

---

# Een ‘tweede leven brug’

---

Omgekeerd ontwerpproces voor het meest circulaire resultaat



*Op het Floriadeterrein in Almere wordt een nieuwe brug geplaatst die gemaakt is van hergebruikte brugonderdelen. Bouwer Dura Vermeer nam het initiatief om onderdelen van een oud viaduct te oogsten en opnieuw in te zetten op deze wereldtuinbouwtentoonstelling die haar deuren in 2022 opent.*



## De ‘tweede leven brug’ op de Floriade heeft zijn oorsprong bij het amoveren van het fiets- en voetgangersviaduct Bolgerijsekade over de A27 nabij Vianen (foto 2).

De brug werd maar weinig gebruikt en hij was niet meer in staat de aanrijbelasting op te nemen.

De bovenbouw van de brug bestond uit zes modules (lengte 25 of 28 m met een breedte van ca. 3 m), die waren samengesteld uit twee voorgespannen I-liggers en een daartussen gespannen betonnen dekplaat (fig. 4). De modules waren eenvoudig te demonteren en alle constructieve bouw-informatie uit het verleden was beschikbaar. Dura Vermeer koos er destijds, in 2019, voor om de modules te ‘oogsten’ en in depot te plaatsen tot de mogelijkheid tot herinzet zich voordeed.

Die kans ontstond al vrij snel binnen de ontwikkelopgave van de Floriade in Almere. Vanuit de gemeente Almere en provincie Flevoland werd de Bruggencampus Flevoland-Floriade opgericht: een praktijkomgeving voor de ontwikkeling en toepassing van innovatieve en circulaire bruggen binnen de Floriade, met als doel een duurzame invulling van de grote vervangingsopgave van bruggen. Het idee voor een circulaire ‘tweede leven brug’ paste goed bij deze ambitie, waardoor de opdrachtgever er graag aan mee wilde werken. Het kwaliteitsteam voor de Floriade (bestaande uit ste-

auteurs



**IR. JEROEN MEJDAM RC**

Lead engineer  
Dura Vermeer Infra  
Landelijke Projecten



**IR. ROLF LUKASSEN**

Adviseur civiele  
constructies  
LukassenBrokking



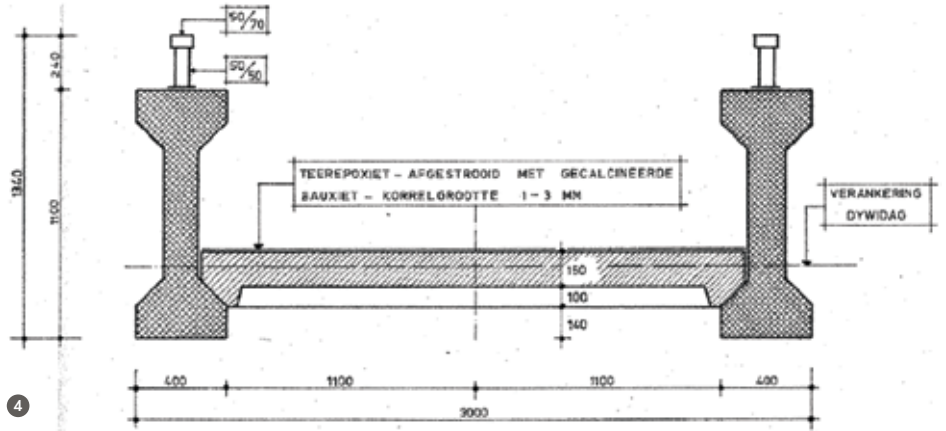
**ING. ERIK VAN DOORN**

Bedrijfsleider  
Dura Vermeer Infra  
Regio Noord West

denbouwkundigen en architecten) was enthousiast over het ontwerp, waarmee nog meer draagvlak werd gecreëerd. Het betrof hier een fiets- en voetgangersbrug over het Weerwater (brug 5) die bijna volledig is samengesteld uit ‘tweede leven materialen’ (fig. 1 en 5).

