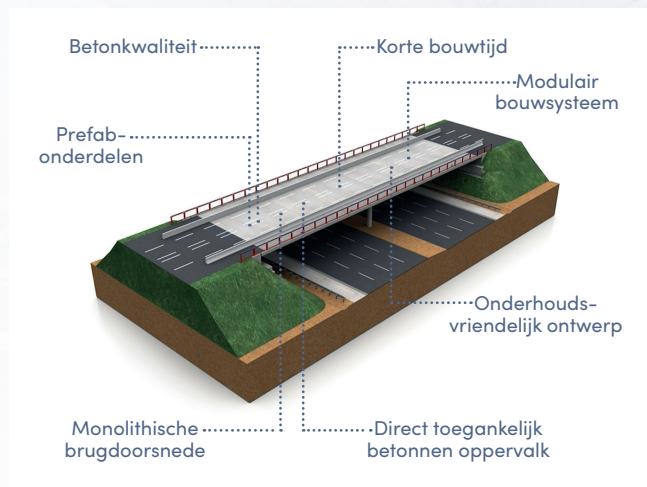
Onze doelstelling van deze SBIR-oproep is om onze MVB-innovatie met RWS verder te ontwikkelen tot een concreet realiseerbaar viaduct dat projectonafhankelijk en breed toepasbaar is binnen het RWS-areaal.

Ons doel voor het haalbaarheidsonderzoek in fase 1 is aantonen dat:

- alle componenten modulair en circulair zijn;
- er circa 30% minder materiaalgebruik en circa 65% lagere CO²-uitstoot is en dat er 60% lagere MKI-waarde gerealiseerd wordt;
- het MVB bouwbaar, demonteerbaar en herbruikbaar is conform normen en richtlijnen;
- onderdelen die buiten de normen vallen samen met RWS gevalideerd kunnen worden;
- het viaduct aan alle gestelde veiligheidsfactoren voldoet;
- de benodigde informatiebehoefte van RWS concreet is en aangeleverd kan worden;
- we samen met RWS de businesscase en de impact op de maatschappelijke doelstelling concreet maken.

2.1.2. Probleemstelling

Om de haalbaarheid van ons MVB te toetsen, zijn gedurende het haalbaarheidsonderzoek activiteiten uitgevoerd om de vragen uit de probleemstelling in het projectvoorstel te beantwoorden. In hoofdstuk 2.3. Uitgevoerde activiteiten worden de activiteiten die uitgevoerd zijn toegelicht en uitgewerkt.



Modulair Viaduct Bögl (MVB).

2.2. Projectorganisatie en taakverdeling

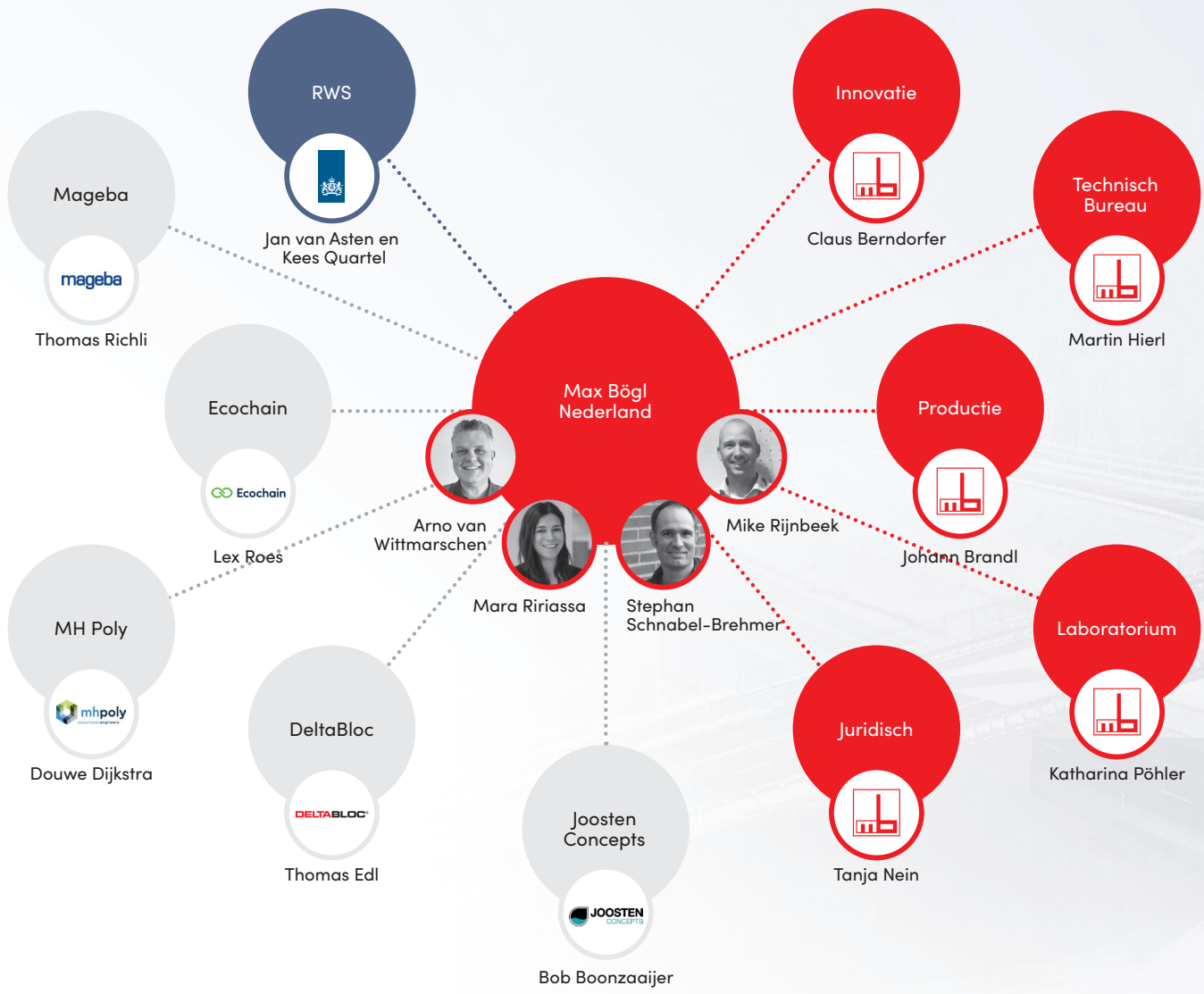
Ons team bestaat uit een mix van Bögl-collega's uit Nederland en Duitsland, aangevuld met specialistische partners.

Het projectteam wordt aangestuurd door projectleider Arno van Wittmarschen. Hij is verantwoordelijk voor de aansturing van het team, de communicatie met RWS en de totstandkoming van de eindrapportage. Bedrijfsleider Verwerving, Mike Rijnbeek, is eindverantwoordelijk voor dit project en aanspreekpunt voor onze directie. Mara Ririassa is tijdens de fase van het haalbaarheidsonderzoek kort betrokken geweest, aangezien zij met zwangerschapsverlof is gegaan. Vanaf april versterkt zij ons team weer als bouwprocesengineer. Technisch manager Stephan Schnabel-Brehmer is verantwoordelijk voor het technische deel van het haalbaarheidsonderzoek. Hij onderhoudt dan ook de contacten met onze collega's van het technisch bureau, laboratorium en de innovatieafdeling binnen de Max Bögl Groep. In samenwerking met deze afdelingen is ons Umweltbeton Bögl (UBB) ontwikkeld én de technische oplossing, tekeningen en berekeningen van de bouwblokken, liggers, dekplaten en pijlers.

Wij hebben de expertise van Mageba ingeschakeld op het gebied van modulaire overgangsconstructies, circulaire oplegblokken en Structural Health Monitoring. Op basis van onze ambities ten aanzien van modulariteit, circulariteit en levensduur hebben de specialisten van Mageba passende producten ontwikkeld.

De kennis en ervaring van DeltaBloc op het gebied van voertuigkeringen hebben wij ingezet om een passende oplossing te vinden voor de modulaire voertuigkeringen.

Gedurende het haalbaarheidsonderzoek hebben wij Joosten Concepts betrokken. Zij zijn experts op het gebied van gewapende grondconstructies. In samenwerking met hen



hebben we een duurzame oplossing voor de gewapende grondconstructie uitgewerkt.

Voor enkele onderwerpen hebben wij de hulp ingeschakeld van MH Poly, een Nederlands ingenieursbureau. Zij hebben ons bijgestaan met toetsingen op de (Nederlandse) normen en richtlijnen met betrekking tot de aanrijdbelasting op de bovenbouw en de afwijkingen op de ROK, zoals de aanhechting van de voorspanning in de dekplaten.

Ecochain heeft ons bijgestaan met adviezen en berekeningen op het gebied van MKI.

Met betrekking tot de samenwerking met RWS: voortgangsoverleggen zijn door Stephan en Arno gevoerd met Jan van Asten en Marcel Haaksma en later Kees Quartel. Daarnaast zijn er overleggen gevoerd met enkele specialistische afdelingen van RWS, zoals dataspecialisten en MKI-specialisten.

2.3. Uitgevoerde activiteiten

In onderstaand overzicht geven wij aan welke activiteiten/haalbaarheidsstudies zijn uitgevoerd. In de laatste kolom staat aangegeven of het resultaat positief (✓) of negatief (✗) was. Indien het resultaat negatief was, is aangegeven welk alternatief wij hebben toegepast. De activiteiten worden vervolgens nader toegelicht.

Per component lichten wij hieronder toe welke activiteiten zijn uitgevoerd tijdens het haalbaarheidsonderzoek.

A. Umweltbeton Bögl

Wij hebben het milieuvriendelijk hogesterkte geopolymerbeton Umweltbeton Bögl (UBB) ontwikkeld (in het projectvoorstel nog GPB 2.0 genaamd) ten behoeve van onze dekplaten. UBB is een milieuvriendelijk, cementloos en CO₂-arm beton

op basis van hoogovenslakken en een alkalische activator. De ambitie is om een zelfverdichtend UBB (Z-UBB) te ontwikkelen. Hier blijken we meer tijd voor nodig te hebben - de eerste testen waren niet allemaal positief. Om deze reden passen wij ons niet-zelfverdichtend UBB toe dat wij al in ontwikkeling hebben en wel positieve uitslagen heeft. Wij hebben onderstaande testen en onderzoeken uitgevoerd voor het Z-UBB en UBB.

Component	Toelichting	Uitgevoerde activiteiten / haalbaarheidsstudies	Resultaat
A. Umweltbeton Bögl (UBB)	Een milieuvriendelijk beton op basis van hoogovenslakken en een alkalische activator.	<ul style="list-style-type: none"> Testmixin in ons betonlaboratorium uitvoeren. CO₂-footprint berekenen. Certificering BRL 5077 (Bouwstoffenbesluit) verkrijgen. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓
B. Landhoofden	<ul style="list-style-type: none"> Modulair. Bouwblokken van UBB of gerecycled beton. 	<ul style="list-style-type: none"> Landhoofden van gewapende grondconstructie ontwerpen. Landhoofden van bouwblokken berekenen. Landhoofden van UBB berekenen. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓
C. Pijlers	Prefabbetonnen pijlers van UBB.	<ul style="list-style-type: none"> Prefabpijlers van UBB berekenen. Modulaire koppeling aan stalen liggers ontwikkelen. Modulaire koppeling aan poer ontwikkelen. Alternatief: pijler aan poer storten. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✗ ✓
D. Stalen liggers	<ul style="list-style-type: none"> Productie van vier verschillende lengtes (39 m, 30 m, 27 m, 23 m). Demontabele verbinding met landhoofd. Cortenstaal. 	<ul style="list-style-type: none"> Demontabele koppeling met landhoofd ontwikkelen. Uitwerken besparing cortenstalen ligger. Alternatief: uitwerking besparing stalen ligger met coating. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✗ ✓
E. Dekplaten	<ul style="list-style-type: none"> Gekoppelde dekplaten, haaks op de rijrichting aangebracht op de stalen liggers en nagespannen tot compact dek. Hoogwaardige CNC-slijptechniek. Zelfverdichtend UBB. Géén wapening, alleen voorspankabels. 	<ul style="list-style-type: none"> Plaatsingswijze op liggers bepalen. Dekplaten van UBB ontwerpen. Dekplaten zonder wapening ontwerpen. Alternatief: dekplaten met minimale wapening ontwerpen. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓ ✓
F. Voegovergang	<ul style="list-style-type: none"> Modulaire voeg aan één zijde t.b.v. temperatuurschommelingen. Wordt als uitwisselbaar component geïntegreerd in dekplaten. Ontwikkeling van twee standaardvarianten: <ul style="list-style-type: none"> Flexibele voegovergang; Stalen overgang. 	<ul style="list-style-type: none"> Modulaire voegovergang aan één zijde ontwerpen. Alternatief: Modulaire voegovergang aan beide zijden ontwerpen. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ ✓
G. Oplegging	Modulaire injectiepot-opleggingen van corrosievrij staal.	CE-label meeleveren.	<ul style="list-style-type: none"> ✓
H. Voertuigkering	<ul style="list-style-type: none"> Materiaal = UBB. DeltaBloc-keringen, niet verankerd. 	Voertuigkeringen in UBB ontwikkelen.	<ul style="list-style-type: none"> ✓
I. Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> Vastlegging MVB in materialenpaspoort (Platform CB'23). Aanbrengen sensoren voor SHM. Data input voor optimaliseren onderhoud en informatie gedurende gehele levenscyclus. 	<ul style="list-style-type: none"> Sensoring en monitoring MVB uitwerken. Informatiebehoefte RWS nagaan. Faalmechanismen componenten uitwerken. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓
J. Businessmodel	Businessmodel All-inconsortium uitwerken.	Uitwerken businessmodel en akkoord van directie op businessmodel.	<ul style="list-style-type: none"> ✓
K. Gebruiksrecht	Gebruiksrecht op innovatie vrijgeven.	Akkoord van directie om gebruiksrecht vrij te geven.	<ul style="list-style-type: none"> ✓

Testmixen.

