



# Spanningsloos bouwen

**Voor een betere doorstroming van het trein- en scheepvaartverkeer in de Rotterdamse Haven wordt ter hoogte van Rozenburg het Theemswegtracé aangelegd. Dat bestaat uit een vier kilometer lang spoor en twee stalen boogbruggen; één boven de Rozenburgsesluis en één boven de Thomassentunnel. Hollandia Infra is verantwoordelijk voor het Uitvoeringsgereed Ontwerp (UO), de fabricage, montage en installatie van de nieuwe spoorbrug Thomassentunnel. Van productie tot oplevering worden knelpunten handig omzeild.**

**M. van den Heuvel, G. Olierook en ir. A. Jansen**  
Myke van den Heuvel is communicatie-adviseur bij Hollandia Corporate in Krimpen a/d IJssel. Guus Olierook is Project Manager en Arjan Jansen is Projectengineer. Beiden bij Hollandia Infra, eveneens in Krimpen a/d IJssel.

Het treinverkeer én de scheepvaart van en naar de Maasvlakte en Europoort neemt toe. Dit verkeer gaat bij Rozenburg over en onder de Calandbrug door. Omdat deze stalen hefbrug nu niet toegerust is voor het groeiende verkeer, komt er een nieuw spoorviaduct: het Theemswegtracé. Het Theemswegtracé, dat deel uitmaakt van de Betuweroute, bestaat uit een nieuw stuk

spoor van ongeveer 4 km in de Havenspoorlijn. Door deze omleiding gaat het treinverkeer niet langer over de Calandbrug, maar over de Rozenburgsesluis en via de Theemsweg. Treinen hoeven zo niet meer te stoppen voor de scheepvaart. Ook is het gewenst dat het nieuwe spoor stiller is dan de Calandbrug (uit 1969). Hollandia Infra, die de bouw van de brug over de Thomassentunnel voor haar rekening neemt, is een van de partners van aannemersconsortium SaVe, dat door Havenbedrijf Rotterdam gevraagd om de onderbouw uit te voeren. SaVe dat staat voor Samen Verbinden, bestaat uit bouwbedrijven BESIX, Mobilis, Dura Vermeer, Hollandia



Samenstelling brugdek.



Voorbereiden dwarsdrager voor inbouwen in brugdek.

Infra en Iemants. Het contract betreft een Engineering & Construct-opdracht voor de bouw van een verhoogd spoorviaduct en de twee stalen boogbruggen (één boven de Rozenburgsesluis en één boven de Thomassentunnel). De werkzaamheden zijn in 2018 gestart en naar verwachting eind 2020 klaar.

### Simultaan bruggen bouwen

Al in een vroeg stadium werd duidelijk dat het bouwen van de twee boogbruggen verdeeld zou worden over twee fabrikanten om gelijktijdig te kunnen produceren en daarmee tijd te winnen. De typologie van beide bruggen komt grotendeels overeen, waarbij gekeken is welke brug het beste bij Hollandia past en welke bij Iemants. De bouwmethode van de langere en slankere Thomassentunnelbrug paste beter binnen de productiefaciliteiten van Hollandia. Iemants fabriceerde de brug over de Rozenburgsesluis. De kennis is onderling gedeeld, waarbij de twee bruggenbouwers als compagnons samenwerkten voor een lager risicoprofiel.

Movares heeft de twee boogbruggen ontworpen. De brug over de Thomassentunnel is een dubbelsporige stalen verstijfde staaftoogbrug en heeft een hoofdoverspanning van 156 m en twee aanbruggen van 52,4 en 56,6 m. De h.o.h.-afstand tussen de hoofdliggers is 12 m. Om de bocht in het spoor op te vangen, loopt de afstand uit tot 13,3 m op de zuidoostelijke aanbrug. Het ontwerp heeft een relatief zware hoofdligger en een slanke boog, bewust gekozen omdat dit past binnen het omringende

landschap. De hoge hoofdligger beperkt de geluidsoverlast. Deze wordt aan de binnenzijde voorzien van geluidwerende bekleding. Het betonnen dek is schuifvast verbonden met de stalen dwarsliggers. Om gewicht te besparen bedraagt de dikte slechts 400 mm.

