

**Nr. 3** Jaargang 28  
september 2020

# Bruggen



POORT VAN  
PARKSTAD

# Inhoud



## 4 DE KETELBRUG



## 8 POORT VAN PARKSTAD



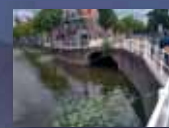
## 16 BEZWIJKEN HYDRAULISCHE CILINDER



## 19 STÖNNER-MEIJWAARDBRUG GEOPEND



## 23 DUURZAME STADSBRUGGEN IN AMERSFOORT



## 26 INNOVATIEVE OPLOSSING VOOR HERSTEL AANGETASTE STADSBRUGGEN



## 30 **BY** VERVANGING VAN BRIENENOORDBRUG



## 34 SLIMME SENSOREN GEVEN ADVIES NA AANRIJDING VAN EEN SPOORBRUG



## 35 OPZET EN RESULTATEN BRUGGENDIALOOG



## 36 HAVENBRUG OOIJEN TE WANSSUM



## 38 REMPROEF SUURHOFFBRUG

## COLOFON

De Bruggenstichting is een onafhankelijk kenniscentrum dat zich richt op het vastleggen en uitdragen van kennis over bruggen

Opgericht 10 april 1992

### REDACTIE

Jan Arends, Michel Bakker, Elisabeth van Blankenstein, Fred van Geest, Thijmen Jaspers Focks, Frans Remery, Heico de Lange en Wils van Soldt.

### BESTUUR

Jan de Boer, Bert Hesselink, Dick Schaafsma, Peter Vijn, Beate Vlaanderen en Fred Westenberg (voorzitter).

### DIRECTEUR

Harm Telder

### RAAD VAN ADVIES

Arup Nederland, DIVV Amsterdam, FiberCore, IV-Infra, Janson Bridging, Mobilis TBI Infra, Movares, ProRail, Rijkswaterstaat, Vereniging SNS Staalbouw, Ingenieursbureau Westenberg.

### BRUGGEN

Het tijdschrift BRUGGEN verschijnt vier maal per jaar. Abonnement € 39,50 per jaar. Gratis voor begunstigers van de Nederlandse Bruggenstichting. Losse nummers: € 12,50, te bestellen via NL82 INGB 0000 0589 75

### KOPIJ

Ingezonden bijdragen worden alleen in behandeling genomen als zij digitaal worden aangeleverd. Alle bijdragen dienen voorzien te zijn van naam, adres en telefoonnummer van de inzender. Inzendingen kunnen zonder opgaaf van redenen worden geweigerd.

### ADVERTENTIES

Heico de Lange (uitgever),  
heico.de.lange@rws.nl of 088 – 7970727

### REDACTIEADRES

Nederlandse Bruggenstichting, Lange Kleiweg 34,  
2288 GK Rijswijk  
Tel: 088 7970727  
e-mail: [redactie@bruggenstichting.nl](mailto:redactie@bruggenstichting.nl)  
<https://twitter.com/bruggenst>

### HOOFDREDACTEUR

Fred van Geest, Annaplaats 1, 2713 AK Zoetermeer,  
Tel: 0623 229 836. E-mail: [redactie@bruggenstichting.nl](mailto:redactie@bruggenstichting.nl)

### WEBSITE

<http://www.bruggenstichting.nl>

### GRAFISCHE VORMGEVING

Ronald Boiten en Irene Mesu, Amersfoort

### OMSLAGFOTO VOORZIJDE

Kunstobject Marijke de Goeij. Beeld: Henk Snaterse

### OMSLAGFOTO ACHTERZIJDE

Brug Oirschot West 8. Foto: Jeroen Musch

### OPLAGE

1000

ISSN 1571-4586



# VAN DE REDACTIE

FRED VAN GEEST

Er is meer inzicht in de Covid19-pandemie dan 6 maanden geleden. De oplossing blijkt helaas nog niet in zicht. Wel tekenen de contouren zich af van een samenleving die er anders uit gaat zien, met name die van een nieuwe werk- en leefomgeving. De ervaringen met het thuis werken en alle gevolgen voor de samenleving van dien, blijken ook positieve effecten te hebben en die zullen niet zo makkelijk weer worden prijs gegeven.

Nu iets anders: één van de activiteiten van de Bruggenstichting is het uitgeven van dit onafhankelijke blad. Het ideaal daarbij is dat bruggenontwerpers en bruggenbouwers periodiek reikhalzend uitzien naar een uitgave van dit blad om kennis te nemen van nieuwste ontwikkelingen op bruggengebied en van beschrijvingen van recent ontworpen en uitgevoerde bruggen. Het blad Bruggen zou eigenlijk daarin toonaangevend moeten zijn. Nu komt het nog voor dat interessante brugontwerpen eerst in materiaal gebonden bladen (Cement, Bouwen met Staal, Houtwereld) en uitgaven op het gebied van de civiele Techniek (CIVIELE TECHNIEK) gepubliceerd worden en dat BRUGGEN de primeur mist en in herhalingen dreigt te vervallen. BRUGGEN kan daarentegen de niet materiaal gebonden zaken en de uitvoering van bruggen vollediger over het voetlicht brengen en de diepgravende materiaaltechnische zaken aan de materiaal gebonden bladen over laten. Dit is oplosbaar door het creëren van een vijver van technici die middenin de bruggenpraktijk staan en hun vakkennis en ervaring willen delen. Dat hoeft maar één maal per groot project te zijn. Wilt u deel uitmaken van een poule van auteurs, werkzaam in een bruggenomgeving en wilt u een bijdrage leveren als de gelegenheid zich voordoet? Meldt u dan aan bij [redactie@bruggenstichting.nl](mailto:redactie@bruggenstichting.nl) en ik neem contact met u op.

Oplettende lezers hebben mijn fout in de vorige 'Van de Redactie' al opgemerkt: ook ik trapte in de veel voorkomende verwisseling van de 'Rijnbrug in Arnhem' en de 'Waalbrug bij Nijmegen'. De Waalbrug bij Nijmegen was natuurlijk de bedoeling. Overigens, in de verf op de Waalbrug is chroom-6 aangetroffen, waarvan verwijdering grote problemen geeft voor mens en milieu. Omdat de verf van de brug geen constructieve functie heeft, gaat de renovatie zoveel mogelijk volgens plan door en zal het schilderwerk enige jaren erna worden aangepakt.

Veel leesplezier.



Brug over De Beek, Amersfoort

## BEGUNSTIGER

Belangstellenden voor het werk van de Bruggenstichting kunnen begunstiger worden, als particulier of als bedrijf/organisatie. U ontvangt dan viermaal per jaar het tijdschrift *BRUGGEN*. Begunstigers en donateurs kunnen advies krijgen van de Bruggenstichting en ontvangen korting op onze activiteiten en boekuitgaven.

De Bruggenstichting is door de Belastingdienst erkend als ANBI, wat staat voor Algemeen Nut Beogende Instelling. De minimumbijdrage voor particulieren is € 39,50 (incl. BTW) en voor bedrijven en instellingen vanaf € 135,- per jaar (excl. btw), zzp'ers € 70,- (excl. btw). Studenten betalen € 10,- (maximaal 2 jaar). U kunt zich aanmelden door het overmaken van de bijdrage op: IBAN NL82 INGB 0000 0589 75 t.n.v. de Nederlandse Bruggenstichting te Rijswijk.

Aanmelden is ook mogelijk via de website [www.bruggenstichting.nl](http://www.bruggenstichting.nl) > begunstiger worden.





De Ketelbrug over het Ketelmeer, gezien vanaf Oostelijk Flevoland. De monding van de IJssel werd vroeger Ketel genoemd, vandaar de naam van het meer en de brug. Op de achtergrond molens van windpark Noordoostpolder.

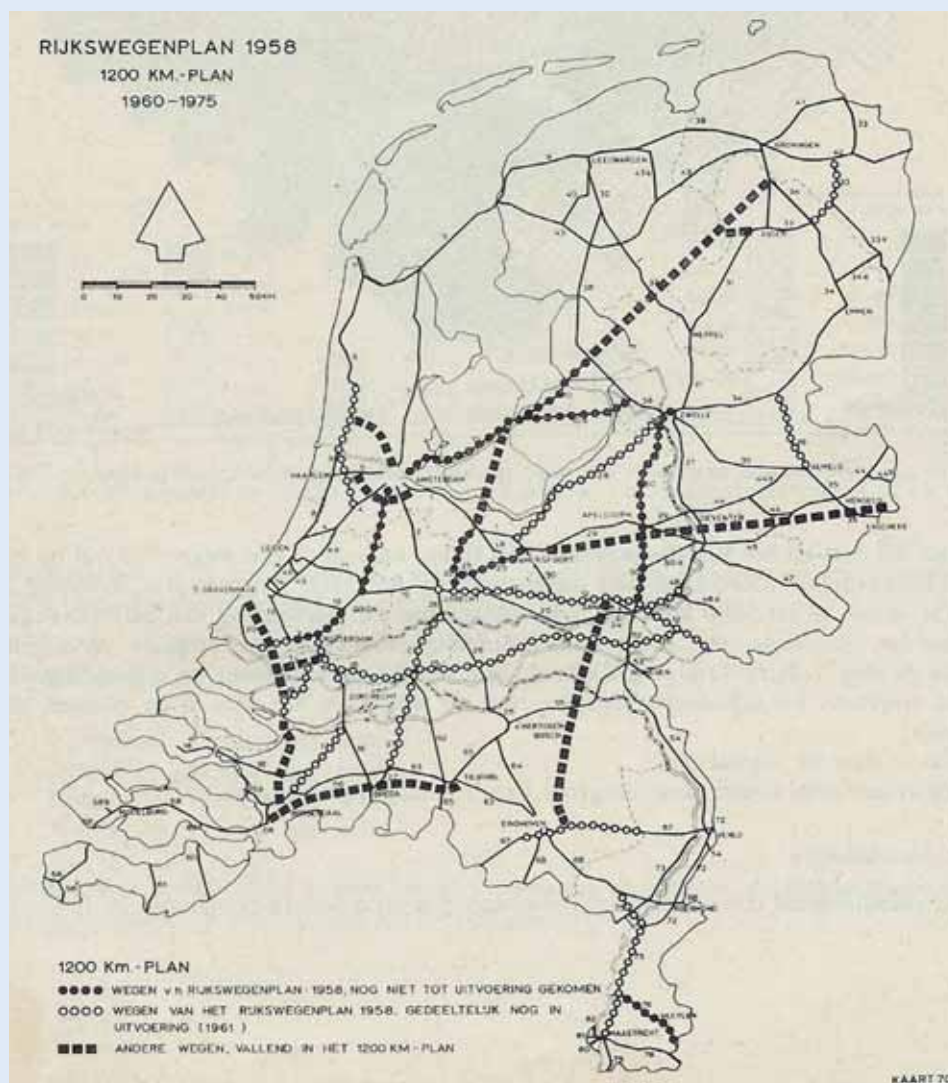
Foto auteur

# DE KETELBRUG

Gerit van Ittersum

**D**it jaar is het 50 jaar geleden dat de Ketelbrug werd opengesteld. Hiermee ontstond een kortere wegverbinding tussen de Randstad en de noordelijke provincies. Hoeveel korter of sneller: daar verschilden de meningen over. Dat lag niet aan de brug, maar aan de A6, die op dat moment nog lang niet af was. De Ketelbrug is echter ook regelmatig negatief in het nieuws geweest. Verscheidene incidenten haalden de landelijke pers. Daarbij kwam ook nog dat al voor de 50-ste verjaardag de brug aan het einde van zijn levensduur was en er ingegrepen moest worden. Dat betrof het beweegbare deel; dat is vernieuwd, maar – zoals dat gaat met bruggen – of hij nu open staat of gesloten is: er zijn altijd mensen boos!

De Noordoostpolder werd drooggelegd in 1943,  
Oostelijk Flevoland in 1957 en Zuidelijk Flevoland in 1968



Het 1200 km plan.  
Bron Wegenwiki

## EEN STIPPELLIJN DOOR DE POLDERS

De Noordoostpolder werd drooggelegd in 1943, Oostelijk Flevoland in 1957 en Zuidelijk Flevoland in 1968. Maar nog voordat men met de laatste inpoldering begon, werd al nagedacht over een nieuwe verbinding van Noord Nederland met de Randstad. Op de aanvulling van het rijkswegenplan van 1958, het zgn. 1200 km plan, staat een vrijwel rechte stippellijn van Amsterdam naar Groningen. In de jaren '60 werden de plannen verder uitgewerkt wat leidde tot het tracé van de A6 van Muiderberg naar Joure. De rechte lijn tussen Emmeloord en Groningen verdween tijdens dit proces tot ongenoegen van de Groningers. Knelpunten in het tracé waren de overbruggingen van het Gooimeer en het Keteldiep. Daar begon de aanleg ook mee. De Hollandse brug over het Gooimeer was in 1969 als eerste af. De Ketelbrug volgde een jaar later. Het duurde vervolgens nog tot 1985 voordat de hele verbinding een autosnelweg was.

## 7000 KIPPEN BIJ DE OPENING

Op 15 juli 1970 was het zover. Minister Bakker van Verkeer en Waterstaat opende de brug door er overheen te lopen. Dat was een wandelingetje van 770 meter. Het had 27 miljoen gulden gekost om dit mogelijk te maken. Maar deze meters verkortten wel de afstand tussen Friesland en Amsterdam met 43 kilometer. De burgemeester van





Een van de tien pijlers in aanbouw.

Bron: Beeldbank Rijkswaterstaat



Minister Bakker (vooraan in het midden) en zijn gevolg tijdens de opening van de brug

Bron: Algemeen Dagblad 16 juli 1970.

Groningen was hiervan niet onder de indruk. Voor de Groningers maakte het de reistijd niet korter. Immers, bij de opening was de brug zelf nog het enige stukje autosnelweg. Door de polders moest het autoverkeer nog over lokale wegen. De inwoners van Emmeloord daarentegen waren heel blij met de brug. Ze verwachtten nieuwe bedrijfsvestigingen en toeristen. De lokale ondernemers waren zelfs zo blij, dat de eerste passanten over de brug een tegoedbonk kregen voor een halve kip met een appel en een frisdrank. Er lagen daarvoor 7.000 kippen klaar in Emmeloord.