In ons eigen betonlaboratorium hebben wij diverse testmixen uitgevoerd. Deze testmixen zijn essentieel om de voor ons ontwerp benodigde eigenschappen te testen en voor de KIWA-audit t.b.v. de certificering van het Bouwstoffenbesluit. Uitgeharde testmixen van Z-UBB zijn door KIWA onderzocht en blijken niet te voldoen aan het Bouwstoffenbesluit vanwege een te hoog sulfaatgehalte. Daarop hebben wij de testen voor Z-UBB afgebroken en ons mengsel geoptimaliseerd. Van het geoptimaliseerde mengsel zijn inmiddels kubussen gestort. De testen worden opnieuw gestart.

• Kubusdruksterkte.

Om te kunnen bepalen tot welke sterkteklasse UBB behoort, hebben wij de kubusdruksterkte bepaald van het mengsel van UBB dat ook door KIWA wordt getest. Onderstaand staat de uitkomst hiervan weergegeven in MPa (N/mm²).

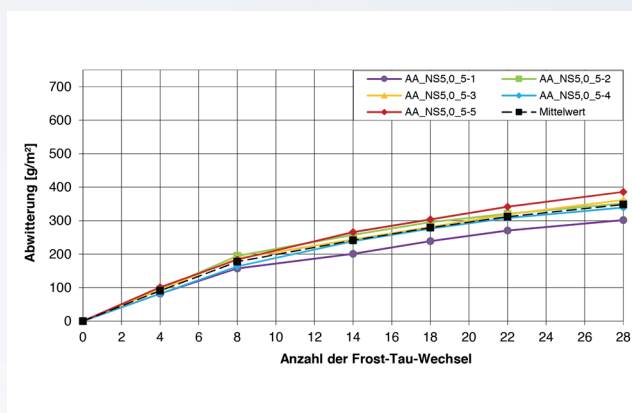
Aantal dagen	Druksterkte UBB
Na 3 dagen	40 MPa
Na 7 dagen	50 MPa
Na 28 dagen	67 MPa
Na 56 dagen	73 MPa

Met deze uitslagen kunnen we UBB produceren met een druksterkteklasse van C55/67.

Aansluitend zijn onderstaande testen uitgevoerd.

• Vorst- en dooibestandheid – afschilfering (conform DIN EN 12390-9).

Voor ons Z-UBB blijken de uitslagen niet positief – waarop de test is afgebroken. Het UBB voldoet wel aan de norm. Met een gemiddelde waarde van 348 g/m² is dat ruim onder de grenswaarde van 1.500 g/m². Deze waarde voldoet ook aan onze interne kwaliteitseis van 400 g/m², die maatgevend is voor de toepassing van beton waarop geen asfalt aangebracht wordt.



Resultaten test vorst- en dooibestandheid.

- Chloride-indringing (Rapid Chloride Migration Methode (RCM-test)).
De resultaten van de RCM-test van ons UBB zijn positief. De chloride-indringing bedraagt 0,4 mm. Op basis hiervan is door de Technische Universiteit Nürnberg een levensduur (voor door chloride veroorzaakte corrosie) berekend van 230 jaar.
- Carbonatisering.
De resultaten van de carbonatiseringstest van ons UBB zijn positief. Op basis van de maximaal gemeten indringing van 3 mm is een levensduur vastgesteld van 2200 jaar.



De gemeten indringing.

CO₂-footprint/ LCA.

Van ons Umweltbeton Bögl (UBB) hebben wij een levenscyclus-analyse (LCA) gemaakt (zie bijlage 2). Voor ons hogesterkte UBB (C55/67) heeft dit geresulteerd in een MKI-waarde van € 11,89.



MKI-waarde UBB.

Van de activator van ons UBB is het ons binnen de beschikbare tijd niet gelukt een Environmental Product Declaration (EPD) te verkrijgen. Dat komt omdat in Duitsland de toxiciteit niet standaard wordt meegenomen. Als gevolg daarvan hebben we moeten rekenen met standaardgetallen vanuit de Dubocalc-bibliotheek, en valt de MKI-waarde vooralsnog relatief hoog uit. In de komende drie maanden gaan wij de EPD samenstellen waardoor de MKI-waarde verder zal dalen in waarde.

Certificering BRL 5077 (Bouwstoffenbesluit).

Wij hebben ons Z-UBB door KIWA laten certificeren voor het Bouwstoffenbesluit (BRL5077). De audit in ons laboratorium is succesvol verlopen. Op 5 maart hebben wij teruggekoppeld gekregen dat uit de KIWA-laboratorium-onderzoeken blijkt dat het sulfaatgehalte in ons Z-UBB onverwacht hoger is dan toegestaan. Het is voor KIWA en ons nog niet duidelijk hoe dat komt. De onderzoeken naar de

oorzaak zijn opgestart. In fase 2 verwachten wij alsnog het BRL5077-certificaat te ontvangen voor ons UBB en Z-UBB, waarmee we voldoen aan het Bouwstoffenbesluit.

B. Landhoofden

Met ontwerpberekeningen hebben wij aangetoond dat de landhoofden van bouwblokken van UBB, of gerecycled beton (klasse C20/25), de belasting van de bovenbouw kunnen dragen en kunnen overbrengen op de ondergrond/ fundering. In de eerste fase van het haalbaarheidsonderzoek hadden wij nog 219 bouwblokken per landhoofd nodig (afmetingen viaduct: 54 m bij 16,25 m). Na enkele optimalisaties hebben wij het aantal bouwblokken kunnen terugbrengen naar 190 per landhoofd.

Gezien de grote hoeveelheid te gebruiken materialen en de bijhorende MKI-waarde hebben wij ervoor gekozen het alternatief, gewapende grondconstructie, uit te werken en in te zetten als 'eerste oplossing'.

C. Pijlers

Wij maken onze prefabpijlers van UBB. De koppeling tussen de prefabpijlers met de stalen liggers vindt plaats middels modulaire oplegblokken.

De pijler en poer worden aan elkaar gekoppeld waarmee één element ontstaat dat demontabel en herbruikbaar is. Wij hebben hiervoor gekozen omdat uit berekeningen is gebleken dat dat nodig is om aan de eisen van de aanrijdbelasting te voldoen.

D. Stalen liggers

Middels een stalen dwarsligger tussen de langsliggers hebben wij een demontabele verbinding met het landhoofd gecreëerd. De twee langsliggers en de dwarsliggers worden middels bouten aan elkaar bevestigd en niet ingestort in het landhoofd. Hiermee is de losmaakbaarheid optimaal gewaarborgd en zijn de liggers zonder breekwerk demontabel en herbruikbaar. Uit MKI-berekeningen is gebleken dat cor-

tenstalen liggers over de gehele levensduur minder milieuvriendelijk zijn dan stalen liggers met een coating. Daarom hebben wij gekozen voor een stalen ligger met coating.

E. Dekplaten

In ons projectvoorstel hebben wij de doelstelling opgenomen om dekplaten zonder reguliere wapening toe te passen. Middels ontwerpberekeningen hebben wij kunnen aantonen dat het toepassen van dekplaten zonder reguliere wapening, maar met voorspanning, mogelijk is. In overleg met ons technisch bureau hebben wij ervoor gekozen om dit (vooralsnog) niet toe te passen, om de volgende redenen:

- Wij vinden het momenteel te risicovol om twee innovaties (beton zonder cement én zonder wapening) tegelijk in één product toe te passen.
- De dekplaten hebben een lange levensduur (200 jaar) en zullen meerdere levenscycli van viaducten meegaan. Hierdoor zullen de dekplaten meerdere malen vervoerd, aangebracht, gedemonteerd en opgeslagen worden, waardoor wij uit veiligheidsoverwegingen toch wapening willen toepassen.

Als alternatief voor dekplaten zonder wapening passen wij dekplaten toe met minimale wapening. In onze dekplaten zit 62 kg/m³ wapening, terwijl in reguliere dekplaten tussen 150 en 180 kg/m³ wapening zit. Dit zorgt voor een hoge reductie op het gebied van materiaalgebruik, MKI-waarde en CO₂-uitstoot.

F. Voegovergang

In samenwerking met Mageba hebben wij een modulaire voegovergang ontwikkeld. Deze voegovergang wordt aan de landhoofdzijde en aan de zijde van de dekplaat vastgebout en is zonder hak- en breekwerk te demonteren. In ons projectvoorstel hebben wij de doelstelling opgenomen om twee modulaire voegovergangen te onderzoeken: 1) aan één zijde en 2) aan beide zijden van het viaduct.

Uit de uitgevoerde berekeningen blijkt dat het wenselijk is

om aan beide zijden van het viaduct een voegovergang aan te brengen, waarmee het toepassen van een complexe voegovergang wordt voorkomen en het raakvlak met de voorspanning is beheerst. De voegovergang is demontabel en in hoogte aanpasbaar.

G. Oplegging

Mageba heeft modulaire oplegblokken ontwikkeld van corrosievrij staal. De oplegblokken worden geleverd onder een CE-label en hebben een levensduur van 200 jaar. De oplegblokken worden uitgerust met een injectiesysteem om constructietoleranties en grondzettingen te compenseren.

H. Voertuigkering

Wij passen een voertuigkering van DeltaBloc toe, dat wordt uitgevoerd met ons Umweltbeton Bögl. De voertuigkering voldoet aan klasse H2 en hoeft niet in het wegdek verankerd te worden. Hierdoor is de vrije indeelbaarheid gewaarborgd bij functieveranderingen van het wegdek en hoeft er niet in de dekplaten geboord te worden.

I. Monitoring

Vastlegging MVB in materialenpaspoort (Platform CB'23).

Wij werken met onze SBIR-innovatie mee aan de pilot van Platform CB'23 om het materialenpaspoort, dat door Platform CB'23 is opgezet, in een praktijksituatie te testen. Gedurende deze pilot wordt door meerdere partijen samengewerkt met CB'23 om tot een werkbaar materialenpaspoort te komen. Het doel van CB'23 is om in 2023 een format voor een materialenpaspoort gereed te hebben, dat concreet toegepast kan worden. Tijdens de pilot geven wij aan welke aspecten van het format voldoen en welke verbeterd kunnen worden. Vervolgens zullen wij het materialenpaspoort toepassen voor het MVB.

Faalmechanismen componenten.

Van de elementen van ons MVB hebben wij de mogelijke faalmechanismen en de daarbij van toepassing zijnde mo-

monitoring vastgelegd in een Failure Mode Effect & Criticality Analysis (FMECA). Deze faalmechanismen en monitoring vormen de basis voor het toepassen van Structural Health Monitoring (SHM).

Aanbrengen sensoren voor Structural Health Monitoring.

Wij brengen sensoren aan op de volgende onderdelen:

- stalen ligger;
- voorspanning van dekplaten;
- oplegblokken.

De door ons verzamelde gegevens worden als open source beschikbaar gesteld.

Data input voor optimaliseren onderhoud en informatie gedurende gehele levenscyclus.

Middels het materialenpaspoort en de data die wij vanuit de SHM verzamelen gedurende de gehele levenscyclus, zijn wij in staat om Beheer & Onderhoud (B&O) voorspelbaar uit te voeren. Daarnaast zorgt de data ervoor dat wij inzicht hebben in de restlevensduur van onze onderdelen.

Informatiebehoefte RWS.

