

Bouwen met Staal 266 | jaargang 51 | december 2018

ISSN 0166-6363

Uitgever Marco Pauw.

Redactie Paul van Deelen • Henk Orsel • Marco Pauw.

Medewerkers Bertine Colsen, Cor van Eldik.

Redactieraad (2019) dr.ir. R. Abspoel, TU Delft • W. Borgstein, Tata Steel Europe • ir. M.F.I. Braem, Croes • ir. Y. van Diermen, Pieters Bouwtechniek • P. ter Haar, Zinkinfo Benelux • A. Hagoort, SNS • ir. M. Horikx, Hogeschool van Amsterdam • ing. K. Flierman, Construsoft • G.J. Kannekens, Severfield • ir. F. Maatje (voorzitter), Bouwen met Staal • ir. K. Oosterman, ZJA • ing. J. Seinen, Rijkswaterstaat • A. van Stiphout, Jack Muller • ir. L.I. Vákár, Movares • ing. F.E. Vasquez, DumeboDWS • T.S. Wolvekamp MSC, BAM Infra Consult.

Redactie en administratie Bouwen met Staal • Louis Braillelaan 80 • 2719 EK • Zoetermeer • tel. (088) 353 12 12 • bms@bouwenmetstaal.nl

Advertenties Advercom • Dijkzichtlaan 2, 2071 EZ Haarlem • tel. 023-737 07 96/ 06-24 68 52 25 • edejong@advercom.nl • www.advercom.nl

Vormgeving Banee Design, Rotterdam • www.banee-design.nl

Druk Veldhuis Media, Raalte • www.veldhuismedia.nl

Vrijwaring Uitgever, redactie en medewerkers verklaren dat de inhoud van dit vakblad zorgvuldig en naar beste weten is samengesteld. Zij aanvaarden geen aansprakelijkheid voor schade, van welke aard ook, als gevolg van handelingen en/of beslissingen die zijn gebaseerd op de geboden informatie.

Abonnementen 2019 Binnenland € 69; buitenland € 94; studenten € 20 (via Staalkaarthouder); losse nummers € 23 (prijzen incl. btw). Annuleren voor 2020 is mogelijk tot 1 december 2019. Een abonnement is ook verkrijgbaar als onderdeel van een lidmaatschap van Bouwen met Staal met exclusieve toegang tot de digitale versie(s) van het vakblad.

Lidmaatschap Bouwen met Staal Een lidmaatschap geeft recht op één of meer abonnementen op het vakblad *Bouwen met Staal* en gratis deelname aan avondsessies. Als (bedrijfs)lid ontvangt u ook korting op studiedagen, excursies en op andere producten en diensten van Bouwen met Staal (zoals publicaties, cursussen, opleidingen en de Nationale Staalbouwdag). Bovendien krijgt elk lid toegang tot de digitale versie(s) van het vakblad (online bladermodule) en het archief (eveneens online) dat per artikel kan worden geraadpleegd via bijvoorbeeld auteur, onderwerp of een trefwoord.

Meer informatie en aanmelding(en) www.vakbladbouwenmetstaal.nl

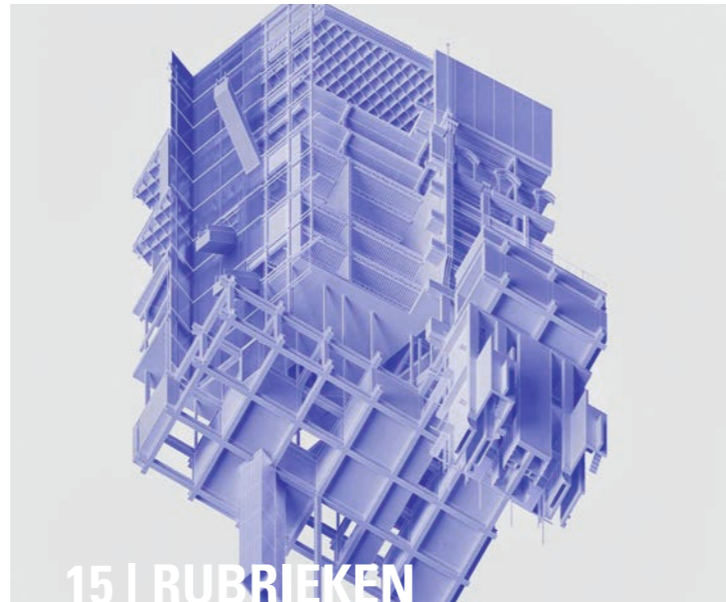
Cover (Void Capital) Iason Stathatos • www.iasonstathatos.com