### ALTIJD WAT MET DIE BRUG!

Na een aantal decennia lijkt die blijdschap wat bekoeld. Als je namelijk googelt op 'ketelbrug' vind je vrijwel alleen maar pagina's met nieuwsberichten over ongelukken. Veel verkeersongelukken, in het eerste halfjaar van 2020 waren er al vier ernstige aanrijdingen op de brug met gewonden. Maar ook veel berichten gaan over incidenten met de brug zelf. Regelmatig maakt de pers melding van lange files ten gevolge van technische storingen. Maar de meeste vermeldingen gaan over het incident van oktober 2009. Toen ging de brug onverwacht open, terwijl de slagbomen niet gesloten waren. Een combinatie van een menselijke fout en een softwarefout. Er vielen vier gewonden. De brugwachter werd berecht maar vrijgesproken. Twee jaar eerder vond er een dodelijk ongeval plaats toen de brugwachter niet zag dat er een auto op de brug reed terwijl de bomen al gesloten waren. De auto reed het water in en de bestuurder verdronk.

"Altijd wat met die eigenwijze brug" schreef de Volkskrant op 6 september 2012. De krant citeert ook een kunstenaarsgroep uit Lelystad. Zij zoeken de oorzaak voor de narigheid met de brug ergens anders. Ze weten haast wel zeker dat het allemaal de schuld is van de zeemeermin, omdat die haar hoofd heeft gestoten aan de brug.

### DE BRUG WAS VERMOEID

Maar Rijkswaterstaat, de beheerder van de brug, gelooft niet in sprookjes en heeft onderzoek laten verrichten. Aan de hand daarvan is onder meer de noodbediening aangepast. Behalve deze incidenten speelde ook de leeftijd van de brug een rol; 50 jaar was de geplande levensduur, maar al eerder vertoonde de brug sporen van metaalmoeheid. De verkeersintensiteit op de brug (in 2019 ruim 50.000 voertuigen) is namelijk veel hoger dan waarmee rekening is gehouden bij het ontwerp van de brug. Bij veel meer bruggen speelt deze factor een rol, maar de Ketelbrug behoorde bij de ernstigste gevallen volgens het landelijke onderzoek in 2008. Ingrijpen was urgent om scheurvorming in de stalen kleppen te voorkomen. Groot onderhoud vond daarom plaats in de winter van 2012/2013. De twee beweegbare brugdelen inclusief het bewegingswerk en de technische installatie werden geheel vernieuwd. Toch waren hiermee de storingen nog niet de wereld uit, getuige krantenberichten van langdurige brugsluitingen in 2018 en 2019. De boosdoener bleek toen de frequentieregelaar, die dan ook vervangen is.

### WAAROM MOET DIE BRUG EIGENLIJK OPEN?

Wie in de zomermaanden in een lange file staat voor de geopende brug en ziet dat er een paar plezierjachten passeren, ergert zich mateloos. Want juist voor die categorie schepen gaat de brug hoofdzakelijk open. Verreweg de meeste beroepsvaart kan namelijk met gemak onder de 12,5 meter hoge vaste bruggedeelten door. En er is veel beroepsvaart, want het Ketelmeer maakt onderdeel uit van een klasse V hoofdvaarweg tussen het IJsselmeer en de IJssel. Dit zijn echter ook voor de recreatievaart belangrijke wateren. Hoeveel vaartuigen in totaal de brug passeren, wordt niet geregistreerd. Wel het aantal brugopeningen. Zo opende de brugwachter vanuit zijn bedieningstoren op 15 juli jl., zich niet bewust van het jubileum, de brug twaalf keer. Het totaal aantal openingen was in de eerste helft van dit jaar 964. Met een gemiddelde openingsduur van vijf minuten, passeren er dan per opening gemiddeld drie tot vier jachten met staande mast de brug. Je zou zeggen: waarom strijken ze de mast niet, dan hoeven er geen honderden auto's te wachten. Maar bij grote jachten is dat geen optie meer volgens de zeilers. Zij zeggen op hun beurt: bouw dan een tunnel. Naar dat laatste had het CDA van de provincie Flevoland wel oren. Zij dienden hiervoor in 2011 een motie in, maar die haalde geen meerderheid.

## OVERVLIEGENDE PASSANTEN

Schepen varen onder de brug door, auto's rijden over de brug heen, maar er is ook een categorie passanten die er overheen vliegt. Op de website [www.ketelbrug.nl](http://www.ketelbrug.nl) verwacht je allerlei informatie over de brug. Niets is minder waar; er wordt met geen woord over de brug zelf gerept. Het betreft een vogeltelpunt. Uit de resultaten van de tellingen blijkt dat dit telpunt tot één van de beste plekken voor de vogeltrek in Nederland behoort. De vogels laten zich kennelijk leiden door het water tussen Oostelijk Flevoland en de Noordoostpolder. De aantallen vogels overtreffen ruimschoots die van de schepen en de auto's samen. De kolganzen zijn in de meerderheid. In 2017 werden er hiervan alleen al 147.916 geteld. Het dagrecord van deze soort staat op 32.478 op 24 december 2018. Gelukkig maar dat deze passanten geen invloed hebben op de kwaliteit en de beschikbaarheid van de brug.

## KRIJGT DE BRUG EEN BUURMAN?

U weet ongetwijfeld nog dat er al vanaf de jaren 80 van de vorige eeuw plannen waren voor een spoorlijn door Flevoland via Heerenveen naar Groningen. Die is er ondanks lobbywerk van de noordelijke provincies niet gekomen. Het hoogst haalbare was de Hanzelijn van Lelystad naar Zwolle. Die kwam er in 2012. Een paar jaar geleden is het plan weer nieuw leven ingeblazen onder de naam Lelylijn. Het plan heeft onder de betrokken overheden veel draagvlak, maar hoe kan het ook anders: de kosten (tussen de 3,2 en 6,4 miljard euro) vormen een obstakel. De voorstanders brengen daar tegen in dat de kosten van de anders noodzakelijke vernieuwing van het spoor tussen Zwolle en Groningen hoger zullen uitkomen. Maar als de Lelylijn doorgaat, zal er een spoorbrug in de buurt van de Ketelbrug moeten komen. Of die ook zo vaak zal openen voor de recreatievaart is niet aannemelijk. Zou een gecombineerde tunnel dan een optie zijn?



## BRONNEN

Wegenwiki  
Flevoland Erfgoed  
[www.delpher.nl](http://www.delpher.nl)  
[www.isdebrugopen.nl](http://www.isdebrugopen.nl)  
Onderzoeksraad voor de veiligheid  
Rijkswaterstaat Midden Nederland



De bascule-kelder met het nieuwe panamawiel na de renovatie in 2013.  
Bron BSB Staalbouw.



Over de 32,5 meter brede brug ligt aan de oostzijde ook een parallelweg voor langzaam en lokaal verkeer. Dat heeft er toe geleid dat de twee brugklappen een ongelijke breedte hebben.  
Foto auteur



Op drukke zomerse dagen wanneer de brug twee keer per uur opent, staat er al gauw een file van twee km aan weerszijden van de brug over twee rijstroken.  
Foto auteur



Het Ketelmeer met zeiljachten die wachten tot de boten vanaf het IJsselmeer de brugopening gepasseerd zijn. De 18 m brede doorvaartopening kent eenrichtingverkeer.  
Foto auteur



# POORT VAN PARKSTAD<sup>1</sup>

GEKROMDE FIETSBRUG OVER DE N274

NABIJ SCHINVELD IN DE GEMEENTE

BEEKDAELEN (VOORHEEN ONDERBANKEN)

**Ir. Rob Arts RC** | Adams Civiel Advies

**Ir. Christa van den Berg** | tekstschrijver ipv Delft

**Beelden** | ipv Delft creatieve ingenieurs



2





1

Aan het ontwerp van de brug ging een uitgebreide variantenstudie vooraf

**M**et de brug is voor fietsers een veilige oversteek

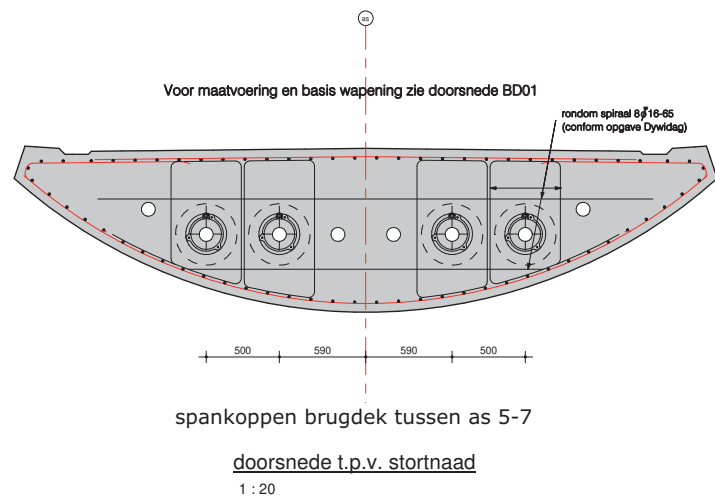
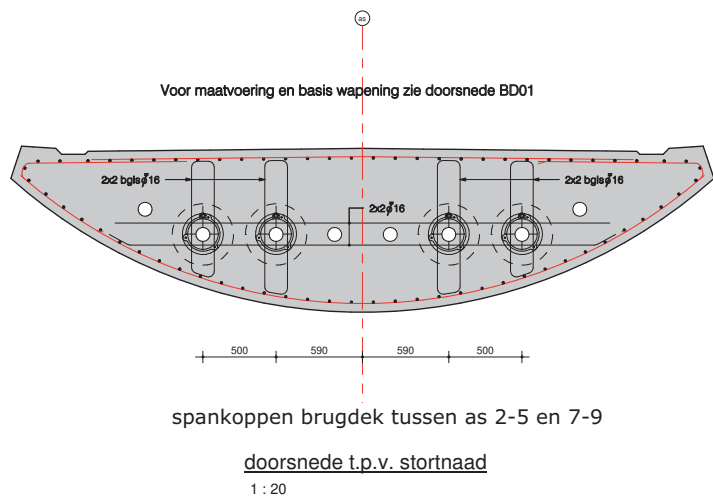
gecreëerd ter hoogte van de nieuwe turborotonde bij de Jabeekerweg. Samen met drie kunstobjecten accentueert de brug de poortfunctie voor de plusregio Parkstad, bij de grens met Duitsland.

#### TRACÉSTUDIE

Aan het ontwerp van de brug ging een uitgebreide variantenstudie vooraf naar het meest geschikte tracé op basis van onder meer landschappelijke inpassing, fietserscomfort en uitvoeringskosten. Dit leidde tot een 350 m lang tracé, dat bestaat uit een 188 m lange brugconstructie met een fietspad op grondlichamen aan weerszijden (fig. 1). In bovenaanzicht vormt de gehele brug een langgestrekte bocht met een radius van 185 m.

De ontwerpers stond een zo slank mogelijke brug voor ogen met grote overspanningen. Om dit mogelijk te maken is gekozen voor een geheel in het werk gestorte constructie met doorlopende voorspanning. Zowel pijlers als brugdek zijn ter plaatste gestort. Dankzij deze uitvoeringsmethode heeft de brug een over de tussensteunpunten doorlopend dek gekregen dat zorgt voor een helder en continu beeld. Door de grote overspanningen is de ruimte onder de brug vrij in te delen en bleef het zicht op het kenmerkende landschap intact.

<sup>1</sup> Dit artikel is eerder verschenen in *Cement* 5, 2020



3 Dwarsdoorsnede brug



4 De fundering in 3D  
Beeld: Palte BV

De optie met prefab brugdekdelen is ook onderzocht, evenals prefab dekdelen in combinatie met natte knopen.

Prefab blijkt met name qua bouwtijd voordeliger te zijn, maar is tegelijkertijd ook duurder, meer onderhoudsgevoelig en minder slank. Bovendien zouden de brugdekdelen te groot en zwaar (280 ton) zijn voor transport. Ook de combinatie van een prefab dek met de gewenste slanke steunpunten zou de uitvoering er niet makkelijker op maken. Een eventuele opdeling van de prefab dekken in kleinere secties is overwogen, maar bracht ongewenste consequenties en risico's met zich mee. Een in het werk gestort en voorgespannen dek bleek de beste optie.

