

# 1 / DE NIEUWE BOTLEKBRUG

IN DE EERSTE AFLEVERING VAN BRUGGEN VAN DIT JAAR IS AL STILGESTAAN BIJ DE BOUW VAN FUNDERING EN PIJLERS VAN DEZE GROOTSTE HEFBRUG VAN EUROPA. IN DIT NUMMER WORDEN NADERE DETAILS VAN HET ONTWERP EN DE UITVOERING VAN HET STALEN VAL EN HET BEWEGINGSMECHANISME BESCHREVEN.

**Auteurs / Patrick van Os** (Ontwerpmanager, A-lanes A15)  
**en Marc Verbeek** (Ontwerpleider bewegingswerk, Railinfra Solutions)

**D**e A15, de belangrijke verkeersader in het Rotterdamse haven- en industriegebied, ondergaat een grote verandering met als doel minder files en een betere doorstroming. Mede door de aanleg van de tweede Maasvlakte zal het verkeersaanbod op de A15 toenemen waardoor capaciteitsvergroting van de A15 gevraagd is. Het project omvat het verbreden van de A15 tussen Maasvlakte en Vaanplein, de bouw van een nieuwe Botlekbrug en het onderhoud van dit wegdeel tot 2035. Eén van de grootste uitdagingen van het project is de bouw van een nieuwe Botlekbrug die direct naast de huidige Botlekbrug gebouwd wordt (zie afb. 1).

De nieuwe Botlekbrug wordt aanzienlijk groter dan de huidige (zie afb. 1). De huidige brug heeft één hefdeel



1 Botlekbrug in aanbouw; één contragewicht in uitvoering tussen de linker pijlers

De A15, de belangrijke verkeersader in het Rotterdamse haven- en industriegebied, ondergaat een grote verandering met als doel minder files en een betere doorstroming.



met een doorvaartbreedte van 55 meter, de nieuwe brug krijgt twee hefdelen met elk een doorvaartbreedte van 87 meter. Hierdoor kan het scheepvaartverkeer van beide kanten tegelijk onder de brug door varen. De doorvaarthoogte in gesloten stand van de nieuwe brug

is 14 meter, 6 meter hoger dan de huidige brug, waardoor de nieuwe brug minder vaak open hoeft. De hefhoogte van de nieuwe brug is 31 meter, de doorvaarthoogte in geopende stand wordt hiermee 45 meter, dit is vergelijkbaar met de huidige brug.



### 3 Stalen brugdekken in aanbouw

De nieuwe Botlekbrug bestaat uit twee identieke beweegbare brugdelen, een middenpijler, twee buitenpijlers en aanbruggen aan beide zijden. Elk beweegbaar brugdeel is circa 90 meter lang, 45 meter breed en heeft een massa van 5000 ton. Hiermee is de nieuwe Botlekbrug zonder meer een brug van wereldformaat en is straks de grootste hefbrug van Europa. Projectuitvoerder is A-Lanes A15, een bouwconsortium gevormd door Ballast Nedam, John Laing, Strabag en Strukton, die in opdracht van Rijkswaterstaat de

nieuwe Botlekbrug realiseert. Het Definitief Ontwerp van het bewegingswerk van de Botlekbrug is gemaakt door Railinfra Solutions in opdracht van A-Lanes A15. Het integrale ontwerp van de Botlekbrug is in handen van A-lanes A15.

#### **ALGEMENE OPZET NIEUWE BOTLEKBRUG**

De nieuwe Botlekbrug voorziet in 2x2 rijstroken inclusief vluchtstroken voor de parallelstructuur van de A15. Daarnaast wordt een spoorlijn aangelegd en is er voor-

## De nieuwe Botlekbrug voorziet in 2x2 rijstroken inclusief vluchtstroken voor de parallelstructuur van de A15



**2 Stalen eindstuk contragewicht met trekstangen**

zien in de mogelijkheid tot uitbreiding met een tweede spoorlijn. Ten slotte bevindt zich op de brug een enkele rijstrook voor het lokale, langzame verkeer, een fietspad en een voetpad.