## Verskil hergebruik en traditioneel ontwerp

Een kenmerkend verschil tussen een traditioneel ontwerp en een circulair ontwerp is dat het ontwerpproces wordt omgedraaid. Traditioneel wordt per ontwerpstep (VO, DO, UO) een beslissing genomen en als het ontwerp zo goed als af is, volgt de inkoop. Voor een circulair brugontwerp is de inkoop leidend. Het ontwerp hangt af van het beschikbare materiaal, de bijbehorende materiaalcertificaten en herleidbare wapeningstekeningen/berekeningen. Het ontwerpproces van een constructie met gebruikte materialen duurt, in tegenstelling tot een meer kneedbaar ontwerp met nieuwe materialen, veel langer. Dit komt mede door het bedenken van oplossingen om het geheel passend te krijgen (wapening kan bijvoorbeeld niet meer worden bijgelegd). Maar ook door de noodzakelijke afstemming tussen ontwerp, opdrachtgever en opdrachtnemer over beschikbaarheid en geschiktheid van de ‘tweede leven materialen’. Een extra uitdaging in dit proces is de perceptie dat tweede leven, tweedehands is en dus →



↓  
**PROJECTGEGEVENS**

**project**

Circulaire  
voetgangersbrug  
Floriade

**Ontwikkelaar**

Ontwikkelcombinatie  
Amvest-Dura Vermeer

**Esthetische visie**

Arc2 architecten

**Aannemer en levering**

**betonnen I-liggers**

Dura Vermeer

**Levering houten**

**dekdelen, balken en  
balustrade**

Meerdink bruggen

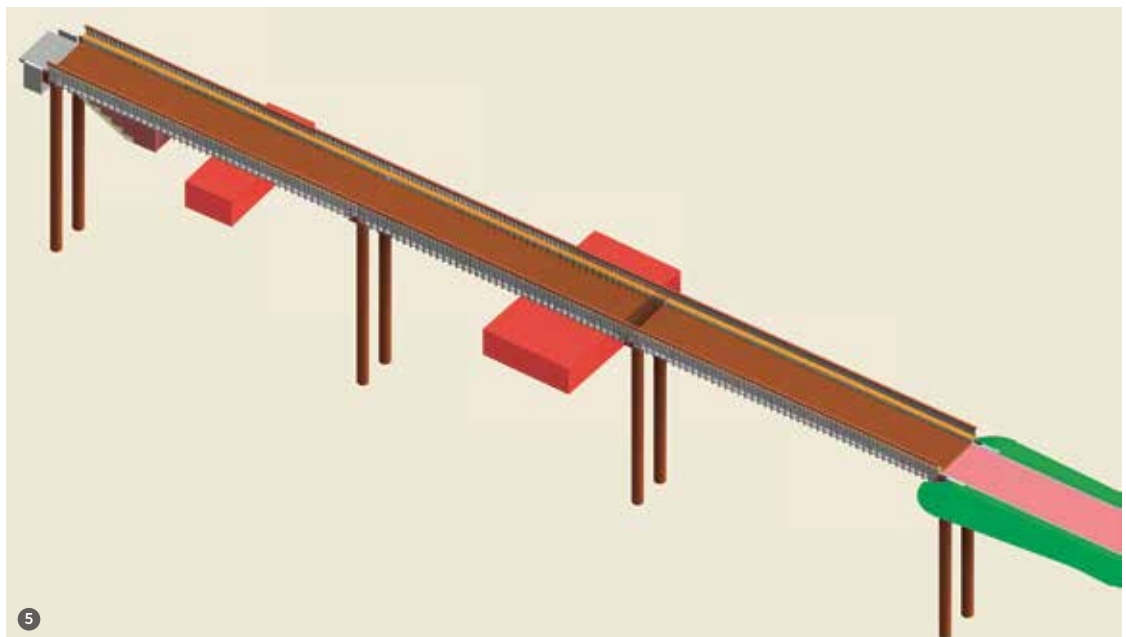
**Stalen steunpunten en**

**dwarsdrager**

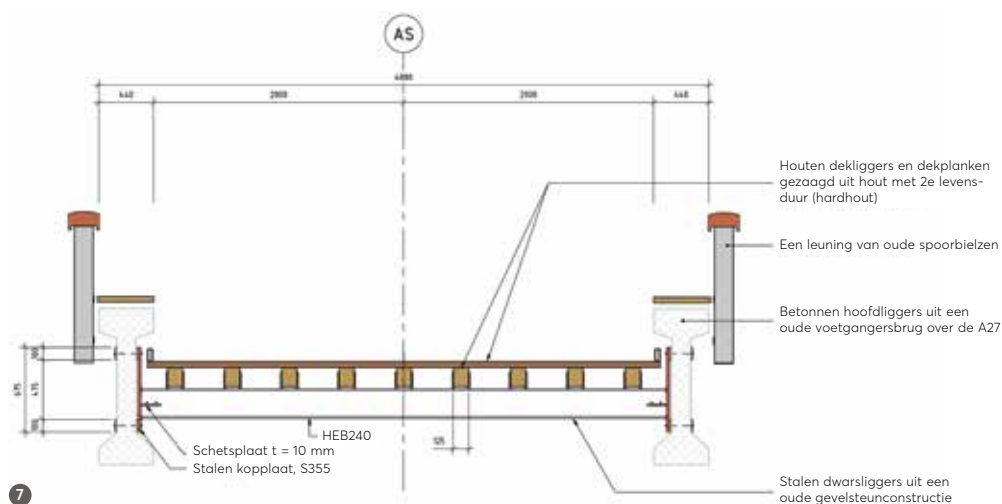
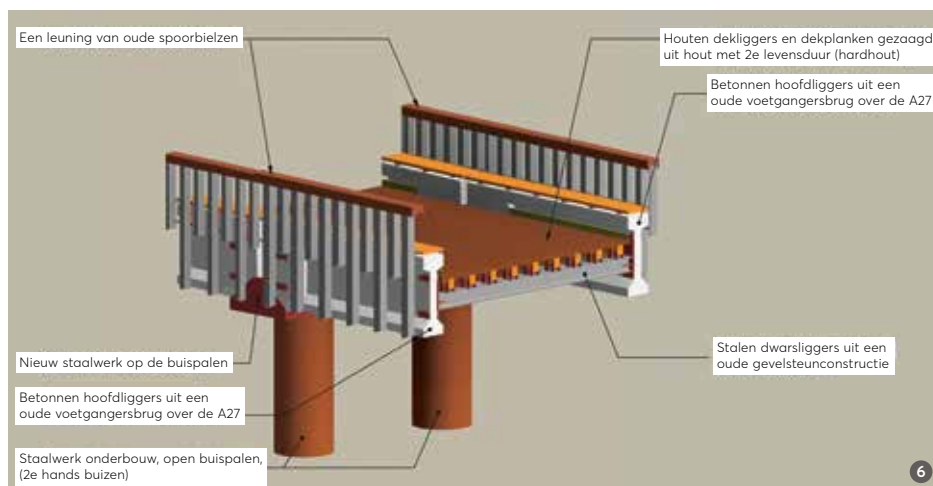
Anton Constructiewerken

**Constructief advies**

LukassenBrokking



*Een kenmerkend verschil tussen een traditioneel ontwerp en een circulair ontwerp is dat het ontwerp-proces wordt omgedraaid*



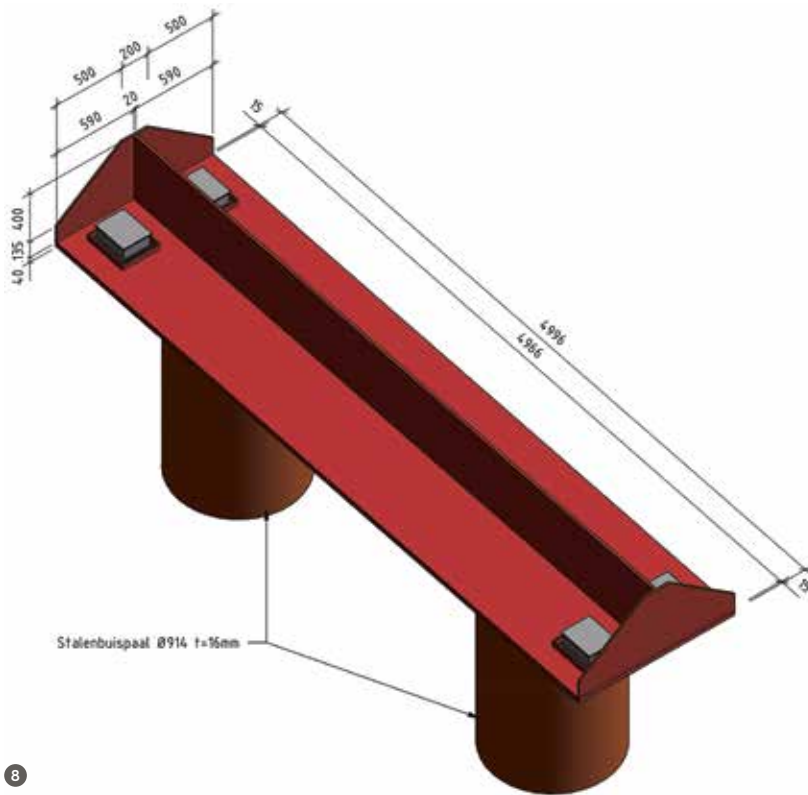
goedkoop is. Maar de be- en verwerking van het geooogste materiaal is juist vaak arbeidsintensief, waardoor het niet goedkoper is dan nieuwe materialen.