## BRUGDEK

Om de haalbaarheid van de voorspanning in het brugdek te onderzoeken, voerden constructeur en ontwerper een studie uit, waarbij zaken als bouwfasering, principe van stortnaden, globale hoeveelheid voorspanning en het voorspanverloop zijn beschouwd. Een massieve doorsnede is daarbij het uitgangspunt. De beoogde slanke constructie vraagt namelijk om

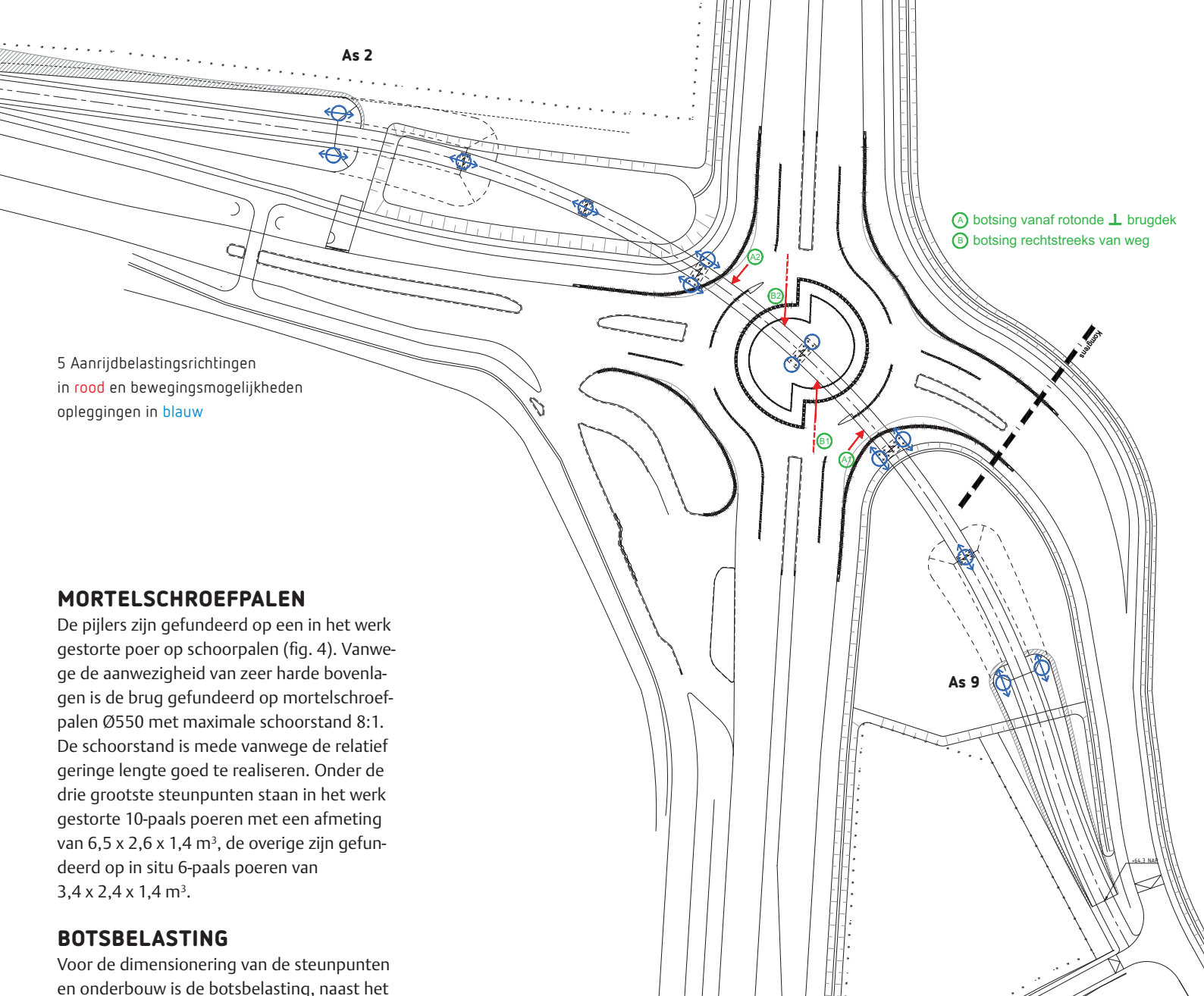
relatief veel voorspanning, met een groot aantal meerveldse kabels. De kabels lopen van hoog boven de steunpunten naar laag in het veldmidden. Hierdoor is de ruimte voor gewichtsbeparende elementen beperkt wat zowel het ontwerp als de uitvoering complexer zou maken. De studie leidde tot het vastleggen van het principe van de voorspanning: 8 kabels Ø 150, elk met 19 strengen, die gefaseerd worden voorgespannen (zie verder onder 'Voorspanning'). Het 188 m lange dek van de fietsbrug is 4,85 m breed en verdeeld in vijf velden van 28 m en twee eindvelden van 24 m (fig. 4 en 5). Het streven om de krachten en vervormingen in het gehele brugdek van dezelfde orde van grootte te laten zijn, leidt tot de kortere eindvelden. Uit esthetisch oogpunt is gekozen voor een dek met gekromde onderzijde (fig. 8). De maximale dikte is 1,1 m en de betonsterkteklasse is C35/45. Dankzij de constante bochtstraal is het gehele dek met één en dezelfde mal gemaakt die per brugdeel van 28 m bestond uit vier mallen van 7 m. Om reden van esthetiek, budget en uitvoerbaarheid is de gehele brugconstructie na de bouw gekeimd.<sup>2</sup> De aange-

brachte laag mineraalverf zorgt voor een uniforme kleurstelling van het betonoppervlak (fig. 6a en 8).

Behalve het brugdek zijn ook alle pijlers in het werk gestort. De steunpunten zijn zo ontworpen, dat de aannemer op basis van zijn eigen bouwfasering het aantal te gebruiken bekistingen kon kiezen. Hierbij is toepassing van een enkele mal één van de opties. Uiteindelijk zijn ze inderdaad alle met dezelfde mal gemaakt (fig. 7a en b). Toch zijn de pijlers allemaal anders qua afmetingen: de hoogte varieert en ook wat breedte betreft zijn er twee types. Er is gekozen voor ellipsvormige pijlers die naar boven toe subtiel verbreden. De drie pijlers (as 5, 6 en 7) ter plaatse van de rotonde verlopen in breedte van circa 1700 mm aan de voet tot 2000 mm bij het brugdek (zie fig. 6b), de overige pijlers (as 3, 4 en 8) verlopen van 1330-1400 mm aan de voet tot 1600 mm bij het brugdek. Doordat afronding en dikte (maximaal 850 mm) in alle steunpunten gelijk is gehouden, kon één mal volstaan. De onderzijde van de mal is naar wens ingekort en voor de breedste kolommen werd een inzetstuk gebruikt.

<sup>2</sup> Keimen is het afwerken van beton of metselwerk met een mineraalverf (silicaatverf) die zich goed hecht aan de ondergrond en dampdoorlatend is waardoor de verf niet gaat bladderen. Keimverf heeft een matte, kalkachtige uitstraling in wit of kleur.





5 Aanrijdbelastingsrichtingen  
in rood en bewegingsmogelijkheden  
opleggingen in blauw

## MORTELSCHROEFPALEN

De pijlers zijn gefundeerd op een in het werk gestorte poer op schoorpalen (fig. 4). Vanwege de aanwezigheid van zeer harde bovenlagen is de brug gefundeerd op mortelschroefpalen Ø550 met maximale schoorstand 8:1. De schoorstand is mede vanwege de relatief geringe lengte goed te realiseren. Onder de drie grootste steunpunten staan in het werk gestorte 10-paals poeren met een afmeting van 6,5 x 2,6 x 1,4 m<sup>3</sup>, de overige zijn gefundeerd op in situ 6-paals poeren van 3,4 x 2,4 x 1,4 m<sup>3</sup>.

## BOTSBELASTING

Voor de dimensionering van de steunpunten en onderbouw is de botsbelasting, naast het eigen gewicht en de verkeersbelasting, van groot belang. De calamiteit is hier ruimschoots maatgevend. De N274 is een provinciale weg. Voor provinciale wegen moet normaliter de hoogste categorie van tabel NB.1 – 4.1 van NEN-EN 1991-1-7 worden aangehouden. Omdat de brug de provinciale weg echter kruist ter plaatse van een rotonde, is bepaald dat de brug qua botsbelasting op de tweede categorie (rijkswegen in landelijk gebied) kan worden berekend (zie fig. 5). De snelheid waarmee voertuigen onder de brug door rijden, zal relatief laag zijn; het verkeer moet afremmen voor het de rotonde oprijdt. De brug heeft een vereiste vrije onderdoorgang van 4,6 m. Dit betekent dat er geen reductie van de botsbelasting mogelijk is. Dit alles levert een botsbelasting op van  $F_{dx} = 1500$  kN,  $F_{dy} = 750$  kN. Zo is voorkomen dat de brug onnodig fors en duur zou zijn.



6a Keimen betonoppervlak  
Beeld: Joost Vreugdenhil



6b Pijlers omkist



↑ ↓ 7a en 7b Voor het storten van alle pijlers volstond één houten mal

Beeld: Joost Vreugdenhil



Logischerwijs wordt een eventuele stootbelasting met name opgenomen door de steunpunten rond de rotonde (fig. 5). Daarom zijn deze pijlers forser uitgevoerd. De pijler op as 6, in het midden van de rotonde, is ontworpen als het vaste punt van de brug. Bij een botsing tegen het dek neemt dit steunpunt het grootste aandeel van de aanrijdbelasting op. Het doorgaande dek is vervolgens in staat de aanrijdbelasting te verdelen over meerdere pijlers. De zware wapening Ø40 loopt rechtstreeks vanuit de poer in de pijler door zonder overlappingslassen. In dergelijke gevallen mag het wapeningspercentage hoger zijn dan 4%.

#### FIXATIE

De pijlers nabij de rotonde (as 5, 6 en 7) zijn uitgevoerd met twee opleggingen. De pijlers op as 3, 4 en 8 hebben één centrale oplegging (fig. 5). Er is gekozen voor opleggingen met een fixatie in dwarsrichting. (Zie fig. 8 en 11).

De zware wapening Ø40 loopt rechtstreeks vanuit de poer in de pijler door zonder overlappingslassen





8 Al het beton van de brug is uiteindelijk gekeimd

Beeld: Henk Snaterse



9 De bekisting en wapening van een brugdeel met doorvoeren voor de voorspanning.

Beeld: Joost Vreugdenhil

Alleen de oplegging op de pijler op de rotonde heeft aanslagnokken in zowel langs- als dwarsrichting (type V). Het brugdek kan zo de vervorming onder invloed van temperatuur in lengterichting hoofdzakelijk vrij ondergaan en blijft in dwarsrichting op zijn plaats. Horizontale belastingen in dwarsrichting worden op elke as door aanslagnokken opgenomen.

Er zijn rubberopleggingen toegepast met stalen aanslagnokken (type V1). Op een zo laat mogelijk moment tijdens de bouw is de scheefstand van de rubberopleggingen door de tot dan toe opgetreden krimp, kruip en voorspanning geneutraliseerd. Dit is gedaan door het dek kort op te vijzelen en daarna weer te laten zakken. Bij de landhoofden zijn in een zo laat mogelijk stadium de voegovergangen (type 3 mattenvoeg - Freyssinet Multiflex SX270) aangebracht. Dit zodat een deel van de vervormingen door krimp en kruip en de voorspanning al heeft plaatsgevonden.

## VOORSPANNING

De definitieve engineering van de voorspanning is in de uitvoeringsfase gedaan. De aannemer kreeg hierbij de vrijheid om de bouwmethode binnen de in het bestek genoemde randvoorwaarden aan te passen. Verder zijn er optimalisaties mogelijk in bijvoorbeeld de keuze van de sterkteklasse van het beton, het verloop van de voorspanning, het toepassen van sparingbuizen, de positie van de stortnaden, de mate van voorspanning en de toepassing van traditionele wapening (fig. 9). Al deze randvoorwaarden bepaalden uiteindelijk de keuze voor het aantal velden per stort. Er is gestort in drie fasen (fig. 5) met twee stortnaden uit het zicht van de rotonde. De eerste stort betrof het middengedeelte van de brug over de rotonde heen van as 5-7. De tweede en derde stort betrof de velden vanaf de landhoofden (in as 2 en 9), tot aan deze stortnaden.

De kunst was een uitvoeringsmethode te kiezen waarbij de bekisting vaker kon worden gebruikt. Het had uiteindelijk ook met minder bekisting gekund, maar dan was de bouwtijd langer geweest.

De toegepaste langvoorspanning is opgebouwd uit acht (19 strengs) voorspankabels met splijtwapening in de kopvlakken van het brugdek (zie fig. 3 en 9). Iedere fase apart is



10 Verbinding kunstobject-brugrand

voorgespannen met vier voorspankabels die voor voldoende draagkracht zorgen voor eigen gewicht en werkbelasting. Hierdoor is het mogelijk te ontkisten, voordat de volledige voorspanning aanwezig is. De bekisting is vervolgens voor de volgende fase opnieuw gebruikt.

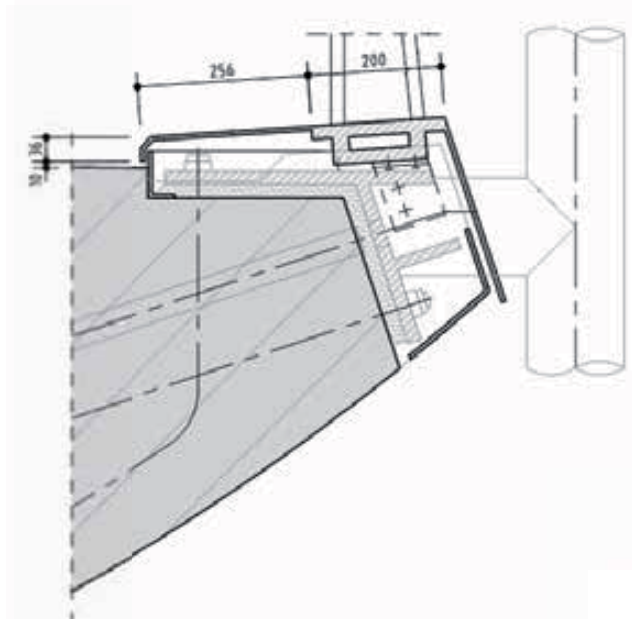
Wat meespeelde bij het aanbrengen van de voorspanning, is dat in fase 1 niet direct op honderd procent kon worden afgespannen. Er zou dan te veel trek boven het steunpunt ontstaan, omdat de drukkrachten onderin

door het eigen gewicht van de uitkraging daar kleiner zijn dan de trekkrachten van 100% voorspanning.

De voorspankabels zijn iedere keer doorgespannen met speciale voorspankoppelen. In de eindfase zijn nog vier kabels over de gehele lengte van de brug voorgespannen. Dat gebeurde tweezijdig om de verliezen te beperken. Het totaal aan voorspankabels komt zo op 8 per doorsnede, conform de uitgangspunten van het DO (fig. 9).



11 Oplegging t.p.v. landhoofd met fixatie in dwarsrichting



12 Bevestiging stalen oplegschoen aan brugrand



In de eindfase zijn nog vier kabels over de gehele lengte van de brug voorgespannen.

