

Nr.3 Jaargang 27
September 2019

Bruggen



100 JAAR MEERDINK BRUGGEN

Inhoud



- 4 **ONDERZOEK GESTART NAAR
EEN REALISTISCHER MODEL
TER BEOORDELING VAN DE
LEVENSDUUR VAN
BEWEEGBARE BRUGGEN**



- 6 **VOETBRUG NAAR EEN
TOERISTISCH SCHIEREILAND**



- 14 **DE TOEKOMST VOLGENS
MEERDINK BRUGGEN**



- 22 **DE CALANDBRUG**



- 26 **BRUGONTWERP VOOR
3D PRINTEN**



- 30 **ONTWERP
BRUG SOGNEFJORD**



- 32 **POORT VAN EMMELOORD
IN GEBRUIK**

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, Wils van Soldt en Pieter Spits.

BESTUUR

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

PROJECTDIRECTEUR

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: € 10,-, 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
<https://twitter.com/bruggenst>

HOOFDREDACTEUR

Fred van Geest, Annaplaats 1, 2713 AK Zoetermeer,
Tel: 0623 229 836
e-mail: redactie@bruggenstichting.nl

WEBSITE

<http://www.bruggenstichting.nl>

GRAFISCHE VORMGEVING

Ronald Boiten en Irene Mesu, Amersfoort

OMSLAGFOTO VOORZIJD

Meerdink Bruggen

OMSLAGFOTO ACHTERZIJD

Marknesserbrug, ipv Delft

OPLAGE

1000

ISSN 1571-4586

VAN DE REDACTIE

FRED VAN GEEST



© Vincenzo Pinto/AFP

Een jaar gelden moesten we aandacht besteden aan de ramp van de instorting van de Morandi-brug in Genua. Onlangs zijn de laatste resten opgeblazen en is de herbouw van start gegaan, naar een ontwerp van Renzo Piano, een beroemde Italiaanse architect uit Genua. Het nieuwe ontwerp ziet er heel wat conservatiever uit (stalen kokerliggerbrug) dan de vorige, en de omgekomenen worden in de vorm van het aantal lichtmasten herdacht.

Een ander gerucht makend fenomeen in de afgelopen drie maanden, is de uitspraak van de Raad van State omtrent de fijnstofproble-

matiek, die verstreckende gevolgen heeft voor de uitvoering van wegprojecten en dus ook van bruggen. De werkzaamheden rond Utrecht vormen het eerste slachtoffer van deze uitspraak.

Een ander opmerkelijk feit is het gegeven dat het testen van de tunnelinstallatie van de tunnel in het Rijnlandtracé (tussen de A4 en de A44 via Voorschoten) reeds nu, tijdens het boren van de tunnel is begonnen in een gesimuleerde omgeving. Hierdoor kan de tunnel zo snel mogelijk na het gereedkomen van de civieltechnische werkzaamheden in gebruik worden genomen. Dit in tegenstelling tot wat nu toe gebruikelijk was. Ook bij de aanleg van het Rotterdamse Baantracé (tussen knooppunt Ypenburg en de Haagse Stadsring), staat

het afbouwen van de tunnel, de toeritten en de aansluitingen op bestaande wegen gepland voor 2018-2019, terwijl daarna het Inbouwen van de installaties en het testen ervan tot medio 2020 staat gepland. Vanaf dit nummer begint de afdeling 'Bruggen Young' met de publicatie van telkens in principe vier onderdelen: hoofdartikel – afstudeerverslag – promotie – lijst van promovendi. Een goed initiatief dat de Bruggenstichting van harte ondersteunt!

Op 7 november staat 's-middags in Amersfoort weer het Symposium voor Fiets'Voetbruggen geprogrammeerd. De beoordelingscommissie heeft weer een keuze kunnen maken uit een aantal inzendingen. Kijk voor meer informatie op de website.



© ANSA

IN MEMORIAM IR. GERRIT HARDENBERG



Op 31 maart 2019 overleed Gerrit Hardenberg op 92 jarige leeftijd. Gerrit Hardenberg werd op 7 mei 1926 geboren in Medemblik. Na zijn studie aan de toenmalige Technische Hogeschool in Delft bekleedde hij een

aantal functies in de staalbouwwereld, onder andere bij Werkspoor Utrecht. Zijn laatste functie tot zijn pensionering was hoofd van het ingenieursbureau Staal- en Werktuigbouw van Gemeentewerken Rotterdam.

Bij de gemeente Rotterdam is Gerrit Hardenberg bij het ontwerp en de bouw van vele Rotterdamse bruggen betrokken geweest. Ook werd hij diverse malen als adviseur betrokken bij de bouw van grote stalen bruggen elders in de wereld.

Op 4 maart 1992 vond in het toenmalige gebouw voor Bouwkunde van de Technische Universiteit Delft op initiatief van wijlen prof. Ir. Jaap Oosterhoff de oprichtingsvergadering plaats van de Nederlandse Bruggen Stichting. De aanleiding tot het oprichten van de Nederlandse Bruggen Stichting was het schrijven van een boekenserie over de geschiedenis van de Nederlandse bruggenbouw.

Gerrit Hardenberg was als deskundige op het gebied van stalen bruggen gevraagd zitting te

nemen in het bestuur en werd vicevoorzitter. Die functie heeft hij bekleed tot 2001.

Vanaf de oprichting in 1992 heeft Gerrit deelgenomen aan de begeleidingscommissie bij de totstandkoming van de driedelige serie 'Bruggen in Nederland 1800-1940', met name het eerste deel over vaste bruggen van ijzer en staal. Gerrit was ondanks zijn hoge leeftijd ook nog een trouwe bezoeker van de jaarlijkse Bruggendag en de jaarlijkse excursies.

De Bruggenstichting is hem veel dank verschuldigd.

De Bruggenstichting wenst zijn familie en vrienden veel sterkte bij het verwerken van dit verlies.

Hein Klooster

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 > begunstiger worden.





ONDERZOEK NAAR EEN REALISTISCHER MODEL TER BEOORDELING VAN DE LEVENSDUUR VAN BEWEEGBARE BRUGGEN

Fred van Geest

In het maart- en septembernummer 2016 van BRUGGEN (jaargang 24, nummer 1 en 3) is aandacht besteed aan het herberekenen van beweegbare bruggen, waarbij op een empirische wijze een stappenplan is ontwikkeld om deze herberekening uit te voeren.

Fundamenteel onderzoek werd aangekondigd en 29 juni jl. was het zover: op de TU Delft is officieel een onderzoek gestart dat moet leiden tot een realistisch model om de levensduur van brugbewegingsmechanismen te beoordelen. Antea Group, Rijkswaterstaat en de Provincie Zuid-Holland maken het onderzoek mogelijk.



Proefopstelling Stevinlaboratorium, TU-Delft gemodelleerde basculebrug

Met dit onderzoek worden de dynamica en constructieve veiligheid van beweegbare bruggen nader bestudeerd

Nederland telt honderden beweegbare bruggen. De status van de mechanische uitrusting is cruciaal voor de vraag of een brug gerenoveerd of vervangen moet worden. Hiervoor is een herbeoordeling van het bestaande bewegingswerk nodig. Dit onderdeel is voor veel beheerders een grote worsteling aangezien de theoretische rekenregels die we hantieren de praktijk niet lijken te volgen. Bewegingswerken worden hierdoor mogelijk onnodig (vroeg) vervangen.

MEER VEILIGHEID, MINDER KOSTEN

Met dit onderzoek worden de dynamica en constructieve veiligheid van beweegbare bruggen nader bestudeerd. Het onderzoek leidt tot een realistischer model om de levensduur van beweegbare bruggen te beoordelen. De verwachting is dat dit model grote maat-

schappelijke en financiële voordelen biedt. Hiermee kunnen brugbewegingsmechanismen kostenbewust in stand worden gehouden zonder dat de veiligheid in het geding komt.

MODELLEN IN DE PRAKTIJK TESTEN

Het promotie-onderzoek van Kodo Sektani, ingenieur bij de Antea Group, resulteerde al in nieuwe theoretische modellen waarmee de belastingen van brugbewegingsmechanismen in verschillende situaties voorspeld kunnen worden.

Sektani: "Nu is het zaak om de modellen te verifiëren en te valideren naar het dynamisch gedrag van beweegbare bruggen. In dit onderzoek worden geavanceerde numerieke modellen opgesteld, waarmee dynamische belastingen in brugbewegingsmechanismen voorspeld kunnen worden. Vervolgens wor-

den de modellen aan de hand van nauwkeurige metingen, laboratoriumtesten en simulaties geverifieerd en gevalideerd. Het streven is dat dit onderzoek de basis vormt voor nieuwe rekenregels en bepalingsmethoden voor het (her)beoordelen van bewegingswerken. Hiermee kunnen we de levensduur van beweegbare bruggen in de toekomst realistischer beoordelen. We kunnen bruggen veiliger houden, maar ook meer kostenbewust in stand houden en vervangen."

Naast het onderzoek ligt er het plan om een technische commissie in te stellen van experts op het gebied van beweegbare bruggen in Nederland. Sektani: "Hiermee kunnen we hen op de hoogte houden van de stappen die we nemen om de huidige rekenregels op de proef te stellen en onderling kennis uit te wisselen." Het onderzoek zal vier jaar in beslag nemen.





De nieuwe brug tussen het vasteland en het schiereiland Tintagel

VOETBRUG NAAR TOERISTISCH SCHIEREILAND

Elisabeth van Blankenstein

Sinds 11 augustus van dit jaar kunnen de Britten hun hart ophalen aan een bijzonder knap staaltje van techniek, namelijk de fonkelnieuwe voetbrug naar het schiereiland Tintagel. Tintagel ligt op de onstuimige noordkust van Cornwall en is een van de meest spectaculaire bezienswaardigheden in Groot-Brittannië.



