



# Tweaken naar een optimum

**Nadat ProRail en Arcadis het hoofdontwerp hebben vastgesteld, wordt een bandbreedte aangehouden: hoewel de vormgeving aan de ene kant is vastgelegd, wordt aan andere kant nog net voldoende vrijheid ingebouwd om een brede inbreng van de kennis van de aannemer mogelijk te maken. Dit leidt tot een reeks optimalisaties, maar vereist wel samenwerking en open vizier.**

**Van de redactie, met dank aan ir. J. Eulderink, Dipl-Ing. P. Rickes, ir. L. van der Steen en ing. F. Lingsma.**

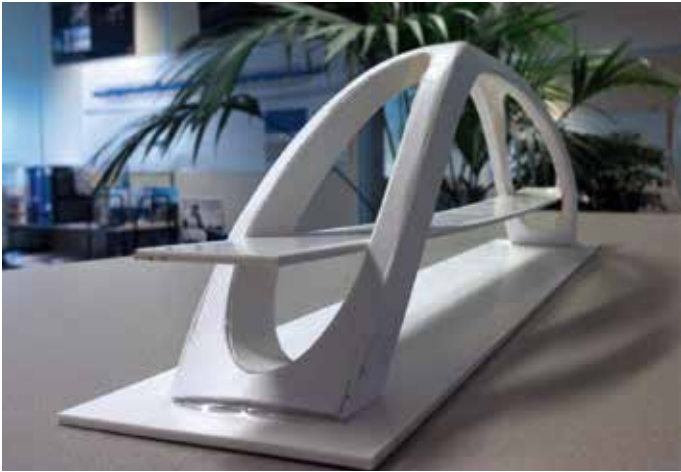
Jeroen Eulderink is architect bij Arcadis in Amersfoort. Phil Rickes is hoofd technische werkvoorbereiding, Luke van der Steen projectleider en Fedde Lingsma werkvoorbereider, allen bij Max Bögl in Amsterdam.

Insteek van het referentieontwerp en contract vanuit opdrachtgever ProRail en initiatiefnemer Provincie Groningen betreffen op hoofdlijnen de ruimtelijke inpassing, technische functionaliteit en lage *Life Cycle Costs*. Ook wordt in de vastgelegde vormgeving beperkte ontwerpvrijheid geboden voor de aannemer. Doel is om samenwerking te entameren en gebruik te maken van de kennis van de aannemer

binnen de door architect vastgestelde kaders. De architect wenst een brug die zo zuiver mogelijk oversteekt. 'Een boog met een plank in het midden', aldus Jeroen Eulderink, die de detaillering zo minimalistisch mogelijk wil houden. Hij baseert zijn ontwerp op een oud idee voor een nooit gebouwde fietsbrug waarin hij een halve cirkel laat snijden met een ovaal. Voor de twee vormen neemt hij de

lengtedoorsnede van een klassieke boogbrug en de dwarsdoorsnede die is gebaseerd op de breedte van de trein; samen met de overspanning volgt daaruit vanzelf de hoogte, als natuurlijke overmaat. De slanke dwarsdoorsnede is dankzij het enkelspoor. Daar profiteren de verhoudingen van.

Een eerste schaalmodel wordt gemaakt met het programma Pepakura, dat een 3D-model omzet in om te vouwen 2D-patronen (of bouwplaat), en dient er in eerste instantie toe om te komen tot een logische vorm. De architect neemt een onderzoekende ontwerphouding aan: 'Het lijkt mij nog steeds logisch dat wanneer een vorm in de doorsnede heel stabiel is, en de dwarsverbanden ook, dat het misschien wel meer constructief stabiel is dan we beseffen. Zonder dat bijvoorbeeld een inklemming nodig is.'



Maquette uit 2015: een boog met een plank in het midden.



Laatste check met de architect (midden) voordat de trein er overheen mag.



December 2017. Inspectiewagen is geplaatst.



De brug vlak voor oplevering in maart 2018.