## PROJECTGEGEVENS

| Poort van Parkstad, fietsbrug N274 – Beekdaelen (2020)             |                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| opdrachtgever                                                      | Provincie Limburg                                                  |
| architect                                                          | ipv Delft                                                          |
| constructeur definitief ontwerp<br>constructeur uitvoeringsontwerp | Adams Civiel Advies & Jeroen Koot Constructie Advies<br>Palte B.V. |
| ontwerp stalen kunstobjecten en brug                               | Marijke de Goeij                                                   |
| aannemer                                                           | BAM Infra Regionaal                                                |
| leverancier voorspanning                                           | Dywidag Systems International                                      |
| voegovergangen en opleggingen                                      | Freyssinet                                                         |



12 Uitgebalanceerd kunstwerk  
Beeld: Palte B.V.

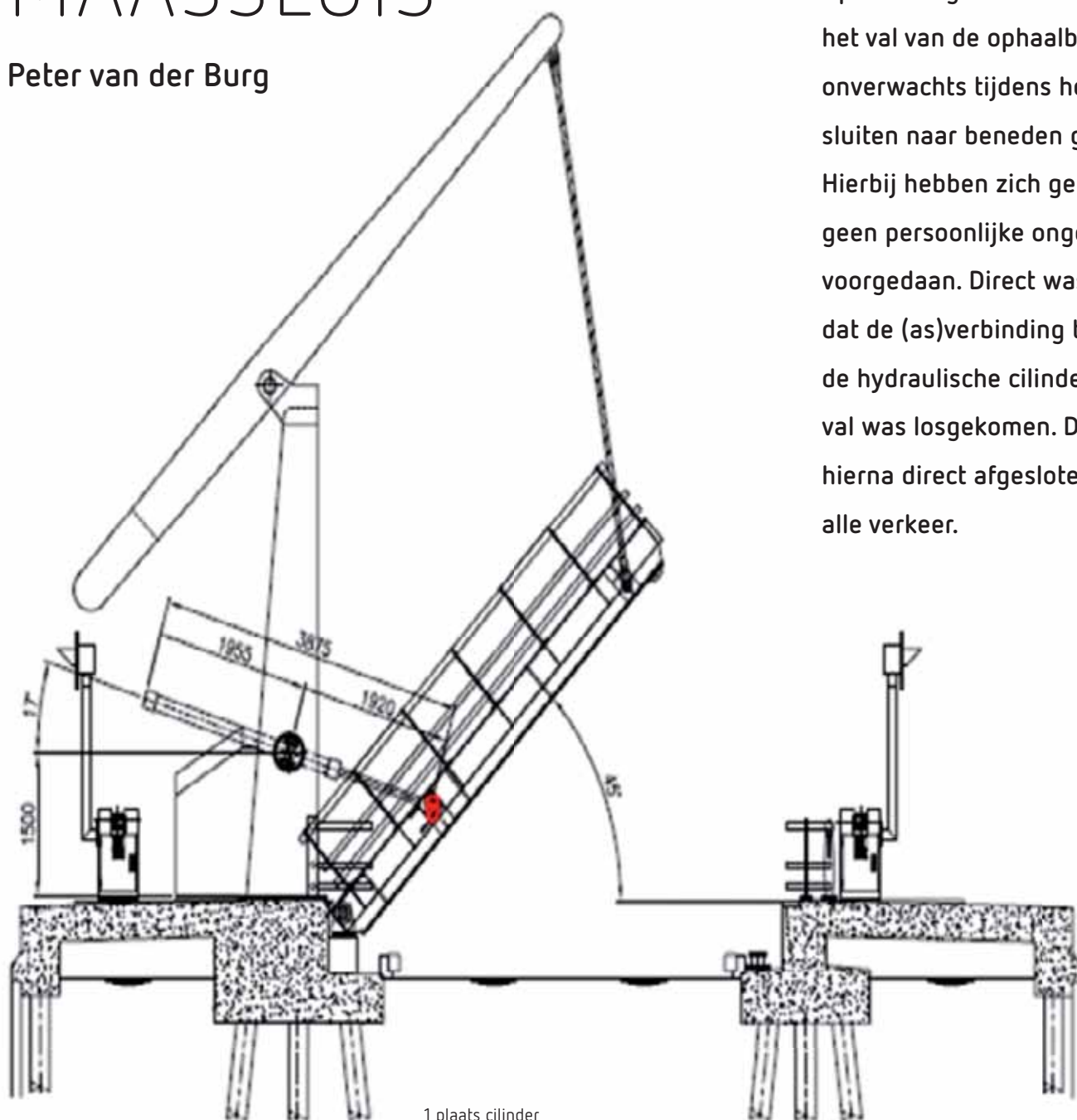
## KUNSTOBJECTEN

Bij de uitwerking van het brugontwerp vroeg ook de aansluiting van het centrale kunstobject met stalen kubussen om aandacht. Dit object vormt één geheel met twee kleinere kunstobjecten aan weerszijden van de brug. Elk object is opgebouwd uit een stapeling van kubusribben uit stalen buisprofielen. Tezamen visualiseren ze de poortfunctie van de brug. Het grootste kunstobject is daadwerkelijk geïntegreerd in de brugconstructie: de bevestiging bevindt zich uit het zicht. Het kunstwerk is met stalen oplegschoenen en Demu-ankers bevestigd aan het betonnen brugdek. Toegepast zijn twee rijen ankers van vier stuks DEMU 3010 M30x155 A4-80. De oplegschoenen zijn in een inkassing geplaatst, zodat het rvs spijlenhekwerk van de brug vloeiend doorloopt (zie fig. 10 en 12).

Bovendien zorgt de plaatsing van de verbinding in een inkassing voor een groter contactoppervlak, waardoor er meer ruimte is voor de benodigde ankers. Het hekwerk is hier overigens aangebracht op een overbruggingsconstructie in rvs bestaande uit een geïntegreerde koker. Vanwege de hoogte van het kunstobject, zijn de ankers mede getoetst op vermoeiing door windbelasting op de kubusstapeling.

# BEZWIJKEN HYDRAULISCHE CILINDER OPHAALBRUG LIJNDRAAIERSBRUG, MAASSLUIS

Peter van der Burg

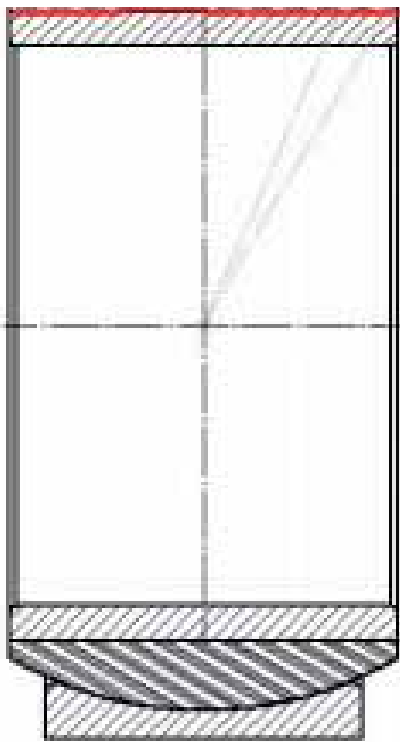


1 plaats cilinder

## ONGEVAL

**D**e Lijndraaiersbrug te Maassluis bestaat uit twee klapbruggen voor voetgangers en fietsers en daartussen een ophaalbrug. Hydraulische cilinders zorgen voor het bewegen, waarbij opvalt dat er bij de ophaalbrug slechts één cilinder aan één hameestijl bevestigd is. Op zaterdag 16 mei 2020 is het val van de ophaalbrug onverwachts tijdens het sluiten naar beneden gevallen. Hierbij hebben zich gelukkig geen persoonlijke ongevallen voorgedaan. Direct was duidelijk dat de (as)verbinding tussen de hydraulische cilinder en het val was losgekomen. De brug is hierna direct afgesloten voor alle verkeer.





2 Opbouw van het lager

## ONDERZOEK

Uit een eerste technisch onderzoek blijkt dat de verbinding tussen val en plunjer los raakte door het bezwijken van een lager en de bijbehorende borging van de hydraulische cilinder, waarmee de brug bewogen wordt. (zie rode stip fig. 1)

Bij het onderzoek naar de oorzaak zijn meerdere technisch specialisten ingeschakeld. Zowel de bedrijven die betrokken zijn geweest bij de realisatie van

het bewegingsmechanisme van de Lijndraaiersbrug als de onderhoudsaannemer, hebben ieder onafhankelijk onderzoek uitgevoerd. Ook is er een onafhankelijke, externe deskundige aangetrokken.

Op maandag 25 mei 2020 is de brug onderzocht waarbij is geconstateerd dat de brug, zodra deze in de dichte stand is vastgezet, veilig te gebruiken is voor alle verkeer. Hierna is de brug weer opengesteld. Veiligheidshalve is een snelheidsbeperking van 30 km/u ingesteld en wordt de brug wekelijks gecontroleerd.

In eerste instantie zal een plan uitgewerkt worden waarbij het herstel van de schade en het weer veilig beweegbaar maken van de brug, losgekoppeld wordt van het uitvoeren van het geplande groot onderhoud. Hierbij zullen in ieder geval alle lagers van de hydraulische aandrijving vervangen worden en alle andere onderdelen waar mogelijk schade is ontstaan, nader onderzocht worden.

## VOORLOPIGE CONCLUSIE

De voorlopige conclusie uit de diverse onderzoeken is als volgt.

De combinatie van de optredende axiale krachten tijdens het bewegen van de brug en de axiale kracht door het ingebrachte smeervet, heeft er toe geleid dat de lijmverbinding tussen de kunststof glijring en de stalen binnenring van het lager is losgeschoten. Echter, omdat het lager onvoldoende geborgd was, kon het lager vervolgens volledig afschuiven, waardoor de trekcilinder losschoot van het val.

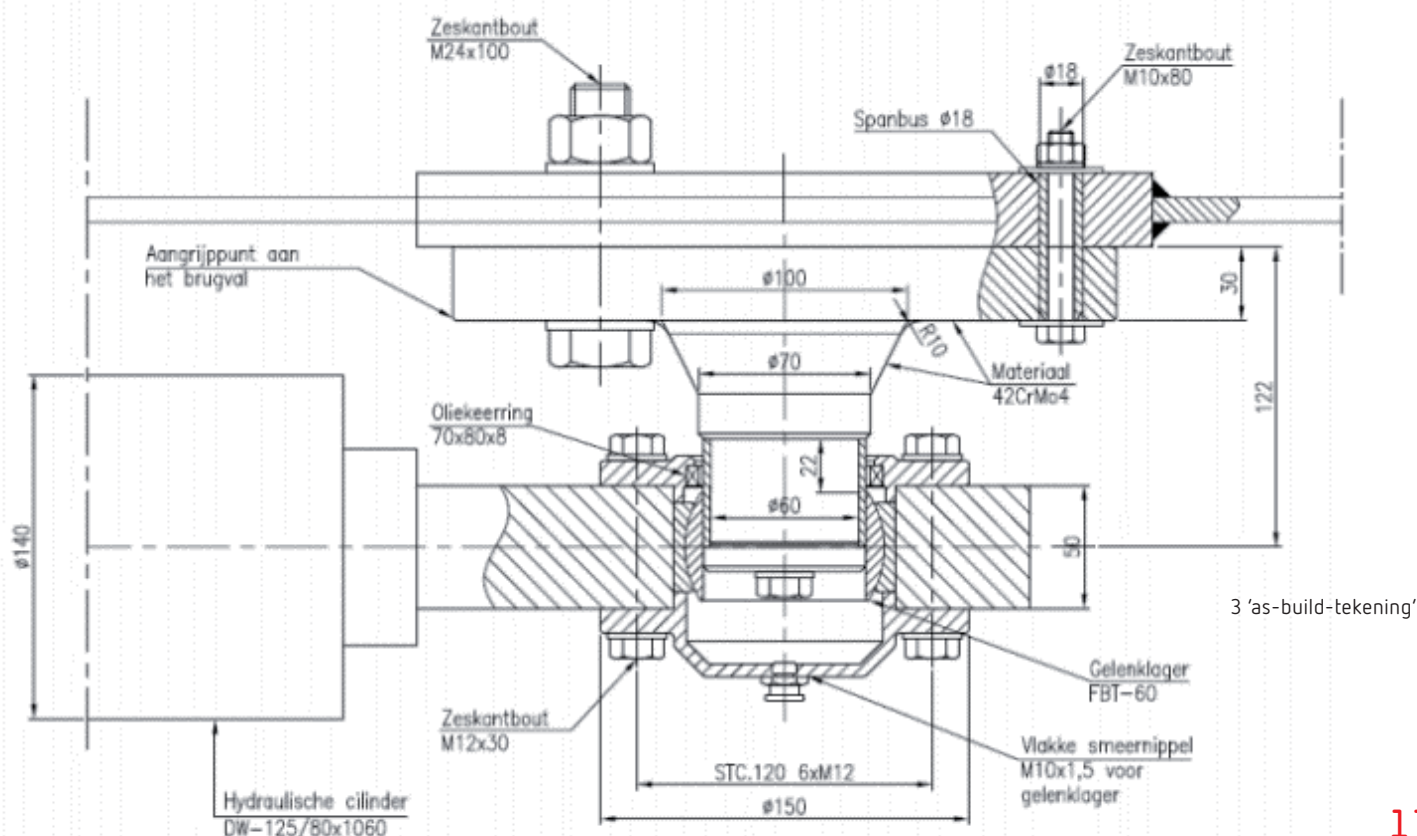
## 1 LOSSCHIETEN LIJMVERBINDING

In fig. 2 is de opbouw van het lager weergegeven: van binnen naar buiten komt eerst een stalen ring, dan de bolle glijring (verlijmd in het rode vlak) en dan de holle buitenring. Door de optredende axiale krachten is de lijmverbinding losgeraakt. In het definitief ontwerp heeft ingenieursbureau TAS een Gelenklager (SKF GE60DO) voorgeschreven. Dit lager bestaat uit twee ringen: een bolle binnenring en een holle buitenring.

In de uitvoering is gekozen voor een ander type lager, een onderhoudsvrij Feroball-lager. Dit type lager bestaat uit drie ringen: een stalen binnenring, een kunststof (bolle) tussenring en een stalen, holle buitenring. Het voordeel is dat dit lager niet apart gesmeerd hoeft te worden omdat in de kunststof tussenring teflon verwerkt is.

## 2 ONVOLDOENDE BORGING

De borging die in het oorspronkelijke ontwerp de bolle, stalen binnenring had opgesloten (en hiermee het gehele lager) sloot in het nieuwe lager alleen de stalen binnenring op. Ondanks dat de kunststof tussenring verlijmd zat aan de stalen binnenring, is de kunststof tussenring over de borging gaan schuiven. Het detail in de 'as-build-tekening' (links) laat maar twee ringen in het lager zien (zie fig. 3). Rechts is de situatie getekend zoals het moet hebben gezeten vlak voor het ongeval. De astap met binnenring schuift uit de rest van het lager.



De leverancier van het toegepaste Feroball-lager geeft desgevraagd aan dat een grotere borgring (71,6 mm) nodig is. Op de website is deze info niet beschikbaar. Er is hierdoor een 66,0 mm ring gemonteerd, passend bij het voorschrift van het oorspronkelijke lager. Op de foto van fig. 4 (genomen bij één van de fietsbruggen) is de rode kunststof tussenring te zien die over de borgring afschuift, door de optredende axiale krachten. Enige axiale krachten zijn normaal omdat een brug nooit 100% star is, zeker bij een eenzijdig aangedreven brug. Daarnaast zijn de optredende axiale krachten vergroot door het inbrengen van smeervet via het op het lagerdeksel aangebrachte smeernippel.