Onder de brug is de oude houten loopbrug naar het schiereiland goed zichtbaar



Een indruk van de kloof en de ontoegankelijkheid van het gebied



Zijaanzicht van de nieuwe brug.

BOUWPLANNEN

Volgens een Keltisch verhaal uit de twaalfde eeuw was Tintagel de geboorteplaats van koning Arthur. In de dertiende eeuw bouwde Richard, graaf van Cornwall, er een kasteel en de overblijfselen bevinden zich hoog op de steile rotsen van zowel het schiereiland als het vasteland van Tintagel. Volgens de overlevering was het schiereiland vroeger te bereiken via een smalle landbrug. In de vijftiende of zestiende eeuw zou die als gevolg van erosie zijn ingestort, het middendeel van het kasteel met zich meenemend. Op zich zijn de verweerde kasteelresten niet imposant of bijzonder. De geschiedenis van het kasteel en de mythe over koning Arthur zijn echter zo vervlochten dat Tintagel inmiddels één van de best bezochte toeristische attracties in Groot-Brittannië is.

Tot voorkort vergde het de nodige inspanning om bij de kasteelresten op het schiereiland te komen. Een grote kloof scheidt het schierei-

land van het vasteland waardoor de top van het schiereiland slechts te bereiken was via een houten loopbrug en een 148 treden tellende trap naar boven. Een pittige krachtsinspanning voor de ruim 200 duizend toeristen die het 'Koning Arthur-kasteel' jaarlijks bezoeken.

In 2015 schreef English Heritage, de organisatie die het erfgoed beheert, een internationale ontwerpwedstrijd uit voor een nieuwe brug ter vervanging van de vroegere kasteelbrug tussen het vasteland en het schiereiland. Het ontwerp moest zowel modern als tijdloos zijn, maar ook iets weergeven van het ruige landschap, de kwetsbaarheid van de historische overblijfselen en de plaatselijke ecologie. Het plan van English Heritage was niet onomstreden. Zo betwijfelen Britse historici of de kasteelbrug wel ooit heeft bestaan. Anderen vrezen dat de associatie van de nieuwe brug met de Arthurlegende zal bijdragen aan een verdere disneyficatie van Tintagel.

WINNAAR ONTWERPWEDSTRIJD

Op 3 december 2015 kondigde English Heritage aan dat uit 137 internationale inzendingen zes finalisten waren geselecteerd. Op 23 maart 2016 werd bekend dat de uiteindelijke keuze was gevallen op een ontwerp van het Belgische ingenieurs- en architectenbureau Ney & Partners in samenwerking met het Londense architectenbureau William Matthews Associates (WMA). Laurent Ney (CEO bij Ney & Partners) is geen onbekende in Nederland. Eerder won het duo Laurent Ney en Chris Poulissen architectuur- en bouwprizen voor De Oversteek en De Lentloper in Nijmegen. Aan Oliver Wainwright van de Britse krant The Guardian (8/8/19) vertelde Ney - terwijl zijn Brussels bureau al talloze bruggen over de hele wereld heeft gebouwd - over Tintagel: "Het was de eerste keer in mijn leven dat ik een brug moest ontwerpen op een plaats die compleet ontoegankelijk was, en die in het landschap moest verdwijnen."



Brugdek en balustrade



William Matthews werkte eerder samen met Renzo Piano aan de Londense wolkenkrabber The Shard. Sinds 2013 heeft Mathhews een eigen ontwerpbureau in Londen. De overige vijf kandidaten op de shortlist waren:

- Dietmar Feichtinger Architectes met Terrell (Frankrijk)
- Marks Barfield Architects met Flint en Neill (VK)
- Niall McLaughlin Architects met Price en Myers (VK)
- RFR en Jean-François Blassel Architecte met EngineersHRW, en WSP (Frankrijk)
- WilkinsonEyre met Atelier One (VK)

ONTWERP VAN NEY & PARTNERS EN WILLIAM MATTHEWS ASSOCIATES

Het winnende ontwerp is gebaseerd op het concept de vroegere verbinding te recreëren en de leegte opnieuw te dichten. Ney en Matthews ontwierpen een staalconstructie bestaande uit twee uitkragende brugdelen die elkaar in het midden net niet raken. De keuze voor een uitvoering als vrije uitbouwbrug betekende dat de brug ter plaatste kon worden gebouwd en geen tijdelijke steunpunten nodig had.

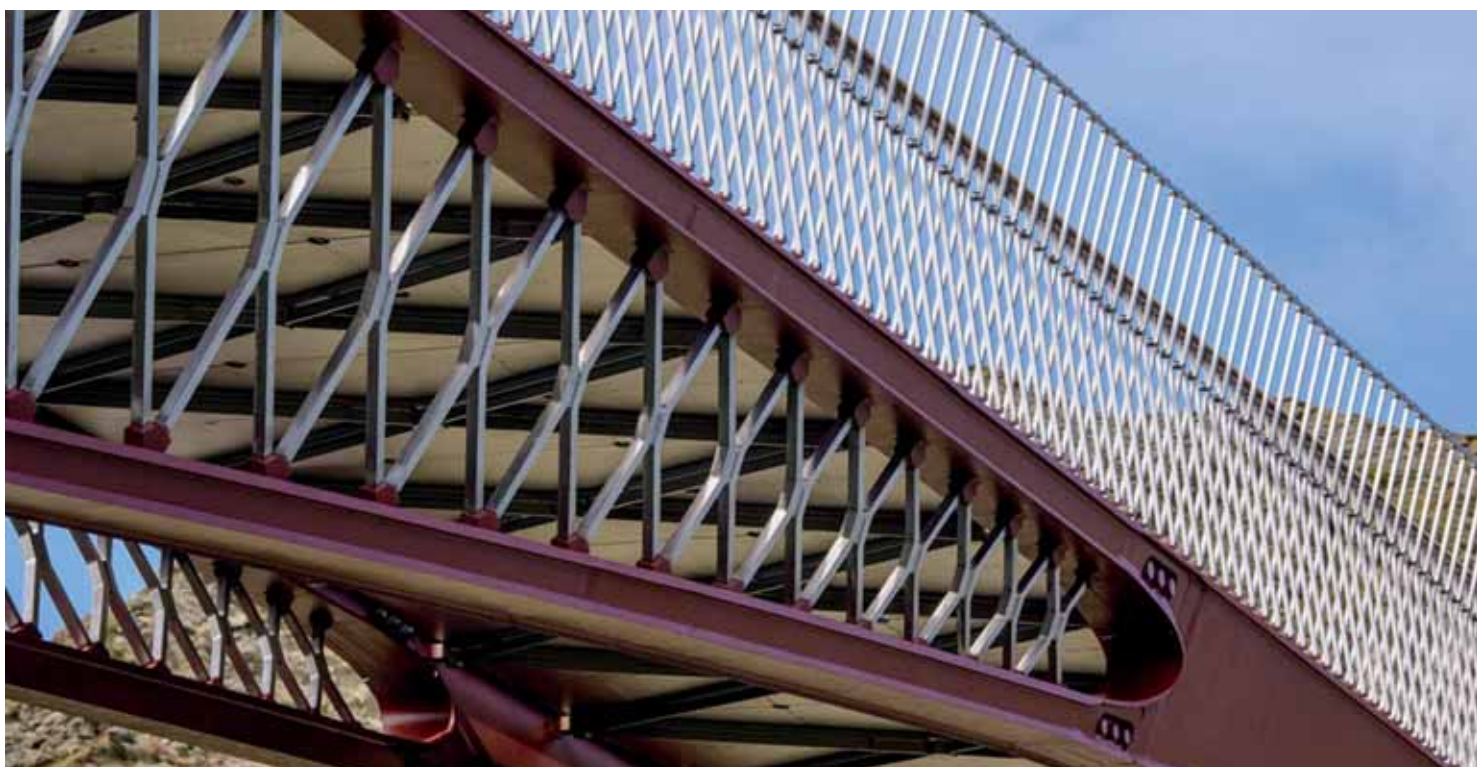
De brug ligt op dezelfde lijn van de oude kasteelbrug. De 4,5 meter hoge structuur die uit de rotswand komt, loopt taps toe tot 170 mm in het midden. De 40 mm opening tussen de

twee helften in het midden vertegenwoordigt de overgang tussen het vasteland en het schiereiland, het heden en verleden, het bekende en onbekende, werkelijkheid en legende. Alle aspecten, aldus de ontwerpers, die Tintagel als erfenis van een ver verleden zo bijzonder en fascinerend maken.

De gebruikte materialen zijn stuk voor stuk eenvoudig, duurzaam en afgestemd op de omgeving. De hoofdstructuur is van geschildder weervaststaal. De stalen diagonalen nemen van 65 mm bij de rotswand af tot 30 mm in het midden.

Het hekwerk is van dun roestvast staal. De brugleuningen zijn van eikenhout.

Diagonalen en hekwerk





Detail van het brugdek met rechtopstaande leisteenstroken

Het wandelpad bestaat uit 40.000 lokaal geproduceerde en verticaal geplaatste leistenen in roestvrij stalen frames.

In juli 2018 stelde dr. John Roberts, oud-president van The Institution of Structural Engineers, in het maandblad *New Civil Engineer* dat de ontwerpers van de Tintagelbrug een valse voorstelling van zaken hadden gegeven. Door de deuvels in de voeg vormen de twee uitbouwgedeelten één overspanning, aldus Roberts, en is er geen sprake van twee onafhankelijke brugdelen. Echter, uit de shortlist van zes was het ontwerp van Ney & Partners en William Matthews Associates het enige voorstel met een opening in het midden. Juist dit aspect van het ontwerp was een belangrijke aanleiding om de prijs aan de ontwerpers uit Brussel en Londen toe te kennen. Roberts' argument werd dan ook door zowel de opdrachtgever als de ontwerpers van de hand gewezen. In hun reactie stelden zij dat de deuvels in de voeg niets afdoen aan het feit dat beide structuren onafhankelijk zijn. Zo werd de discussie die Roberts had aangezwengeld in de kiem gesmoord. Zijn stelling was voor English Heritage dan ook geen aanleiding om de bouw van de brug af te blazen.