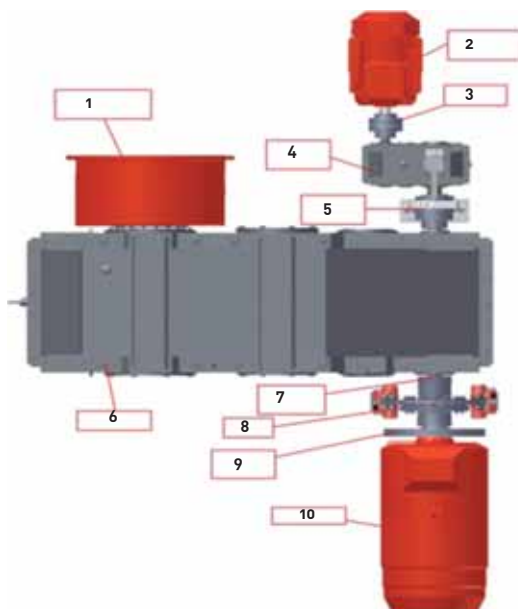
De twee beweegbare brugdelen zijn opgelegd op drie pijlers. Op de buitenste pijlers staan twee heftorens en op de middelste pijler staan twee dubbele heftorens. De heftorens zijn onderling niet gekoppeld. Het contragewicht beweegt tussen twee heftorens en wordt geleid in de heftorens. Het contragewicht wordt gemaakt van voorgespannen beton met uiteinden van staal om de bevestiging van balans- en aandrijfkabels en geleidewielen beter mogelijk te maken (zie afb. 2). Het beweegbare brugdeel heeft drie grote vakwerkliggers met kokerprofielen in lengterichting van de brug (zie afb. 3). Aan beide uiteinden van de brug bevindt zich een einddwarsdrager, een kokerligger met een hoogte van 6 meter. De onderlinge afstand tussen de vakwerkliggers is niet gelijk, in het ene veld bevindt zich het bruggedeelte voor het wegverkeer en in het andere veld het bruggedeelte voor het railverkeer.

Het bewegingswerk en de overige technische installaties zijn in de pijlers opgenomen. Op elke hoek van de brug staat een aandrijflijn die aangestuurd wordt door een eigen frequentieomvormer (zie afb. 4). Ook de transformatoren voor de energievoorziening staan in de pijlers opgesteld. De noodstroomaggregaten staan in een gebouw aan de Oostkant van de brug, onder één van de aanbruggen.

#### 4 Bovenaanzicht aandrijflijn

##### Legenda

- 1 lage snelheidskoppelingsnaaf
- 2 noodmotor
- 3 koppeling
- 4 noodversnellingsbak
- 5 schakelbare koppeling
- 6 hoofdkoppeling
- 7 remkoppeling
- 8 rem
- 9 vliegwiel
- 10 hoofdmotor



#### UITBALANCERING

Het beweegbare brugdek wordt uitgebalanceerd door de twee contragewichten. De contragewichten zijn met balanskabels, die over kabelwielen lopen (zie afb. 5) die boven op de heftorens staan, verbonden met de bovenzijde van het brugdek. De kabelwielen hebben

een nominale diameter van 3600 mm waarbij elk wiel is voorzien van twee kabelgroeven voor de twee balanskabels.

Per hoek van de brug worden 16 balanskabels met een diameter van 90 mm aangebracht. Deze kabels hebben een massa van circa 38 kg per m<sup>1</sup>. Het gewicht van een kabelset op een hoek van de brug is dus hoog. De brug is in de half open positie uitgebalanceerd. Dit betekent dat de brug verder open wil indien de brug zich in een hogere positie bevindt vanwege de onbalans door de kabels. In een lagere positie heeft de brug de neiging om verder dicht te gaan waarmee dit overgewicht ook bijdraagt, zij het in geringe mate, aan de vaste ligging van de brug.

In eerste instantie wordt één spoor op de brug aangelegd. Op de brug is echter de ruimte om op termijn een tweede spoor aan te leggen. Deze toevoegingen betekenen dat het gewicht van het brugdek vergroot wordt. Uitgangspunt blijft dat het brugdek in de half open positie uitgebalanceerd wordt. Elke gewichtstoename van het brugdek wordt dan ook gecompenseerd in beide contragewichten. Daarnaast geldt dat het spoor aan de noordelijke zijde van de brug ligt. Op de noordelijke hoeken van de contragewichten wordt dan ook meer massa toegevoegd dan aan de zuidelijke hoeken. Het toevoegen van massa gebeurt door in het contragewicht stalen platen te plaatsen. Aan het contragewicht bevinden zich kleinere stalen platen die als regelballast gebruikt worden voor het definitief uitbalanceren van de brugdekken. De platen hangen aan het deel van het contragewicht dat zich in de heftoren bevindt en zijn dus niet zichtbaar vanuit de omgeving.