Bij de renovatie in 2017 zijn minimaal 6 partijen betrokken geweest, de fabrikant van het lager, de onderaannemer die de hydraulische installatie inclusief lagers geleverd heeft, een tekenbureau, de hoofdaannemer, een door de gemeente ingehuurd besteksvorbereider/directievoerder en een projectleider van de gemeente. Hiernaast is de onderhoudsaannemer ook een partij. Op advies van de gemeentelijke verzekeringsdeskundige (NODR) zal de gemeente met al deze partijen gezamenlijk om tafel gaan om te kijken of deze zaak in onderling overleg opgelost kan worden en de schade naar rato gedeeld. Onze verzekeringsdeskundige heeft ons geadviseerd geen details over deze gesprekken naar buiten te brengen. De schade zal in de orde van 100.000 euro zijn.

## SCHADE

Bij het ongeval is duidelijk waarneembare schade ontstaan:

- het lager dat de trekcilinder verbindt met het val, is bezweken;
  - de rechter plunjer is gebroken, de linker zwaar beschadigd;
  - de rechter oplegging van de brug is zwaar, de linker licht beschadigd.
- De bevestiging van de cilinders van de naastgelegen fietsbruggen is identiek aan die van de hoofdrijbaan. Ook hier zijn de lagers aan het afschuiven. Vervanging is noodzakelijk. Bij het ongeval kan ook niet eenvoudig waarneembare schade zijn ontstaan. Nader onderzoek moet nog uitwijzen of en waar deze ontstaan is.

Hiervoor worden minimaal de volgende onderdelen onderzocht:

- de hydraulische installatie heeft door het plotseling wegvallen van de druk een piekbelasting gehad en dient volledig gecontroleerd te worden;
- de bevestigingen van de hangstangen aan het val en aan de priem moeten gecontroleerd worden;
- de priemen zelf moeten uitgelijnd worden en gecontroleerd;
- de draaipunten van de priemen op de hameitoren zijn tijdens het ongeval overbelast en dienen uitgelijnd te worden en gecontroleerd te worden op tordering en bevestiging;
- de hameitoren stonden op de planning voor groot onderhoud, bevestiging en constructie dient gecontroleerd te worden;
- de hoofd draaipunten zijn in 2019 vervangen, maar dienen gecontroleerd te worden;
- de betonconstructie onder de oplegpunten dient gecontroleerd te worden;
- De ballast dient opnieuw bevestigd te worden en de oplegdruk afgestemd op de nieuwe situatie.

## GROOT ONDERHOUD

Naast herstel van de schade staat (voor 2021) groot onderhoud aan de brug gepland.

- Conservering van het val en vervangen van de slijtlaag op het dek; aanpassingen aan de hemelwaterafvoer.
- De hameipoort (de bovengrondse delen) stamt uit 1953 en nadert het einde van haar levensduur. Bekeken moet worden of herstel nog een redelijke restlevensduur oplevert of dat vervangen een betere optie is.

## PLANNING HERSTEL WEGVERKEER

Direct na het ongeval op 16 mei is de brug gestremd voor het wegverkeer. Na een inspectie op 25 mei is geconcludeerd dat de brug veilig opengesteld kon worden voor wegverkeer. Voor het herstel van de vaarfunctie zal het wegverkeer één of twee dagen gestremd moeten worden. Voor uitvoering van het groot onderhoud zal het wegverkeer 2-3 weken gestremd moeten worden.

## VAARVERKEER

Direct na het ongeval is de brug gestremd voor het vaarverkeer. Herstel van de zichtbare schade en controle van vitale delen op niet direct zichtbare schade, zal nog enige tijd gaan duren. In overleg met alle betrokken partijen neemt Hollandia het voortouw bij het herstel. Openstelling in de 2e helft van augustus is mogelijk. Dit hangt echter af van de lever- en fabricagetijden van de diverse onderdelen en of er bij de onderzoeken nog meer schade vastgesteld wordt.

Het groot onderhoud vergt niet alleen gedegen onderzoek naar de huidige toestand en het herontwerpen van een aantal delen, ook de aanbestedingsprocedure en aanpassing aan de veiligheidsnormen van 2020, vergen de nodige tijd. Naar verwachting kunnen de werkzaamheden starten na het vaarseizoen 2021 en zijn dan gereed vóór het vaarseizoen 2022. Tijdens deze werkzaamheden zal de brug 2 à 3 weken afgesloten zijn voor het autoverkeer. Geprobeerd wordt deze afsluiting te laten samenvallen met de reconstructie van de Lange Boonestraat.

## BRONVERMELDING

Dit artikel is gebaseerd op eigen waarnemingen en op de volgende rapporten:

Inspectierapport Lijndraaiersbrug januari 2020

Rapportage Object Survey n.a.v. het ongeval

Rapportage TAS n.a.v. het ongeval

Rapportage Hollandia Services n.a.v. het ongeval

Telefonisch Overleg met de Onderzoeksraad voor Veiligheid

Telefonisch Overleg met NODR

Overleg dd. 12-06-2020 met TAS en Hollandia over de scope van het herstel.

Zie ook Youtube



4 Rode kunststof tussenring



# STÖNNER-MEIJWAARDBRUG GEOPEND

## NIEUWE FIETS+VOETBRUG OVER HET WILHELMINAKANAAL

Adriaan Geuze | West 8 urban design & landscape architecture b.v.



**D**e brug over het Wilhelminakanal bij Oirschot is de laatste schakel in de ontwikkeling van De Groene Corridor, een 13 km lange recreatieve verbinding tussen Eindhoven en de historische markt van Oirschot.

De Groene Corridor loopt dwars door het nationaal landschap 'Het Groene Woud' en volgt een oude dijkstructuur die ter hoogte van Oirschot wordt onderbroken door het Wilhelminakanal. De vakwerkbrug loopt diagonaal over het kanaal in verband met de unieke Zichtlijn met de rug naar de Sint-Petrus basiliek.





Zichtlijn met de rug naar de Sint-Petrus basiliek

De monumentaliteit van de brug refereert aan het oude, historische karakter van het Oirschotse centrum. Tegelijk presenteert de brug zich als een nieuw, herkenbaar icoon in de regio.

Deze nieuwe fiets-voetbrug vormt ook een nieuwe verbinding tussen de woonwijk Moorland en het centrum van het dorp. De brug heeft de naam Stöner-Meijwaardbrug gekregen naar twee Nederlandse soldaten die sneuvelden bij de bevrijding van Oirschot in 1944.

### INNOVATIEVE HOUTEN VAKWERKBRUG

Transparantie en een goede landschappelijke inpassing waren belangrijke uitgangspunten voor het ontwerp. De 40 meter lange hoofdoverspanning van de brug, die diagonaal over het kanaal loopt, bestaat uit een innovatieve, optisch ruitvormige

vakwerkconstructie, geheel van azobé. De markante, houten overspanning heeft subtiele stalen details. De verticale trekstangen vallen optisch weg tussen de houten onderdelen. Vanaf het kanaal gezien, vallen de ruitvormige openingen in de vakwerkconstructie precies achter elkaar. Op die manier is de brug maximaal transparant gehouden. De hoofdoverspanning rust op twee karakteristieke, vleermuisvriendelijk met baksteen beklede betonnen pijlers aan weerszijden van het kanaal.

De brug zelf moet bestand zijn tegen een aanvaarbelasting, waarvan de eisen zwaarder zijn dan je zo op het eerste oog zou verwachten. Het blijft tenslotte een brug over het Wilhelminakanaal! De aanvaarbelasting werd aanvankelijk in de aanbesteding bepaald op 650 kN, maar moest daarna verhoogd worden naar 1.000 kN.

### OXIDERODE STALEN AANBRUGGEN

De houten hoofdoverspanning is te bereiken via stalen aanbruggen, waardoor de totale lengte van de brug op 270 meter komt. De geringe hoogte van het dek van de hoofdoverspanning maakt het mogelijk de totale lengte van de aanbruggen tot een minimum te beperken. In plaats van gebruik te maken van klassieke hellingbanen met dominante taluds, zijn de aanbruggen zwevend ingepast. Ze rusten op slanke pijlers en zijn voorzien van beeldbepalende, oxiderode, stalen leuningconstructies. De aanbruggen slingeren speels langs de oevers en creëren afwisselende uitzichten over het kanaal, met als hoogtepunt een directe Zichtlijn met de rug naar de Sint-Petrus basiliek. Ze vormen een comfortabele toegang voor voetgangers en fietsers en minimaliseren door hun transparantie de

De brug zelf moet bestand zijn tegen een aanvaarbelasting





visuele hinder voor omwonenden. De pijlers en andere constructieve elementen zijn zo ontworpen dat bij neerslag er op de brug geen 'regenschaduw' ontstaat.

### LANDSCHAPPELIJKE ENTREE

Naast de brug wordt nog een 580 meter lange groenstrook langs het kanaal aangelegd. De taluds langs de zuidelijke oever worden verlaagd en afgegraven, zodat de bestaande woningen daar direct zicht krijgen op het water. Direct langs het water komt een groene, toegankelijke zone. Aan de noordelijke oever wordt de bestaande ecologische zone gehandhaafd. De nieuwe brug verbindt deze twee zones en trekt ze bij de Groene Corridor. Dat moet resulteren in een aantrekkelijk nieuw woonklimaat en een mooie landschappelijke entree voor het centrum van Oirschot.



### PROJECTSPECIFICATIE

| Stönnert-Meijwaardbrug (2020) |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| opdrachtgever                 | Gemeente Oirschot          |
| ontwerp brug en landschap     | West 8                     |
| uitwerkend architect          | wUrck                      |
| constructeur                  | Ingenieursbureau Wagemaker |
| constructieberekening         | Royal HasKoningDHV         |
| aannemer                      | Ballast Nedam              |
| staalbouw                     | Nauta Heeg                 |
| houtbouw                      | Wijma Kampen               |







1 Brug in het Catharina van Rennespad, de Prins Willem III brug



2 Leuning van de Prins Willem III brug



# DUURZAME STADSBRUGGEN IN AMERSFOORT

## VERVANGING ZES HOUTEN FIETS+VOETBRUG

Pieter Spits

beeld ipv Delft

**H**oe kunnen we verouderde bruggen op zo duurzaam mogelijke wijze vervangen? Met die vraag benaderde de gemeente Amersfoort bureau ipv Delft. Als pilot ging het om zes bestaande bruggen, verspreid over de hele stad. In overleg met tal van vertegenwoordigers van verschillende disciplines (beheer, uitvoering, communicatie en duurzaamheid) is een gezamenlijk Programma van Eisen opgesteld. Op basis daarvan is het rapport 'Duurzame bruggen Amersfoort – vervanging zes houten bruggen' geschreven en is de uitwerking gestart met verrassende resultaten. Inmiddels zijn vier bruggen gerealiseerd.

### NOODZAAK?

De eerste vraag die ipv Delft stelde was: is een brug op deze plaats wel nodig? De beantwoording leidde tot het besluit dat vier bruggen vernieuwd moesten worden, één brug werd zo weinig gebruikt dat die kon vervallen en de laatste brug kon evengoed door een duiker in een grondlichaam worden vervangen. Over duurzaamheid gesproken... Een ander belangrijk aspect is hergebruik van materialen. Eén brug wordt vervaardigd uit gerecycled hout, voor een andere worden tweedehands stalen liggers gebruikt. In het bestek is een marge aangegeven voor de afmetingen van de staalprofielen om de inkoop flexibiliteit te geven voor het realiseren van de beoogde slankheid. Twee nieuwe bruggen hebben een dek gekregen van ultra-hogesterktebetonelementen (UHSB-dekdelen). Deze zijn modulair en los opneembaar, zodat de zeer lange levensduur een nieuw gebruik in de toekomst mogelijk maakt.



3 Gietijzeren brug over de Beek – gebouwd in 1902, een groene brug in een dito omgeving



4 Brug met detail van de leuning waarin de heilige Sint Ansfrius is afgebeeld



5 De Prins Willem III brug is genoemd naar de stadhouder (1650 – 1702) die in 1688 ook koning van Engeland werd; hij was gehuwd met Maria Stuart

Speciale aandacht is besteed aan de hekwerken (leuningen). Elke brug heeft een ander hekwerk gekregen dat goed overeenkomt met in de omgeving al aanwezige hekwerken.

Het hekwerk voor de Prins Willem III brug is speciaal ontworpen en refereert aan de vroegere nabij gelegen kazerne die dezelfde naam droeg (foto 2).

## AMERSFOORTSE BRUGGEN

De rivier de Eem stroomt vanaf de Koppelpoort (noordkant van de stad) richting het Veluwemeer. De voeding van de rivier gebeurt door enerzijds het Valleikanaal (oostelijke kant) en anderzijds de Heiligenbergerbeek (tracé loopt rond het stadscentrum). Het betekent dat er veel bruggen nodig waren en nog altijd zijn. Verschillende van die bruggen zijn al flink oud, bijvoorbeeld de gietijzeren brug in het verlengde van de Herenstraat (foto 3). Deze aantrekkelijke brug dateert uit 1902 en is gemaakt naar een ontwerp van de stadsarchitect H.W. Kam.

Van de vier vervangen bruggen worden per brug enkele bijzonderheden gegeven. In het algemeen geldt dat als taludverharding is gekozen voor grasbetontegels met een lage CO<sub>2</sub>-uitstoot (duurzaam beton).

### BRUG B056 – SINT ANSFRIDUSSTRAAT (CENTRUM)

Het brugdek van deze brug die over een zijtak van de Heiligenbergerbeek ligt, is geheel opgebouwd uit gerecycled hout. Afmetingen 13,50 m x 2,60 m. Leuningen zijn blauw gekleurd.



6 Brug in de wijk Rustenburg

In het algemeen geldt dat als taludverharding is gekozen voor grasbetontegels met een lage CO<sub>2</sub>-uitstoot

### BRUG B066 – CATHARINE VAN RENNESPAD (CENTRUM) GENAAMD PRINS WILLEM III BRUG.

Deze brug over de Heiligenbergerbeek is opgebouwd uit gerecyclede standaard staalprofielen en een brugdek bestaande uit vier demonteerbare UHSB brugdekmodules. Maten modules 2,50 m x 5,00 m.