### Ontwerp

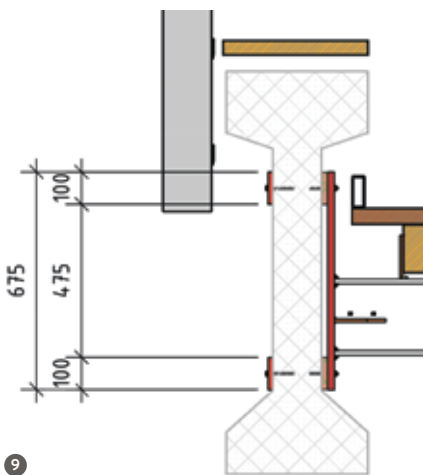
In hoofdlijnen bestaat het ontwerp voor de 'tweede leven brug' uit prefab-betonnen hoofdliggers, stalen dwarsdragers tussen deze liggers en daaroverheen een dekconstructie van hout (dekliggers en dekplanken), en een houten leuning (fig. 6 en 7). De betonnen liggers zijn via oplegblokken (met stalen schoen, fig. 8) opgelegd op een stalen onderslagbalk die rust op stalen buispalen. Ten behoeve van horizontale stabiliteit bevindt zich een stalen windverband tussen de dwarsdragers.

De betonnen hoofdliggers komen zoals gezegd uit een oude voetgangersbrug over de A27. De stalen dwarsdragers komen uit een oude gevelsteunconstructie. De houten dekliggers en dekplanken worden gezaagd uit hout met een tweede leven (hardhouten spoorbielzen en damwanden). Voor het staalwerk in de onderbouw zijn tweedehands buizen ingekocht (open buispalen). Voor het staalwerk op de buizen is gekozen voor nieuw staal in verband met de benodigde plaatgrootte en de hoeveelheid laswerk die het aan elkaar lassen van profielen zou zijn. De leuning is gezaagd uit oude spoorbielzen.

De maten van de beschikbare 'tweede leven elementen' waren bepalend voor het ontwerp. Zo zijn de overspanningen bepaald door de lengte van de betonnen liggers



8



9

en de breedte van het dek is mede bepaald door de draagkracht van de liggers. In het ontwerp is gekozen voor twee velden van circa 28 m en één veld van 25 m (fig. 5). De breedte van het brugdek tussen de liggers is dus mede door de eis van scheurvorming en gelijkwaardige belasting (capaciteit van de liggers) vastgesteld op circa 4,5 m.

De randvoorwaarden worden niet alleen gevormd door de opneembare krachten in de verschillende onderdelen maar ook door de geometrie (passing). De vorm van de betonnen liggers is ingepast tussen de steunpunten. De liggers waren (boven de A27) deels onderdeel van een hellingbaan waardoor een deel van de liggers afgeschuinde koppen hebben.