### Maximale prefabricage

Het samenbouwen van de bruggdelen op de voorbouwlocatie in een complex gebied was een opgave op zich. Het betreft een smalle strook die ingeklemd ligt tussen de Neckarhaven en de Thomassentunnel en bovendien omringd door bedrijven met een hoog (petrochemisch) veiligheidsregime. Ook moest rekening gehouden worden met de doorgang van het verkeer op omliggende wegen en inzet van groot materieel.

Om op de voorbouwplaats zo min mogelijk werkzaamheden te hoeven verrichten, is besloten om vooraf zo compleet mogelijk in de productiehallen te bouwen. Op de werklocatie kan het staal tot grote lengte geconserveerd worden, met een maximum van 60 m. Dat betekent dat de 269 m lange brug in vijf secties kon worden gefabriceerd. Het booggedeelte uit drie delen en de twee aanbruggen zijn apart geproduceerd. Drie van de vijf segmenten werden als combinatiesegmenten van brugdek en boog samengesteld.

Op de voorbouwlocatie zijn de delen gelast. Doordat er meer geprefabriceerd werd, zorgde dit voor minder werkzaamheden op de voorbouwplaats en minder omgevingshinder. Naast de drie combinatiesegmenten werden

ook twee aanbruggen gebouwd. Eerst werd de westelijke aanbrug gebouwd, waarna de drie combinaties van brugdek en boogsegment werden gefabriceerd. Als laatste werd de oostelijke aanbrug gebouwd. Gelijktijdig werden ook de 22 hangers voor de boogbrug vervaardigd.

De brug is inclusief de aanbruggen in totaal 269 m lang, 13,6 m breed en 28 m hoog, met een totale spanwijdte van 157 m. De staalconstructie is ontworpen voor een draagcapaciteit van 12.750 ton. De constructie zelf bestaat uit 4.100 ton staal. Daarbovenop komen 3.550 ton voor het betondek, 4.250 ton aan ballast en rails, en de maximale, variabele treinlast van 850 ton. Er is een extreem sterke en stijve staalconstructie gebouwd om dit immense gewicht te kunnen dragen en de trillingen te minimaliseren. Ter ondersteuning van het betonnen dek en voor het afdragen van de langs- en dwarskrachten zijn er 96 dwarsdragers voorzien. Vier van deze dwarsdragers zijn zwaarder uitgevoerd om de langs- en dwarskrachten via vier dookconstructies af te voeren naar de betonnen pijlers.

### Vorbewerking en tijdwinst

Staalproducent Dillinger leverde voor dit project 4.200 ton platen S355. Om het transport van de enorme staalplaten te beperken, is besloten om een groot deel van laskantvoorbewerking voor de complete hoofdligger in hun fabriek uit te voeren. De contouren van de 80, 100 en 120 mm dikke staalplaten zijn gemachineerd van laskanten voorzien.