5 Kabelwielen – Ø 3600 mm

## BEWEGINGSWERK

Aan de onderzijde van het brugdek en aan de onderzijde van de contragewichten zijn aandrieffkabels verbonden. Deze trekken om de brug te openen het contragewicht naar beneden en trekken bij sluiten het brugdek naar beneden. Voor de aandrijving van de kabels is in elke hoek van de brug een elektromechanische aandrijflijn (zie afb. 4) geïnstalleerd. De opzet van de aandrijflijnen is conventioneel, een elektromotor, koppeling met rem, tandwielkast en een buiskoppeling op de uitgaande as naar de kabeltrommels. Tevens zijn de tandwielkasten voorzien van een noodmotor die met een schakelbare koppeling automatisch in te schakelen is. Elke aandrijflijn wordt aangestuurd door een eigen frequentieomvormer. Om een hoge betrouwbaarheid van de brug te garanderen staat in elke pijler een reserve frequentieomvormer stand-by.

In elke aandrijflijn zijn acht kabeltrommels (zie afb. 6) opgenomen. Over vier kabeltrommels lopen de aandrieffkabels die rechtstreeks verbonden zijn met het brugdek. Over de vier andere kabeltrommels lopen de aandrieffkabels die via een omloopschijf verbonden zijn met het contragewicht. De aandrieffkabels hebben een diameter van 50 mm. In de aandrieffkabels kan kabelrek optreden, onder andere veroorzaakt door de aandrijfbelasting op de kabels en door temperatuursverandering. Hierom dienen de aandrieffkabels voorgespannen te worden. Hiertoe is elke kabel met een hydraulische cilinder bevestigd aan het brugdek (of contragewicht). Deze hydraulische cilinders zijn onderling gekoppeld om een gelijke krachtsverdeling tussen de aandrieffkabels te waarborgen. De voorspanning zorgt er tevens



6 Kabeltrommel

In eerste instantie wordt één spoor op de brug aangelegd. Op de brug is echter de ruimte om op termijn een tweede spoor aan te leggen.



De betonnen pijlers met één contragewicht in aanbouw

voor dat de kabels niet loskomen van de kabeltrommel of de omloopschijf in geval van een noodstop.

De balanskabels eindigen aan beide zijden in een kabelsocket. Aan het brugdek is deze kabelsocket met een pen door een oogplaat bevestigd aan de einddwarsdrager. Aan de zijde van het contragewicht wordt de kabelsocket verbonden met een trekstang. De trekstangen steken door het contragewicht heen en worden aan de onderzijde vastgezet met een borgmoer. Tevens wordt daar een holle vijzel geplaatst tussen onderzijde contragewicht en deze borgmoer. Hiermee kunnen de balanskabels tijdens en eventueel na installatie nagespannen worden om een gelijke krachtsverdeling tussen de balanskabels te bewerkstelligen.

#### **GELEIDINGEN**

Het brugdek wordt aan de twee heftorens aan de noordelijke zijde geleid middels geleidewielen die over een, aan de heftorens bevestigde, verticale rail lopen. Het brugdek wordt aan de ene hoek in lengte- en breedterichting geleid, aan de andere hoek enkel in de breedterichting. Aan de beide zuidelijke heftorens is geen geleiding voorzien. Lengteveranderingen van het stalen brugdek, veroorzaakt door temperatuurveranderingen, kunnen zo 'ongehinderd' plaatsvinden. De geleiding gebeurt door twee geleidewielen over een tussengelegen railprofiel te laten lopen. De speling van de wielen op de geleiding wordt vanaf de onderste drie meter van de geleiding groter, dit omdat de geleiding vanaf daar overgenomen wordt door de centreerpen.

Deze centreerpen is bevestigd aan de onderzijde van de brug tussen de beide sporen en dient om de speling bij de spoorovergang beperkt te houden wanneer de brug in gesloten positie is.