De stalen dwarsdragers zijn bevestigd aan het (dunne) lijf van de betonnen liggers (I-profiel). Deze verbinding is verend ontworpen om het moment dat in het lijf van de betonnen liggers ontstaat, tot een minimum te beperken. De hoogte en dus de hefboomsarm van de verbinding worden beperkt. Vanwege de beperkte dikte van het lijf was het ook van

belang om de ponskrachten in het lijf laag te houden. Dit leidde juist tot een grotere benodigde hefboomsarm. Uiteindelijk is er gekozen voor een verende oplossing waar beste van beiden is gecombineerd (fig. 9).

## Hergebruik betonnen liggers

Voor de 'tweede leven brug' waren vooraf twee typen liggers beschikbaar van twee verschillende bruggen:

### 1 Voetgangersbrug Panamapad over de Amerikaweg te Zoetermeer

Tekeningen beschikbaar, maar geen wapeningstekeningen en voorspantekening van de liggers. En ook geen berekening van de liggers bekend. Dus sterkte onbekend.

### 2 Voetgangersbrug Bolgarijnsekade te Lexmond over de A27

Berekeningen beschikbaar, wapening en voorspanning bekend, en daarmee is de sterkte van het viaduct te verifiëren. Ook herberekening beschikbaar en inspectierapporten.

Kosten en mogelijkheden voor een onderzoek speelden een belangrijke rol bij de keuze voor de liggers. Voor de liggers van voetgangersbrug Panamapad (1) moest de voorspanning en wapening worden blootgehakt; een onderzoek met wapeningsradar alleen was niet voldoende. De kosten hiervoor zouden erg hoog oplopen. Daarom is de keuze gevallen op de liggers van de Bolgarijnsekade (2).

De hergebruikte liggers zijn onderzocht op chloride-indringing en de zuurtegraad van het beton werd gemeten om carbonatatie vast te stellen. Op basis daarvan werd een inschatting van de levensduur gemaakt. Er bleek nauwelijks carbonatatie meetbaar en zelfs helemaal geen indringing van chloriden. De dekking op wapening was voldoende dicht en in de toekomst is geen verdere carbonatatie te verwachten doordat in de loop van de tijd de betonhuid steeds dichter is geworden. Door doorgaande hydratatie is aantasting door dooizouten ook niet meer te verwachten.

## Constructieve beoordeling betonnen liggers

Het gewicht van het houten brugdek is aanmerkelijk lager dan het oorspronkelijke →

8 Stalen dwarsdrager t.p.v. tussensteunpunt

9 'Verende' verbindingen stalen dwarsdrager en betonnen liggers

# De maten van de beschikbare elementen waren bepalend voor het ontwerp

## REGELGEVING

Voor hergebruik van bestaande liggers is de NEN-8700-serie niet van toepassing maar moet de Eurocode worden toegepast. Meer regelgeving over hergebruik is echter wel gewenst. Van bestaande materialen is in sommige gevallen de sterkte immers beter bekend dan in gevallen van nieuwbouw. Zo is het mogelijk om de carbonatactie van een bestaande prefab-betonligger te meten en dat kan niet van een nieuw te bouwen ligger.

Andere aspecten van hergebruikt materiaal zijn vaak juist minder bekend dan bij nieuwbouw. Zo is bij veel hergebruikte liggers geen informatie over de toegepaste wapening en voorspanning. En daarmee is het vaststellen van de sterkte van een ligger niet mogelijk zonder een uitgebreid onderzoek. Om een voorschrift op te stellen over hoe om te gaan met hergebruik is een Stufib-studiecel in het leven geroepen om praktijkvoorbeelden te onderzoeken, genaamd 'Versterking bestaande betonconstructies'.

brugdek van beton. Wel is de brug breder dan de geamoveerde variant. Als gevolg hiervan blijft de belasting op de hergebruikte prefab liggers min of meer gelijk.

De liggers zijn gecontroleerd aan de hand van de Eurocode. Er is geen gebruikgemaakt van de NEN 8700-serie voor bestaande bouw. Deze serie is immers alleen bedoeld voor bestaande constructies die moeten worden herbeoordeeld op veiligheid of bestaande constructies die worden verbouwd.

Gelukkig kon uit de controleberekening worden geconcludeerd dat de liggers grotendeels voldoen aan de Eurocode:

- controle scheurvorming: voldoet;
- controle bezwijkmoment: voldoet;
- controle dwarskracht: voldoet;
- controle torsie: voldoet (met de juiste verbinding).