Ruimtelijke inpassing en een technisch efficiënte vormgeving (vorm versus sterkte) zijn vooraleer het domein waar de architect zijn kennis en meerwaarde meebrengt; hij borgt vormgeving en inpassing met het referentieontwerp met beperkte ontwerpvrijheid. Zo stelt hij de hoofdvorm (een boog) vast, maar ook de voorziening voor de de inspectiewagen die onder de rijvloer is opgenomen, daar de vorm volgt en zich enigszins verdekt laat opstellen. 'Het karretje dat vaak het beeld verstoort', zoals de architect het uitdrukt, heeft geen eigen liggers maar hangt onderaan de brug tussen flenzen die iets doorsteken, en waarover de wieljes rijden. Het wagentje is *custom made* en kan aan beide zijden van de brug telescopisch uitschuiven en in een hoek omhoog komen. Voor daadwerkelijk onderhoud kan er een bordes worden opgehangen.

De kennis en meerwaarde van de aannemer moeten vooral tot uitdrukking komen in de bouwmethodes, maakbaarheid, logistiek en detaillering. Dat een luchtdichte constructie is gekozen, komt op conto van Max Bögl. Terwijl Arcadis in het referentieontwerp nog luiken en trappenstelsel in het ontwerp opneemt, om de spanblokken voor zo slank mogelijke tuien van binnenuit te kunnen inspecteren, stelt de aannemer een luchtdicht gebouwde constructie voor met massieve hangers met slanke, van buiten inspecteerbare bevestigingen.

#### Eerste processtap

De wijziging is de eerste in een reeks van optimalisaties die in twee processtappen plaatsvinden. In ontwerpessies is allereerst gekeken naar uitwerking en eventuele

optimalisaties binnen de vooraf vastgestelde kaders. De eerste optimalisaties hebben betrekking op:

- luchtdicht bouwen;
- fundaties;
- CO<sub>2</sub>-optimalisaties;
- geometrie van de boog.

#### Luchtdicht bouwen

Om ze uit het zicht te houden was eerst voorgeschreven de aansluitingen van de hangers in de boog en de langsliggers te verankeren. Hoofd technische werkvoorbereiding bij Max Bögl Phil Rickes: 'Dat betekent dat je van binnenuit moet kunnen inspecteren en is in wezen niet erg handig, voor ProRail wel te verstaan. Daarom hebben we de aansluiting van de hangers naar buiten gelegd, en de aansluitingen zo klein en slank mogelijk uitge-

detaillieerd. Hierdoor hoef je voor inspecties niet meer naar binnen en kon de constructie luchtdicht gesloten uitgevoerd worden zonder coating aan de binnenzijde. Wat veel beter is voor het onderhoud. Je hoeft dan niet elke twee jaar voor reguliere inspectie naar boven te klimmen en dat scheelt tevens voorzieningen zoals ventilatie, – en nogmaals – een coating van binnen, die je vervolgens ook weer moet onderhouden, en ga zo maar door. Inspectie van binnenuit zou dus nog grotere consequenties hebben gehad. Op dit soort schijnbaar kleine details hebben we steeds doorgeoptimaliseerd, om de onderhoudbaarheid te verbeteren maar ook om voor onszelf de bouwbaarheid te vergroten.’

Die benadering is ook gevolgd bij de opleggingen. Rickes: ‘De boog is in tegenstelling tot het referentieontwerp vastgeklemd en aangestort aan de fundatie. Het is niet gebruikelijk om een brug van deze lengte in zijn geheel integraal uit te voeren, en hiervoor zijn geavanceerde niet-lineaire EEM-berekeningen gebruikt voor de uitwerking van dit complex detail. We wilden voorkomen dat je ook hier later weer bij moet voor onderhoud van opleggingen, met alle consequenties van dien. Uiteindelijk zijn we erg blij met die oplossing, en de keuze om het simpel te maken. Waar sprake van onderhoud was, hebben we steeds geprobeerd een streepje door te zetten. Zo is de combinatie gezocht tussen vormgeving en eenvoud.’

#### Fundaties

Intensief overleg is er met de opdrachtgever geweest over de fundering met een nieuwe toepassing van hybride gewapend onderwaterbeton (inclusief staalvezel). Rickes: ‘Dit soort moderne bouwstoffen zijn nog niet geheel getackled en je hebt natuurlijk met regels te maken. De ontwerpvoorschriften van ProRail zeggen daar niks over. We hebben in een paar sessies met Diana-berekeningen en specialisten van Arcadis en ABT aangetoond dat het kon, maar het was bepaald geen dagelijks rekenwerk.’