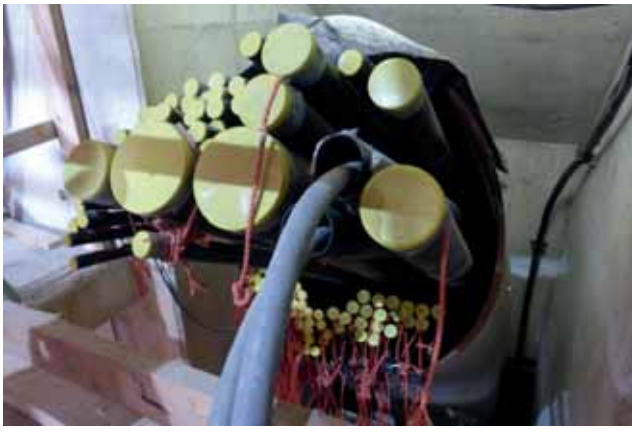
#### **BEDIENING**

De bediening van beide bruggen vindt plaats vanuit de verkeerscentrale te Rhooon. De meest zuidoostelijke pijler is aan de buitenzijde voorzien van een bedieningsruimte waaruit volledige lokale bediening mogelijk is. Hiervan kan gebruik worden gemaakt, mocht bediening vanuit de verkeerscentrale onverhoopt niet mogelijk zijn.

#### **BESTURING**

Omdat de betrouwbaarheid van de brug zeer hoog moet zijn, is ervoor gekozen de besturing van de brug zoveel mogelijk redundant (dubbel) uit te voeren. Dit houdt in dat er voor elk brugdek een hoofdbedrijf is evenals een noodbedrijf. Het noodbedrijf maakt gebruik van een gescheiden systeem met eigen sensoren, besturing (de 'motion controllers'), regelaars en eigen elektromotoren.

De bovenliggende besturing van al deze redundante componenten wordt voor elk brugdek uitgevoerd met behulp van twee gekoppelde PLC's, die in geval van storing elkaar onmiddellijk kunnen overnemen (zgn. 'hot-standby'). Door bovengenoemd besturingsontwerp is er bij storingen altijd een terugvalmogelijkheid. Hierdoor wordt de brug betrouwbaar en worden langdurige storingen zoveel mogelijk voorkomen.



7 Binnenkomst zinker met kabels in pijler

### SENSOREN

Om op elk moment het brugdek veilig te kunnen besturen, zijn sensoren aanwezig. Opmerkelijk is dat het niet mogelijk bleek om het horizontaal lopen van het brugval te controleren met de gebruikelijke hoeksensoren (inclinometers). Vanwege de niet oneindige stijfheid van het brugdek en dynamische effecten zouden deze hoeksensoren bij een normale beweging al onterecht scheefstand detecteren. Dit is vroegtijdig voorzien en vervangen door gelijklopmetingen waarbij de dekhoogte nauwkeurig wordt gemeten op alle vier hoeken. Hiervoor zijn de bovenste kabelwiel voorzien van sensoren die de omwentelingshoek meten. Op basis van deze meetgegevens worden de vier elektromotoren continu bijgestuurd door middel van frequentieomvormers.

### ENERGIEVOORZIENING

Om de gehele Botlekbrug van voldoende energie te voorzien is een redundante energieaansluiting aanwezig van zo'n 10 megaWatt. Een groot deel van dit vermogen wordt opgenomen door de 4x 400 kW hoofdmotoren van elk brugdek. Vanwege deze grote vermogens wordt de brug aangesloten op het 23 kV-netwerk dat in het Botlekgebied voor handen is. De energiedistributie over de drie brugpijlers en twee technische ruimtes op de oevers gebeurt door middel van een 23 kV-ringnetwerk. Hiervoor is een zinker tussen de pijlers onder de rivierbodem aangebracht waardoor de energiekabel loopt (zie afb. 7). De retourleiding loopt door de naastliggende Botlektunnel. Deze ringstructuur maakt het in geval van storingen mogelijk te schakelen en voorkomt zodoende dat delen van de brug langdurig zonder spanning zitten.

Mocht de netvoeding (langdurig) uitvallen dan is de Botlekbrug voorzien van een viertal noodstroomgeneratoren (elk ruim 680 kVA) waarmee de brug in noodbedrijf kan worden bediend. De brug beweegt dan op 1/10 van de normale snelheid. Daarnaast wordt de besturing van elk brugdek gevoed vanuit twee, ook hier weer redundante, 'Uninterruptible Power Supplies' (UPS). Om energiepieken te voorkomen, worden beide brugdekken niet precies gelijktijdig bewogen. Er is een ingebouwde tussentijd van 15 seconden aanwezig.