BOUW

In het najaar van 2018 werd op een nabijgelegen locatie begonnen met het bijeenbrengen van de bouwmaterialen en de aanvoer van de twaalf geprefabriceerde brugonderdelen (zes per uitbouwdeel). Elk geprefabriceerd deel bestond uit maximaal 4,5 ton staal. Groot bouw materiaal dat niet met vrachtwagens over kronkelige weggetjes kon worden aangevoerd, werd door een helikopter op de juiste plaats gedropt. Daarnaast zorgde een enorme



Opening tussen de twee brugdelen met deuvel



Met touwen gezeekerde medewerkers boren in de rotswand



Kabelkraan met geprefabriceerde brugdelen op weg naar de bouwlocatie



Het winnende ontwerp is gebaseerd op het concept de vroegere verbinding te recreëren en de leegte opnieuw te dichtten



Voor de toeristenindustrie zal die openstelling een hele opluchting zijn geweest

Brugdeel in aanbouw

kabelkraan met een kabel die de kloof en de opslagplaats voor bouw materiaal ruim overspande, voor de aanvoer van bouw materiaal. Ondanks die kraan moesten bouwmedewerkers soms halsbrekende toeren uithalen om de rotsankers, funderingen en steunpunten aan te brengen.

Vanaf juni 2019 werd de kabelkraan ingezet om de geprefabriceerde brugdelen één voor één op hun plaats te brengen. Begonnen werd vanaf het vasteland en vervolgens vanuit het schiereiland. Zo groeiden de uitbouw delen naar het midden toe. Nadat alle brugdelen waren geplaatst, volgde de afwerking (brugdek, hekwerk, enzovoort) en de inregeling. De hele operatie vond plaats op 57 meter boven zeeniveau. Begin augustus keken omstanders verast op toen een tiental bouwvakkers in gele hesjes de brug op stevigheid uittestte door er een tijdje in het midden op te springen. Volgens English Heritage was dit een goede methode om de gevoeligheid voor trillingen te testen. De beste manier om dat te doen, aldus English Heritage, was met echte mensen. Hierna was het wachten op de officiële opening.

OPENSTELLING

Het project had eerst in het voorjaar van 2019 en vervolgens vóór de start van de zomervakantie voltooid moeten zijn. Beide tijdstippen zijn niet gehaald. Echter vanaf zondag 11 augustus is het schiereiland dan eindelijk via de nieuwe brug te bereiken. Voor de toeristenindustrie zal die openstelling een hele opluchting zijn geweest. Immers, sinds 1 oktober

PROJECTGEGEVENS

Voetbrug tussen vasteland en schiereiland Tintagel, Cornwall	
Opdrachtgever	English Heritage
Studies	2016-2018
Bouw	2018-2019
Kosten	4 miljoen pond. 2,5 miljoen in schenking ontvangen van de Julia en Hans Rausing Trust, een liefdadigheidsfonds
Lengte	68,5 meter
Architect	Ney & Partners (Brussel) + William Matthew Associates (Londen)
Aannemer	American Bridge UK (ABUK), Oxford
Staalconstructies	Underhill Engineering, Plymouth
Gebruikte materialen	47,5 ton staal, 40.000 met de hand bewerkte leisteentegels afkomstig uit de Delabole leisteengroeve (Cornwall) en 140 meter eikenhout
Openstelling	11 augustus 2019

2018 was de toegang tot een van de meest populaire bezienswaardigheden op de noordkust van Cornwall afgesloten voor het publiek. Door de late ingebruikstelling van de brug zijn de plaatselijke horeca en toeristenwinkeltjes wel wat inkomsten misgelopen.



FOTOVERANTWOORDING

Foto's:
Blz. 6,7, 8, 9 en 10 Jim Holden/English Heritage
Blz. 11 en 12 www.youtube.com

BRONNEN

<https://www.cornwalllive.com/news/gallery/tintagel-castles-new-bridge-opens-3185356>
<https://www.cornwalllive.com/news/cornwall-news/tintagel-castle-4million-bridge-open-3199639>
<https://www.english-heritage.org.uk/visit/>

[places/tintagel-castle/tintagel-bridge](https://www.ney.partners/nl/project/tintagel-castle-footbridge.html)
<https://www.ney.partners/nl/project/tintagel-castle-footbridge.html>
<https://www.newcivilengineer.com/latest/technical-dispute-over-tintagel-castle-bridge-23-07-2018/>
https://www.standaard.be/cnt/dmf20190809_04551939?pid=8058900
<https://www.theguardian.com/uk-news/2019/aug/08/controversial-and-late-tintagel-footbridge-in-cornwall-to-open>
<https://www.theguardian.com/artanddesign/2019/aug/08/gossamer-gateway-avalon-tintagel-castle-bridge-magic-history-arthurian-merlin>
<https://www.wallpaper.com/architecture/tintagel-castle-footbridge-cornwall-uk>
<https://www.youtube.com/watch?v=CGTFVj3aCjM&feature=youtu.be>
<https://competitions.malcolmreading.co.uk/tintagel/downloads/ney-and-partners-boards.pdf>

BRIDGE TECHNIEK

DE BRUG TUSSEN WERKGEVERS
EN WERKNEMERS



Wij leveren vakmensen met kennis van bruggen & sluisen

Plaza 24D | 4782 SK Moerdijk | (078) 629 55 36 | info@bridgebv.com | www.bridgebv.com

Raad van Advies

ARUP





DE TOEKOMST VOLGENS
MEERDINK BRUGGEN



Prinses Amaliabrug op Curaçao



C2C-brug, Almere

Het is honderd jaar geleden dat Gerhard Meerdink voor het eerst in hout handelde. Een eeuw later is deze houthandel uitgegroeid tot een dynamisch bedrijf waar met grote inzet wordt gewerkt aan het realiseren van bijzondere projecten. Volgens directeur-eigenaar Robbert de Metter staat er in de komende tien jaar veel te gebeuren. In dit artikel worden vier toekomsttrends door hem nader toegelicht.

TREND 1 **CRADLE TO CRADLE (C2C)**

“Al jaren geleden zijn wij in de bruggenbouw begonnen met het concept ‘cradle to cradle’. Dat betekent een optimaal hergebruik van de bestaande grondstoffen. Een C2C-brug kan tot wel 90% uit hergebruikt materiaal bestaan. Dat impliceert een zo laag mogelijke impact op het milieu. Een boom kan perfect CO₂ opnemen en in de stam vasthouden, tot het moment dat je het verbrandt. Dit vormt meteen het grote misverstand in het Amazonegebied in Brazilië nu. Met verantwoord

bosbeheer is niets mis. Het gaat om het onverantwoord platbranden waarbij een enorme hoeveelheid CO₂ vrijkomt die in de eeuwenoude bomen is opgeslagen. Verbranden van hout is dus verre van duurzaam.

Als een brug van hardhout aan het einde van zijn levenscyclus is, wil dat niet zeggen dat het hout niet meer gebruikt kan worden. Wij maken daar een nieuwe brug van. Verder kunnen gebruikte stalen liggers vaak prima worden hergebruikt voor nieuwe bruggen. Op die manier is de cirkel rond en belasten we het milieu met de productie minimaal. Verant-

woorde, selectieve houtkap werkt dan waardeerend voor het bos. En dat draagt weer bij aan een beter bosbeheer en -behoud.

De overheid is hierin overigens goed op weg door een denktank te stimuleren in de GWW. De overheid wil in 2050 dat Nederland honderd procent circulair is. In 2030 zouden we op de helft moeten zijn. Dat betekent dat we voor een enorme opgave staan. En dat kan niet van de ene op de andere dag. Het is een geleidelijk proces dat Meerdink Bruggen enthousiast aanpakt”.

TREND 2 **EEN PROFESSIONELERE** **MATERIALENBANK**

“De GWW is toe aan een nieuwe manier van het kopen en aanbieden van hergebruikt materiaal. Er zal er een professionelere manier moeten komen om hergebruik van materialen te stimuleren. Er zijn verschillende materialenbanken, maar het gebruik ervan is nog niet op een goed niveau. Dat maakt het bijvoorbeeld lastig voor gemeenten die een projecten uit hergebruikt materiaal willen realiseren. Positief is dat de handel in hergebruikt materiaal op gang begint te komen, maar het moet veel sneller. Wij willen hierin het voortouw nemen. Wij hebben op eigen terrein een materialenbank die in omvang jaarlijks flink toeneemt. Op aanvraag is deze materialenbank voor elke opdrachtgever beschikbaar”.

TREND 3 **KWALITEIT WORDT** **DOORSLAGGEVEND**

“In mijn begintijd bij Meerdink, was de laagste prijs bij aanbestedingen allesbepalend in de bruggenbouw. EMVI, Economisch Meest Voordeelige Inschrijving, is vandaag de dag leidend, want nu wordt veel meer gekeken naar de kwaliteit die de aannemer kan bieden. Die trend zal zich doorzetten. Het gaat meer en meer om de beste brug in een situatie en om het lokaal inleven in de situatie. Je hebt niets aan een laag geprijsde brug die allerlei nadelen kent. Wij werken nooit ‘copy-paste’ (‘knippen-plakken’), maar willen altijd creatief mee-

denken. Elke brug is immers uniek, passend in het landschap en de verkeerssituatie.

Een mooi voorbeeld hiervan is de Prinses Amaliabrug op Curaçao, een nieuwe ophaalbrug over het Waaigat, die de grote overdekte parkeerplaats verbindt met de ronde, overdekte markt aldaar. De vroegere Van den Brande-brug is als inspiratiebron gebruikt. In Winterswijk hebben we de brug geheel in onderdelen gemaakt en op Curaçao gemonteerd. Wij kregen na oplevering van de opdrachtgever een prachtige ingelijste foto van de brug met een dansend paar er op. Dat voelde als een enorme waardering voor het hele team”.