Bij deze brug en de Pottenbakkerlaan brug is de brugindeling zo gekozen dat die ruim voldoet aan de algemene richtlijnen voor een toekomstgerichte inzet. Brugafmetingen: lengte 10 m, breedte van het fietsgedeelte rood van kleur 3,00 m, breedte van het witte voetgangersgedeelte 2,00 m.





7 De meest noordelijke stadsbrug, gelegen in Hoogland

### BRUG B075 – ONDERDUIKERSPAD (WIJK RUSTENBURG)

Ook hier is het brugdek gemaakt van gerecycled houten planken en gerecyclede standaard staalprofielen. Hoofdafmetingen zijn 12,00 m x 4,70 m. De indeling bestaat uit een zwart gedeelte voor de voetgangers van 1,50 m breed en een rood gedeelte voor de fietsers van 3,20 m. De leuningen hellen iets naar buiten.

### BRUG B107 - POTTENBAKKERLAAN (HOOGLAND)

Bij deze 12,5 m lange brug zijn evenals bij de Prins Willem III brug UHSB brugdekmodules toegepast met de afmetingen 2,50 m x 5,00 m. In verband met de nodige bruglengte zijn vijf betonelementen toegepast.

### UITVOERING

De vier bruggen zijn gebouwd door Bouwbedrijf Damsteegt uit Meerkerk. Brug B057 in de Zwaanstraat wordt vervangen door een groen grondlichaam met een duiker omdat de watergang vlak achter de brug wordt beëindigd. Een aansluitende

sloot zorgt voor een geringe waterafvoer. Zodoende was het niet noodzakelijk een nieuwe brug te bouwen. Een grondlichaam met duiker is een meer duurzame oplossing. Minder materiaalgebruik en het toepassen van materialen met een lagere milieu-impact zijn stappen in de circulaire/duurzame ontwerpmethode. De werkzaamheden in de

Zwaanstraat (B057) worden in een later stadium uitgevoerd. Voor de volledigheid: de brug Welvarend (B105) kon vervallen nadat een telling omtrent de gebruiksfrequentie had aangetoond dat de brug een wel zeer beperkte, functionele waarde had.



8 Het recycling beeldmerk is op de bruggen terug te vinden





# INNOVATIEVE OPLOSSING VOOR HERSTEL AANGETASTE STADSBRUGGEN

Leo van Dijk en Erik Huijzer | Gebr De Koning  
Stan en Bas Uyland | BetonBallon Projecten BV

**N**ederland kent ongeveer 40.000 bruggen en viaducten. Rijkswaterstaat heeft er hiervan ca. 3.700 in beheer. De overige bruggen vallen deels onder verantwoording van de gemeenten, provincies en waterschappen. Drie ontwikkelingen zijn belangrijk als we naar de toestand van onze bruggen en viaducten kijken: einde ontwerp-levensduur, toename verkeersbelasting en verkeersintensiteit. Omdat vervanging van de oudere en zwaar belaste bruggen en viaducten zeer kostbaar is (we spreken over tientallen miljarden euro) moeten er methoden gevonden worden om de bruggen veilig een tweede leven te geven.





1 Beperking brugbelasting

## GROEI IN AANTAL BETONREPARATIES

De combinatie van veroudering en zware verkeersbelastingen kan leiden tot verschillende problemen. Gewapend betonnen viaducten kunnen te maken krijgen met corrosie van de wapening, waardoor ook het beton wordt aangetast. TNO verwacht dat na 40 jaar ongeveer 5% van de betonconstructies gerepareerd moet worden en na 70 jaar zelfs 50%. [1] Doordat de piek in de bouw van bruggen en viaducten rond 1970 lag, voorzien we een groei van het aantal betonreparaties.

## STADSBRUGGEN

Stadsbruggen zijn voor een deel aanzienlijk ouder dan de bruggen in het rijkswegennet. Hoewel de verkeersbelasting in de steden meestal lager is, is alertheid nodig, omdat de staat waarin deze bruggen verkeren niet altijd goed bekend is. Naast een fors aantal schades per jaar is het helaas ook nog behoorlijk vaak nodig om beperkingen aan het gebruik te stellen, vooral voor vrachtverkeer (zie fig. 1). Hierdoor vermindert de kans op schade. Soms roest de wapening, waardoor het beton afbrokkelt. Ook kan een chemische reactie in het beton tot zwellingen leiden, wat het beton van binnenuit kapot drukt (alkali-silicareactie). Van veel stadsbruggen ontbreekt de documentatie, wat de onzekerheid vergroot over de betrouwbaarheid van de constructies. [1]

## SAMENWERKENDE PARTIJEN

De 'Onderbrug' wordt door twee bedrijven gerealiseerd:

- de BMU Groep, dat met de BetonBallon Technology is gecertificeerd voor civiele tunnelbouw door Rijkswaterstaat. Deze technologie is nu toepasbaar voor

gewelfde boogbruggen in bijvoorbeeld oude binnensteden van Amsterdam, Leiden en Delft;

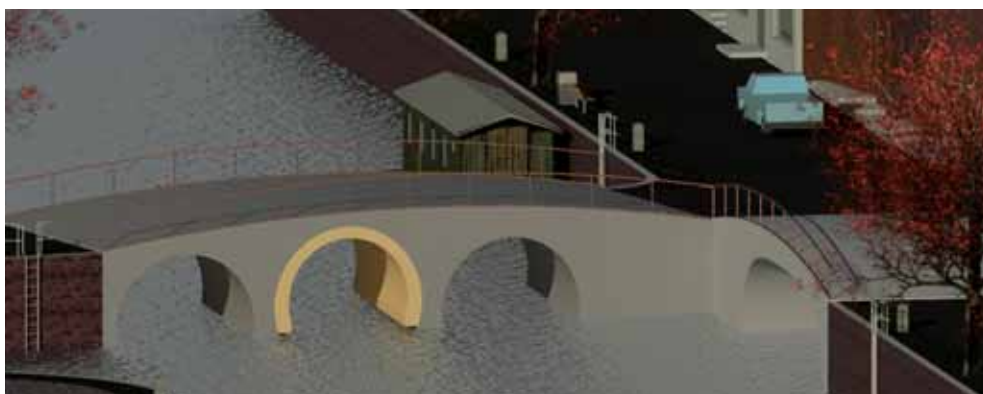
- Gebr. De Koning, geselecteerd als toekomstig aannemer van het *Innovatiepartnerschap Kademuren Amsterdam* met de combinatie G-Kracht (naast Gebr. De Koning bestaande uit Van Gelder en Giken).

## DE ONDERBRUG

De 'Onderbrug' is een methode om een tijdelijke en gemakkelijk afbreekbare boog te plaatsen onder bruggen. Hij geeft voldoende ondersteuning om de periode van de renovatie te overbruggen. De procedure is eenvoudig: een ballon wordt onder de brug opgeblazen op een ponton (zie fig. 2), maar blijft wel los van de brug. Hierna wordt een substantie aangebracht tussen de ballon en de brug, die uithardt (zie fig. 3) en daarmee een drukboog vormt. Door de principes van de kettinglijn te volgen, geeft dit extra versterking. De drukboog is afbreekbaar zodat, als de brug gerenoveerd is, deze makkelijk verwijderd kan worden.



2. Onderbrug: BetonBallon Technologie



3. Tijdelijke drukboog, na verwijderen betonballon



4 a-c Aanbrengen damwanden

De aansluiting op de verschillende brugvormen is flexibel. De boogvorm wordt voorzien van een opstaande rand die op de brug aan de zijkant aansluit.

De fundering wordt gemaakt met een innovatieve technologie waarbij een (kleine) machine stapsgewijs damwandplanken inbrengt en vervolgens hier overheen 'wandelt' (zie fig. 4 a-c). Dit geschiedt trillings- en zettingsvrij. Het is een klik-systeem [4] met kleine (korte) damwanden, zodat lassen niet nodig is en die eenvoudig en snel geïnstalleerd, verwijderd en hergebruikt kunnen worden.

Er worden aan de funderingen van de bestaande brugconstructie geen aanpassingen uitgevoerd. Alle werkzaamheden vinden vanaf het water plaats en zullen niet of nauwelijks hinder veroorzaken. De plastische vorm van de ballon is het meest geschikt voor gewelfde boogbruggen en kunnen later weer worden hergebruikt bij soortgelijke bruggen. Echter ook bij plaatbruggen kan deze techniek worden toegepast, waarbij er dan wel een drukboog onder deze brug gevormd zal worden.

## FUNDERING IS CIRCULAIR

De Onderbrug is in staat om in korte tijd met een minimum aan materialen en materieel de dynamische verkeersbelasting op te vangen en de levensduur veilig te verlengen. Het heeft een minimaal ruimtebeslag en de uitharding van de constructie vindt plaats nadat de tijdelijke ondersteunende constructie, na circa een dag na het aanbrengen van de substantie, weggehaald is om het waterverkeer zo min mogelijk te hinderen. De boogconstructie is in één keer aan te brengen en eenvoudig en binnen de verkeersluwe periode te verwijderen.

De werkprocessen zijn eenvoudig, efficiënt, duurzaam en veilig. Het proces vergt een minimale hoeveelheid materiaal, materieel, arbeid en tijd. De boogvorm is recyclebaar. De fundering is circulair en de ballon kan worden hergebruikt. De oplossing is daardoor snel en eenvoudig toe te passen bij vele bruggen. Het innovatietraject wordt financieel ondersteund door de provincie Zuid Holland die dit idee als een zeer kansrijke innovatie heeft beoordeeld en beloond met een MIT R&D subsidie. (Mkb Innovatiestimulering Topsectoren)

## BRONNEN

- 1 Ir. Arie Bleijenbergh, Prof. Dr. Ir. Johan Maljaars, Prof. Dr. Rob Polder, Prof. Dr. Ir. Raphaël Steenbergen, Dr. Ir. Adri Vervuurt, 2017, De staat van onze bruggen, TNO, Delft
- 2 BetonBallon Technology, [www.betonballon.nl](http://www.betonballon.nl)
- 3 Gebr. De Koning, [www.gebrdekonig.nl](http://www.gebrdekonig.nl)
- 4 Ultra Clear Piler, zie [www.giken.com](http://www.giken.com)
- 5 Bart Grandia, (constructeur / ontwerper bij Gebr. De Koning) *Variantenonderzoek*

## VERDER ONDERZOEK NAAR HAALBAARHEID EN KOSTEN

De kosten van de constructie zijn afhankelijk van de vorm en grootte van de brug. De kosten ten opzichte van traditionele verstevigingsmethoden zijn substantieel lager, zeker ten opzichte van een complete renovatie! Daarnaast is er geen of nauwelijks omgevingshinder.

Momenteel wordt in het kader van een afstudeeropdracht [5] een variantenonderzoek uitgevoerd waarbij verschillende constructietypes worden bekeken en uitgewerkt. Hierbij zal ook de variant van BetonBallon nader onderzocht en uitgewerkt worden. We hebben hiervoor al twee gewelfde boogbruggen toegewezen gekregen. Daarnaast zal een ingenieursbureau ook onderzoek naar deze bruggen verrichten waarbij, naast o.a. een 3D-scan, ook uitgebreid in beeld wordt gebracht welke risico's het functioneren van de bruggen en/of veiligheid bedreigen en hoe de oplossing van de Betonballon hierbij kan worden ingezet voor een maximale prestatie.

## ERVARING

De Betonballon Technologie is reeds toegepast bij kantoren en woningen. De techniek is recent gevalideerd door Rijkswaterstaat voor toepassing in tunnelbouw. De verwachting is dan ook gerechtvaardigd dat de technologie ook voor gewelfde bruggen in de binnensteden van bijvoorbeeld Amsterdam, Delft en Leiden toepasbaar is.

De basisfunderingstechnologie van de firma Giken [4] is reeds op verschillende plaatsen toegepast, zoals in Haarlem en Amsterdam (calamiteitenbestek). Wij verwachten daarom ook dat deze technologie toepasbaar is voor de versteviging van de fundering van eerder genoemde bruggen.

## CONCLUSIE

De Onderbrug

- kost maar een fractie van wat renovatie normaal zou kosten;
- is levensduur verlengend;
- is geschikt voor zowel tijdelijk als permanent gebruik;
- is duurzaam en herbruikbaar;
- maakt programmatische aanpak mogelijk;
- veroorzaakt nauwelijks omgevingshinder;
- maakt gebruik van reeds bestaande en bewezen technieken;
- combineert diverse technieken van diverse specialisten wat unieke en verrassende oplossingen biedt!









# VERVANGING VAN BRIENENOORDBRUG

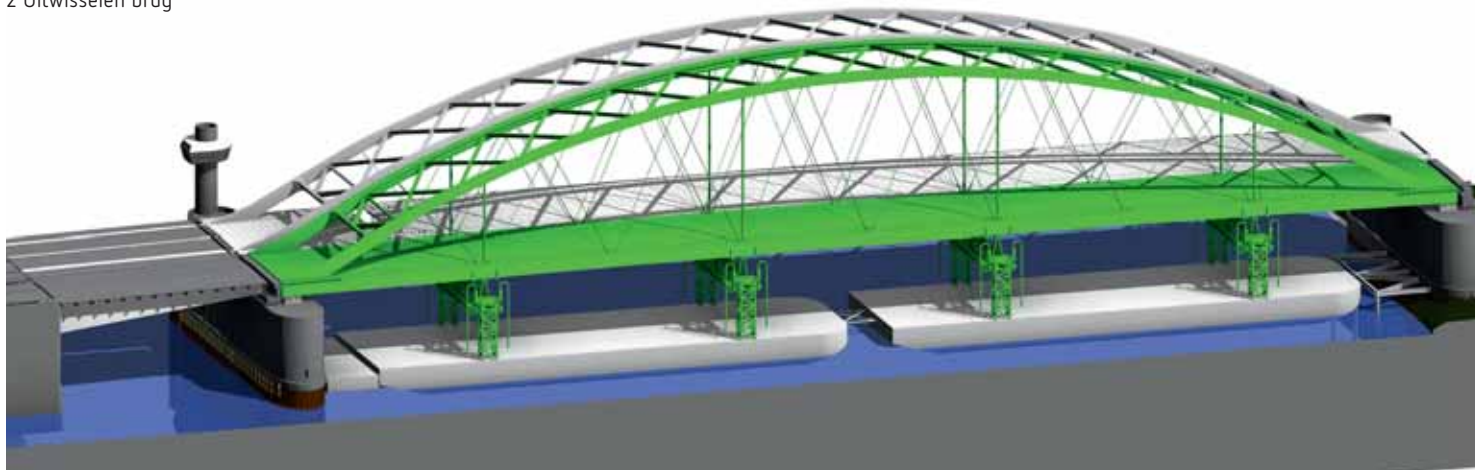
Willem Cijssouw

**D**e kogel is door de kerk: de Van Brienenoordbrug zal worden vervangen. Lange tijd waren twee opties in beeld voor het vernieuwen van de brug: renoveren of vervangen. Nu is gekozen voor vervanging, wat onder meer betekent dat een enorme hijsoperatie zal worden opgezet. In dit artikel wordt ingegaan op de keuze voor vervanging en de activiteiten die de komende jaren zullen plaatsvinden.