Op één punt voldeed het ontwerp niet, te weten de trekbandwapening bij het ligger-einde. Zonder versterking op dit punt kan schade ontstaan (afboeren). Door toepassing van een stalen schoen onder de liggers is het gebrek aan trekbandwapening ondervangen (fig. 10). De schoen is opgebouwd uit tranenplaat en wordt met behulp van een epoxy-pasta op het opgeruwde liggereinde bevestigd. De verbinding tussen stalen schoen en beton staat altijd onder druk en 'haakt' dus altijd goed in elkaar.

Tevens is de stalen schoen een mooi bevestigingspunt om het te licht belaste oplegblok (schuiven) te fixeren.

Aandachtspunt was de krachtsinleiding van de dwarsdragers in het 'dunne' betonnen liggerlijf. Deze zorgt voor lokale buiging en eventueel pons (zie onder het kopje 'Ontwerp'). Ook is globale torsie/dwarskracht en lokale buiging/pons gesuperponeerd en is er getoetst op scheurvorming.

### Hergebruik stalen dwarsliggers

In het VO werd uitgegaan van buisprofielen voor de stalen dwarsliggers. Van deze profielen was echter geen betrouwbaar materiaalcertificaat beschikbaar. Er is tijdens het opstellen van het DO gekozen voor bestaande HEB240-profielen, waarvoor wel een certifi-

caat beschikbaar was en waarbij de materiaalkwaliteit dus goed was te herleiden was. De keuze voor dit profiel gaf ook meer ruimte in de unitychecks van de betonnen liggers op lokaal niveau (beugels) vanwege de grotere buigstijfheid van dit profiel ten opzichte van het eerder gekozen buisprofiel en dus het terugbrengen van het moment op het lijf van de betonnen liggers

Door middel van corrosietoeslag wordt de levensduur voor de stalen dwarsliggers gehaald. Voor het bepalen van de corrosie is gebruikgemaakt van tabel C4 uit de ISO 9224.

### Hergebruik stalen buizen

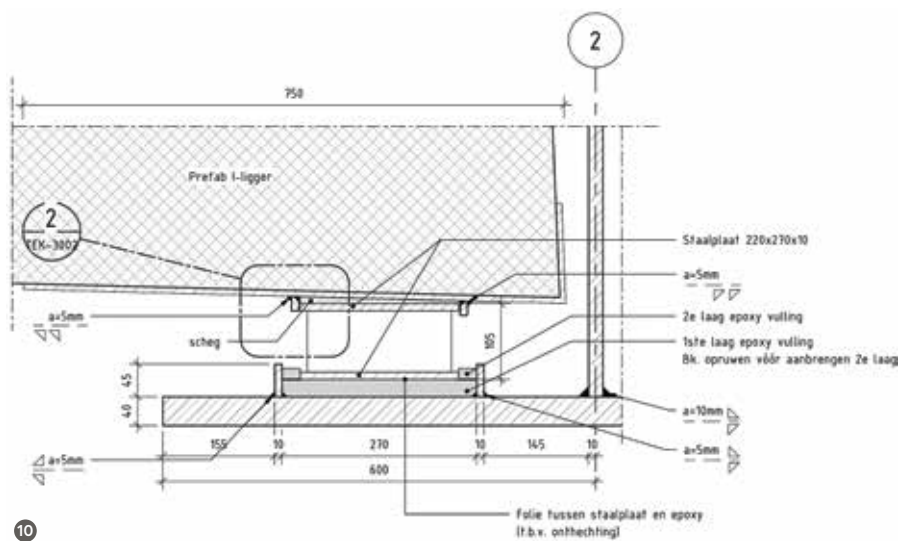
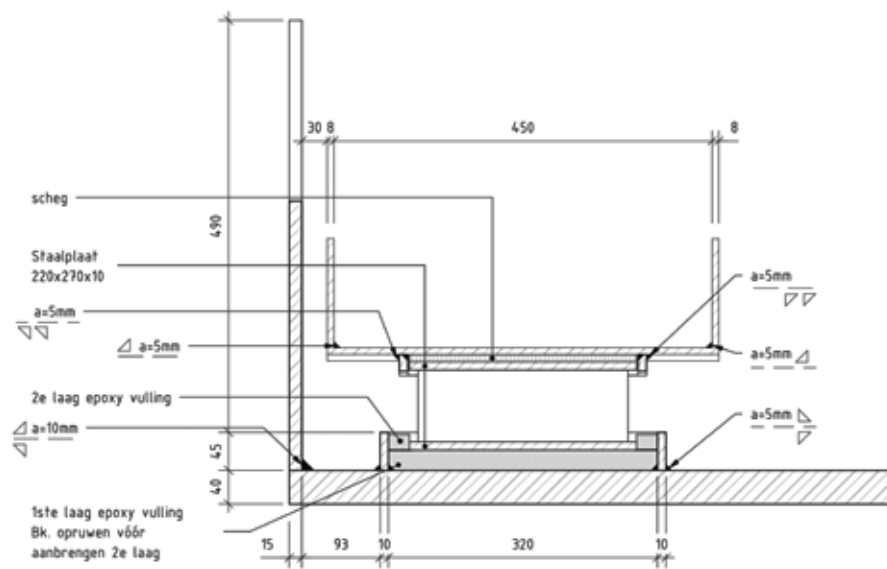
Voor de stalen buizen voor de onderbouw ( $\emptyset 914 \times 16$ ) is een materiaalproef uitgevoerd. Door middel van corrosietoeslag wordt de levensduur voor de stalen buizen gehaald. Voor het bepalen van de corrosie is gebruikgemaakt van tabel C4 uit ISO 9224. Deze geeft waarden voor de afroesting van constructiestaal in een omgeving met dooizouten. De aangehouden waarde voor de afroesting is vastgesteld op 1,1 mm per zijde.