Als een brug van hardhout aan het einde van zijn levenscyclus is, wil dat niet zeggen dat het hout niet meer gebruikt kan worden



TREND 4

HERONTDEKKEN VAN BIOBASED MATERIALEN

De vanzelfsprekendheid dat een brug van één soort materiaal gemaakt is, bestaat niet meer. Je hebt tegenwoordig veel meer keus. Neem nou het cementarme en dus CO₂-arme beton dat wij gebruiken. Dat is een prachtig product. De rekenkundige verhardingstijd van gewoon beton bedraagt één maand (28-daagse druksterkte) en dat van 'slow concrete' drie maanden. Vaak is die tijd er wel, alleen je moet er wel rekening mee houden. Dat scheelt enorme hoeveelheden cement en dus CO₂-uitstoot. Met een betere planning alleen al, is er daarom veel te winnen. Meerdink wil daarin en met het gebruik van biobased materialen, zoals hout of bamboe, graag vooroplopen. Het gaat allemaal om het minimaliseren van de CO₂-uitstoot en het terugdringen van energieverbruik.

In de gemeenten Arnhem en Westervoort zijn we gestart met het C2C bouwen van bruggen. Gemiddeld genomen hebben we het goede materiaal van drie oude bruggen nodig voor het realiseren van één nieuwe, volledig gerecyclede brug. En uiteraard allemaal met duurzaam materiaal. De onderbouw wordt vervangen of gerenoveerd en de bovenbouw wordt vervangen door een nieuwe, duurzame constructie met hergebruikt materiaal. We bouwen materiaalonaafhankelijk in staal, beton, hout en kunststof, maar we zien biobased materialen als een onomkeerbare trend. Daarnaast wordt bijvoorbeeld hardhout geherwaardeerd. De laatste tien jaar was dit ten onrechte een ondergewaardeerd materiaal. In detaillering is de afgelopen 20 jaar een enorme sprong voorwaarts gemaakt, waardoor de levensduur van een houten brug tegenwoordig makkelijk meer dan 50 tot 60 jaar kan bedragen.

Wij kijken erg naar hoe we ons milieu met de bouw van onze bruggen zo min mogelijk belasten. Die impact willen we zo klein mogelijk maken. MKI (MilieuKostenIndicatie) en LCA (Life Cycle Analysis) zijn steeds meer leidend. Eén van de extra maatregelen die wij gaan nemen om tijdens de energietransitie de CO₂-uitstoot te compenseren, is het lokaal aanplanten van bomen.

Het gebruik van hout staat onder druk in de publieke beeldvorming, maar het is juist een krachtig materiaal om de klimaatdoelstellingen te halen, mits het verantwoord gewonnen wordt. Als voorbeeld hiervan de hangbrug in Arnhem, die bijna helemaal van hout is.



Houten hangbrug Arnhem

100 JAAR MEERDINK

De basis voor het bedrijf is gelegd in 1919. Gerhard Meerdink begon in Winterswijk een handel in inlands hout. De locatie van de houthandel, pal bij het eindpunt van diverse spoorlijnen naar Winterswijk, bleek een schot in de roos. Meerdink is niet meer weg te denken uit Winterswijk.

Moeiteloos werd hout van heinde en verre per spoorwagon aangevoerd. De houthandel werd rond 1930 uitgebreid met een handel in bouwmaterialen.

Verder kwam er een timmerwerkplaats. De strategische ligging aan het spoor bleek in de oorlogsjaren ook een nadeel te hebben. In 1940 viel er een bom op de timmerfabriek waardoor deze volledig afbrandde. Al in 1943 kwam een nieuwe fabriek. Na de oorlog werd het assortiment houtsoorten uitgebreid met 'exoten', buitenlandse hardhout soorten. Toen oprichter Gerhard Meerdink zich in 1948 uit het bedrijf terugtrok, bleef de zaak succesvol en in 1959 bij het 40-jarig bestaan groeide het bedrijf nog steeds.

De jaren '60 en beginjaren '70 waren een tijd van expansie, vooral voor de houtafdeling. In die tijd werden de eerste bruggen gebouwd. Er kwam een bedrijf in Havixbeck in Duitsland en zelfs één in Canada. De timmerfabriek floreerde met afzet door heel Nederland.

Na een moeilijke periode in de jaren '80 heeft Meerdink onder leiding van Leo Okhuijsen en Hans van Leeuwen weer de weg omhoog ingeslagen. Gekozen werd voor het zagen van tropisch hardhout voor de GWW-sector, het bewerken tot halffabrikaat voor de aannemerij en het maken van hardhoutconstructies. Tot het pakket constructies behoren tevens sluisdeuren en bruggen.

Vanaf de jaren '80 werden grote brugconstructies gebouwd, waaronder veel in Duitsland. De specialisatie bruggenbouw is na de eeuwwisseling in een stroomversnelling gekomen door het mede construeren in staal en vezelversterkte kunststof, naast verantwoord hardhout. Meerdink heeft daarmee een stevige plaats op de markt weten te veroveren en richt zich met het ontwerpen en bouwen van duurzame bruggen op de toekomst.



De brug bij Airport Eindhoven was voor Meerdink Bruggen een complexe logistieke situatie, vanwege het continue vliegverkeer.



Hellevoetsluis

DE CALANDBRUG



Pieter Caland op 59-jarige leeftijd
(bron J.A. Ringers, 1953)

De Calandbrug bij Rozenburg over het Calandkanaal bestaat dit jaar 50 jaar. Dit jubileum haalt hij maar net, want de brug heeft het zwaar te verduren gehad en is toe aan een renovatie. Brug en kanaal zijn vernoemd naar een groot waterstaatkundige uit deze regio. Ze liggen in een dynamisch havengebied, waar schepen, treinen en auto's om voorrang strijden. Wie nu gaat kijken ziet overal werkzaamheden, die het multimodale verkeersknooppunt klaar moeten maken voor de volgende 50 jaar.



Een autoschip, komend uit de Britanniëhaven, passeert de Calandbrug.
(bron: beeldarchief Rijkswaterstaat 2015)



EEN ROTTERDAMSE HELD

Wie mocht denken dat Pieter Caland, naar wie de brug vernoemd is, iets te maken heeft met de bouw van de brug is, heeft het mis. Want hij leefde van 1826 tot 1902 en toen was Rozenburg nog een vrijwel onbewoond eiland, gelegen tussen de Brielsche Maas en het Scheur, de mondingen van de Oude en de Nieuwe Maas in de Noordzee. Deze wateren waren door verzandingen onberekenbaar voor de scheepvaart en Rotterdam zong op een verbetering voor de toegang naar zee. Caland was ingenieur (en later ook hoofdinspecteur) van de Waterstaat en kwam met het plan om een nieuwe doorgang naar zee te graven. Die kwam er na veel discussies uiteindelijk in 1872: de Nieuwe Waterweg. Een enorme boost voor Rotterdam. Staatssecretaris M.J. Keyzer verwoordde het bij de opening van de brug op 6 juni 1969 zo: "Pieter Caland is een van die grote waterstaatkundigen geweest, die zijn visie in voldoende mate paarde aan hardnekkig doorzettingsvermogen om met grote vasthoudendheid door te gaan, ook als de tegenkanting overweldigend leek. Hij behoort tot die mannen, die Rotterdam hebben opgestuwd tot wat het nu is: een wereldhaven, de wereldhaven".

locatie van de brug
(bron: Google Earth, datum beeldmateriaal
8 mei 2018)

1= Calandbrug
2= Calandkanaal
3= Hartelkanaal
4= Harmsenbrug
5= Brielse Meer

6= Rozenburgse sluis
7= Britanniëhaven
8= Rozenburg
9= Nieuwe Waterweg
10 = doorgraving

rode lijn: huidige tracé havenspoorlijn
onderbroken lijn: toekomstige tracé (Theemswegtracé)



de situatie in 1968
(bron: www.topo-tijdreis.nl). Te zien is het toenmalige tracé over de dam en de geplande brug en sluis. Wat ook opvalt is dat de Britanniëhaven (7) toegankelijk was gemaakt vanaf het Hartelkanaal via een doorgraving (10) van de waterkering.

Het is een windscherm en wel het grootste ter wereld.



het windscherm aan de ZW zijde van de brug op de plaats waar een opening is gemaakt voor het nieuwe tracé van de Havenspoorlijn. De nieuwe platen zijn al geplaatst. Op de voorgrond de stempels aan de bovenzijde van de Thomassentunnel.

EEN EERVOL ONTWERP

De Calandbrug moest aan heel wat eisen voldoen. Niet alleen het verkeer naar Europoort via de N15 moest erover geleid worden. Ook het goederenspoor moest erover: de Havenspoorlijn naar Europoort en later de Maasvlakte. Deze spoorlijn zou in 2007 deel gaan uitmaken van de Betuweroute. Een complexere factor was de scheepvaart. Behalve de binnenvaart moest ook de zeevaart de brug kunnen passeren. De Britanniëhaven, zuidelijk van de brug aangelegd en deel uitmakend van het Europoortcomplex, moest voor zeeschepen bereikbaar worden. Dat betekende dat voor een aanzienlijk grotere doorvaarthoogte gezorgd moest worden. Men koos voor een hefbrug met een doorvaarthoogte van 49,7 meter in geheven stand en een breedte van 46 meter. Voor de binnenvaart was een doorvaarthoogte van 11,7 meter toereikend. Dit 80 meter brede, vaste gedeelte werd uitgevoerd als vakwerkbrug, één van de laatste in zijn soort. De jury van het door het Centrum voor Bouw en Staal ingestelde prijs voor staalconstructies was erg te spreken over het ontwerp “voor de wijze waarop het

samenspel in de vormgeving tussen vakwerkbrug en hefbrug tot stand is gebracht”. Het leverde in 1972 een eervolle vermelding op voor de ontwerpers, waaronder architect C. Veerling.