#### Geometrie van de boog

In de zoektocht naar staaoptimalisatie stuit de aannemer al snel op het kritische punt van een driedimensionaal gevormde boogbrug



*Tijdelijke bouwkuip voor fundatie met 1.000 kuub onderwaterbeton gewapend met staalvezels en korven.*

gedefinieerd door een boogvorm in de langdoorsnede en een ellips in dwarsdoorsnede. De twee kruisen elkaar op een scherp punt, met als gevolg een sterke kromming waarin de theorie de maakbaarheid in de weg zit. De aannemer laat het punt iets laten zakken en drukt de boog enigszins in, om de aansluiting te kunnen maken, mede omdat het statisch systeem een inklemming wil. Overigens blijkt ook de maquettebouwer precies op dat punt te hebben ‘gesmokkeld’.

#### Tweede processtap

Tweede processtap is dat binnen de aangepaste kaders, opnieuw via ontwerpessies, is gekeken naar uitwerking en eventuele optimalisaties. Die hebben onder meer betrekking op:

- toepassing ballastbed;
- detaillering bovenkant boog;
- toepassing S460;
- gebruik van kristallisatiemiddel op geoptimaliseerd betondek.

#### Toepassing ballastbed

Rickes: ‘In het begin waren ingegoten spoorstaven voorzien, maar we hebben door te rekenen nog een ballastbed op de brug weten te krijgen. Dit om te voorkomen dat je na 25 jaar met veel moeite die spoorstaven moet vervangen. Het scheelt wederom on-

derhoud en indirect ook weer geluid, omdat een ballastbed geluid beter breekt dan een betonnen plaat. Maar de wijziging was voor ons meer ingegeven voor onderhoudbaarheid en maakbaarheid.’

#### Detaillering bovenkant boog

Om te voorkomen dat water aan de zijkant afstroomt en vuilwerking vanaf de top naar beneden optreedt, wordt de plaat verticaal iets doorgezet om als opstaande flens het water af te voeren, als een soort verholten goot.

#### Toepassing S460

Dat voor de brug S355 werd voorgeschreven en ‘in principe’ niet hoger, komt uit de koker van de onderhoudsafdeling. Reden: reparaties van elementaire onderdelen in hogere staalkwaliteit zijn, in geval van eventuele schades, lastiger uit te voeren. Dat hoeft echter niet te impliceren dat het nergens mag worden toegepast en hoeft de ontwerprijheid nog niet in de weg te staan, aldus Rickes. ‘Probeer je het wat meer te doorgronden en voor de specifieke toepassing af te stemmen met de onderhoudsafdeling, dan mag het misschien wel. Het ligt bijna altijd net wat genuanceerder dan die starre regels dicteren.’ Voor de hangers en de hangeraansluitingen kon daarom in combinatie met het uitvoeren

## Projectgegevens

Opdracht ProRail, Utrecht met Rijkswaterstaat Leeuwarden en Provincie Groningen • *Schetsontwerp, voorontwerp, referentieontwerp en uitvoeringsbegeleiding* Arcadis, Amersfoort • *Constructief ontwerp* ABT, Velp met SSF Ingenieure, München (D) • *Uitvoering en staalconstructie* Max Bögl, Amsterdam en Neumarkt-Sengenthal (D) met Bögl a Krysl • *Buigwerk* Otto Klostermann, Castrop-Rauxel (D) • *Transport brug* Mammoet, Schiedam • *Beton* Mebin, Groningen • *Fotografie* Jan Berends, John Verbruggen, ProRail, Max Bögl



Sluittuk (bovenkant boog) dat grotendeels is geconserveerd in de fabriek volgens een nieuwe standaard.

van de aansluitingen aan de buitenkant wel S460 toegepast worden.