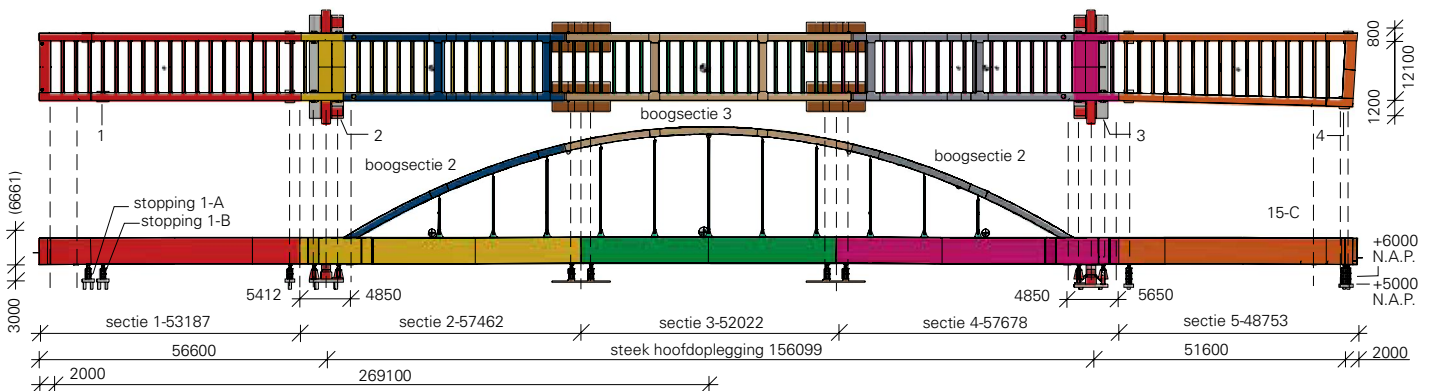


Aanbrug sectie 5 rijdt conserveerhal uit.



Sectie 3 met boogdeel gereed voor transport naar voorbouwlocatie.

1. vjzelpunten aanbrug NW (2x 800x800)
2. vjzelpunten hoofdoplegging NW (2x 1400x800)
3. vjzelpunten hoofdoplegging ZO (2x 1400x800)
4. 2x vjzelpunten aanbrug NW (2x 800x800)



Sectiedelingen zoals geprefabriceerd en samengebouwd op de voorbouwlocatie.

Staalbewerkingsbedrijf Prins heeft alle overige platen brandgesneden, zoals ook de platen voor de bogen. De plaattoleranties waren zeer klein, namelijk 1 mm. Om op 5 m hoogte de exacte positie van 120 mm platen te garanderen, moesten alle platen exact de juiste grootte en laskantvoorbewerking hebben. Alle platen zijn aan alle vier de zijden rondom machinaal bewerkt en precies op maat gesneden. Zo konden alle componenten tijdens de fabricage direct geïnstalleerd worden. Hierdoor was het niet nodig om de onderdelen nog aanvullend te bewerken. Met deze oplossing is vier weken tijd gewonnen en waren er geen intensieve transporten of lastige overdrachten nodig tussen verschillende bewerkingsbedrijven.

### Spanningsloos bouwen

Uitgangspunt van het staalontwerp was spanningsloos samenbouwen. Het verschil tussen de theoretische spanningsverdeling in de ontwerp-berekening door het eigengewicht van de brug én de gerealiseerde spanningsverdeling na de fabricage en montage, mocht maximaal 5% van de vloiegrens bedragen. Daartoe was een stappenplan benodigd om ervoor te zorgen dat er zo min mogelijk restspanningen in de brug zouden worden opgesloten. Idealiter worden de brug en boog over hun volledige lengte ondersteund, waardoor er geen vormveranderingen als gevolg van zwaartekracht kunnen plaatsvinden en wordt er geen restspanning in de constructie opgesloten. Dit is echter praktisch onmogelijk, omdat

door de gekozen ondersteuningsposities de secties (elastisch) zullen vervormen en er bij de stuiknaad tussen twee secties een uitlijningsfout ontstaat. Dit is gecorrigeerd door een van de sectie-uiteinden omhoog te duwen, waardoor de stuiknaad recht komt te liggen. Nadat de vijf secties op de voorbouwlocatie zijn geplaatst, werden deze één voor één gemanipuleerd, dat wil zeggen: in juiste positie gebracht ten opzichte van elkaar en aan elkaar gelast.

Dezelfde methodiek werd ook toegepast voor de drie boogdelen bovenop de brug, waarbij de opgave lag in de laatste stuiknaad om de boog tot een geheel te krijgen. Hiertoe zijn twee hulpconstructies ontworpen met elk een gewicht van 60 ton.



*Transport brugdek met boogdeel vanuit Krimpen aan den IJssel door Rotterdam naar Rozenburg.*

Na het sluiten van de boog werden de hangers gemonteerd. Dit werd gedaan vanaf de booggeboorten naar het midden van de boog, om zo de hangers op lengte in te kunnen brengen.

Voor elke hangerlengte is een nieuwe manipulatie nodig om de ruimte tussen de boog en de hoofdligger naar de theoretische maat te brengen.