Voor het staalwerk op de stalen buizen is wel gekozen voor een nieuw staal. Het opbouwen van deze steunpunten uit beschikbare profielen is wel overwogen, maar het lassen zou te intensief worden en leiden tot te veel energieverstopping.

### Hergebruik houten dekliggers en dekplanken

De dekliggers en dekplanken van de 'tweede leven brug' zijn opgebouwd uit hergebruikt hardhout. Dit gebeurt door het op maat zagen en schaven van oude spoorbielzen en damwanden. De combinatie tussen de betonnen liggers en een licht (houten) dek zorgt voor een lage oplegdruk op de blokken. De afmetingen van de blokken zijn 250 bij 300 mm en hebben een dikte van ca. 85 mm. Het voorkomen van schuiven/glijden is echter wel noodzakelijk. Dit is veiliggesteld door een epoxy scheguitvulling welke is ingelegd in een metalen lijst, waarmee ook aan het blok vast een ge vulcaniseerde stalen plaat is gefixeerd. Dit principe is tevens aan de onderzijde toegepast, echter met een epoxy uitvulling om de toleranties te kunnen opvangen.

*Uit de controle-berekening bleek dat de liggers grotendeels voldoen aan de Eurocode*



## Leermomenten

Het project heeft tot nu toe een aantal leermomenten opgeleverd:

- Het proces van ontwerp en inkoop is bij 'tweede leven projecten' omgedraaid: eerst geschikt materiaal vinden en vastleggen, dan pas ontwerpen. Hier is een intensieve samenwerking nodig tussen opdrachtgever, opdrachtnemer en ontwerp.
- Intensieve samenwerking met uitvoering van VO t/m UO-fase is belangrijk.
- Blijf de totale krachtswerking in beschouwing nemen bij toepassing van een ander onderdeel (interactie).
- Betonnen onderdelen moeten in redelijke conditie zijn: geen corrosieschade of hoog-

stens lokaal. Dit wijst op een dichte dekingszone, wat betekent dat de onderdelen nogmaals 50 jaar mee kunnen, na inmeting van chloride- en carbonatie-indringing.

- Pas liever geen materialen toe zonder certificaten.
- Eventuele ontwerpdocumenten van de te hergebruiken onderdelen vergroten de aantoonbaarheid van de geschiktheid van dit onderdeel.

De 'tweede leven brug' is te bekijken tijdens de Floriade. De wereldduinbouwtentoonstelling wordt vanaf 14 april t/m 9 oktober 2022 gehouden in Almere. ●