BELANGRIJKE VERBINDING

De staatssecretaris opende de brug weliswaar in juni 1969, maar het kanaal was toen nog niet helemaal af. Het Calandkanaal moest de

havens van Europoort verbinden met het Hartelkanaal, dat in oktober 1968 al wel was opengesteld. Tijdens de bouw lag er nog een dam iets ten noorden van de nieuwe brug waarover tot dan toe het verkeer naar Europoort ging. Ook moest er nog een sluis worden aangelegd bij de aansluiting om het zoute water van het Calandkanaal en het zoete water van het Hartelkanaal te scheiden. Deze Rozenburgsesluis kwam er in april 1971,



De binnenvaarttanker Ancona uit Remich vaart onder het vaste gedeelte van de brug door terwijl een goederentrein over de brug passeert.

waarmee ook binnenvaartschepen de havens van Europoort konden bereiken. Via het Hartelkanaal kwamen ze voor die tijd namelijk niet verder dan de Hartelhaven omdat de Beerdam het kanaal afschermd van de zeehavens. Daar kwam verandering in toen in 1997 de Hartelkering werd aangelegd en de Beerdam werd doorgestoken.

EEN TOCHTIGE PLEK

Wie over de brug rijdt, ziet aan de westelijke kant van het kanaal een rij hoge betonnen constructies staan. De meeste automobilisten zullen geen idee hebben waarvoor deze zijn. Kunst misschien? In zekere zin hebben ze daarin gelijk. De platen zijn kunstig vormgegeven, maar staan er niet alleen om het oog te behagen. Het is een windscherm en wel het grootste ter wereld. Maar waarom daar?

Aan de Britanniëhaven ligt o.a. een overslagbedrijf voor auto's. Per jaar komen 250 PCTC's (Pure Car Transport Carriers) aan

met auto's aan boord. Deze schepen en ook de roll on/roll off ferry's die hier passeren, liggen hoog op het water en zijn daarom gevoelig voor wind. Om het risico te vermijden dat ze tijdens de doorvaart bij harde wind de brug aanvaren, is dit 1750 meter lange windscherm gebouwd. Geen gesloten wand, maar losse elementen, omdat de constructie 25% winddoorlatend moet zijn voor een optimaal effect. Ze zijn ontworpen door de Rotterdamse stadsarchitect Maarten Struijs en landschapskunstenaar Frans de Wit en in 1986 aangelegd, 129 stuks in totaal, elk 25 meter hoog.

AUTO WIJKT VOOR SCHIP

Het toenemende autoverkeer (in 1998 passeerden ruim 45.000 motorvoertuigen per werkdag de brug) en de toenemende brugopeningen voor de scheepvaart (gemiddeld 11,8 openingen per dag in 1998) noopten tot maatregelen. Een verkeerstunnel bleek de beste oplossing en die kwam er dan

ook in 2004: de Thomassentunnel. Daarmee werd de brug ontlast. Alleen lokaal verkeer gaat er nu nog over en vervoer van ontplofbare stoffen die niet door de tunnel mogen. Overigens liggen er ook een fietspad en een voetpad over de brug. Voor fietsers is het een belangrijke verbinding naar Brielle en het knooppuntennetwerk van Voorne. Voor wandelaars ligt de brug in het Deltapad (Lange afstandswandelpad 5-1). Met de aanleg van de tunnel kwam er weer rust rond dit verkeersknooppunt, maar niet voor lang.

OOK TREIN WIJKT VOOR SCHIP

Ook voor het treinverkeer werd de brug steeds meer een knelpunt. Over het sinds 1994 dubbelsporig traject gingen in 2010 wel 58 goederentreinen per dag. En waar voor de meeste spoorbruggen geldt dat de openingen worden afgestemd op de dienstregeling van de treinen, geldt hier het gewoonrecht dat het schip voor de trein gaat. Met andere



De Noordelijke kade van de Britanniëhaven met in het midden het Roro cargo schip Yasmine.

woorden: het treinverkeer ligt stil bij een brugopening. De verwachting volgens een studie uit 2015 was dat het treinverkeer in 2030 minimaal zou zijn verdubbeld. Ook de zeescheepvaart richting Brittanniëhaven zou naar verwachting in die periode met een kwart toenemen, wat tot gemiddeld 14 brugopeningen per dag zou leiden. Uitgaande van een gemiddelde openingstijd van 10 minuten zou dit tot onaantvaardbare vertragingen in het treinverkeer op de Havenspoorlijn leiden. Er werd daarom gestudeerd op een oplossing. Aanpassing van de Calandbrug had weinig zin, concludeerden men en het ministerie van Infrastructuur en Milieu in afstemming met het Havenbedrijf Rotterdam koos voor een toekomstvaste oplossing, namelijk het omleiden van het treinverkeer via het zogenoemde Theemswegtracé.

OVER DE SLUIS EN DOOR HET WINDSCHERM

De omgeving van de Calandbrug is een aaneenschakeling van wegen, spoorlijnen, vaarwegen, bruggen, havens en viaducten met ook nog een tunnel, een sluis en niet te vergeten het windscherm. Daar moet de omlegging van de havenspoorlijn een plaats vinden. Dat dwingt tot creatieve oplossingen. Het gekozen 4 kilometer lange tracé buigt voor de Britanniëhaven af van het bestaande tracé, volgt de Theemsweg en kruist het Calandkanaal bij de Rozenburgsesluis. Om de drukke scheepvaart ongehinderd doorgang te laten vinden, moet het spoor de hoogte in. Er komt een stalen boogbrug over de sluis met een doorvaarthoogte van 16 boven NAP. Een tweede stalen boogbrug komt over westelijke tunnelgedeelte en de parallelwegen van de N15. Het tracé kruist ook het windscherm aan de westzijde van het kanaal. Een aantal panelen moest daarvoor wijken. Ze zijn vervangen door een serie smallere constructies achter het gat. Volgens de planning zal het project eind 2021 voltooid zijn. De kosten zijn begroot op 300 miljoen euro, waarvan 160 miljoen door het rijk wordt bekostigd, 80 miljoen door het Havenbedrijf en 60 miljoen door de EU.

HOE NU VERDER MET DE CALANDBRUG?

Als het autoverkeer door de tunnel gaat en het treinverkeer over het Theemswegtracé, is de brug dan nog wel nodig? Het antwoord is ja. We zagen al dat de brug voor vervoer van gevaarlijke stoffen gebruikt wordt, door het langzame verkeer en het lokale verkeer. Bovendien dient hij als alternatief wanneer de tunnel vanwege een ongeval afgesloten wordt. Al met al passeerden in 2017 nog ruim 12000 auto's de brug. Maar de brug is aan het einde van zijn technische levensduur van 50 jaar. Dit is geen theoretische gegeven, want regelmatige storings en inspecties

maken duidelijk dat er dringend groot onderhoud nodig is. De hele elektromechanische installatie zal o.a. moeten worden vervangen. Wie dat gaat doen? De beheersituatie is namelijk nogal complex. Het Havenbedrijf is vaarwegbeheerder en verantwoordelijk voor de afwikkeling van het scheepvaartverkeer; Rijkswaterstaat is eigenaar van de weginfrastructuur op de brug en bedient de brug sinds 2008 vanuit de verkeerscentrale in Rhon. ProRail tenslotte is eigenaar van de brug en verantwoordelijk voor het langetermijnonderhoud. Die zal het onderhoud dan ook voor zijn rekening moeten nemen met inbegrip van de ontmanteling van



impressie van het Theemswegtracé (bron Havenbedrijf Rotterdam)

het spoor. Momenteel werken Rijkswaterstaat en ProRail aan een renovatieplan. Wanneer dit zal worden uitgevoerd, is nog niet precies bekend, maar het zal pas na 2023 worden. Als dat afgerond is, wordt het beheer van de brug overgedragen aan Rijkswaterstaat. De brug moet dan weer 50 jaar mee kunnen.



BRONNEN O.A.

- J.A.Ringers, 1953; Caland en de betekenis van zijn werk voor Rotterdam
- De Ingenieur nr31, 1969; bij de opening van de Calandbrug
- Rijkswaterstaat 2000, toekomst

Calandbrug, variantenstudie

- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2015; Plan MER Calandbrug
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016; Ontwerp-Tracebesluit Theemswegtracé
- Rijkswaterstaat, 2018; samenwerken aan een bereikbaar Zuid-Holland; planning groot onderhoud tot circa 2030.

Als het autoverkeer door de tunnel gaat en het treinverkeer over het Theemswegtracé, is de brug dan nog wel nodig? Het antwoord is ja.



BY

BRUGONTWERP VOOR 3D PRINTEN

Met de ontwikkelingen van automatische productie ligt er een grote hoeveelheid nieuwe kansen voor ons. Een machine neemt niet alleen het menselijke werk over, het zorgt ook voor een de verbreding van mogelijkheden omtrent complexe en vrije vorm architectuur en bouw mogelijkheden, zonder enig afval materiaal. Deze ontwikkelingen zijn belangrijke stappen richting automatisch ontwerp en productie voor bruggen. Voor ons als ingenieurs is het daarom van belang om een nieuwe manier van werken te ontwikkelen om automatisch ontwerp en constructieve analyse toe te passen.

1a



1b





1c

GENERATIEF ONTWERP VOOR BRUGGEN.