Het was uiteraard belangrijk om deze manipulaties in de juiste volgorde uit te voeren, omdat anders de hangers niet op de juiste kracht komen te staan. Nadat alle hangers geïnstalleerd waren, konden alle hulpconstructies uit de brug verwijderd worden en kwam de brug voor het eerst op zijn acht oplegpunten te staan.

### 3D meten

Gedurende het bouwproces zijn de secties 3D ingemeten, elke sectie was net iets langer gebouwd dan nodig zodat deze na de meting exact op de theoretische maat gemaakt kon worden. Ook op de voorbouwlocatie werd de brug veelvuldig 3D ingemeten, om zo de mogelijke afwijkingen tijdens het spanningsloos bouwen tot een minimum te beperken.

Na voltooiing is er een meting uitgevoerd voor de acht gemachineerde oplegvlakken en

de vier doken (vasthoudrichting in langs- en dwarsrichting).

Met deze meting en de meting van de betonnen pijlers konden de acht schaaflaten (vulplaten tussen de opleggingen en de brug) op maat worden gemaakt. Daarbij moet worden gelet op het volgende:

- oriëntatie van de brug;
- uitlijning van het spoor;
- speling tussen doken in hoogterichting;
- verwachte doorbuiging van de brug door eigengewicht, beton en ballast voor het spoor;
- temperatuur tijdens de meting.

Nadat de brug op de pijlers werd geplaatst, bleek dat de brug en opleggingen ruim binnen de tolerantie stonden.

### Inzicht door techniek

De voorbouwlocatie was dus omringd door infrastructuur en industrie, met ook in de grond leidingen, kabels, damwanden en ankers, waardoor er goed inzicht nodig was om een fundatie aan te brengen. Om het veiligheidsrisico tot een minimum te beperken en raakvlakken en mogelijke clashes van de verschillende aannemers te verduidelijken, is een specifieke BIM-omgeving ontwikkeld, genaamd iSaVe. Deze 3D-omgeving is ge-

bruikt voor de werkvoorbereiding en gaf een goede weergave van tijdelijke constructies en kritieke opstelruimtes van materieel op de voorbouwlocatie.

Ook is gebruik gemaakt van Virtual Reality (VR). Met een 3D-computermodel kon iedereen aan den lijve ondervinden hoe de brug er uiteindelijk uit zou komen te zien. Een aantal werkplekken rondom de stuiknaden van de boogsecties waren lastig te bereiken; er is een bordes voor ontworpen. Dankzij de VR-applicatie kon vooraf gecontroleerd worden of het ontworpen bordes bij de stuiknaad voldeed aan de verwachtingen en voldoende ruimte bood voor de uit te voeren werkzaamheden.

### Transport

De drie combinatiesegmenten en de twee aanbruggen zijn op pontons in vijf losse transporten vanaf de productielocatie naar de Neckarhaven gevaren. Met name de combinatiesegmenten met een hoogte van 24 m, leverden spectaculaire plaatjes op tijdens het transport over de Nieuwe Maas door het centrum van Rotterdam waarbij diverse bruggen werden gepasseerd: de Van Brienoordbrug, de Koningsbrug (de 'Hef'), de Erasmusbrug en de Botlekbrug over de Oude Maas.

## Projectgegevens

Opdracht Port of Rotterdam • Architectuur Maarten Struijs, Utrecht • Constructief ontwerp Movares, Utrecht • Uitvoering SaVe (Besix, Dura Vermeer, Mobilis, Hollandia Infra en Iemants) • Staalconstructie Hollandia Infra, Krimpen a/d IJssel • Transport Mammoet, Schiedam • Kosten € 20 miljoen (Spoorbrug Thomassentunnel) • Fotografie Guus Olierook, Danny Cornelissen PortPictures



Brug op voorbouwlocatie en in (licht)blauw de uiteindelijke positie.



Brug op eindpositie boven de Thomassentunnel.