Illustratie p. 3 Benthem Crowel Architects • www.benthemcrowel.com



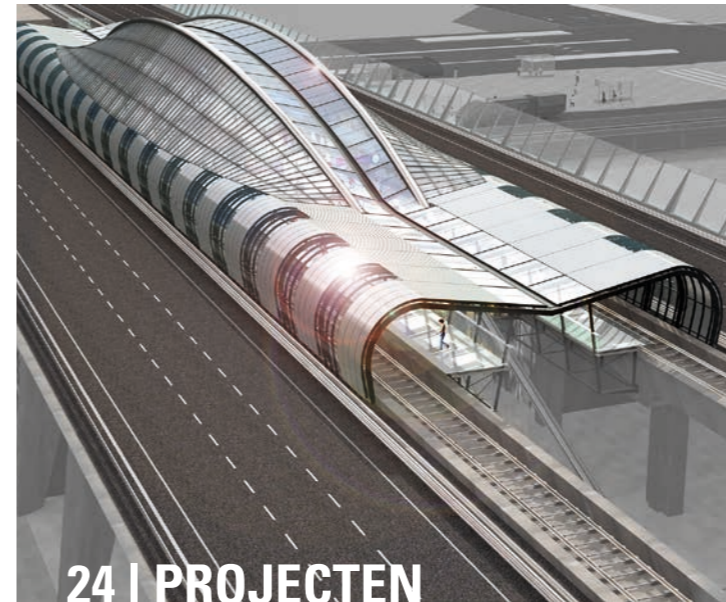
© Bouwen met Staal 2018

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, in enigerlei vorm, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.



15 | RUBRIEKEN

- 04 NIEUWS
- 15 STUDENTENSTAALPRIJS 2018
Grenzeloos actueel
C.J. Ter Borch en M.A. Barendsz
- 38 HOOGBOUWSYMPIOSIUM
Gevoelig voor trilling?
C.P.W. Geurts
- 46 MARKTONDERZOEK (1)
Staal houdt in: snelle bouwtijd
- 50 CIRCULAIR BOUWEN (2): MODUPARK
De groene garage

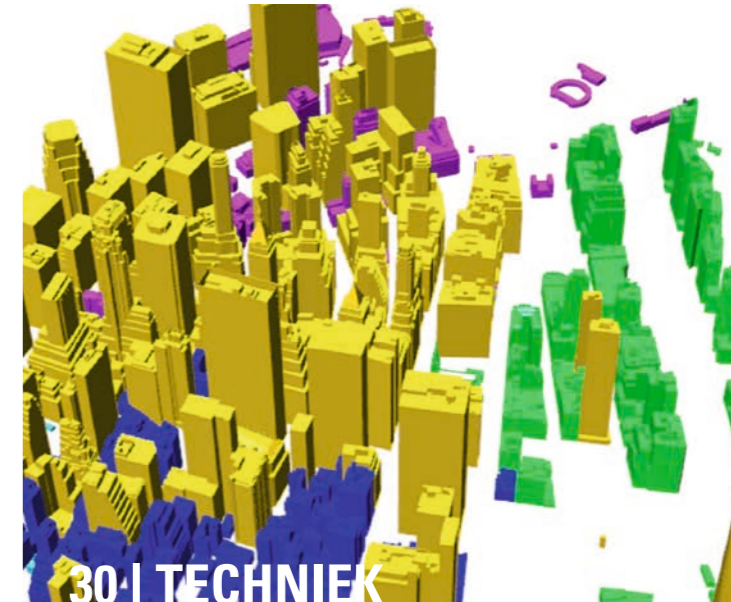


24 | PROJECTEN

- 10 FIETSBRUG LINIEBRUG, NIGTEVECHT
Draagvlak voor netwerkboog
C. van den Berg en J. Koot
- 24 STATIONSKAP STATION NOORD, AMSTERDAM
Boog moet buigen
L.I. Vákár en M. Wassmann
- 52 KUNSTWERK SCHELDEPLEIN SCHEMERLAMP, ALBLASSERDAM
Krom licht
K.J. Haarhuis en R.A.J.M. Wenting