In diverse overleggen hebben wij met RWS gesproken over monitoring en de informatiebehoefte binnen RWS. Tijdens deze gesprekken kwam naar voren dat bij reguliere viaducten (nog) geen monitoring is ingebouwd. Dit is wel het geval bij enkele beweegbare bruggen, sluizen en tunnels. Middels de Q&A-module heeft RWS aangegeven welke data gemeenten wordt bij de genoemde bruggen, sluizen en tunnels. De data die door de weersensoren (windsnelheid, windrichting, luchtvochtigheid en temperatuur) momenteel worden gemonitord, nemen wij mee in onze monitoring. Ook aanvullende wensen ten aanzien van monitoring kunnen middels ons monitoringsysteem meegenomen worden.

J. Businessmodel

Wij hebben onze visie op het toepassen van het All-in-consortium verder uitgewerkt. In hoofdstuk 3.3. hebben wij onze visie op het businessmodel en de wijze van samenwerking met RWS weergegeven.

K. Gebruiksrecht

Wij hechten veel waarde aan innoveren door het delen van kennis. Om een maximale bijdrage te leveren aan klimaatneutraliteit en circulariteit, geven wij het gebruiksrecht van onze innovatie vrij in Nederland.

2.4. Evaluatie samenwerking en taakverdeling

De samenwerking binnen het projectteam is goed verlopen. Bij de start van fase 1 is op basis van het projectvoorstel een detailplanning en plan van aanpak opgesteld. Aan alle acties is een verantwoordelijke medewerker gekoppeld. Binnen ons projectteam is de voortgang van de acties geborgd middels een weekly. In dit wekelijks overleg zijn de uit te voeren acties en de status daarvan met behulp van een kanbanbord vastgelegd en besproken. Hiermee hebben wij de uit te voeren acties inzichtelijk en kunnen we deze goed bewaken en elkaar informeren.

In het maandelijks voortgangsoverleg is de voortgang geborgd met de collega's van het laboratorium, technisch bureau en innovatie. Bespreekpunten waren o.a. voortgang testen, risico's en rapportage. De afstemming met de overige specialisten vond plaats op basis van behoefte.

De samenwerking met DeltaBloc verliep in het begin suboptimaal. Dit had als oorzaak dat de verwachtingen over en weer niet goed op elkaar afgestemd waren. Na een verhelderend gesprek is de samenwerking na twee maanden naar tevredenheid van beide partijen gecontinueerd. In een volgende fase zullen wij bij de start duidelijkere verwachtingen naar elkaar uitspreken en vastleggen, zodat de samenwerking soepeler verloopt.

Met Mageba verliep de samenwerking goed. In de beginfase hebben wij onze wensen voor een modulaire voegovergang, een circulaire oplegpot en de Structural Health Monitoring met Mageba doorgenomen. Na enkele overleggen kwam Mageba met goede oplossingen.

In deze fase hadden wij gehoopt meer met RWS samen te kunnen werken om onze innovatie naar een hoger niveau te tillen. Een voorbeeld hiervan is dat wij de verwachting hadden in deze fase de afwijkingen op de ROK reeds te kunnen valideren; dit is volgens RWS echter een onderdeel is van fase 2.

De afstemming met RWS verliep overigens prettig. Zowel de reguliere overleggen met Jan van Asten en Marcel Haaksma (en later Kees Quartel) als de overleggen met de specialistische afdelingen verliepen naar volle tevredenheid en hebben een positieve bijdrage geleverd aan onze eindrapportage. Met name de technische vragen die Jan van Asten en Kees Quartel hebben gesteld tijdens onze overleggen, hebben wij als positief ervaren en hebben onze oplossingen verbeterd. Wij kijken ernaar uit om in fase 2 de samenwerking met RWS te versterken.

2.4.1. Ontwikkelingen

Zoals aangegeven in § 2.3. passen wij nu nog niet een dekplaat zonder reguliere wapening toe. In de nabije toekomst willen wij deze innovatie echter wel kunnen toepassen. Wij maken hiervoor gebruik van de data uit de prototypefase. Om het proces van deze ambitie goed op te pakken, doen wij dit in nauwe samenwerking met RWS.

Het continu verbeteren van producten past goed binnen de zienswijze van Max Bögl. Andere voorbeelden van ontwikkelingen binnen Max Bögl zijn het toepassen van carbonwapening, de toepassing van chemische voorspanning en de opslag van CO₂ in beton. Wij blijven deze ontwikkelingen volgen en zullen deze, wanneer mogelijk, ook toepassen in ons MVB.

3. INHOUDELIJKE BEVINDINGEN

3.1. Impact

3.1.1. Bijdrage Max Bögl als organisatie aan oplossen maatschappelijk probleem

Max Bögl wil bijdragen aan een circulaire toekomst. Wij zijn ons bewust van onze maatschappelijke verantwoordelijkheid op het gebied van omgeving en milieu.

Onze afdelingen Innovatie, Technisch Bureau, Laboratorium en onze prefabfabrieken werken nauw samen om met de modernste technologieën continu te innoveren. De op industriële wijze gestandaardiseerde prefabricage in onze prefabfabrieken zorgt voor een hoge kwaliteit en nauwkeurigheid van de componenten. Gestandaardiseerde productie, constructie en assemblage zorgen voor een gecontroleerd productieproces, korte productie-, bouw-, levering- en montagetijd.

Een voorbeeld van een proces dat gestandaardiseerd is binnen Max Bögl is het ontwerpen van eigen masten voor windturbines. Wij hebben parametrisch ontwerpen succesvol toegepast in de markt van windenergie en hebben hiervoor de Hybrid Tower Configurator ontwikkeld. Hiermee heeft Max Bögl het ontwerpproces voor het systeem van masten en turbines teruggebracht van drie maanden naar twee weken. Wij zijn voornemens de kennis die wij in huis hebben aangaande parametrisch ontwerpen ook in te zetten voor het MVB. Het MVB is opgebouwd uit modulaire elementen. Hierdoor is het uitermate geschikt om het proces van parametrisch ontwerpen in te zetten. Op basis van een aantal variabelen (zoals gegevens van de omgeving, afmetingen, belastingen, esthetische eisen) wordt in korte tijd een ontwerp gerealiseerd.

Daarnaast wekken wij zelf onze eigen hernieuwbare energie (wind- en zonne-energie) op, waarmee wij onze prefabfabrieken van groene stroom voorzien.

3.1.2. Milieu-impact en circulariteit Modulair Viaduct Bögl

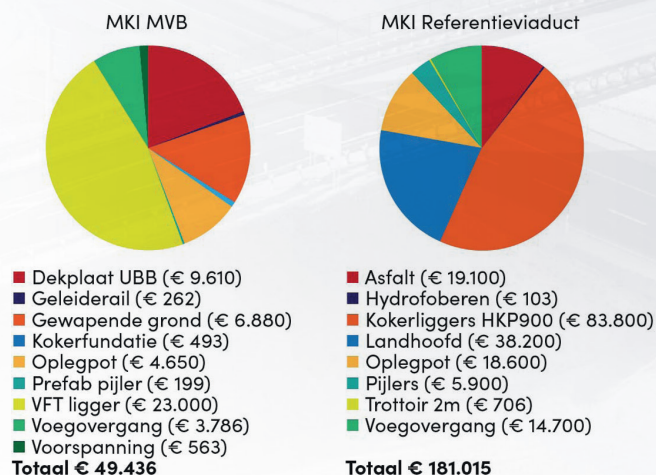
Het MVB heeft grote impact op het terugdringen van CO₂-emissie en grondstoffengebruik alsmede de RWS-doelstelling om in 2030 circulair en klimaatneutraal te werken.

Uit het haalbaarheidsonderzoek is gebleken dat de MKI-waarde van het MVB €49.436 bedraagt en van het referentieviaduct €181.015. Zie voor de berekening bijlage 2 Milieu-impact en circulariteit SBIR CiVi. Ecochain heeft in het programma Mobius de MKI-waardes bepaald. De categorie 3-opslag van 30% op de items uit de Dubocalc-bibliotheek heeft Ecochain al in Mobius verwijderd, waardoor deze opslag niet zichtbaar is verwijderd in bijlage 2.

De verschillen in waarden tussen het MVB en het referentieviaduct staan hieronder weergegeven (in afgeronde waarden). Alle verschillen in de waarden zijn nog positiever uitgevallen dan waar wij in ons projectvoorstel van zijn uitgegaan.

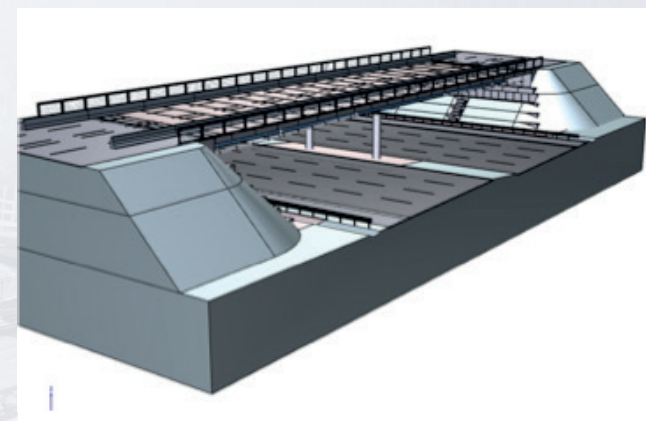
Het verschil met het referentieviaduct is:

- MKI-waarde 73% lager.
- CO₂-uitstoot 70% lager.
- Materiaalgebruik 49% lager.
- Alle MVB-componenten zijn demontabel en herbruikbaar.



Wij hebben onderstaande uitgangspunten genomen bij de bepaling van de MKI-waarde van het MVB en het referentieviaduct.

- Afmetingen viaduct: 54 m bij 16,25 m.
- Twee overspanningen met middensteunpunt.
- Levensduur MVB 200 jaar.
- Levensduur referentieviaduct 80 jaar (conservatief uit het rapport 'Sloopoorzaken kunstwerken RWS').
- Landhoofd van gewapende grondconstructie.
- Toepassing van UBB.
- De impact van materieel voor demonteren en monteren van 2e en 3e levensfase is meegenomen.



3D-model MVB variant MKI-berekening.

3.1.2.1. MKI-waarde

- De totale MKI-waarde is 73% lager.
- MKI-waarde UBB is 45% lager dan standaardbeton.
- Het 4-laags coatingsysteem (met een levensduur van 30 jaar) heeft een grote invloed op de totale MKI-waarde; de ambitie is om dit verder te optimaliseren.
- De lange levensduur van de ontwikkelde voegovergang en oplegblokken heeft een positief effect.

- Voor een aantal onderdelen, zoals de activators, hebben we in de beschikbare tijd geen EPD gevonden. Hier is nu een standaardwaarde uit de Dubocalc-bibliotheek voor genomen. Zodra deze beschikbaar zijn, heeft dit een positief effect.

3.1.2.2. CO₂-uitstoot

- De totale CO₂-uitstoot is 70% lager.
- De CO₂-uitstoot van ons UBB is 64% lager dan standaardbeton.
- De stalen liggers hebben een grote impact op de totale CO₂-uitstoot van het MVB.
- Het beperken van materiaalgebruik heeft een positief effect op de CO₂-uitstoot.

3.1.2.3. Materiaalgebruik

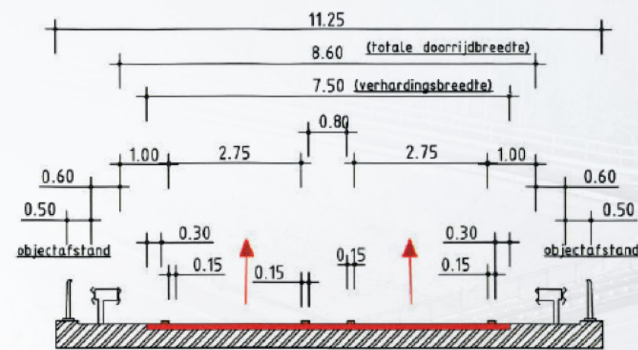
- Het totale materiaalgebruik is 49% lager.
- Het niet toepassen en het vervangen van asfalt heeft een grote invloed op het materiaalgebruik.
- Het hergebruik van elementen met een levensduur van 200 jaar heeft een positieve invloed op het materiaalgebruik.