Hierdoor hoeft de grootste vermogensvraag, veroorzaakt door het versnellen van het 5000 ton zware brugdek, niet gelijktijdig te worden geleverd.

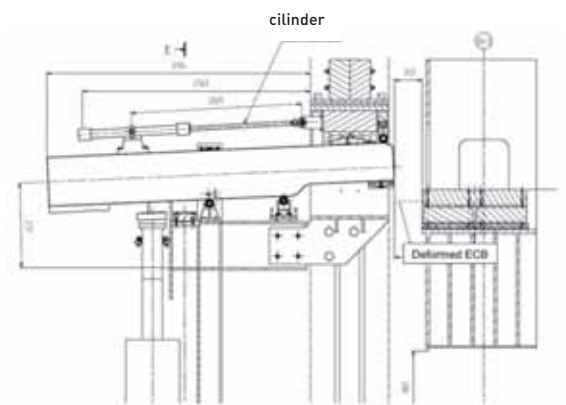
### BEWEGINGSTIJD

De benodigde tijd om te wisselen tussen beschikbaarheid voor wegverkeer en beschikbaarheid voor scheepvaartverkeer bedraagt slechts 200 seconden. Dit is snel voor een hefbrug van dit formaat. In deze periode van 200 seconden wordt achtereenvolgens het wegverkeer afgeremd, de slagbomen gesloten, het brugdek ontgrendeld en het brugdek over een afstand van 31 meter omhoog bewogen. De fysieke bewegingstijd van het brugdek bedraagt circa 110 seconden. Over de eerste meter zal het brugdek met een kruipsnelheid van 0,04 m/s bewegen. Over dit gebied komt het brugdek los van de centreerpen onder het brugdek en wordt geleidelijk overgenomen door de geleiderails aan de torens. Vervolgens accelereert het brugdek naar een maximale bewegingssnelheid van 0,44 m/s om ten slotte af te remmen nabij de bovenste positie.

### VASTE LIGGING BRUG

De einddwarsdragers van de brugdekken liggen op drie opleggingen elk, de opleggingen zijn geplaatst ter plaatse van de stalen vakwerkspanten. Als gevolg van temperatuurverschillen en/of verkeersbelasting kan vervorming optreden waardoor het mogelijk is dat niet alle drie de opleggingen van een einddwarsdrager aanliggen. Het onder alle omstandigheden verzekeren van een positieve oplegdruk (dus aanleggen op de opleggingen) is een vereiste. Daarom is ter plaatse van elke oplegging een grendelmechanisme aanwezig.

De vergrendeling (zie afb. 8) bestaat uit een stalen pen die zich in de pijler bevindt en horizontaal in de einddwarsdrager van het dek geschoven wordt nadat de brug gesloten is. Hierna wordt deze grendelpen door een hydraulische cilinder aan de achterzijde opgetild waardoor deze aangedrukt wordt op een oplegblok, dat in de einddwarsdrager zit. Zodoende wordt de einddwarsdrager op de brugopleggingen gedrukt. De verticale cilinderkracht wordt gemeten en dient als input voor het vrijgeven van de brug voor landverkeer. Daarnaast wordt de grendelpen mechanisch geblokkeerd door er een wig onder te plaatsen.