Aardbevingsbestendig ontwerpen

Bouwen met Staal publiceerde deze maand *Technisch Dossier #5* dat gratis is te downloaden. Dit technisch dossier maakt constructeurs vertrouwd met het rekenen met aardbevingsbelastingen volgens NPR 9998 (2015). Met vijf rekenvoorbeelden wordt de berekeningsaanpak toegelicht en uitgewerkt voor een vierlaags kantoorgebouw met een staalskelet met betonnen vloeren (rekenvoorbeeld 1 en 2), een bestaand (voornamelijk éénlaags) schoolgebouw in staal (rekenvoorbeeld 3), een stalen bedrijfshal (rekenvoorbeeld 4) én het versterken met staal van een rij woningen van kalkzandsteen met betonnen vloeren (rekenvoorbeeld 5). De rekenvoorbeelden zijn besproken en gecontroleerd door TC 13 (Aardbevingsbestendig ontwerpen) van de vereniging Bouwen met Staal. De rekenvoorbeelden sluiten aan op twee themanummers over aardbevingsbestendig ontwerpen van het vakblad *Bouwen met Staal*, nr. 248 (december 2015) en nr. 255 (februari 2017).



30 | TECHNIEK

- 30 DIGITALISERING
Machinaal leren en duurzaam optimaliseren
J.-P. den Hollander
- 36 STANDARDS
Ease of use new EN 1993-1-8
M. ten Have, M.A. Barendsz, M. Veljkovic and R.J. Holthuijsen
- 40 DEMPING IN HOOGBOUWCONSTRUCTIES (2)
Slappe ondergrond dempt trillingen van hoogbouw
A.J. Bronkhorst en C.P.W. Geurts





Draagvlak voor netwerkboog

De 104 m lange gevorkte netwerkboog vormt de hoofdo overspanning van een in totaal ruim 600 m lange fietsbrug. Aan weerszijden van de hoofdo overspanning bevindt zich een betonnen aanbrug die fietsers op comfortabele wijze naar de op tien meter hoogte boven het kanaal gelegen boogbrug brengt.

ir. C. van den Berg en ir. J. Koot

Christa van den Berg is communicatiemedewerker bij ipv Delft en Jeroen Koot is constructeur bij Jeroen Koot Constructie Advies in Schalkhaar.

Aan de bouw ging een jarenlange periode van studies, schetsen en toenemende weerstand vooraf. Eind 2014 besloten de provincies Noord-Holland en Utrecht de beoogde fiets- en natuurverbinding bij Nigtevecht via *Best Value* aan te besteden. Het maximaal creëren van draagvlak onder gebruikers en omwonenden was daarbij het belangrijkste, aan de vormgeving werden in dit stadium geen

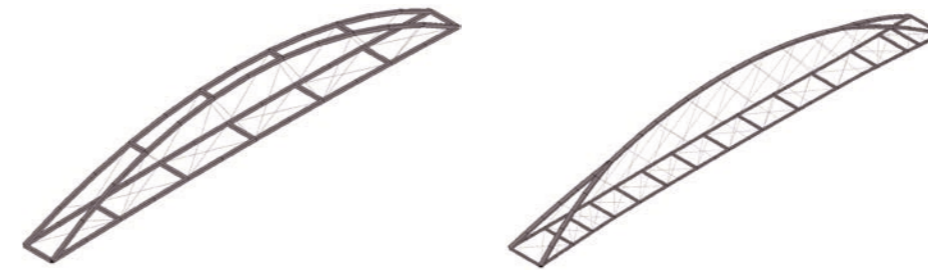
eisen gesteld. De combinatie Ballast Nedam, Bureau Waardenburg en ipv Delft wint de tender en verzorgt onder andere draagvlak met bewonersavonden, gesprekken met de dorpsraad en overleg met de Fietsersbond.