3.1.3. Toepasbaarheid en schaalbaarheid Modulair Viaduct Bögl

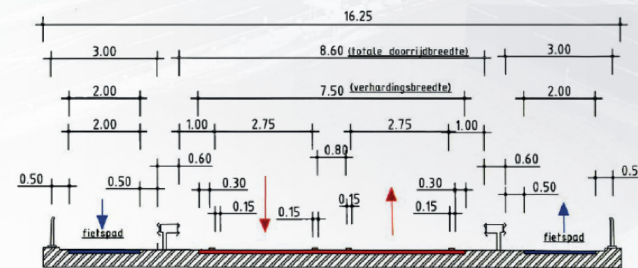
Het MVB is locatieafhankelijk toepasbaar. Er zijn geen bijzondere eisen aan het toepassingsgebied qua ondergrond, wegbreedte, overspanningslengte of overbrugging. Met onze standaard modulaire elementen kunnen alle gewenste breedtes en lengtes gerealiseerd worden met een veelvoud van onze standaardstelsystemen. De meeste viaducten worden haaks (90 graden) op de snelweg aangebracht, maar uiteraard zijn er ook viaducten die met een kruisingshoek (schuin) op de snelweg aangebracht worden. Het MVB kan aangebracht worden met een kruisingshoek van maximaal 30 graden (naar beide zijden). Dit betekent dat viaducten met een kruisingshoek tussen 60 en 120 graden gerealiseerd kunnen worden.

Op basis van een analyse van de huidige kunstwerken in het areaal van RWS (gebaseerd op het document 'Datasets over viaducten 2020-04') kan 85 procent van de RWS-viaducten door het MVB worden gerealiseerd of vervangen.

Bij de bepaling van de standaardafmetingen van onze dekplaten hebben wij rekening gehouden met de wegingdeling van een (provinciale) weg die een rijksweg kruist. Hiertoe hebben wij de breedte van twee wegdekken bepaald: een die bestaat uit 2x1 rijstroken en een die bestaat uit 2x1 rijstroken met aan beide zijden een fietspad (zie onderstaande figuren).



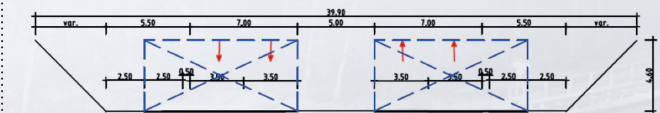
Doorsnede brug Standaard



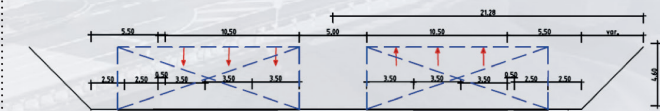
Doorsnede brug met fietspad

De standaardbreedtes van de wegen zijn respectievelijk 11,25 m en 16,25 m. Dit zijn dan ook de standaardafmetingen die wij hanteren voor de lengte van onze wegdekplaten. Met deze twee standaardafmetingen kunnen wij bovenstaande indelingen faciliteren – en naar wens ook andere wegingdelingen. De plaat is over de hele breedte volledig belastbaar. Daarnaast is onze voertuigkering verplaatsbaar en hoeft deze niet verankerd te worden.

De standaardafmetingen van onze liggers van 39,90 m, 31,92 m, 26,60 m en 21,28 m, indien nodig gecombineerd met pijlers, zorgen ervoor dat elke lengte vanaf deze afmetingen en een meervoud van deze afmetingen mogelijk is. Onderstaand is dat gevisualiseerd in vier doorsneden van verschillende overspanningen over de snelweg.



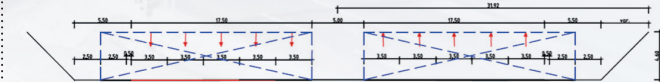
Doorsnede snelweg 2x2



Doorsnede snelweg 2x3



Doorsnede snelweg 2x4

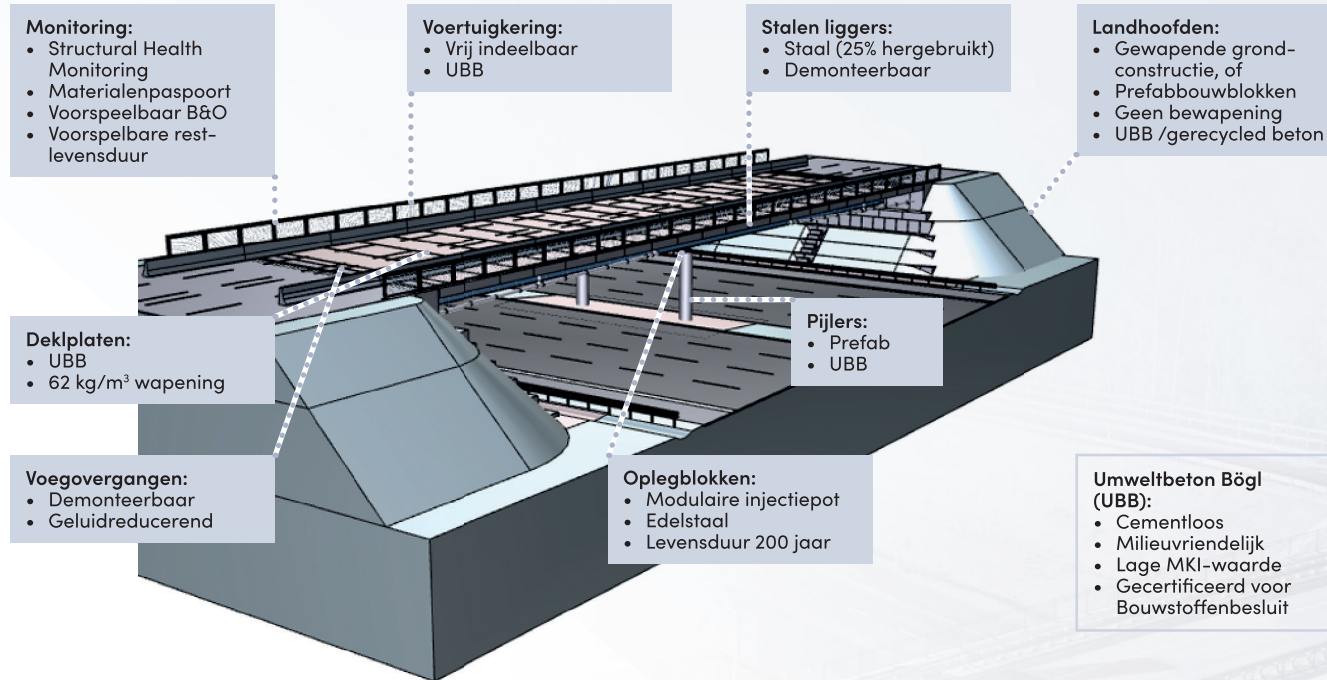


Doorsnede snelweg 2x5

3.2. Haalbaarheid

3.2.1. Technologie en haalbaarheid Modulair Viaduct Bögl

In onderstaand figuur van het MVB is onze innovatie samengevat. Per onderdeel wordt de techniek toegelicht, de haalbaarheid en in welke mate het onderdeel demontabel is.



Overzicht elementen MVB

3.2.1.1. Umweltbeton Bögl

Wij hebben het milieuvriendelijk zelfverdichtende hogesterkte geopolymerbeton Umweltbeton Bögl (UBB) ontwikkeld (in projectvoorstel GPB 2.0 genaamd). UBB is een milieuvriendelijk, cementloos en CO₂-arm beton op basis van hoogovenslakken en een alkalische activator. Een belangrijk ingrediënt in geopolymerbeton zijn gemalen hoogovenslakken. Vanuit onze marktkennis weten wij dat de komende

decennia voldoende hoogovenslakken beschikbaar zijn voor de productie van ons UBB. Omdat voor het hogesterktebeton de kwaliteit van de gegranuleerde hoogovenslak erg wezenlijk is, is het belangrijk dat deze gemalen wordt tot een fijn poeder. Omdat leveranciers dit poeder niet met een

constante korrelgrootte kunnen leveren, heeft Max Bögl zelf een maalinstallatie aangeschaft waarmee continu de juiste korrelgrootte geproduceerd kan worden. Dit is een belangrijke voorwaarde in de verdere productie van het beton. Aansluitend activeren wij de gemalen hoogovenslakken niet met (portland)cement, maar door toevoeging van een alkalische activator. Max Bögl heeft hiervoor in huis een alkalische activator ontwikkeld.

Binnen Max Bögl hebben we de ambitie om in alle prefab-fabrieken alleen zelfverdichtend beton toe te passen. De redenen hiervoor zijn:

- Betere arbeidsomstandigheden (minder geluid, geen trilling, etc.).
- Continuere kwaliteit.
- De maatvastheid van de bekisting is langer gegarandeerd en daarmee ook de levensduur.

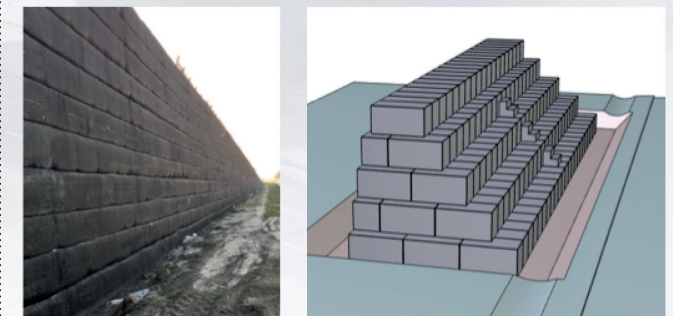
Dit is de reden geweest om ons Z-UBB te ontwikkelen. Zodra Z-UBB gecertificeerd is, hebben wij de ambitie om dat toe te passen in ons MVB.

3.2.1.2. Landhoofden

Voor de landhoofden hebben wij drie opties:

- Gewapende grondconstructie.
- Prefabbouwblokken van UBB zonder wapening.
- Prefabbouwblokken van gerecycled beton zonder wapening.

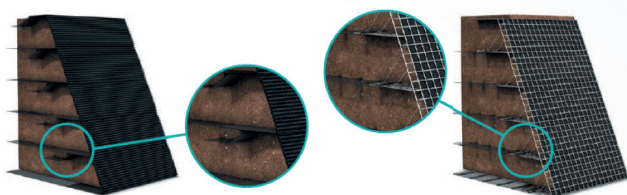
Alle drie de opties zijn demontabel en herbruikbaar. De materialen waaruit een gewapende grondconstructie is opgebouwd zijn goed te demonteren en te hergebruiken. De bouwblokken (van UBB en gerecycled beton) zijn zonder bevestiging opgestapeld. De losmaakbaarheid is hierdoor gegarandeerd. De bouwblokken kunnen eenvoudig gedemonteerd en aansluitend hergebruikt worden.



Gewapende grondconstructie (l) en prefabbouwblokken (r).

Alle drie de opties zijn haalbaar, onderbouwd met berekeningen en gereed om toegepast te worden. Onder alle drie de oplossingen kan een paalfundering toegepast worden bij minder draagkrachtige ondergronden.

Gezien de lage MKI-waarde en de minimale toepassing van primaire materialen heeft het gebruik van de gewapende grondconstructie onze voorkeur. Een gewapende grondconstructie is een breed geaccepteerde bouwwijze om hoogteverschillen te overbruggen en om infrastructuur op te funderen. De verwachte zettingen en zettingsverschillen zijn beperkt en vergelijkbaar met de in Nederland gangbare methoden. Met onze partner Joosten Concepts zijn wij in staat om twee bouwmethodes toe te passen die breed toepasbaar zijn: de Omslagmethode (OM) en de Verloren Bekistingmethode (VB). Het aanzicht van een constructie kan afgewerkt worden met een duurzame groene bekleding, een esthetisch verantwoorde betonwand of robuuste schanskorven. Doordat de hellingshoek vrij aan te passen is, is onze oplossing nog flexibeler in te passen in het areaal van RWS.



Omslagmethode (OM) en Verloren Bekistingmethode (VB).

Voor zowel het OM-systeem als het VB-systeem is een duurzame groene bekleding mogelijk als esthetische afwerking. Het type vegetatie is afhankelijk van het gekozen systeem en de hellingsgraad van het talud. Tussen de 45° tot 70° kan bij het VB-systeem gekozen worden voor plantzaadmatten van kokos of grasbekleding. Van 70° tot 90° kunnen klimplanten toegepast worden voor zowel het VB-systeem als

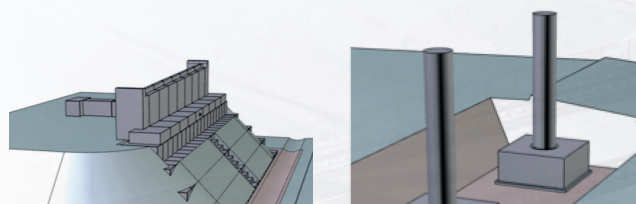
OM-systeem. Wanneer de vegetatie dit vereist kan de kop van de constructie voorzien worden van voedingsrijk materiaal. De constructie kan tevens opgebouwd worden met een geïntegreerd irrigatiesysteem.