1 Overzicht versterkingen





De Van Brienenoordbrug kent een lange geschiedenis. Reeds in 1965 werd de brug geplaatst die nu de oostbrug is. Omdat de verkeersdrukke de decennia erop enorm toenam werd in 1990 een tweede brug – de westbrug met westelijke val – naast de bestaande gelegd, waarmee de brug 12 rijstroken breed werd. Bij de oplevering werd de westelijke brug geprezen om zijn economische ontwerp, omdat het brugdek veel lichter was dan het dek van de oudere oostbrug. Op dat moment kon niemand weten dat dit dunne dek in de toekomst juist problemen op zou leveren.

In 1997 bleek bij een inspectie dat in het dek van de westelijke val scheuren zaten. Het bleek om vermoeiing te gaan, ten gevolge van toename van het verkeer, grotere aslasten en een gevoelig ontwerp. Vermoeiing treedt op wanneer staal aan cyclische belasting (afwisselend wel en niet belast) wordt blootgesteld. Cyclische belasting kan veel kleiner zijn dan de maximale statische belasting, om toch de constructie te laten bezwijken. Dit komt met name voor bij zeer slank gedimensioneerde constructies, zoals moderne stalen brugdekken. In de volgende jaren deden de honderdduizenden (vracht)auto's die per dag de brug passeren (een goed voorbeeld van cyclische belasting) hun werk, waardoor het val al zeven jaar later scheuren vertoonde.

In deze periode werden ook in andere stalen bruggen vermoeiingsscheuren in het orthotrope dek ontdekt. Hierop zette Rijkswaterstaat samen met partners TNO en TU Delft een groot onderzoeksprogramma op naar de staat van stalen brugdekken. Bij de Van Brienenoordbrug werd de basculebrug

aan de westzijde vervangen. In het val van de westbrug zorgt de dikkere afaltlaag voor een betere spreiding van de belasting in vergelijking met die van de oostbrug, waardoor de vermoeiingsschade hier beperkt bleef. Kosten, onderhoud en de steeds grotere verkeersdrukke zijn echter reden om sinds 2017 verschillende opties voor vernieuwing van de hele brug te onderzoeken.

## RENOVATIE

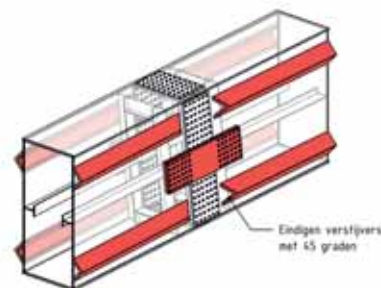
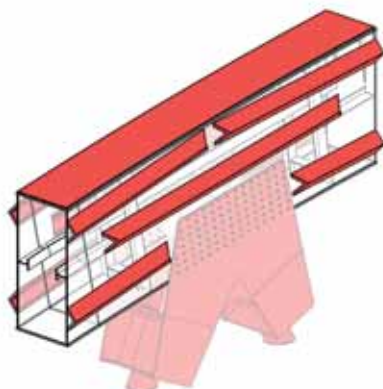
Aankankelijk werd ingezet op renovatie, door over het brugdek een laag hogesterktebeton aan te brengen. Deze zou de cyclische verkeersbelasting beter spreiden, waardoor het brugdek voor vermoeiing ontlast zou worden. Met het repareren van bestaande vermoeiingsschade en versterken van het dek zou de brug weer 30 jaar meekunnen. Het grootste nadeel van renovatie was van meet af aan echter het moeten werken 'in het verkeer', met bijbehorende hinder en veiligheidsrisico's. Gedurende het gehele renovatieproject zouden immers minder rijstroken op de A16 beschikbaar zijn. Met 230.000 voertuigen die per dag de brug passeren, heeft elke hinder economische gevolgen. Verkeershinder moet dan ook zoveel mogelijk beperkt worden. Bij het uitwerken van het plaatsen van een HSB-laag bleek echter dat het extra gewicht een forse versteviging van de hele brug nodig zou

maken. Het moeten aanbrengen van dit extra staal zou het werk vele weken verlengen.

In een vroege fase is bepaald welke onderdelen tot DO-niveau constructief ontworpen zouden worden en aan welke onderdelen wel eisen zouden worden gesteld, maar waarvan de invulling aan de aannemer overgelaten zullen worden. Het aanbrengen van nieuwe conservering is ingewikkeld door de zeer strenge condities die nodig zijn. De brug moet worden ingepakt in tenten, die bij storm kapot kunnen waaien, zeker op 40 m hoogte bovenin de boog. Het conserveren zou door de aangetroffen zware metalen veel meer tijd gaan kosten. Hierdoor werd duidelijk dat er maar liefst 70 weken (flinke) verkeershinder zou zijn bij renovatie van de westbrug. Dit is niet alleen een lange periode voor het verkeer, maar ook een nadeel voor de veiligheid op de bouwplaats. Bouwvakkers zouden immers bijna anderhalf jaar lang pal naast snel rijdend verkeer moeten werken.

## VERVANGING

Rond 2018 kwamen de eerste plannen naar voren voor het compleet vervangen van de westbrug, met hergebruik van de brug. Hierbij zou een nieuwe boog worden gemaakt, die op de plaats van de westbrug zou komen. Vervolgens zou de oude westbrug worden opgeknapt en een jaar later



3 Versterking boog

# Vervanging heeft enkele grote consequenties

op de plaats van de oude oostbrug komen. De oostbrug is namelijk een stuk ouder en dient ook in de komende jaren gerenoveerd te worden. De oostbrug blijft dan over om op een andere locatie te worden hergebruikt. Ook de vallen aan de oostzijde zouden rond dezelfde periode vervangen moeten worden.

Naarmate deze variant in 2019 steeds verder uitgewerkt werd, en ook externe toetsen hiervan positief bleken, werd deze optie steeds reëler. Het grote voordeel van vervanging ten opzichte van renovatie is dat bij de eerste optie de snelweg slechts enkele weken afgesloten hoeft te worden, tijdens het uitwisselen van de bruggen. Toen bekend was geworden hoe groot de verkeershinder bij renovatie zou zijn, werd dan ook definitief de keus voor vervanging genomen. Tevens werd het besluit genomen om het project integraal aan te pakken, waarbij de vervanging van de twee bruggen en de oostelijke vallen in een project werden ondergebracht.

In de praktijk was dit echter niet zo eenvoudig als het lijkt, want ook vervanging heeft enkele grote consequenties. Zo zal het scheepsvaartverkeer gestremd zijn tijdens het uitwisselen van een boog. Ook zullen de betonnen pijlers onder de bogen aangepast moeten worden. Maar natuurlijk zal vooral het verwijderen en plaatsen van de boogbruggen een enorme operatie zijn, die van nature risico's met zich meebrengt. Er gaat dan ook veel tijd zitten in het goed borgen van veiligheid tijdens het verwijderen en plaatsen van de nieuwe boogbruggen.

Het idee is om de boogbruggen middels bokken op een drijvend ponton te plaatsen en zo te transporteren. Op deze locatie is het uit- en inhijzen van de brugdelen namelijk niet mogelijk, omdat kraanschepen die groot genoeg zijn om de boogbruggen te hijsen niet bij de locatie kunnen komen. De waterweg is niet breed en diep genoeg voor deze schepen, waardoor plaatsen op een ponton de meest praktische keuze lijkt. Voor het plaatsen zullen de bogen tijdelijk versterkt worden ter plaatse van de ondersteuning door de bokken. Deze hulpconstructies zullen de grote lokale krachten verspreiden over de rest van de boog.

## ONTWERP

In een vroege fase is bepaald welke onderdelen tot DO-niveau constructief ontworpen zouden worden en van welke wel eisen werden opgesteld, maar waarvan de invulling aan de aannemer vrijgelaten zullen worden. Op die manier wordt getracht risico's bij de uitwerking van het ontwerp na de aanbesteding te minimaliseren, maar ook genoeg vrijheid aan marktpartijen te geven voor eigen invulling. Het Definitief Ontwerp van de boogbruggen en het val wordt reeds uitgewerkt door Rijkswaterstaat.

Iets anders wat het ontwerpen bemoeilijkt, is de grootte van de brug. De Van Brienenoordbrug is de grootste stalen boogbrug van Nederland en de afmetingen vallen buiten het toepassingsgebied van de Eurocode. Dat betekent dat op een aantal gebieden de vereenvoudigde regels niet van toepassing



zijn maar dat maatwerk nodig is. In deze gevallen wordt door onderzoek bepaald of de constructie voldoet. Een voorbeeld hiervan is windbelasting op de brug. Om de juiste belastingsfactoren te bepalen is een schaalmodel getest in de windtunnel van de TU van Milaan. In samenwerking hebben de ontwerpers van de MC en TNO is op basis van de resultaten de juiste windbelasting bepaald. Sommige onderdelen van de brug zijn dus al in een vroeg stadium ver uitgewerkt. Toen de opdracht tot vernieuwing van de Van Brienenoordbrug werd gegeven, is de opgave kritisch geanalyseerd door het ontwerpteam. Hierbij werd gekeken naar de boogconstructie, het dek, de hangers, de liggers, maar ook de relatie tussen de constructie en de Eurocode. Vervolgens is bepaald dat het Definitief Ontwerp al voor de aanbesteding ver uitgewerkt zou worden.

4 Fiestpad







## AANBESTEDING

De voorbereidingen van de aanbesteding zijn gestart met een marktinformatie en later dit jaar volgt een marktconsultatie. Op basis van de informatie die het komende jaar wordt verzameld, worden de uitgangspunten en wijze van aanbesteden en uitvoering bepaald. Voor het Definitief Ontwerp is een ontwerpteam opgezet, bestaande uit Rijkswaterstaat, RoyalHaskoningDHV en Arup. Hierin werken RHDHV en Arup aan het ontwerp van de brug, dat vervolgens door Rijkswaterstaat getoetst en vrijgegeven wordt. TNO ondersteunt het team met extra advies en het rekenen aan specialistische onderdelen van de brug. Ondanks de verschillende rollen werken alle partijen op basis van gelijkheid en eigen inbreng en initiatief.

## UITVOERING

Ook wanneer de boogbruggen kant-en-klaar worden geplaatst, zal de verkeershinder in een korte periode aanzienlijk zijn. Hoe wordt straks geprobeerd opstoppen op de snelweg en op het water te voorkomen? Op de weg blijft telkens één brug open open, wat 2x3 wegstroken geeft. Met verkeersmodellen is berekend dat een verkeersreductie van 15% nodig is om het verkeer te kunnen laten doorstromen als in een normale spits. Uiteraard zal het verkeer over de A16 (deels) omgeleid worden. Ook zal er worden getracht mensen op andere manieren te laten reizen: op de fiets, of met het OV, zoals de Rotterdamse watertaxi. Op het water zullen schepen niet over de Nieuwe Maas kunnen. Zij zullen via Dordrecht moeten omvaren over de Oude Maas.

Het is de bedoeling dat het project in 2023 gegund wordt, waarna in de zomers van 2025-2027 de uitwisseling van de bruggen dient plaats te vinden. Dit lijkt nog ver weg, maar gezien de complexiteit van de werkzaamheden is een strakke planning nodig om dit te halen, des te meer vanwege het grote aantal stakeholders (Rijkswaterstaat, gemeenten, provincie en het Havenbedrijf bijvoorbeeld). Het vervangen van de boogbruggen zal een hijsoperatie van ongekende omvang worden en dus spectaculair om te zien. Tot het zover is, zal er door vele handen nog veel werk verzet moeten worden. Wordt vervolgd!



# SLIMME SENSOREN GEVEN ADVIES NA AANRIJDING VAN EEN SPOORBRUG

**P**roRail voert een proef uit met sensoren die meten of er een aanrijding is geweest met een spoorbrug en hoe ernstig die was. De sensoren geven vervolgens een melding af of treinen veilig over de brug kunnen. Dit zorgt voor minder hinder voor reizigers. Nu gaat namelijk na een (vermoedelijke) aanrijding de brug standaard dicht en duurt het soms wel drie uur tot het spoor weer vrij gegeven wordt, omdat de inspecteur standaard ter plaatse moet gaan. ProRail doet de proef met de sensoren in Heerhugowaard, samen met TNO.

Spoorbruggen worden regelmatig aangereden door te hoge voertuigen of aangevaren door schepen. Bij gevoelige bruggen leggen we dan het treinverkeer stil vanwege de veiligheid en gaat een inspecteur kijken of er schade aan de brug of het spoor is. In de meeste gevallen is er niets ernstigs aan de hand en is het treinverkeer 'voor niets' stilgelegd, maar hebben reizigers en vervoerders er wel last van gehad.

## AANRIJDINGEN DETECTEREN

Vaststellen of een brug is aangereden lijkt eenvoudig, maar is in de praktijk lastig. Niet altijd is duidelijk of trillingen worden veroorzaakt door treinen die over de brug rijden of door een (vracht)auto die tegen de brug rijdt. Weersomstandigheden en luchtverplaatsingen door vrachtwagens maken dat nog moeilijker. Sensoren moeten dit probleem oplossen.

## DRIE TYPEN SENSOREN

In de zoektocht naar een oplossing voor dit probleem heeft ProRail drie typen sensoren op de brug in Heerhugowaard aangebracht. Het eerste type meet of een vrachtwagen tegen de balk die voor de brug hangt, is gereden. Het tweede type meet of de brug in zijn geheel verschuift of verdraait ten opzichte van de landhoofden. Het derde type meet met glasvezelsensoren of de staalconstructie van de brug is verbogen en of de spoorstaven op de brug ten opzichte van elkaar zijn verplaatst.