8 Grendel



9 De betonnen pijlers

Alle onderdelen van de stalen brugdekken worden geproduceerd en gecoat in de fabriek van Eiffel Deutschland Stahltechnologie in Hannover. Hier worden verschillende bouwdelen samengesteld, variërend in massa tussen 30 ton en 85 ton, waarvan het zwaarste bouwdeel de einddwarsdrager is. Deze bouwdelen, in totaal 240 stuks voor beide brugdekken samen, worden over de weg vervoerd naar de werf van Mammoet in Schiedam. Hier worden de delen gemonteerd en tot één complete brug samengesteld. Vervolgens worden de stalen brugdekken opgevoerd waarna duizendwielwagens onder de dekken gemanoeuvrerd worden. De dekken worden door de duizendwielwagens op pontons gereden en varend getransporteerd richting de Botlekbrug. Het brugdek wordt op tijdelijke opleggingen geplaatst en de balanskabels worden bevestigd aan de brug, over de kabelwielen gelegd en bevestigd aan de stalen eindgedeelten van het contragewicht. Dit wordt vervolgens omlaag getrokken en bevestigd aan het contragewicht, dat zich in de laagste stand bevindt. Op deze manier wordt het brugdek in de hoge positie gebracht zodat het geen scheepvaartstremming veroorzaakt en verder afgebouwd kan worden. De betonnen brugpijlers (zie afb. 9) zijn 'op staal' gefundeerd op een natuurlijke zandlaag die zich op circa 20 m onder NAP bevindt. Hiertoe is voor elke pijler een bouwkuip gemaakt in de rivier. De slappere grondlagen zijn verwijderd uit de bouwkuipen en vervolgens zijn de bouwkuipen volgestort met 8 m dikke gewapend onderwaterbetonlaag tot 12 m onder NAP. Hierboven is een smaller pijlerlichaam in gewapend onderwaterbeton tot 3 m onder NAP gestort. Daarover is in den droge een pijlerbalk tot 10,5 m boven NAP gestort, waarop de heftorens worden aangebracht. De torens reiken tot 64 meter boven NAP en zijn uitgevoerd met behulp van een glijbekisting. Bij deze methode wordt een bekisting gebruikt die continu langzaam omhoog wordt gevijzeld aan klimstaven die in het beton zijn ingestort en steeds omhoog verlengd worden. Aan de bovenzijde van de kist wordt wapening aangebracht en beton gestort. Onder de kist komt het verse en voldoende verharde beton tevoorschijn. Elke toren is op deze wijze binnen een tijdsbestek van twee weken gemaakt.

10 Tandwielkast

De vier contragewichten zijn op de bouwlocatie gestort. Omdat de Botlekbrug volledig uitgebalanceerd is, moet het gewicht van twee contragewichten overeenkomen met het gewicht van één stalen dek. Om de afmetingen van het contragewicht enigszins te beperken, zijn ze uitgevoerd in zwaar beton met magnetiet als toeslagmateriaal. Hierdoor is het beton anderhalf keer zo zwaar ( $3300 \text{ kg/m}^3$ ) dan normaal beton. Desalniettemin zijn de afmetingen van de contragewichten indrukwekkend te noemen, namelijk 50 m lang, 2 m breed en 8 m hoog.

In de contragewichten zijn holle kamers opgenomen die gevuld worden met staalplaten. Hiervoor is niet alleen gekozen om de contragewichten verder nauwkeuriger te kunnen verzwaren, maar ook om het zwaartepunt van het contragewicht in dwarsrichting te kunnen verschuiven. Het zwaartepunt moet namelijk overeenkomen met het zwaartepunt van het stalen dek, dat excentrisch ligt door de positie van snelweg en spoorbaan op het stalen dek.

### UITVOERING BEWEGINGSWERK

De detailengineering, productie en levering van het bewegingswerk wordt gedaan door Waagner Biro Bridge Systems uit Wenen. De meest belangrijke leveranciers zijn Raedelli (Italië) voor de stalen balans- en hijskabels, Eisenbeiss (Oostenrijk) voor de tandwielkasten (zie afb. 10) en SPIE (Nederland) voor de energievoorziening, bediening en besturingsinstallatie. De kabelwielen van de brug worden in China vervaardigd van gietstaal. Daarnaast zijn veel stalen onderdelen en in te storten delen afkomstig van diverse leveranciers uit Nederland en Duitsland.

### ONDERHOUD EN VERVANGING

De levensduur voor de nieuwe Botlekbrug is bepaald op 100 jaar, de ontwerplevensduur van de mechanische onderdelen van het bewegingswerk bedraagt 50 jaar. De technische levensduur varieert, afhankelijk van gebruiksintensiteit en onderhoudsinspanning. Er zijn dan ook voorzieningen opgenomen om tussentijdse vervanging van onderdelen van het bewegingswerk mogelijk te maken.

Nadat de brug door A-Lanes A15 in 2015 is opgeleverd, gaat deze open voor het wegverkeer. Uiteraard is de brug dan ook beweegbaar om het scheepvaartverkeer te laten passeren. ProRail zal vervolgens het spoor en de bovenleidingen op de brug bouwen.