V.l.n.r.: OM Groen 70-90, VB Groen 70-80, VB Groen 45-70.

3.2.1.3. L-wanden

De prefabbetonnen L-wanden en bouwblokken ten behoeve van het aanbrengen van de voorspanning worden op de bovenste laag van de gewapende grondconstructie of bouwblokken geplaatst. De betonnen L-wanden en bouwblokken worden in standaardformaten geproduceerd, zijn demontabel en herbruikbaar.



L-wanden (links) en pijlers (rechts).

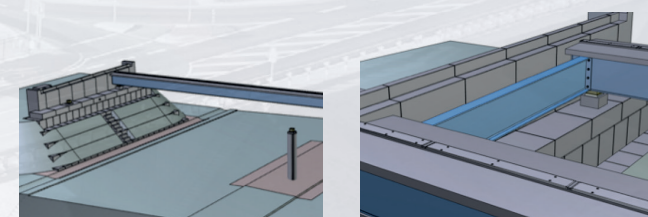
3.2.1.4. Pijlers

Indien er een 2-veldsviaduct toegepast dient te worden, passen wij prefabbetonnen pijlers toe van UBB. De prefabpijlers worden gemaakt van UBB en hebben een levensduur van 200 jaar. Aan de bovenzijde worden de pijlers aan de stalen liggers gekoppeld door modulaire oplegblokken. Aan de onderzijde worden de pijlers bevestigd aan de poer,

waarmee de poer en de pijlers één modulair element vormen. Dit element kan als geheel gedemonteerd en hergebruikt worden. Hiermee zijn de pijlers demontabel en herbruikbaar.

3.2.1.5. Stalen liggers

De stalen liggers worden in standaardafmetingen van 39,90 m, 31,92 m, 26,60 m en 21,28 m gefabriceerd. Al deze afmetingen zijn een veelvoud van 2,66 m wat de standaardbreedte van onze dekplaat is. Hierdoor zijn er geen pasplaten benodigd en is elke dekplaat uitwisselbaar. We passen stalen liggers toe met een levensduur van 200 jaar. Het staal dat wordt toegepast bestaat voor 25% uit hergebruikt staal. Na de levensduur van 200 jaar kunnen de liggers omgesmolten worden tot nieuwe staalproducten. Op de stalen liggers wordt een coating aangebracht met een levensduur van 30 jaar. Uit MKI-berekeningen is gebleken dat het toepassen van een stalen ligger met coating, die gedurende de levensduur van 200 jaar zes keer wordt vervangen, milieuvriendelijker is dan het toepassen van cortenstaal.



Stalen ligger (l) en dwarsligger (r).

De liggers worden middels modulaire oplegblokken gekoppeld aan de landhoofden en (indien van toepassing) de pijlers. Op beide landhoofden worden de langliggers aan elkaar gekoppeld middels stalen dwarsliggers die aan de langliggers worden vastgebouwd. Hiermee zijn de liggers demontabel en herbruikbaar.

3.2.1.6. Dekplaten

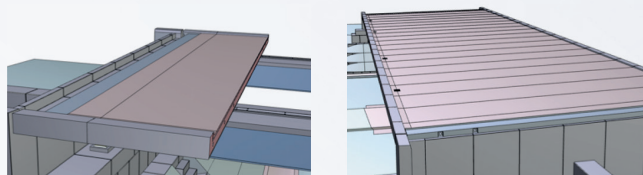
De prefabdekplaten worden onder gecontroleerde en geconditioneerde omstandigheden gefabriceerd in onze eigen prefabfabriek, waar hoge kwaliteitseisen de standaard zijn. De dekplaten worden gemaakt van UBB. Door de toepassing van dit hogesterktebeton en de op industriële wijze gestandaardiseerde fabricage, ontstaat een betonoppervlak van zeer hoge kwaliteit dat uiterst duurzaam is. Het beton is bestand tegen vries- en dooizouten en er hoeft geen afdichting (zoals hydrofobeermiddel en/of asfalt) aangebracht te worden.

Er wordt 62 kilogram wapening per m³ beton aangebracht. In reguliere dekplaten wordt gemiddeld 180 kg wapening per m³ beton aangebracht.

Doordat de dekplaten in onze fabriek uiterst nauwkeuring met de hoogwaardige CNC-slijptechniek geslepen worden, sluiten zij naadloos op elkaar aan. De dekplaten worden haaks op de rijrichting aangebracht op de oplegstrips van de stalen liggers en nagespannen tot een compact dek. Hierdoor zijn het dek en de naden tussen de dekplaten waterdicht en hoeven er geen afdichting en asfalt aangebracht te worden. Hiermee zijn de dekplaten demontabel en herbruikbaar. De dekplaten worden in een verkanting van 2,5% aangebracht, waardoor afwatering naar de hemelwaterafvoer gewaarborgd is.

Op locatie worden de dekplaten voorzien van de juiste stroefheid. Met een kogelstraalmachine wordt het bovenste laagje van het beton gestraald, waardoor een stroef oppervlak wordt gecreëerd. De stroefheid van de dekplaten is in Duitsland gevalideerd op 40 jaar. Indien de stroefheid niet meer voldoet, is deze eenvoudig te herstellen middels een mechanische nabehandeling met de kogelstraalmachine. De dikte van de dekplaten en dekking op de wapening is voldoende om deze behandeling vijf keer toe te passen.

In Duitsland hebben wij deze dekplaten inmiddels succesvol op drie viaducten toegepast met een regulier zelfverdichtend hogesterktebetonmengsel. Max Bögl heeft deze dekplaten in eigen huis ontwikkeld. In samenwerking met Prof. Dr. Ing. Fischer van de Universiteit van München is de stabiliteit en standzekerheid van de dekconstructie gevalideerd in Duitsland.



Dekplaten.

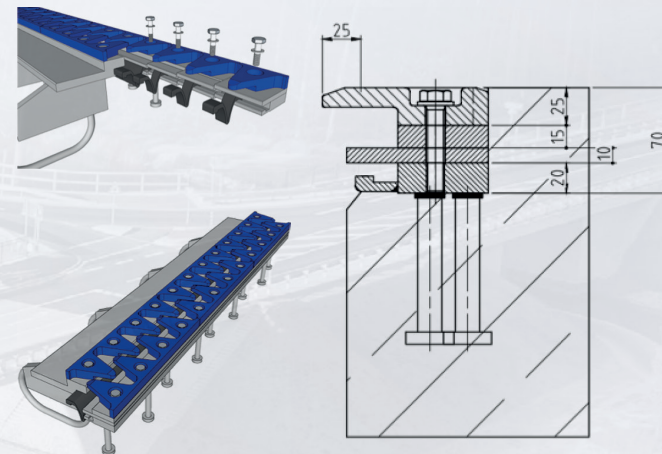
3.2.1.7. Voegovergangen

Als voegovergangen gebruiken wij de speciaal voor Max Bögl ontwikkelde TENSA®GRIP CIRCULAR-voegovergangen van Mabeba. Deze voegovergangen worden aan beide uiteinden van het viaduct geplaatst en zijn gemaakt van roestvrijstaal. De voegovergang wordt aan de zijde aan het landhoofd bevestigd. Aan de viaductzijde is de voegovergang geïntegreerd in de dekplaat en opgebouwd uit modulaire componenten om hoogteaanpassingen tot 15 mm mogelijk

te maken. Er worden twee standaardopties ontwikkeld; een flexibele voegovergang, familie 4 volgens RTD1007-1, en een variant van de nosing joints, familie 1 volgens RTD1007-1.

Het bovenste scharnierdeel is verwisselbaar en kan bij vervanging volledig worden hergebruikt. De koppeling is onderhoudsvrij. Alleen de rubberen afdichting moet om de 15 tot 20 jaar vervangen worden, wat binnen enkele uren gedaan kan worden.

De voegovergang maakt uitsluitend gebruik van demontabele, herbruikbare componenten en materialen, is onderhoudsvrij en heeft een levensduur van 200 jaar.



TENSA®GRIP CIRCULAR-voegovergangen

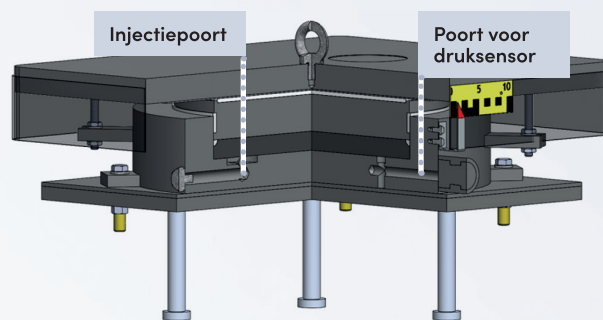
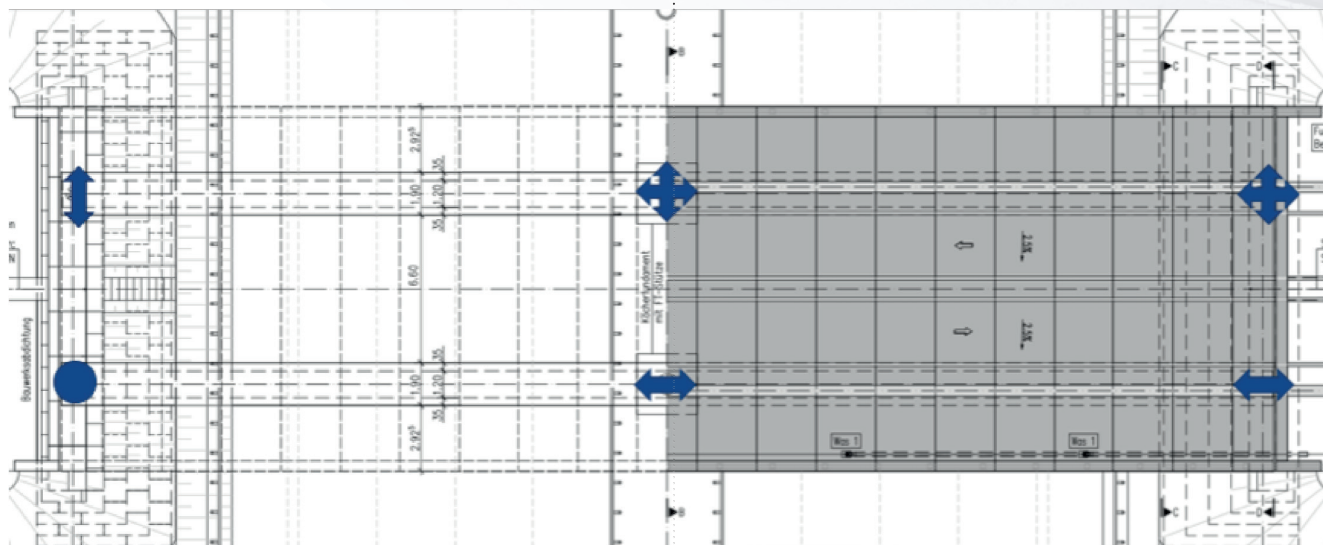
3.2.1.8. Oplegblokken

De oplegblokken verbinden de stalen liggers met de landhoofden en, indien van toepassing, met de pijlers. Als oplegblokken passen wij RESTON®POT-oplegblokken van Magerba toe. Alle RESTON®POT-oplegblokken zijn ontworpen en vervaardigd uit corrosiebestendig staal (1.4044).

De standaardonderdelen zijn 100 procent herbruikbaar en hebben een levensduur van 200 jaar. Alleen het ROBO®SLIDE-glijmateriaal, het elastomeer in de pot en de afdichting hoeven niet eerder vervangen te worden dan na een geaccumuleerde glijweg van 50 km.

De verdeling van de belasting over de oplegblokken op één steunpunt kan worden gecontroleerd en bijgesteld, zodat toleranties worden geëlimineerd. De modulaire oplegblokken zijn demontabel en herbruikbaar.

In onderstaand figuur wordt de oplossing van de oplegblokken bij een 2-veldsviaduct weergegeven.



RESTON®POT-oplegblok.