De data van deze sensoren wordt naar het DataLab van ProRail gestuurd voor analyse. Hier komen ook de gegevens binnen over de treinen die op het moment van de aanrijding over de brug reden. In het DataLab worden algoritmes ontwikkeld die valse meldingen opsporen, de ernst van de aanrijding berekenen en op basis daarvan een advies uitbrengen.

## VOORKOMEN BETER DAN GENEZEN

De brug in Heerhugowaard is gekozen omdat deze regelmatig wordt aangereden, ongeveer zeven keer per jaar. Daarnaast zijn er

waarschijnlijk aanrijdingen die niet worden gemeld. In de eerste fase van de proef is het eerste type sensoren aangebracht in combinatie met een camerasysteem dat privacyproof de beelden van een (mogelijke) aanrijding vastlegt. We weten nu dat de brug één à twee keer per maand wordt aangereden. Op basis van deze eerste uitkomsten kijken we nu samen met de provincie of een waarschuwingssysteem kan worden geplaatst om aanrijdingen te voorkomen.



Bron: ProRail



Sensor op de aanrijbalk van de brug



# OPZET EN RESULTATEN BRUGGENDIALOOG

**D**e Bouwagenda, Bruggenstichting, CROW, Platform WOW en De Bouwcampus bespeuren een behoefte aan een bruggendialoog. De uitdagende en omvangrijke opgave om de Nederlandse civiele kunstwerken te renoveren en vervangen, is iets waar we samen nog decennia mee bezig zullen zijn. Om dit als overheid en markt aan te kunnen, is het gesprek hierover van groot belang. Hiertoe zijn via ZOOM eens per maand tussen 8.00 en 9.00 uur drie ontbijtbijeenkomsten belegd waarin de discussie plaats vond.

Tijdens deze online Brugdialogen komen vraagstukken, ideeën, oplossingen en mislukkingen t.a.v. brugonderhoud en -renovatie aan bod die jou en jouw collega's door heel Nederland helpen. Laten we er met zijn allen naar streven om zo veilig, efficiënt en duurzaam mogelijk te werken. Want die (ge-renoveerde) kunstwerken moeten er komen! En vaak snel ook. Jouw kennis en ervaring is daarbij hard nodig om dit te realiseren. De online Brugdialogen vonden rond diverse thema's plaats. Er zijn drie sessies geweest over o.a. 'Gebundeld Aanbesteden' en 'Hergebruik van Bruggen'.

## WAAR HEBBEN WE MEE TE MAKEN?

Veel bruggen, maar ook sluizen, viaducten, duikers, etc. zijn gebouwd in de jaren 50-60-70 van de vorige eeuw en naderen het einde van hun technische levensduur, waardoor assetbeheerders en -eigenaren geconfronteerd worden met een ingrijpende en kostbare uitdaging. Willen we deze opgave op tijd, veilig, efficiënt en duurzaam uitvoeren, dan is het van belang dat alle betrokken beheerders en marktpartijen met elkaar samenwerken en kennis uitwisselen.

## OPZET BRUGDIALOGEN

Maandelijks zijn we online met elkaar in gesprek geweest, als vervolg op de live Bruggenontbijten in 2019. We zijn elke Brugdialoog gestart met een korte introductie tussen enkele ervaringsdeskundigen.



Beeld: Yvonne Courage

Daarna volgde de dialoog, in kleinere groepen (4-5 mensen) en is er afgesloten met een 'wrap-up'. Kort, bondig en to the point, zodat we er met z'n allen wijzer van worden. Belangrijke uitkomsten uit de bruggendialoog worden ingebracht bij de Top Meeting met bestuurders en directeurs van assetbeheer-organisaties die aan het eind van het jaar wordt georganiseerd. Lastige en complexe vraagstukken kunnen we inbrengen in de leeromgeving bij De Bouwcampus, maar ook laten inleiden door specialisten uit de sector en betrokken kennisinstellingen.

Met deze opzet is tijdens de brugdialogen geprobeerd

- 1 het wiel niet als persoon of organisaties opnieuw uit te vinden, maar samen te werken aan dezelfde opgaven;
- 2 ideeën, mislukkingen en successen open met elkaar te delen;
- 3 door het gesprek te voeren een oplossing te versnellen;
- 4 in dialoog samen de stukjes van de oplossingspuzzel aan te dragen en neer te leggen.

## RESULTATEN

De verslagen zijn te vinden op <https://circulairebouweconomie.nl/events/brugdialogen-2/>.

Om een grote overspanning mogelijk te maken is de keuze gevallen op de toepassing van acht zeer lange HKP-kokerliggers.

# HAVENBRUG OOIJEN TE WANSSUM: NIEUW LENGTERECORD PREFABLIJGERS

**D**at het altijd weer langer kan, blijkt bij de bouw van een brug in de nieuwe rondweg bij het Noord-Limburgse Wanssum. Hier zijn 69 meter lange kokerliggers toegepast.



1 gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum' met de plaats van de havenbrug in de rode lijn

De 'gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum' is een grootschalige oplossing voor de hoogwaterproblematiek langs de Maas in Noord-Limburg. De uitvoering is in handen van Mooder Maas, een aannemerscombinatie van Dura Vermeer en Ploegam. Onderdeel van de gebiedsontwikkeling is het verhogen van de leefbaarheid in Wanssum. Dat gebeurt onder meer door de aanleg van een noordelijke Provinciale rondweg, inclusief een brug over de haven van Wanssum. De huidige provinciale weg N270 loopt namelijk dwars door het centrum van Wanssum. Het is een bron van overlast en zorgt voor onveilige situaties. Bovendien staat het een verdere ontwikkeling van het centrumgebied in de weg. Met de aanleg van een noordelijke rondweg wordt het doorgaande verkeer om

de kern van Wanssum geleid en ontstaan kansen voor de ontwikkeling van het centrum en de jachthaven. Bovendien wordt het industrieterrein ook aan de oost- en westzijde van de haven ontsloten. Lokaal vrachtverkeer hoeft daardoor niet meer door de dorpskern.

## HAVENBRUG OOIJEN TE WANSSUM

De rondweg wordt ongeveer 3 kilometer lang en loopt met een ruime bocht om de kern van Wanssum en kruist de haven met een nieuw aan te leggen brug. De onderkant van de nieuwe brug ligt op circa 8 meter hoogte boven het maaiveld.

Om een grote overspanning mogelijk te maken is de keuze gevallen op de toepassing van acht zeer lange HKP-kokerliggers.



2 ontkisten van de 1<sup>e</sup> ligger op 1 april jl.  
©Haitsma



Op woensdag 1 april 2020 is de eerste ligger ontkist. De ligger is 69 meter lang en heeft een massa van 259 ton. In totaal worden er acht van deze liggers gemaakt om zo onderdeel te vormen van de havenbrug in Wanssum. De liggers zijn via het water getransporteerd en zijn op 11 en 12 juni gemonteerd. Voor de montage zijn drijvende bokken ingezet, omdat er ter plaatse geen

ruimte is voor mobiele kranen aan de wal. (zie fig. 3)

Het brugdek van kokerliggers wordt in dwarsrichting voorgespannen, waardoor er geen druklaag nodig is. De grootste uitdaging zit natuurlijk in de enorme lengte van de liggers. Die is nodig om het water zonder tussensteunpunten te overbruggen en

bovendien de uitkragingen bij de landhoofden te minimaliseren. Dit resulteert in een optimaal ontwerp en maximale doorvaartbreedte.

Fotografie: © Paul Poels Bedrijfsfotografie en videografie



3 drijvend transport van de liggers



↑ ↗ 4 en 5 inhijzen liggers met drijvende bok  
© Paul Poels Bedrijfsfotografie en videografie

# REMPROEF SUURHOFFBRUG

**D**e Suurhoffbrug is een gecombineerde weg- en treinbrug over het Hartelkanaal en verbindt de Maasvlakte met de Europoort; het is onderdeel

van de Havenspoorlijn. De brug ging in 1972 open en won in 1974 de Nationale Staalprijs en in 1975 de Europese Staalprijs.

Rijkswaterstaat laat momenteel de naastgelegen verkeersbrug renoveren. Deze rust op dezelfde fundering als de spoorbrug. Er is bovendien een nieuwe verkeersbrug naast gebouwd (Zie BRUGGEN 2020-1), waarvan de fundering inmiddels af is.

Arcadis onderwierp onlangs de Suurhoffbrug aan een spectaculaire test: een zware trein maakte er een paar keer een noodstop op. Dat leverde interessante meetgegevens op over de restlevensduur. Andere bruggen profileren mogelijk ook van deze unieke proef. Het treinstel dat op een zaterdagochtend in alle vroegte in volle vaart op de Suurhoffbrug afdenderde, bestond uit twaalf geschakelde locomotieven. Met een totale massa van 1095 ton woog het treinstel grofweg evenveel als een kudde van tweeduizend koeien. Wat gebeurt er als dat treinstel in één keer op een tweehonderd meter lange brug stopt? Op het eerste gezicht niet zo gek veel. “Maar dankzij

speciale videotechniek – een motion amplification-camera – konden we haarscherp zien hoeveel de brugconstructie meegaf: ongeveer 10 tot 20 millimeter”, vertelt onderzoeker Joost Kuckartz van Arcadis. “Op die manier ontstaat een goed beeld van het dynamische gedrag van de brug.”

Angst voor instorting was er niet, want vooraf hadden onderzoekers de brug tot in detail gemodelleerd. Ze zetten daarvoor de twee pylonen van de brug in een 3D-simulatiemodel en lieten dat de krachten berekenen die zouden optreden bij de remtest. Daaruit bleek dat hij de test makkelijk aan zou moeten kunnen. Calculaties wezen bovendien uit dat de brug nog makkelijk een halve eeuw mee kan.

## HELLINGSSENSOREN<sup>1</sup>

De remtesten moeten vooral aantonen dat de rekenkundige analyse klopt. Arcadis hing de

Remproef van 12 geschakelde locomotieven op Suurhoffbrug – beeld Arcadis



voorbeeld  
hellingsensor

brug daartoe vol met sensoren, nadat er vorig jaar september al 26 hellingsensoren op de twee pylonen waren aangebracht. Deze brengen de hoekverdraaiing in beeld. Ook de komende maanden nog geven ze iedere dag informatie door over de deformaties door de seizoenen heen. Voor de remproef werden ze even bijgesteld: tijdens de noodstops gaven ze een paar keer per seconde een meting door.

Arcadis liet daarnaast een speciale sensor uit Australië komen voor de registratie van de acceleratie. Kuckartz kende die nog van het promotieonderzoek dat hij daar uitvoerde naar de monitoring van bouwkundige objecten. De acceleratiesensor is nog nauwkeuriger dan de aardbevingssensoren die het KNMI gebruikt. De sensor heeft de omvang van een twee liter-melkpak en kan tot elf uur op batterij opereren. Dat is makkelijk, want je kunt hem gewoon tegen de brugconstructie bevestigen zonder dat er bedrading nodig is.

## GOEDE GEWICHTSVERDELING

Het was eigenlijk de bedoeling om de proef uit te voeren met een goederentrein, maar goederenvervoerders waren minder geïnteresseerd om hun wagons beschikbaar te stellen, uit angst voor schade. Niet zo gek, want zo vaak maakt een trein geen noodstop. Op de Suurhoffbrug deed de trein dat liefst zes keer achter elkaar. Volgens Kuckartz een unicum. “Voor zover ik heb kunnen nagaan is wereldwijd nog nooit een vergelijkbare test





uitgevoerd.” De proef werd uiteindelijk met een 199 meter lange rij locomotieven van Stichting Hollands Spoor uitgevoerd. Dat zorgde voor een goede massaverdeling. De noodstop op de brug gebeurde bij een snelheid van 80 kilometer per uur. Dat is de gebruikelijke snelheid op dit gedeelte van de Havenspoorlijn.

Data uit de proef kunnen helpen met het aanscherpen van de mathematische modellen. In Nederland zijn veel bruggen gebouwd in de jaren zestig en zeventig. Op basis van bouwtekeningen en beschikbare gegevens is een aardige schatting te maken van de restlevensduur van de brugconstructie en de fundering. Als we de aannames mogen geloven zit het wel goed. Zestig jaar geleden bestonden er geen softwarepakketten voor zeer gedetailleerde berekeningen. Daarom werden veel constructies overgedimensioneerd. Ze

kunnen daarom volgens bijna alle wetenschappelijke onderzoeken langer mee dan wat er op papier aan levensduur voor staat. ProRail, de opdrachtgever voor de proef, wil het alleen wel zeker weten.

Dat het kan tegenvallen bleek in 2016 bij de Merwedebrug, die in allerijl afgesloten werd voor vrachtwagenverkeer wegens haarscheurtjes in de draagbalken. Belangrijk verschil is dat de Merwedebrug een verkeersbrug is. Wegvrachtverkeer is in de afgelopen decennia veel intensiever en zwaarder geworden.

### VERVANGINGSOPGAVE

Is het mogelijk om de meetresultaten van de Suurhoffbrug te extrapoleren naar hoe het met duizenden andere spoorbruggen gesteld is? “Nee, dit is niet direct te kopiëren”, zegt Kuckartz. “Iedere brug is uniek, met zijn eigen betonsterkte, wapening en vormgeving.”

Moet je dan alle oudere bruggen aan remproeven onderwerpen? Dat ook niet, want de proef geeft wel meer inzicht in bruggen met vergelijkbare constructies. Maar volgens Arcadis kan meer testen verstandig zijn. Nederland staat voor een grote vervangingsopgave en je kunt niet alle bruggen tegelijk aanpakken. Kuckartz: “We hebben hier laten zien dat je het gedrag nauwkeurig in kaart kunt brengen.”

De analyse van de verzamelde data – naar schatting 500 MB – zou Arcadis voor de bouwvak afronden. De data worden daarnaast verwerkt in een digital twin<sup>2</sup>.

Bron: Cobouw, 30-6-2020

<sup>2</sup> Een Digital Twin is een digitaal vormgegeven, fysiek object (hier een brug) of systeem

## Raad van Advies Bruggenstichting

ARUP