Ingenieursbrug

Het ontwerp van de hoofdo overspanning is ingegeven door de ligging over het Am-

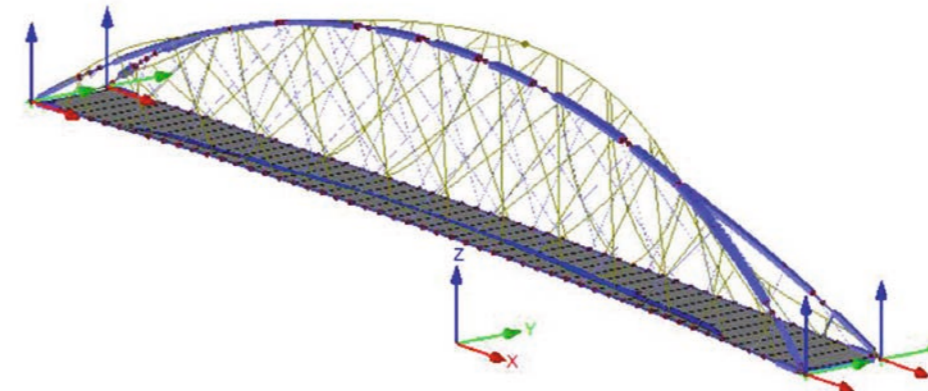
sterdam-Rijnkanaal. Het merendeel van de bestaande bruggen over dit kanaal bestaat uit boogbruggen die tussen 1965 en 1981 bij de verbreding van het kanaal zijn aangelegd. Behalve de boogvorm en de enkele overspanning kenmerken de typische Amsterdam-Rijnkanaalbruggen zich door een functionele vormgeving. De constructieve werking is af te lezen en verbindingen zijn zichtbaar.

In de inschrijvingsfase bestaat het ontwerp uit een dubbele vakwerkboogbrug. Die is weliswaar redelijk slank, maar omdat omwonenden een zo transparant mogelijke brug willen, besluit het ontwerp team een nog slanker ontwerp te maken: een netwerkboogbrug. Dit alternatieve ontwerp moet uiteraard wel binnen het projectbudget te realiseren zijn.



Oorspronkelijke dubbele vakwerkboog...

...en uiteindelijke netwerkboog.



Maatgevende knikvorm boogbrug.

De netwerkboog is echter constructief gezien geen eenvoudige opgave. Hoewel dit type brug al halverwege de vorige eeuw werd bedacht door de Noor Per Tveit, heeft de netwerkboog pas de laatste tien jaar een vlucht genomen. De constructie is meervoudig statisch onbepaald, waardoor de berekeningen complex zijn en niet met de hand kunnen worden gedaan.

Inmiddels is het ontwerpen van netwerkbogen dankzij software voor EEM-berekeningen eenvoudiger. Dit type is verder door de ontwerpers met een parametrisch model ontwikkeld, waarmee tientallen varianten zijn doorgerekend om de constructie digitaal te optimaliseren. Het uiteindelijke ontwerp is een netwerkboog met een gevorkte enkele boog en 26 hangers aan elke zijde van het brugdek.

Slankheid

In vergelijking met de vakwerkboog heeft de netwerkboog meer hangers en dus meer verbindingen. Daar tegenover staat dat de totale hoeveelheid staal zo'n vijftig procent lager ligt dan bij een vakwerkbrug. De besparing komt met name op conto van de boog en langsliggers, die dankzij het grotere aantal hangers aanzienlijk slanker kunnen zijn. De brug heeft een slankheid van 1:260.

Door het grote aantal hangers zijn de momenten in boog en langsliggers relatief klein en hoeven deze praktisch uitsluitend op de normaalkracht uit het *overall* moment gedimensioneerd te worden. De hoogte van zowel boog als langsliggers komt uit op 400 mm, het gewicht aan staal op 180 ton exclusief de trekstaven.