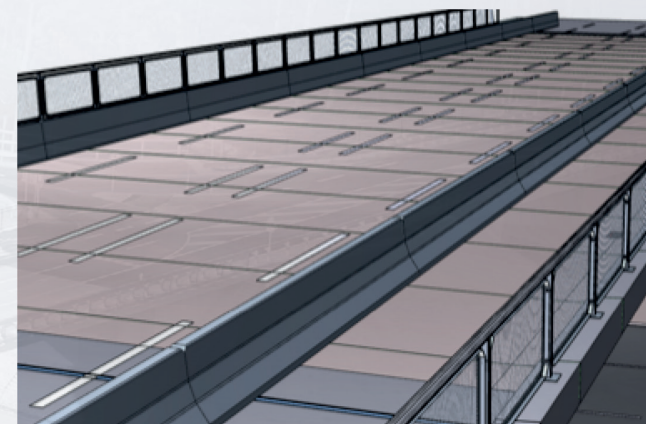
In totaal worden er 6 oplegblokken toegepast. Bij de landhoofden worden 4 RESTON®POT-Lift-control-oplegblokken toegepast (1 vast, 2 x geleid en 1 vrij beweegbaar). Deze oplegblokken worden uitgerust met een injectiesysteem om constructietoleranties en grondzettingen te compenseren. De totale verstelbare hoogte is 50 mm met maximaal vijf keer de mogelijkheid om te heffen. Bovendien is er de mogelijkheid om de geleidingen van de geleide oplegblokken maximaal ± 25 mm te verstellen.

Bij de pijlers worden 2 RESTON®POT-oplegblokken toegepast (1 geleid en 1 vrij beweegbaar).

De RESTON®POT-oplegblokken worden smart gemaakt door geïntegreerde sensoren en worden geleverd met een CE-markering.

3.2.1.9. Voertuigkering

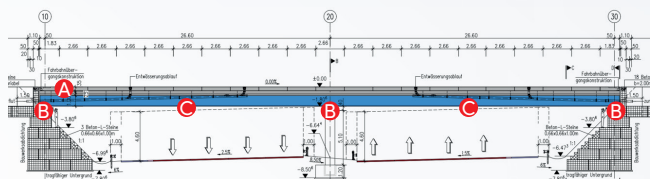
Als voertuigkeringen passen wij betonnen voertuigkeringen van DeltaBloc toe. De voertuigkeringen worden uitgevoerd met ons Umweltbeton Bögl, hebben een levensduur van 200 jaar, zijn demontabel en herbruikbaar. Ze voldoen aan kerend vermogen klasse H2. De voertuigkeringen worden zonder verankering op de dekplaten geplaatst. Hierdoor is het wegdek flexibel indeelbaar en hoeven er geen ankers in het wegdek geboord te worden.



Voertuigkering van DeltaBloc.

3.2.1.10. Monitoring

Op basis van de uitgevoerde FMECA heeft Mageba een Structural Health Monitoring-systeem voor het MVB uitgewerkt: het ROBO®CONTROL-Monitoringsysteem.



ROBO®CONTROL-Monitoringsysteem is verdeeld in drie systemen die wij hieronder toelichten.

Wat	Hoe	Waarom
Naspankracht. (A)	Krachtsensor, 1 per pees, langdurige meting.	Om verlies van naspankracht op te sporen, wat een negatief effect heeft op de plaatverbinding, de integriteit van de plaat.
Belasting op oplegblok. (B)	Geïntegreerde ROBO®-SMART-druksensor in oplegblok, continue meting.	Om mogelijke zettingen en/of verandering van de belasting te detecteren.

ROBO®CONTROL-Monitoringsysteem I.

Wat	Hoe	Waarom
Corrosie op het dek.	Mobiele grondpenetrerende radar (GPR). Advies: om de 10 jaar inzetten.	Om chemische verontreiniging en risico's op wapeningscorrosie op te sporen.
Corrosie op het dek (steekproefsgewijs).	Corrosiesensor ingestort in beton, continue meting	Om chloride-indringing, carbonatatie en corrosiepotentieel te detecteren.

ROBO®CONTROL-Monitoringsysteem II.

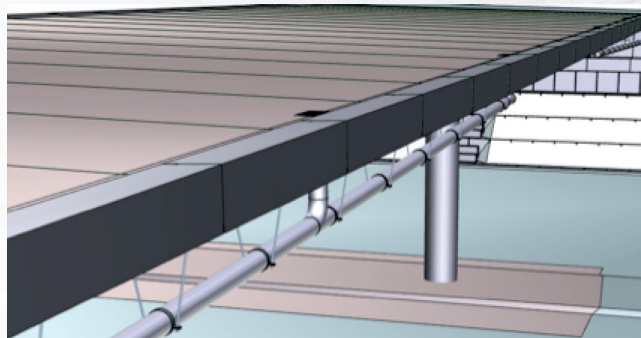
Wat	Hoe	Waarom
Spanningen op hoofdliggers. (C)	Spanningsmeter bevestigd aan de stalen ligger, kortstondige meting.	Om belastingen op viaduct te registreren en analyseren en restlevensduur te ramen.
Verdere monitoring inclusief helling, bewegingen en vocht.	Kantelmeters bij de pijlers, trekdraden bij de oplegblokken om de beweging van het dek te meten, vochtsensoren in de gewapende grondconstructie, etc.	Om de hellingsveranderingen, t.g.v. zettingen, en mogelijke structurele tekortkomingen in verschillende bewegingspatronen van het dek te identificeren.

ROBO®CONTROL-Monitoringsysteem III.

De drie systemen kunnen los van elkaar ingezet worden, maar uiteraard ook gezamenlijk.

3.2.1.11. Hemelwaterafvoer

In de dekplaten kunnen sparingen worden opgenomen ten behoeve van de hemelwaterafvoer (HWA). De afvoerbuizen van de HWA zijn niet ingestort in onze dekplaten maar worden aan de onderzijde aan het dek bevestigd. Ze steken niet onder de stalen liggers uit die bepalend zijn voor de doorrijhoogte van de ondergaande weg. De afvoerbuizen van de HWA zijn demontabel en herbruikbaar.



3.2.1.12. Beheer en onderhoud

Het MVB bestaat uit standaardelementen die seriematig geproduceerd worden. Omdat er geen asfalt wordt toegepast, worden veel B&O-kosten bespaard en hinder voorkomen. In fase 2a wordt voor het MVB een standaardbeheer- en onderhoudsplan (B&O-plan) opgesteld dat locatie-/projectspecifiek te maken is. Gedurende de contractduur voert het consortium B&O uit conform het B&O-plan, inclusief monitoring.

Op basis van de uitgevoerde faalanalyse wordt Structural Health Monitoring toegepast. Uitgevoerde B&O en monitoring worden vastgelegd (bijvoorbeeld in een materialenpaspoort). De uit te voeren B&O en restlevensduur zijn hiermee voorspelbaar. Tevens is het B&O hiermee in de toekomst eenvoudig overdraagbaar aan RWS of een derde partij.

3.2.1.13. Afwijken van de ROK

Onderstaand staat weergegeven op welke onderdelen het MVB afwijkt van de Richtlijn Ontwerp Kunstwerken (ROK), inclusief de verwijzingen naar de passages uit de ROK en een toelichting.

Hoofdstuk 4.1. Toepassingen voor bruggen (aanvullingen op NEN-EN 1990 + NB)

A 2.1 (1) Eis

Voor vervangbare onderdelen als bijvoorbeeld opleggingen, voegovergangen en (geluid)schermen zijn in de ROK of in de betreffende RTD afwijkende ontwerplevensduren voorgeschreven.

Enkele onderdelen van het Modular Viaduct Bögl hebben afwijkende ontwerplevensduren.

- De modulaire oplegpot heeft een levensduur van 200 jaar (bij gelijkblijvende verkeersintensiteit en belasting).
- De voegovergang heeft een levensduur van 200 jaar.

Hoofdstuk 5.1 Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigengewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen (aanvullingen op NEN-EN 1991-1-1 + N)

5.2.3 (3) Eis (bruggen)

Voor betonnen bruggen moet in de berekening een asfaltpakket worden aangehouden van ten minste $(140 + a)$ mm.

Op het MVB wordt geen asfalt toegepast; hier wordt in de berekening dus ook geen rekening mee gehouden.

Hoofdstuk 6.1 Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen (aanvullingen op NEN-EN 1992-1-1 + NB)

5.10.1 Eis (bruggen)

Het in rekening brengen van voorspanningen zonder aanhechting (VZA) in de eindsituatie is niet toegestaan.

Bij het MVB wordt juist gekozen voor voorspanning zonder aanhechting (VZA) in verband met hergebruik van de dekplaten. De voorspanning, die de dekplaten tot een compact dek vormt, wordt in PVC-buizen aangebracht in de dekplaten, waardoor er geen aanhechting plaatsvindt. Dit onderwerp hebben wij opgenomen in het test- en validatieplan voor fase 2. In deze fase zullen wij dit onderwerp met de SBIR-begeleiding en ROK-info van RWS bespreken en valideren.

10.6.2 Uitvoering van voegen tussen elementen die uitsluitend met elkaar zijn verbonden door voorgespannen voerspanstaal

Voegen tussen elementen die uitsluitend met elkaar zijn verbonden door voorgespannen voerspanstaal zijn alleen toelaatbaar bij geconstrueerde elementen.

Bij het MVB zijn de dekplaten CNC-gefreest en sluiten daarom 'naadloos' en vlak op elkaar aan. Tevens wordt een rubberen afdichting tussen de elementen aangebracht.

10.6.3 Afwerking van voegen

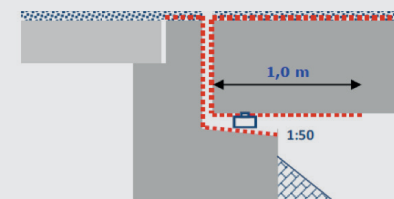
Langs- en dwarsvoegen in het brugdek moeten aan de bovenzijde van het brugdek, voordat het intermediar tussen verkeer en brugdek wordt aangebracht, waterdicht met een voegoverbruggend semi-elastisch materiaal worden afgedicht.

Deze strook moet ter weerszijden van de voeg een minimale breedte van 75 mm hebben. Indien een plakstrook wordt aangebracht, geldt hiervoor een minimale breedte van 125 mm. Het daarvoor benodigde materiaal moet bestand zijn tegen de mechanische en thermische belastingen die er tijdens, door en na het aanbrengen van een intermediar op worden uitgeoefend.

Het MVB is waterdicht; er vindt geen afdichting plaats.

(7) De volgende betonoppervlakken waarop milieuklasse XD3 en/of XF4 van toepassing is, moeten worden gehydrofobeerd:

- de bovenkant van een rijdek of rijvloer;
- de bermconstructies;
- alle oppervlakken nabij een uitzettingsvoeg volgens figuur 6-8;
- de bovenkant van de onderbouw;
- de onderkant van een rijdek tot een afstand van 1,0 m uit de voeg.



Figuur 6-8: Te hydrofoberen betonoppervlakken onder een uitzettingsvoeg

Gezien de toepassing van een hoge betonkwaliteit is het hydrofoberen bij het MVB overbodig. Wij passen een hoogsterktebeton van sterkteklasse C55/67 toe. Dit mengsel is getest op vries- en dooizouten en chloride-indringing. Dit heeft geresulteerd in een extreem hoge weerstandswaarde tegen milieueffecten.

13.5 Standaarddetails voor betonnen bruggen

Toe te passen richtlijn:

RTD 1010 Standaarddetails voor betonnen bruggen
NBD00730 Standaarddetails voor betonnen bruggen

Het MVB wijkt op meerdere punten af van de Standaarddetails van RWS, wat bij een innovatieve uitvraag verwacht kan worden.

3.2.1.14. Ontwerpdocumenten

In onderstaande tabel staan de ontwerpdocumenten weergegeven die wij gedurende het haalbaarheidsonderzoek hebben opgesteld. Wij kunnen deze aan RWS ter beschikking stellen.

Code	Type	Beschrijving
MB001	Tekening	Overzichtstekening viaduct (1 van 2).
MB002	Tekening	Overzichtstekening viaduct (2 van 2).
MB003	Tekening	Overzichtstekening viaduct Variant 2 - GGC (1 van 2).
MB004	Tekening	Overzichtstekening viaduct Variant 2 - GGC (2 van 2).
MB005	Tekening	Details t.b.v. overgangsconstructie.
MB006	Tekening	Vormtekening standaarddekplaat.
MB007	Tekening	Wapeningstekening standaarddekplaat.
	Berekening	Voorgespannen prefabdekplaten (1).
	Berekening	Aanrijdbelasting stalen liggers.
	Berekening	Voorgespannen prefabdekplaten (2).
	Berekening	Landhoofd van bouwblokken.
	Test	Beproeving van verhard beton - Deel 12 - bepaling van de potentiële carbonatatie-weerstand van beton - Versnelde carbonatatiemethode.
	Test	Beproeving van verhard beton - Deel 9 - Vorst/dooibestandheid - Afschilfering.
	Test	Rapid Chloride Migration-test (RCM-test).
	Rapport	Failure Mode Effect & Criticality Analysis (FMECA).
	Rapport	Raadgevend advies standzekerheid constructie, op basis van onderbouwende berekeningen (Prof. Dr. Ing. Fischer).

Ontwerpdocumenten Modulair Viaduct Bögl.