Ontwerpen voor automatische productie (3d printen) wordt voornamelijk beïnvloed door de restricties en mogelijkheden van de 3d printer die wordt toegepast. Generatief ontwerp is een geautomatiseerde optimalisatie tool om ideale constructie principes te vinden binnen de kaders van het productie proces en materiaal. Er kunnen twee niveaus van automatische optimalisatie worden onderscheiden van elkaar:

- Generatief constructief ontwerp

De ontwerper voert de ontwerpdoelen en randvoorwaarden als input in, waarna de tool met alle mogelijke ontwerpen komt. Voor het generatief ontwerpen van bruggen bestaat de input uit; opleg condities, krachtswerking, belastingsgevallen, ontwerprijmte en de materiaaleigenschappen.

- Integraal constructief ontwerp

Hierbij wordt tijdens het ontwerpproces direct constructieve feedback gegeven.

Voor dit onderzoek zijn twee materialen gekozen, één isotroop materiaal, beton, en één orthotroop materiaal, vezelversterkt kunststof (VVK). De toegepaste software, in dit geval Autodesk generative design, werkt alleen met isotrope materialen. Orthotrope materialen moeten worden vereenvoudigd tot isotrope materialen. Verder is voor dit onderzoek een vijftien meter brug gebruikt als 'testobject' om de mogelijkheden van het generatieve ontwerp proces te ontdekken. De enige handmatige inputs zijn de obstakelobjecten (waar de software geen materiaal mag genereren), de belastingsgevallen en de opleg condities. In dit geval is de brug opgelegd op vier steunpunten, vrij in translatie aan één zijde van de brug.

GENERATIEF CONSTRUCTIEF ONTWERP

De uitkomsten van het generatieve ontwerp proces voor VVK en beton zijn weergegeven in figuur 2. Beide studies zijn opgezet met identieke randvoorwaarden, wat resulteert in gelijksoortige geometrien: een dek dat wordt ondersteund door twee bogen. Het constructieve principe van een boogbrug is heel duidelijk te herkennen, maar nu in een meer arbitraire geometrie. Deze twee brug uitkomsten zijn gebaseerd op 3d print eigenschappen waarin de printkop in alle assen vrij kan bewegen, zonder dat er support materiaal nodig is om de prints te kunnen maken (fig 1a,b)

Omdat elke printer zijn eigen randvoorwaarden en restricties heeft, is een zelfde studie uitgevoerd met een printkop die slechts in drie assen vast kan bewegen, en met een maximale vrije uitkragingshoek van 45 graden, wat resulteert in andere uitkomsten (fig 1c). De bulk achtige solide uitkomsten zijn niet toepasbaar met VVK. Vvk staat bekend om haar perfecte werking in 2D lichtgewicht plaatwerking, en is daarom niet toepasbaar met grove solide uitkomsten. Een solide geometrie moet worden vereenvoudigd met naar een 2d plaat – spaceframe structuur. Dit kan nog niet automatisch worden gegenereerd.

INTEGRAAL CONSTRUCTIEF ONTWERP

Geïntegreerd constructief ontwerp vereist een handmatige aanpak voor de startvorm. De startvorm kan worden ontwikkeld op basis van de materiaaleigenschappen, het 3D-print proces en de constructieve typologie. Hierin is geen hiërarchie vereist, echter in dit onderzoek is er wel voor één specifiek materiaal

gekozen. De print orientatie en de brug typologie hangen sterk af van de printrichtingen die de 3D printer kan maken. Voor VVK bruggen is het belangrijk dat de vezel orientatie in de richting van de printpaden wordt ontworpen om zo goed mogelijk de axiale belasting van verkeerslasten te weerstaan. In dit onderzoek is de startvorm een lens-achtige vorm, wat voortkomt uit de combinatie van de momentenlijn van een eenvoudig opgelegde brug. Het gekromde bovenvlak zorgt voor extra toegewerking en goede afwatering op het brug dek. De stijfheid van VVK is significant lager in vergelijking met staal en beton. Om toch een slank ontwerp te behouden is er gekozen voor een monocoque brug typologie. Om te compenseren voor de lagere stijfheid wordt er een grove buiten schil met een lichte binnenconstructie ontwikkeld. Daarbij kan met een monocoque vorm een grote vormvrijheid worden behaald en kan het in één print worden geproduceerd zonder post-assemblage.

Omdat de printer laag voor laag opbouwd is er gekeken naar een sectie van de brug, en is deze constructie geanalyseerd. Het plotten van de hoofdspanningslijnen laat zien waar de grootste trek en druk spanning optreden. De grootte en locatie van deze hoofdspanningen zijn gebruikt als materiaal topology voor de binnenconstructie. De binnenconstructie wordt voornamelijk blootgesteld aan normaal krachten, waarbij schuifspanning wordt geminimaliseerd. De extrusie van deze hoofdspanningslijnen vormen de start geometrie van deze studie. Op basis van de spanningsgrootte kan materiaal worden verwijderd of toegevoegd, wat resulteert in een topologisch geoptimaliseerde constructie. Er zijn delen van de brug die onder druk spanning komen

te staan. Deze zijn geanalyseerd op stabiliteit en knik. Daarbij zijn is er ook geanalyseerd op stijfheid en comfort (dynamische belastingen).

De uitkomsten zijn het resultaat van deze analyses en baseren hun geometrie op een handmatig gevormde startvorm, wat het direct printbaar maakt. Een 1:10 schaal model van deze brug is getest op printbaarheid en constructief gedrag (fig2). Handmatige topologische optimalisatie is een iteratief proces zonder specifieke generatieve software. Het weghalen van materiaal in gebieden waar de spanningen laag zijn, slaat wel op de principes van generatief ontwerp.

CONCLUSIE EN TOEKOMST PERSPECTIEF

MATERIAAL

Het doel van dit onderzoek is om een brug te ontwerpen voor 3D printen met gebruik van automatische materiaal topologie technieken. Generative design is een bijzonder goede tool om het ontwerp en de engineering te automatiseren. Het genereerd honderden uitkomsten tegelijk, waarmee een groot deel van de repeterende taken worden overgenomen door de software. Op dit moment is Autodesk generative design nog niet volledig geschikt voor het ontwerp van bruggen. Hierdoor is het niet mogelijk om te genereren met isotrope materialen zoals VVK, en isotro-

pe materialen met verschillende druk en trek spanningscapaciteiten. Een 3D printer introduceert altijd orthotroop gedrag in de brug.

CONSTRUCTIEVE ANALYSE

Dit onderzoek is één van de eerste stappen richting een volledig geautomiseerd constructief ontwerp en productie proces. Generatief constructief ontwerp kan worden toegepast met behulp van bepaalde print criteria. Nog niet alle criteria die nodig zijn voor brug ontwerp kunnen worden ingevoerd in generatieve software. Het integrale constructieve ontwerp is een manier om deze criteria te ontdekken en te leren begrijpen. De data die voortkomt uit de ontwerpen die zijn geprint helpen bij het verifiëren van de simulaties van 3D print modellen. Deze verificatie is essentieel voor proof of concept op langer termijn.

DE TOEKOMST VAN AUTOMATISCH ONTWERP EN PRODUCTIE

Van de vele beschikbare constructieve materialen springt VVK eruit op duurzaamheid. De functie van een brug is echter minder duurzaam. In plaats van het denken in concepten voor een brug die 200 jaar blijft bestaan, is automatisch ontwerp en productie en de recycle mogelijkheden van VVK een uiterst geschikte combinatie voor korte levensduur van bruggen. Eisen met betrekking tot veiligheid en comfort veranderen per decennium. De vraag is dan waarom een brug voor 200

jaar ontworpen moet worden met extra materiaal wat de eerste 50 jaar niet nodig zal zijn, terwijl je ook een brug voor 20-30 jaar kunt bouwen en kan herbouwen met hetzelfde materiaal voor een andere functie. Waar dit naartoe gaat is nu nog niet duidelijk, maar nieuwe constructieve materialen en ontwerpmethoden brengen ons nieuwe manieren van werken voor de infrastructuur en de bebouwde omgeving.