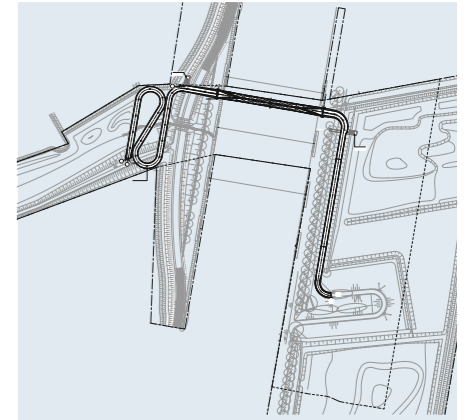
Brugdek

Voor het brugdek worden diverse mogelijkheden onderzocht. Dat het dek van beton moet zijn, staat vast. Voor de aanvaarbelaasting fungeert het dek dan als één grote schijf en daarnaast is het gewicht nodig om de hangers continu op trek te belasten. De keuze valt uiteindelijk op voorgespannen breedplaatvloeren die afdragen op de stalen randliggers, waarbij de druklaag pas wordt aangebracht na het invaren van de brug. Zo blijft het invaargewicht beperkt. Doordat de platen een goede werkvloer vormen is het mogelijk wapening en druklaag na het invaren aan te brengen.

Ook constructief vormen breedplaatvloeren een goede oplossing. In de boogbrug fungeert de onderzijde immers als trekband en de trekkrachten kunnen voor scheurvorming in het beton zorgen. Dit probleem wordt verholpen door de bovenste laag van het dek pas te storten wanneer de brug al op de uiteindelijke steunpunten ligt. De stalen randliggers nemen zo vrijwel alle trekspanningen in lengterichting van het dek op. Stifdeuvels op de randliggers zorgen voor overdracht van schuifkrachten tussen staal en beton.

Dwarsliggers

De excentrische oplegging van de breedplaten zorgt ervoor dat de randliggers op torsie worden belast. HEB 200-dwarsdragers beperken deze vervorming voldoende, en zorgen voor constructieve samenhang in de transportfase. In de bouw fase zijn de dwarsliggers dus onmisbaar, maar qua sterkte zijn ze niet van belang. In de gebruiksfase kunnen ze



Natuurverbinding

De fietsbrug maakt deel uit van het project 'Fiets- en natuurverbinding Nigtevecht'. Samen met Bureau Waardenburg realiseerde Ballast Nedam op deze locatie ook een natuurverbinding die de Vinkeveense en Loosdrechtse Plassen verbindt en het voor dieren mogelijk maakt het kanaal zwemmend over te steken. Aan beide zijden van het kanaal is een natuurstapsteen gerealiseerd, een compacte natuurzone die ruimte biedt aan een grote diversiteit aan planten en dieren.

echter zorgen voor ongewenste afdracht van verticale belasting in lengterichting. Daarom is de vervormingscompatibiliteit van de buiging van de betonvloer en de dwarsdragers geanalyseerd. Zo is de wapening bepaald voor de krachtoverdracht tussen betonplaat en dwarsdragers.

Gevorkte boog

Voor de boog is stabiliteit het belangrijkste ontwerpaspect. Bij de booggeboorte zijn beide poten van de gevorkte boog ruim 600 mm in breedte. Naar boven toe neemt de breedte geleidelijk toe, tot een totale breedte van ruim 1700 mm in het broekstuk. In de enkele boog loopt de breedte terug tot 900 mm. De positie van de vork is zo gekozen dat het uitknikken van de beide poten niet maatgevend wordt. Door de gelijkmatig gekromde uitvoering van de boog geven normaalkrachten in lengterichting een belasting dwars op de onder- en bovenplaat. Tot een breedte van 900 mm is deze belasting meegenomen als extra kracht in de doorsnedetoets. Bij het broekstuk neemt de overspanning verder toe. Daarom wordt hier een langsvestijver aangebracht om de dwarsbelasting op te nemen en naar dwarsvestijvers af te dragen.

Hoekverdraaiing

De gevorkte uiteinden van de boog hebben geen rechthoekige doorsnede, maar zijn trapeziumvormig. Zo vormt de gehele boog een vloeiende lijn zonder knikken of hoeken. Door de schuine vorm treden de vervormingen uit momenten en dwarskracht niet in dezelfde richting op als de belasting. Deze