### Kristallisatiemiddel op betondek

Dit aspect geldt voor de afdichting van het hybride dek op de dwarsliggers, zodat deze waterdicht is. Daar zit nu een kristallisatiemateriaal op in plaats van een coating. Als de plaat volgens de ontwerpregels dunner is dan 500 mm, dan zegt het ProRail-voorschrift dat er een epoxycoating overheen moet. Rickes: 'Daar zaten we in een spagaat. Omdat we een ballastbed namen in plaats van ingegoten spoorstaven, is die plaat iets dunner dan 500 mm geworden, en was een epoxycoating nodig geweest die meer bouwtijd vraagt. In afstemming met ProRail mochten we na aantonen van de gelijkwaardigheid toch een betonafdichtingsmiddel met kristalgroei nemen, dat veel sneller is aan te brengen. Als ProRail hiervoor niet open had gestaan, hadden wij veel tijd kunnen verliezen.'

### Conservering

Op zijn beurt was het voor de aannemer aangenaam dat het project op aspecten al was bepaald vanuit het masterplan (kleurstelling) en door opdrachtgever: conservering. Het is een van de eerste keren dat ProRail een brug volgens deze nieuwe standaard laat uitvoeren.

De brug is ontworpen op een levensduur van honderd jaar en gealumineerd – met een zink-aluminiumlaag (15% en 85%) met een dikte van 150 µm – waar overheen een vierlaags conserveringssysteem is aangebracht. Het duplexsysteem is voor 95% al in de fabriek aangebracht en later op alle lasnaden ter plaatse. De vier lagen zijn opgebouwd uit achtereenvolgens een sealer (afsluiten zink-aluminiumlaag), een primer, een eerste topklaag (in de fabriek) en tweede topklaag die voor esthetica later op de bouwplaats met roller wordt aangebracht. Zou dit gebeuren met spuiten, dan moest de brug volledig ingepakt, wat een nog veel groter karwei is.

### Content

Content met het voorstel, temeer omdat hij in de aanbesteding de knoop in het midden heeft gelaten, blijkt de vrijheid om 5% af te wijken voor de architect wonderwel uit te pakken. Met de aannemer is afgesproken dat maximaal twee keer de breedte van het been (de boog) het midden mag vormen. Bij de cruciale ontmoeting komen er geen verschillende onderdelen bij elkaar, maar spreiden de krachten zich juist organisch uit over één geheel. Ook het opgetilde dek – de boog met een plank in het midden – blijkt haalbaar. Een tevreden architect: 'Ik heb me altijd ge-

realiseerd dat het dek een zekere dikte krijgt, maar het is geen compromis geworden. Wat betreft de minimalistische detaillering: het hekwerkje of de handrail komt van de aannemer. Net als de aansluitingen van de hangers. Keurig gedaan.'

### Voorbereiding

Volgens Rickes zaten winst en inspanning met name in de intensieve voorbereiding. 'De klant had de vrijheid ingebouwd om binnen een beperkte bandbreedte op gebied van bouwbaarheid invloed te kunnen hebben. Binnen dat kleine beetje hebben wij kunnen *tweaken* om het naar een optimum te brengen. De ontwerpessies verliepen vrij soepel en goed, en waren gekenmerkt door een open, pragmatische houding van alle partijen. Nadat de globale vormgeving en de voor de vormgeving maatgevende details samen waren vastgesteld, hadden wij verder alle vrijheid voor de verdere uitwerking.'

De dialoog dient wel tijdig te beginnen.

Rickes: 'In deze contractvorm telt de beginfase, waarin je het ontwerp ontwikkelt. Op een gegeven moment heb je alles vastgelegd en zijn alle hoofdontwerpbeslissingen genomen. Daarna is het uitwerken, uitrekenen en uittekenen. In het begin leg je dus alles vast. Hoe bouw je. Welke logistiek. Alles wat je goed of beter wilt maken, gebeurt in het begin. Dat betekent dan ook in deze contractvorm dat de beginfase heel belangrijk en intensief is.'

### Samenwerking

Het is Rickes opgevallen dat in het ontwerptraject veel details anders zijn gedaan dan in eerste aanleg was voorzien, door de aspecten ter discussie te laten stellen. 'Het bleek dat we vanuit open discussies geleidelijk steeds verder kwamen. Dat is iets wat ik wel graag vaker zou willen zien. Ik denk ook dat iedereen heeft gezien dat we in een open werkmiddel, en door iets breder te kijken naar ieders kennis en meerwaarde, uiteindelijk een betere brug hebben gekregen. Daar hoort een architect bij die meebeweegt en openstaat voor het totaal en niet alleen vormgeving, maar ook een klant die durft mee te bewegen.'