3.3. Economisch perspectief

3.3.1. Businessmodel, IE-recht en gebruiksrecht

In het voortraject van de SBIR-oproep is vanuit de Open Leeromgeving themalijn Business & Value Cases onderzoek gedaan naar mogelijke (circulaire) businessmodellen. Onderstaande businessmodellen zijn het resultaat van de businessmodellen die onderzocht zijn.

- Coördinatie door de klant.
- Terugkoopgarantie door aannemers.
- Viaduct als een service.
- All-inconsortium.

In de fase van het schrijven van het projectvoorstel hebben wij, op basis van de beschikbare informatie, van deze businessmodellen de voor- en nadelen bepaald, besproken en tegen elkaar afgewogen. Dit heeft als resultaat dat wij het All-inconsortium het beste bij deze uitvraag vinden passen. Deze mening wordt onderschreven door de Open Leeromgeving. Ook de beoordelingscommissie van het projectvoorstel heeft deze keuze goed gewaardeerd.

Tijdens het uitvoeren van het haalbaarheidsonderzoek hebben wij in een breder comité nogmaals de voor- en nadelen van de vier businessmodellen besproken en de keuze bevestigd.

De mogelijke uitwerking van een All-inconsortium hebben we intern verder besproken en de kansen en randvoorwaarden die Max Bögl ziet uitgewerkt.

Wij zien onderstaande voordelen in het model.

- Gemeenschappelijk belang en gedeelde verantwoordelijkheid.
- Samenwerking binnen één team, waarin zowel Max Bögl als RWS vertegenwoordigd zijn.
- Sterke kanten van Max Bögl en RWS worden benut.
- Gezamenlijke verdeling van risico's en kansen.
- Kans om samen met RWS verder te innoveren en nieuwe producten te testen.

- Het aanwezig zijn van meerdere objecten binnen het samenwerkingsverband:
 - Ontwerpuitwerking en inpassing van de viaducten op basis van de 'standaardelementen' Max Bögl.
 - Serieproductie mogelijk waardoor effectiever en kostenefficiënter gewerkt kan worden.
 - Knel- of verbeterpunten worden direct in volgend object verbeterd.
- De gebruiksfase van objecten wordt gezamenlijk doorlopen en gemonitord. Hierdoor kunnen we veel leren en het product en de monitoring verder ontwikkelen.
- Meerjarige intensieve samenwerking waardoor we elkaar goed leren kennen, meer inzicht krijgen in de werking van de RWS-organisatie en toekomstige werken eerder zien aankomen.
- Vroegtijdig inspelen op ontwikkelingen binnen en buiten RWS en een betere gesprekspartner zijn voor RWS.
- Neerzetten van een standaard en volume creëren. Dit biedt een podium om onze producten te introduceren en hiermee een toonaangevende positie in te nemen als innovatieleider.
- Kans om de industriële werkwijze door te voeren en verder te brengen.
- Kans voor Max Bögl om projecten te realiseren, geheel of op onderdelen of als leverancier van de elementen van het MVB.

Naast de voordelen zien wij ook enkele nadelen/risico's. Per risico hebben we aangegeven welke mogelijkheden we zien om dit te ondervangen.

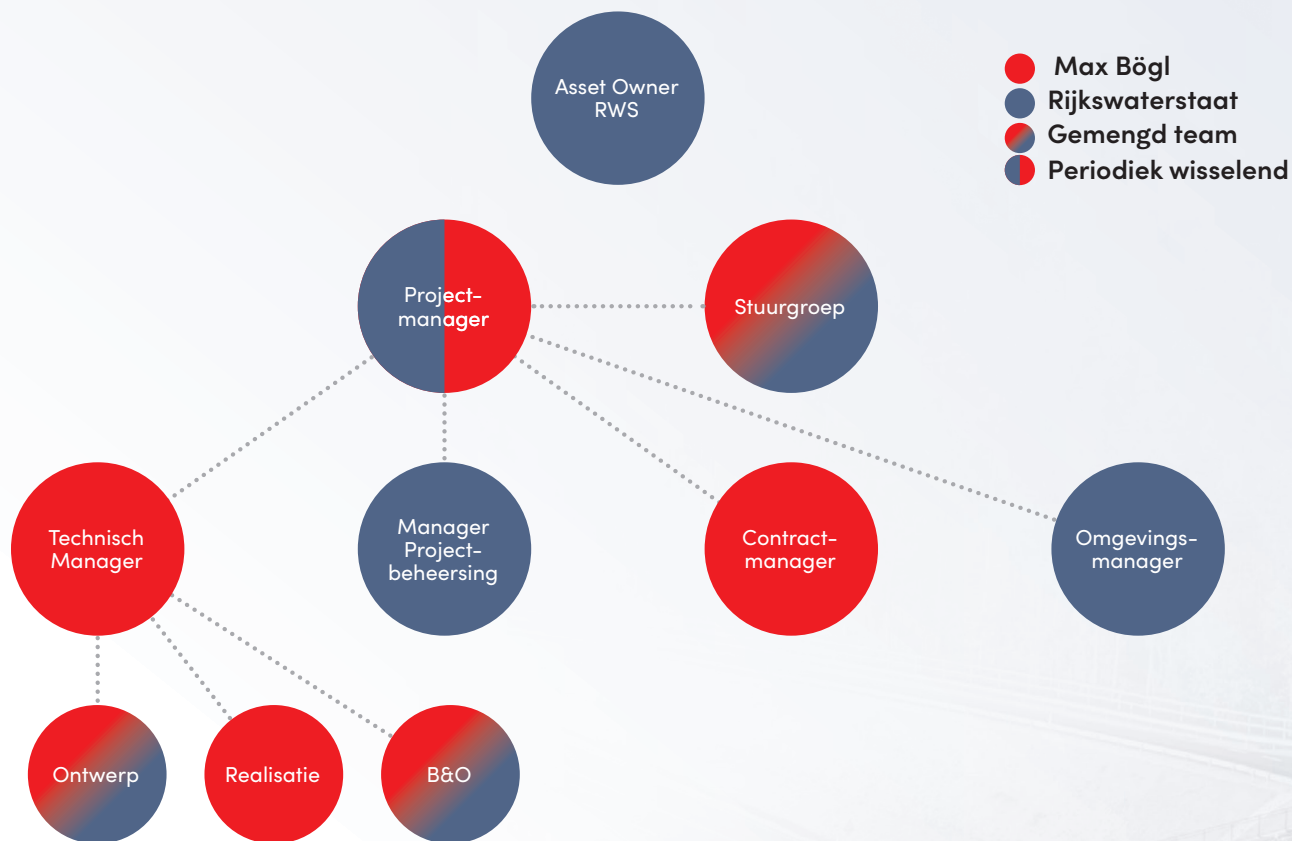
- Zoals al in het projectvoorstel aangegeven, is het belangrijkste risico een lange contractduur, veroorzaakt door de lange levensduur. Dit ondervangen wij door het contract aan te gaan voor (bijvoorbeeld) 15 jaar met verlengingsopties tot maximaal de levensduur (200 jaar).
- Het begrip 'All-inconsortium' kan overkomen alsof beide bedrijven worden samengevoegd tot een nieuwe

entiteit. Dit voelt alsof we 'alles erin moeten stoppen' en geen eigen entiteit meer zijn. Dit ondervangen als volgt. We werken het consortium verder uit wij als een team van samenwerkende organisaties, waardoor verdere innovaties, doorontwikkelingen en schaalvoordelen kunnen worden gerealiseerd. Het wordt een Samenwerkingsovereenkomst (SOK) in plaats van een All-in-consortium.

- Max Bögl wil geen langetermijn(voor)financiering in het consortium. Dit ondervangen wij door met RWS een aantal afgebakende fases af te stemmen en dit vast te leggen in de SOK. Hierin staat een degelijke financiële paragraaf met vooraf overeengekomen afspraken, voorwaarden, vergoedingen en tarieven. De fases zijn bijvoorbeeld:
 - Ontwerp.
 - Productie.
 - Transport.
 - Realisatie.
 - Beheer & Onderhoud.
 - Demonteren.
 - Opslag.

IE-recht en gebruiksrecht.

Wij hechten veel waarde aan innoveren en kennisdelen. Om een maximale bijdrage te leveren aan klimaatneutraliteit en circulariteit geven wij in Nederland aan RWS het gebruiksrecht op de MVB-innovatie vrij. Wij hebben besloten om het in Duitsland aanwezige octrooi niet voor Nederland aan te vragen. Daarnaast zal Max Bögl de auteursrechten en modelrechten die op de MVB-innovatie rusten in gebruikslicentie aan RWS geven. Dat geeft RWS het recht om het ontwerp van de innovatie te gebruiken voor de bouw in Nederland. Dat mag RWS ook met derden doen. Daarvoor vraagt Max Bögl geen aanvullende vergoeding. Het gebruiksrecht zit niet op activiteiten buiten Nederland. De niet-overdraagbare, royaltvrije licentie op het MVB wordt aan de Nederlandse



Staat verleend die daarmee het recht verwerft om derden het MVB te laten realiseren in Nederland.

Doordat het IE-recht bij Max Bögl blijft, hebben we de kans om onze innovatie in het buitenland op de markt te brengen en daar opnieuw te bepalen hoe we het gebruiksrecht daar toepassen.

3.3.1.2. Organisatie binnen All-inconsortium

Onze visie is dat er binnen het All-inconsortium een gezamenlijk kernteam wordt opgericht. Dit kernteam is gebaseerd op het Integraal ProjectManagement (IPM)-model,

en vertegenwoordigt Max Bögl en RWS als samenwerkende partners. Het voordeel hiervan is dat 1) de samenwerking versterkt wordt en 2) er geen dubbele functies worden gecreëerd, hetgeen kostenefficiënt is.

Het kernteam is werkzaam gedurende alle fasen van een project (ontwerp, productie, transport, realisatie, B&O, demonteren en opslag). Elke fase heeft een eigen planning, budget, eisen, verantwoordelijkheden, risico's, verificatierapport, voortgangsrapportages en overdrachtsmomenten naar de volgende fase.

Na elke fase vindt er facturatie plaats op basis van een open en transparante nacalculatie. Deze nacalculatie wordt te-

vens gebruikt om opvolgende fasen en werkzaamheden voor opvolgende viaducten te optimaliseren, waardoor continu optimalisaties plaatsvinden qua product en proces.

In het figuur hiernaast is onze visie op de inrichting van een kernteam gevisualiseerd.

3.3.2. Op de markt brengen en opschalen

Onze oplossing draagt maximaal bij aan de doelstellingen van RWS, heeft een zeer lage MKI-waarde en is voor 85% van alle RWS-kunstwerken te gebruiken. Op dit moment ligt de kostprijs nog 4,3% hoger dan bij een regulier viaduct, maar doordat wij goed scoren op de EMVI Duurzaamheid, scoren wij goed op toekomstige uitvragen. Hierdoor kunnen wij onze oplossing toepassen binnen veel uitvragen/aanbestedingen op voorwaarde dat de MKI-waarde en/of circulariteit voldoende wordt gewaardeerd. Een bedreiging voor een duurzame en circulaire aanpak is dat in veel huidige aanbestedingen met name naar bouwkosten wordt gekeken. Gezien de maatschappelijke opgave is het verstandiger en realistischer om de gehele levensduurkosten te beschouwen.

Onze oplossing is schaalbaar. Het MVB is in een groter dan wel kleiner formaat te realiseren. Hierdoor is het MVB ook interessant voor toepassing binnen gemeentelijke, provinciale of waterschapsarealen.

Het totale marktpotentieel van het MVB is dan ook zeer groot. Dit past uitstekend binnen de Max Bögl-filosofie van industrialisering en seriematig produceren. Daarbij geeft het ook de kans om de kostprijs verder te verlagen. Uiteindelijk zouden de aanlegkosten van het MVB lager moeten zijn dan de aanlegkosten van een regulier viaduct.

3.3.3. LCC-analyse

We hebben in het haalbaarheidsonderzoek een lifecycle-costs (LCC-)analyse uitgevoerd voor de eerste levenscyclus van een regulier viaduct (80 jaar). Het blijkt dat de totale levensduurkosten tijdens de eerste levenscyclus van het MVB circa 43% lager zijn dan die van een regulier viaduct. Dit wordt mede veroorzaakt door de restwaarde van de elementen die voor de tweede en derde levensfase kunnen worden ingezet. Op dit moment is de kostprijs voor het bouwen van het MVB nog 4,3% hoger dan voor een regulier viaduct. Door serieproductie en parametrisch ontwerpen verwachten wij een kostprijs te realiseren die lager is dan die van een regulier viaduct.