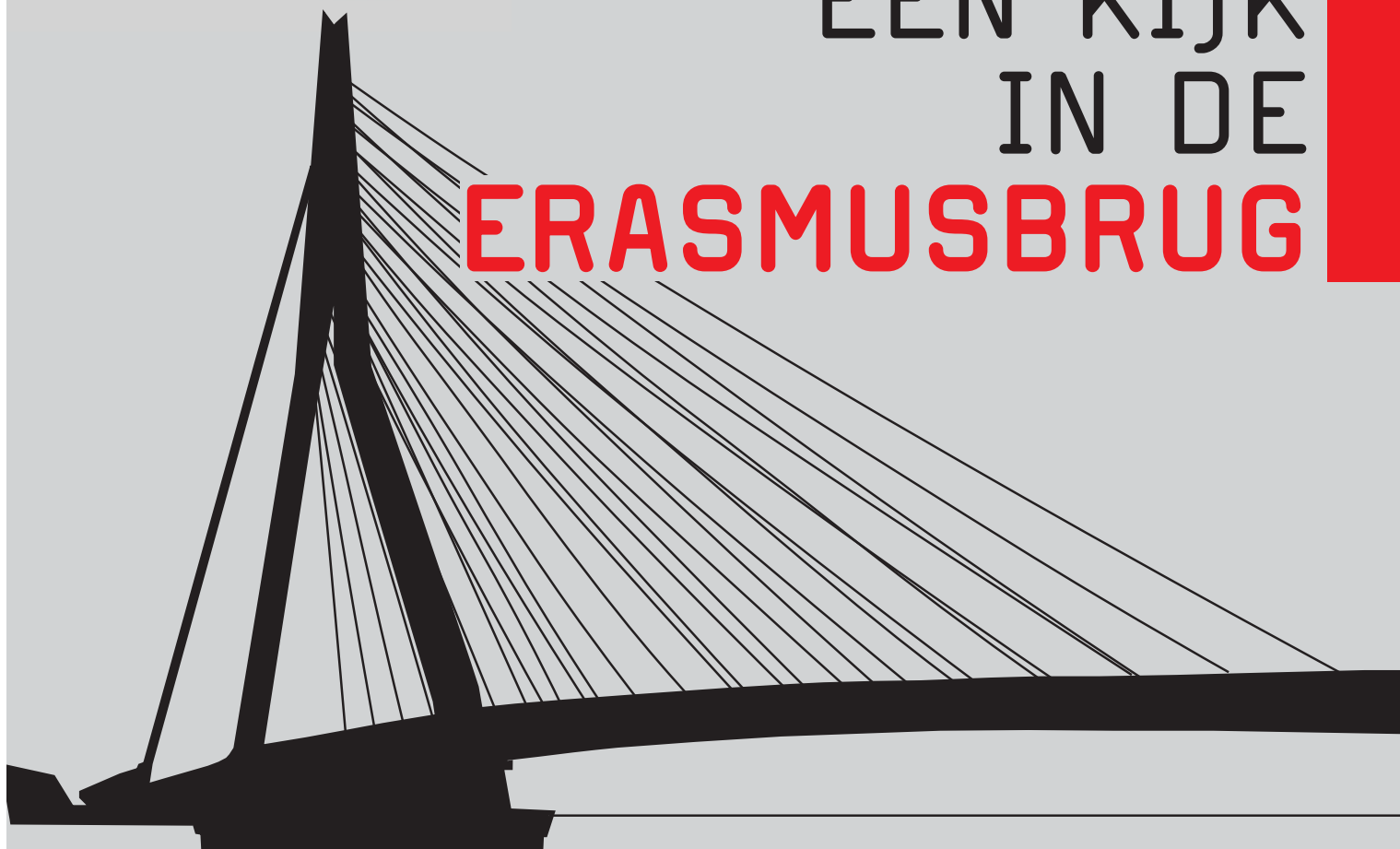
LITERATUUR

1. Blok, L. G., Woods, B. K. S., Yu, H., Longana, M. L., & Potter, K. P. 3d Printed Composites – Benchmarking The State-Of-The-Art. In *21st International Conference on Composite Materials*. 2017.
2. Teizer, J., Blicke, A., King, T., Leitzbach, O., & Guenther, D. Large scale 3D-printing of complex geometric shapes in construction. In *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. Vol. 33, pp. 1. 2016.
3. 2019 Autodesk Inc. "Generative design." Internet: <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>, May. 18, 2018. [May. 08, 2019].
4. 2019 MX3D. "Bridge design." Internet: <https://mx3d.com>, Sept, 08, 2017. [Juli. 01, 2019].
5. Joosten, S.K. "Printing a Stainless Steel Bridge An exploration of structural properties of stainless steel additive manufactures for civil engineering purposes". M.A. thesis. Delft University of Technology, Delft, 2015.
6. Beghini, L. L., Beghini, A., Katz, N., Baker, W. F., & Paulino, G. H. (2014). Connecting architecture and engineering through structural topology optimization. *Engineering Structures*, 59, 716-726.



BY

EEN KIIK IN DE **ERASMUSBRUG**



WANNEER?

3 oktober 2019
aanvang: 14:00 uur
borrel: 16:00 uur

VOOR WIE?

alle geïnteresseerden

KOSTEN?

gratis

(wees snel want: vol = vol)

SCHRIJF JE SNEL IN!

mail ons:
young@bruggenstichting.nl

(inschrijven tot 2 oktober)

zie ook:



BRUGGENSTICHTING **YOUNG**

BY

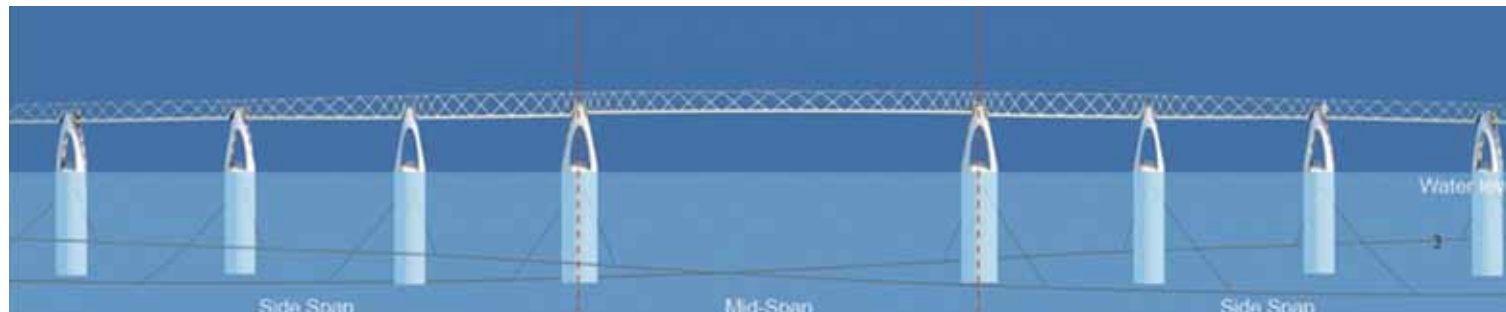
ONTWERP

BRUG

SOGNEFJORD

Langs de kust van Noorwegen loopt de E39, een snelweg die onderdeel is van het Europese hoofdwegennet. Op elf plaatsen moet het verkeer op deze weg een fjord oversteken met een pontje, wat veel tijd kost. De Noorse overheid onderzoekt of de reistijd verminderd kan worden door vaste verbindingen over de fjorden aan te leggen. De lastigste fjordovergang is ter plaatse van het Sognefjord, waar 3,7 km overbrugd moet worden. Omdat het Sognefjord 1,2 km diep is, zijn conventionele bruggen niet haalbaar. In het afstudeeronderzoek van Willem Cijssouw aan de TU-Delft is de haalbaarheid onderzocht van een drijvende brug.





ONTWERP

Deze brug, een gezamenlijk ontwerp van Iv-Consult en Zwarts & Jansma Architecten, bestaat uit een stalen vakwerk, gedragen door 22 betonnen pontons. Onder water ligt een net van staalkabels dat zijwaartse bewegingen van de pontons moet beperken. Naast het veilig overbrengen van verkeer, moet de brug ook nog steeds scheepsverkeer in het fjord kunnen toelaten. Halverwege heeft de brug daarom een 400 m brede, 70 m hoge door-gang voor scheepsverkeer. Dit maakt de maxi-male overspanning van de brug 463 m. De overige brugdelen overspannen 200 m. Door de S-curve in de brug is de totale lengte 4,5 km.

CONSTRUCTIE

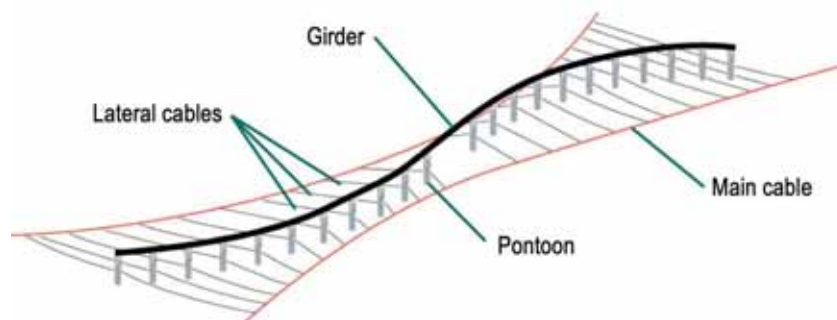
De brug zal grote verplaatsingen en rotaties ondervinden onder invloed van wind, golven en stromingen. Door hoge onderhoudseisen van de Noorse overheid zijn interne scharnie-ren niet gewenst, zodat gekozen is voor één

continue brugligger zonder interne scharnie-ren. Deze brugligger is daardoor statisch onbepaald, die bovendien continu opgelegde verplaatsingen door (licht) bewegende pon-tons ondervindt. Een belangrijke vraag in het afstudeeronderzoek was dan ook of dit niet tot te hoge spanningen in de staalconstructie zou leiden.

Een ander belangrijk aspect bij deze brug is robuustheid. Zo moet de brug een botsing met een groot schip aankunnen. Hiervoor is in elk ponton een ring van compartimenten voorzien, zodat bij een aanvaring slechts een klein deel van het ponton vol zal lopen en deze niet zal zinken. Andere, nog niet verder onderzochte opties om robuustheid te vergroten zijn voornamelijk het aanbrengen van 'tweede draagwegen', zoals een tweede kabel-net onder water, of het maken van aparte brugliggers voor de twee verkeersrichtingen. Maar, ook als voor deze problemen oplossin-gen gevonden zijn, moet de brug nog gemaakt worden: een enorme uitdaging op

zich. Hoe ga je bijvoorbeeld kabels aanbren-gen waar tienduizenden kN's kracht op staan? Of brugliggers van 27 meter hoog 70 meter de lucht inhijzen? Voor veel oplossingen kan gekeken worden naar de offshore-industrie. Zo zouden de pontons eerst deels afgezonken kunnen worden, zodat brugliggers op zeeni-veau geplaatst kunnen worden.

Een drijvende brug op deze schaal bestaat niet, waardoor op bijna elk vlak nieuwe kennis moet worden gegenereerd. Onderzoek naar de brug begint met inzicht krijgen in het gedrag van de brug: maximale verplaatsingen en rotaties bij storm, maximale kabelkrachten, stijfheden van verschillende onderdelen. Door de grote schaal gaan ook maakbaarheid, ver-moeiing en dynamisch gedrag een andere rol spelen dan gebruikelijk. Dit alles maakt van deze brug een zeer interessante, uitdagende constructie. Het onderzoek naar een vaste verbinding over het Sognefjord zal daardoor ongetwijfeld nog jaren aanhouden!





POORT VAN EMMELOORD IN GEBRUIK

ir. Chris Wattel, ipv Delft

De krachtige identiteit is, behalve aan de klare vormtaal, vooral te danken aan het integrale ontwerp.