### Transport 1

Onderdeel: brugdek sectie 5

Aankomst in Neckarhaven: 20 augustus 2019

Gewicht staalconstructie: 495 ton (incl. 5% marge, geldt voor alle transporten)

Afmetingen staalconstructie: 49x15,2x5,5 m (LxBxH, geldt voor alle transporten)

### Transport 2

Onderdeel: brugdek sectie 4 met boogdeel 4

Aankomst in Neckarhaven: 23 augustus 2019

Gewicht staalconstructie: 1.075 ton

Afmetingen staalconstructie: 58x13,7x24 m

### Transport 3

Onderdeel: brugdek sectie 3 met boogdeel 3

Aankomst in Neckarhaven: 26 augustus 2019

Gewicht staalconstructie: 890 ton

Afmetingen staalconstructie: 59x13,7x11,5 m

### Transport 4

Onderdeel: brugdek sectie 2 met boogdeel 2

Aankomst in Neckarhaven: 7 november 2019

Gewicht staalconstructie: 1.075 ton

Afmetingen staalconstructie: 58x13,7x24 m

### Transport 5

Onderdeel: brugdek sectie 1

Aankomst in Neckarhaven: 9 november 2019

Gewicht staalconstructie: 535 ton

Afmetingen staalconstructie: 54x13,7x5,5 m (LxBxH)

## Inrijdoperatie

Voor de inrijdoperatie is civiel- en geotechnische onderzoek uitgevoerd om de beste locatie te bepalen om over de tunnel te rijden. De 4.100 ton zware brug moest met zwaar materieel naar de eindlocatie gereden worden, over de A15 heen en bovenop de pijlers geplaatst worden. Vooraf is daarom uitgebreid onderzocht of de ondergrond en tunnel die belasting aan konden.

Eerst zou de brug gedeeltelijk ingedraaid worden boven de overslagterminal van Vopak, maar om risico's uit te sluiten vanwege een kleine mogelijkheid van vallende onderdelen tijdens het inrijden op de in operatie zijnde petrochemie-overslag, is daar een alternatief voor bedacht.

De tunnel bestaat uit verschillende betonmotten met daartussen voegen. Om de belasting op de tunnel nauwkeurig te monitoren is met een dubbel systeem gewerkt, waarbij de voegenafwijking gemeten is. Dit is met een slangenwaterpas gedaan waarin met een vloeistof (Liquid Level Systeem) nauwkeurig gemeten kon worden wat de vervorming van de tunnel is bij die voegen.

Daarnaast is een handmatig systeem toegepast, door op de voegen meetstrips te plakken voor eventuele verschuiving, omdat al bij een vervorming van 15 mm schade aan de tunnel kan optreden. Samen met Rijkswaterstaat is een stoplichtmodel ingesteld: groen betekende minder dan 5 mm vervorming, oranje minder dan 10. Boven de 10 zou het

rood worden en betekende dat de inrijdoperatie afgebroken had moeten worden. Er was vooraf rekening gehouden met een maximale vervorming van 8 mm, maar uiteindelijk is slechts 1 mm vervorming van de tunnel opgetreden. De brug over de Thomassentunnel is tijdens een afsluiting van de A15 en N15 in het weekend van 30 en 31 mei door Mammoet op zijn plek gereden. De brug is in drie fases ingereden. De eerste fase was het vijzelen zodat de SPMT's onder de brug konden rijden. Dit nam zes uur in beslag. In fase 2 is de brug overgezet op de SPMT's en in twee uur tijd naar de locatie vóór de tunnel gereden. In de laatste fase is de brug met een extra groep SPMT's in negen uur tijd op zijn definitieve plek gereden.

## Testfase

De brug Thomassentunnel is op 31 mei geplaatst. Het betonnen dek is eind augustus 2020 gestort. Eind 2020 zal de gehele onderbouw van het Theemswegtracé gereed zijn, waarna het spoorse deel, de bovenbouw, begin 2021 kan starten. Na de testfase moet het treinverkeer eind 2021 over het Theemswegtracé plaatsvinden. Na oplevering komt het beheer volledig in handen van ProRail. Met het gehele Theemswegtracé gaat een investeringsbedrag gepaard van ± € 300 miljoen. •