		MVB	Regulier viaduct
		Basis: L=26,60m B=16,25m A=432,25m ²	Basis: L=26,60m B=16,25m A=432,25m ²
	Totaal	1.273.534 €	1.221.000 €
2.	Vorbereidende werkzaamheden	315.762 €	390.000 €
2. 1.	Bouwplaatsinrichting	90.919 €	185.000 €
2. 2.	Ontwerp en werkvoorbereiding	224.843 €	205.000 €
4.	Onderbouw	211.530 €	450.000 €
4. 1.	Landhoofd	211.530 €	450.000 €
4. 2.	Ingebouwde onderdelen: Landhoofd		
5.	Bovenbouw	746.243 €	381.000 €
5. 3.	Levering en aanbrengen van VFT-liggers	340.269 €	296.000 €
5. 4.	Leveren en plaatsen voorgespannen dekplaten	278.925 €	25.000 €
5. 5.	Ingebouwde onderdelen: oplegpotten en voegovergangen	121.012 €	60.000 €
5. 7.	Tijdelijke maatregelen	6.037 €	
Onderhoudskosten (80 jaar levensduur)			
	Vervangen asfalt (12 jr) (6x vervangen)		90.720 €
	Opruwen beton	4.650 €	
	Vervangen voegovergangen (25-40 jr) (2x vervangen)	49.000 €	98.000 €
	Vervangen oplegblokken (50 jr) (1x vervangen)		30.000 €
	Elastomeer in pot en afdichting vervangen	14.000 €	
	Vervangen coating (30 jr) (2x vervangen)	17.500 €	
	Restwaarde elementen na eerste levenscyclus (80 jr)	-574.664 €	-61.050 €
	Totale kosten voor gebruik en ontmanteling/sloop	-489.514 €	157.670 €
	Totaal levensduurkosten	784.021 €	1.378.670 €

Kostenvergelijking MVB en regulier viaduct, levensduur van 80 jaar, LCC-berekening (eerste levenscyclus).

4. VOORSTEL VOOR FASE 2

4.1. Prototype in fase 2

De ontwikkeling van het MVB bevindt zich in een vergevorderd stadium. Wij zijn er klaar voor om in fase 2 de samenwerking met RWS te versterken en het prototype van het MVB te produceren, bouwen, testen en valideren.

Voordat het prototype gerealiseerd kan worden in fase 2b, voeren wij in fase 2a de activiteiten uit die zijn vermeld in hoofdstuk 4.2 Test- en validatieplan.

In fase 2b bouwen wij het prototype van het MVB op en laten dit gedurende drie maanden intact om het MVB te belasten, gebruiken en monitoren. Om kosten en tijd te besparen realiseren wij bij de eerste keer opbouwen een beperkte hoogte van het landhoofd. Aansluitend demonteren wij het prototype en bouwen het op de door RWS aangewezen projectlocatie opnieuw op.

Op deze wijze tonen wij aan dat het MVB compleet demonabel en herbruikbaar is. Dat is essentieel voor de validatie van de circulaire oplossing. In overleg met RWS bepalen wij gedurende fase 2a een locatie voor de eerste keer opbouw. Dit kan een eigen locatie van Max Bögl zijn, de locatie waar het prototype in fase 2b opgebouwd dient te worden, of een andere door RWS gewenste locatie.

4.1.1. Schaal

In fase 2b gaan wij een prototype van het MVB realiseren. De afmetingen zijn 26,60 m lengte en een breedte van 16,25 m. Wij kiezen voor deze schaal omdat wij hiermee, binnen een optimaal en acceptabel budget, een volledig functionerend viaduct kunnen realiseren, testen en valideren met RWS. Indien er vanuit RWS en/of de projectlocatie andere wensen zijn, zijn andere afmetingen mogelijk.

4.1.2. Fysiek/digitaal

Zoals hiervoor aangegeven willen wij ons prototype in fase 2 fysiek opbouwen, demonteren en opnieuw opbouwen.

4.1.3. Objecten in prototype

Ons MVB-prototype bestaat uit onderstaande objecten:

- Landhoofden (gewapende grondconstructie).
- Stalen liggers.
- Dekplaten.
- Voegovergangen.
- Oplegpotten.
- Voertuigkering.

Indien op de locatie geen draagkrachtige ondergrond aanwezig is, wordt er een fundering aangelegd.

De afbouw van het viaduct (verlichting, leuningwerk, randelementen, etc.) wordt niet in het prototype opgenomen, maar is mogelijk indien dit gewenst is.

4.2. Test- en validatieplan

Voor fase 2 hebben wij een test- en verificatieplan opgesteld, zie tabel onderstaande tabel. Deze testen voeren wij uit in fase 2a. Indien de testen en validaties succesvol zijn afgerond kan fase 2b starten.

Onderdeel / test	Wanneer	Met wie	Voldoet
I. Validatie afwijkingen ROK	Begin fase 2a	RWS	als RWS akkoord is met afwijkingen op ROK.
II. Vorst- en dooibestandheid – afschilfering Z-UBB	Begin fase 2a	Laboratorium	aan interne MB-eis: tussen 300-500 gram/ m ² .
III. RCM-test Z-UBB	Begin fase 2a	Laboratorium	N.v.t.: is nodig voor bepaling levensduur.
IV. Carbonatieweerstand Z-UBB	Begin fase 2a	Laboratorium	N.v.t.: is nodig voor bepaling levensduur.
V. Produceren van 10 m ³ UBB	Begin fase 2a	Laboratorium, betoncentrale, prefabfabriek	als apparatuur betoncentrale geschikt is voor productie UBB. als betonmengsel goed verwerkbaar uit betoncentrale komt.
VI. Testen hechting UBB en wapening	Begin fase 2a	Laboratorium	als wapening voldoende aan UBB hecht.
VII. Storten en CNC-slijpen van dekplaat	Begin fase 2a	Prefabfabriek	als de dekplaat met een nauwkeurigheid van 0,1 mm geslepen kan worden.
VIII. Certificering BRL5077	Begin fase 2a	Laboratorium	als certificaat Bouwstoffenbesluit is verkregen.

Test- en validatieplan.

4.3. Risico's en kansen fase 2

Om de risico's in te schatten voor fase 2 hebben wij meerdere risicosessies gehouden. In de tabel Risicoregister hebben wij de top 6-risico's beschreven. In de laatste kolom staat aangegeven of het risico voor RWS of Max Bögl (of beide) van toepassing is.

Om de kansen in te schatten voor fase 2 hebben wij meerdere kansensessies gehouden. In de tabel Kansregister staan deze kansen beschreven. In de laatste kolom staat aangegeven of de kans voor RWS of Max Bögl (of beide) van toepassing is.

4.4. Visie op fase 2b

Onze visie op fase 2b is dat wij in nauwe samenwerking met RWS en de eindgebruiker (beheerder/ eigenaar viaduct) het prototype realiseren, testen onder relevante omstandigheden en valideren. Gedurende fase 2a stemmen wij graag de klantwensen en -eisen af met RWS en de eindgebruiker. Indien deze wensen en eisen technisch en economisch haalbaar zijn, worden deze meegenomen in de productie, realisatie en validatie van het prototype.

Zoals hierboven aangegeven zijn wij ver in de ontwikkeling van ons MVB en hebben wij een ervaren uitvoeringsteam beschikbaar om het MVB aan te leggen. Wij zijn er klaar voor om ons gevalideerd prototype in productie te nemen!

Risico	Oorzaak	Gevolg	Maatregelen	RWS / MB
Geen validatie van afwijkingen van ROK met RWS.	Tijdens haalbaarheids-onderzoek was validatie niet mogelijk.	MVB wordt geen gevalideerde oplossing.	Validatie direct bij start fase 2 bespreken en oppakken met RWS.	MB
De investeringsbijdrage van RWS van € 1.500.000,- is niet toereikend voor fase 2.	Het realiseren van een viaduct van 2 overspanningen met 1 pijler is duurder dan € 1.500.000,-	Fase 2 wordt met een negatief resultaat afgesloten.	MB dient zelf geld te investeren. Een viaduct met kleine afmetingen realiseren (maatregel is al genomen).	MB
Er wordt geen GO gegeven na fase 2a.	Test- en validatieplan is niet voldoende aangetoond.	Er wordt geen viaduct gebouwd.	In gesprek blijven met RWS gedurende fase 2a.	RWS/ MB
Onvoldoende capaciteit fabriek.	Planning fabriek vol voor het komende jaar. Fase 2a is van korte duur.	Onderdelen kunnen niet gefabriceerd worden.	Nu al in de planning zetten van de fabriek. (Maatregel is al genomen).	MB
RWS heeft het gastproject (nog) niet beschikbaar.	Fase 2a is van korte duur.	Uitloop van start fase 2b.	Afstemmen met RWS.	RWS / MB
UBB niet gecertificeerd voor BRL-5077.	Tijdens haalbaarheids-onderzoek is certificering niet gelukt.	UBB nog niet toepasbaar in Nederland.	Samenstelling aangepast. In mei 2021 starten met certificering BRL5077.	MB

Risicoregister.

Kans	Oorzaak	Gevolg	Acties	RWS / MB
Fase 2a hoeft maar 4 maanden te duren.	Er hoeft niet veel getest en gevalideerd te worden in de test- en validatiefase omdat onze uitwerking al erg concreet is.	Op korte termijn starten met fase 2b. RWS meenemen in de planning van fase 2a.	Test- en validatieplan spoedig en volledig uitvoeren i.s.m. RWS.	RWS/ MB
Op zeer korte termijn een prototype realiseren en valideren (verwachting is binnen 12 maanden na start fase 2a).	Ontwikkeling en ontwerp MVB is gereed.	Prototype is op korte termijn te bouwen en valideren en kan snel veelvuldig worden toegepast.	Fase 2a uitplannen. Afstemmen met RWS.	RWS/ MB
Inzet van ons ervaren uitvoeringsteam.	Drie vergelijkbare dekken zijn eerder in Duitsland aangebracht.	Kwalitatief hoogwaardig product. Effectieve bouwfase.	Op tijd inplannen, zodat juiste team ingezet wordt.	RWS/ MB
Wensen van eindgebruiker (eigenaar) achterhalen en meenemen in ontwerp/ realisatie, zoals randafwerking, aankleding e.d.	Ons modulair systeem is geschikt om esthetische wensen, zoals randafwerking e.d., te faciliteren.	Een tevreden eindgebruiker (eigenaar). Betere inpasbaarheid in areaal RWS.	In fase 2a wensen achterhalen van eindgebruikers (eigenaar). Bepalen of deze wensen technisch en economisch passen.	RWS / MB
Modulaire en demontabele onderdelen kunnen in de praktijk getest en geoptimaliseerd worden.	Aantonen dat demontage en hergebruik mogelijk is.	Optimalisatie onderdelen MVB. Goede referentie voor toekomstige projecten.	Viaduct bouwen, demonteren en opnieuw opbouwen. Eventueel al in fase 2a eerste keer opbouwen.	MB

Kansregister.

5. BEGROTING FASE 2

	Totaal in €	Totaal uren
Kosten van arbeid	198.256	2679
Verbruikte materialen	775.964	
Machines en apparatuur		
Kosten (van arbeid) van project-partners	148.000	
Kosten derden		
Overige kosten	115.044	
Totaal exclusief btw	1.237.264	
Omzetbelasting (laag)		
Omzetbelasting (hoog)	259.825,44	
Omzetbelasting (0%)		
Totaal inclusief btw	1.497.089,44	

Onderstaande uitgangspunten zijn op bovenstaande begroting van toepassing:

- Is inclusief kosten van testen en valideren conform hoofdstuk 4.2.
- Afmetingen kunstwerk zijn 26,60 meter bij 16,25 meter.
- Kosten voor afbouw (verlichting, leuning, randelementen e.d.) zijn niet inbegrepen.
- Er is rekening gehouden met een draagkrachtige ondergrond (fundering is niet meegenomen).



6. COLOFON

Projecttitel en acroniem

Modulair Viaduct Bögl/ MVB

Deelnemende partijen aan consortium

Max Bögl Nederland B.V.

Contactpersoon en uitvoerder

Arno van Wittmarschen

Begin en einddatum van het project

07-10-2020 t/m 16-03-2021

Ondertekening door een daarvoor bevoegd persoon

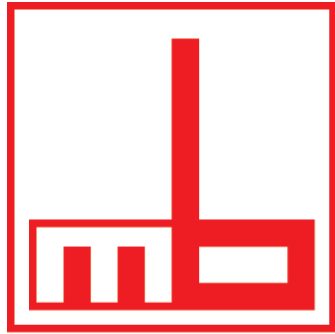
J.S.C.M. de Koning

Algemeen directeur

T. Brandt

Operationeel directeur





MAX BÖGL

Progress is built on ideas.