In Emmeloord is de nieuwe, beweegbare Marknesserbrug in gebruik genomen. Het moderne ontwerp integreert architectuur en techniek tot een waardige, beeldbepalende stadspoort. Dankzij zonnepanelen op zowel balans als hameipoort, is de ophaalbrug bovendien nagenoeg energieneutraal.



De Marknesserbrug is gelegen op de plaats van één van de vier oorspronkelijke stadspoorten in Emmeloord die het centrum ontsluiten. De gemeente Noordoostpolder ziet de bruggen behalve als toegangspoorten ook als beeldbepalende elementen in de openbare ruimte. De oude Marknesserbrug, een traditionele ophaalbrug, was toe aan vervanging. Om de doorstroom en verkeersveiligheid te verbeteren, dient de nieuwe brug over de Leemstervaart niet alleen vrijliggende fietspaden aan weerszijden te hebben, maar ook moet de doorvaarthoogte met ongeveer een meter worden vergroot.

ARCHITECTONISCHE VARIANT

ipv Delft, dat destijds een standaard beweegbare brug had geïntroduceerd, werd gevraagd een variantenstudie uit te voeren. Uit de verschillende varianten koos de gemeente de meest architectonische: een ophaalbrug met strakke lijnen, zonder opsmuk. In het ontwerp zag Noordoostpolder een brug met een krachtige, eigen identiteit, geschikt om een impuls te geven aan de kwaliteitsverbetering van de omliggende openbare ruimte.

Die krachtige identiteit is, behalve aan de klare vormtaal, vooral te danken aan het

integrale ontwerp. Alle technische elementen, zoals bewegingswerk, scheepvaartseinen en slagboomkasten, zijn volledig geïntegreerd. Bij deze brug speelt vormgeving de hoofdrol en de doordachte technische uitwerking maakt dat mogelijk. Het bewegingswerk bevindt zich bijvoorbeeld geheel uit het zicht in de ruime kelder. Tandheugel en tandwielkast staan zo niet bloot aan de elementen, wat de brug minder onderhoudsgevoelig maakt. Het benodigde onderhoud aan het bewegingswerk is verder gemakkelijk en efficiënt uit te voeren omdat alles zich in dezelfde ruimte bevindt. Daarnaast zorgt de volledige integratie voor een zuivere buitenkant: hameipoort en balans kunnen ongegeneerd stralen.

TOTAALONTWERP

De scheepvaart- en landverkeersseinen zijn speciaal voor dit project ontworpen. Zo zijn de scheepvaartseinen geïntegreerd in het spijlenhekwerk. De landverkeersseinen, de rode knipperlichten die voetgangers, fietsers en automobilisten erop attenderen dat de brug

gaat openen of sluiten, zijn uitgevoerd zonder achtergrondschild. Dit was mogelijk door het gebruik van ledverlichting, die ook in volle zon goed zichtbaar blijft. Twee spots in de hameipoort zorgen voor de functionele verlichting van het wegdek, twee andere spots lichten de hameipoort 's nachts aan.

Buiten bereik van de weggebruiker, namelijk op de bovenzijde van zowel de balans als de hameipoort, bevinden zich zonnepanelen. Deze komen in het zicht als de brug opengaat en voorzien de volledige brug van de benodigde stroom.

De bouw van de Marknesserbrug is UAV-GC aanbesteed onder begeleiding van Royal HaskoningDHV. Van Spijker Infrabouw verzorgde de uitvoering in samenwerking met Hillebrand. ipv Delft werkte na de variantenstudie het gekozen ontwerp uit tot een voorlopig ontwerp met beeldkwaliteitsplan. Dit plan diende als basis voor de aanbesteding en realisatie.



PROJECTGEGEVENS

Marknesserbrug Emmeloord (2019)	
Opdrachtgever	Gemeente Emmeloord
Ontwerp	ipv Delft
Engineering Uitvoeringsmanagement	Royal HaskoningDHV
Uitvoering	Van Spijker Infrabouw en Hillebrand



NEDERLANDSE BRUGGENSTICHTING

BRUGGEN

Brug Katwijk-Oegstgeest, ontwerp Syb van Breda architects,
foto Paul Onderwater.

PLATFORM FIETS+VOETBRUGGEN

Uitnodiging voor 5^e symposium 7 november 2019

Het Platform Fiets+Voetbruggen is in 2014 onder auspiciën van de Bruggenstichting opgericht. Het doel van het platform is het vergroten van de technische en architectonische kwaliteit van dit type bruggen. Dat wil het Platform bereiken door het verspreiden van kennis over het integrale ontwerpproces in samenwerking met alle betrokken partijen.

Aanmelden

via www.bruggenstichting.nl

Locatie

Zaal de Schutter in de Observant, Stadhuisplein 7, 3811 LM Amersfoort

Datum

donderdag 7 november

Tijd

12.00 uur tot 18.15 uur

Toegangsprijs

- begunstigers van de Bruggenstichting
€ 65,- (ex btw)
- gepensioneerde begunstigers van de Bruggenstichting
€ 27,50 (incl. btw)
- overige belangstellenden
€ 130,- (ex btw)

Doelgroep

Opdrachtgevers, beleidsmakers, ontwerpende en uitvoerende partijen.

Constructeurs krijgen bij deelname aan de middag 2 kennispunten voor het Constructeursregister..

Programma → Kennis delen

- **12.00 uur tot 12.45 uur** Ontvangst met lunch

- **12.45 uur** Opening

Door Edwin Megens, Architect bij StudioSK-Movares en voorzitter van het Platform Fiets*Voetbruggen.

Dagvoorzitter is Joris Smits, Architect en Brugontwerper bij Ney & Partners Nederland, hoofd van de Bridge Design & Research Group aan de TU Delft.

- **13.00 uur** Integraal lichtontwerp – de kracht en de mogelijkheden van goede verlichting

Door Marion Kresken, ipv-Delft.

Vaak wordt de verlichting van een brug pas op het laatste moment meegenomen bij een ontwerp wat al grotendeels is afgerond. Dat is een gemiste kans. Licht kan van grote betekenis en een waardevolle toevoeging bij het ontwerpen van fiets*voetbruggen zijn. Laat u tijdens deze presentatie inspireren over de kracht en de mogelijkheden van een goed lichtontwerp.

- **13.30 uur** Brug tussen Katwijk en Oegstgeest, keuzes die leidden tot een uniek concept

Door Syb van Breda, Syb van Breda & Co.

De brug ligt op enkele kilometers van de kust in een open omgeving, dus de winddruk is hoog. De Rijn is ter plekke zo smal dat de doorvaart in beide richtingen in het midden van het water moet komen. Het enige model dat mogelijk bleek, was een draaibrug, maar dan wel een asymmetrische met een uitzonderlijk lang en slank uitkragende val en een unieke balancerende met een hoge pyloon.

De pyloon suggereert eerder een verticale opening dan een horizontale. Des te groter is de verrassing als pyloon en dek spectaculair om een onzichtbare as gaan draaien.

- **14.00 uur** Pauze

- **14.30 uur** Biocomposiet fietsbrug Risumasy (Friesland), werken aan de klimaatopgave

Door Rinze Herrema, Witteveen+Bos

Op weg naar een volledig circulaire economie, slaat provincie Fryslân een innovatieve weg in met een biocomposiet fietsbrug van vlas en hars over het Van Harinxmakanaal bij Risumasy. Welke kansen zijn benut en welke hindernissen heeft bouwteam DRIVE overwonnen om deze eerste biocomposiet brug in het openbare wegennet te realiseren?

- **14.50 uur** Podiumbrug Bocholt, versneller van een gebiedstransformatie

Door Edwin Thie, Arup

Het voormalige industriegebied van de stad Bocholt wordt omgebouwd tot een nieuwe, bruisende wijk. De uitdaging was om samen met

stedenbouwkundige- en landschapsarchitecten te zoeken naar een geschikte oplossing met de meeste gedeelde waarde. De technische uitdaging lag in het realiseren van het architectonische beeld met weervast staal en het beheersen van de beleving van trillingen door voetgangers. De brug was de eerste in Duitsland met een verlijmd glasvezel versterkt kunststof dek.

- **15.10 uur** VVK brugontwerp voor Additive Manufacturing

Door Bart-Jan van de Gaag, RHDHV

De mogelijkheden van Additive Manufacturing worden steeds groter en uitgebreider wat ervoor zorgt dat ontwerpers en ingenieurs kunnen denken in nieuwe mogelijkheden. Wat betekent dit voor het ontwerpen en produceren van bruggen? Middels case studies zal deze presentatie gaan over de uitdagingen van automatisch ontwerp en productie van een vezelversterkte kunststofbrug.

- **15.30 uur** Pauze

- **16.00 uur** Fietsostrada Antwerpen-Lier. Een staalharde keuze: beton, composiet of toch weer staal?

Door Tina Caers (provincie Antwerpen), Geert Siereveld (Composite Structures), Hannes Van de Casteele (Janson Bridging)

Provincie Antwerpen heeft zich de laatste jaren ontwikkeld als een echte bruggenbouwer om fietssnelwegen naar een hoger niveau te tillen. Zij kozen voor staal of voor glasvezelversterkte kunststof. De presentatie richt zich op enkele praktijkvoorbeelden waar de afweging en keuze van het ontwerp wordt toegelicht en waarbij de inzichten die tijdens ontwerp en bouw zijn verkregen, worden gedeeld. Glasvezelversterkte kunststofbruggen zijn in Vlaanderen relatief nieuw.

- **16.30 uur** Clausbrug Dordrecht, uitdagingen bij het integrale ontwerp

Door Britte van Korten, Iv-Infra

De brug heeft een lengte van 140m en bestaat uit 2 stalen aanbruggen met een beweegbaar deel van ruim 45m lengte. Het beweegbaar is uitgevoerd als een basculebrug met scharnierende ballastmast en pendelstaaf, en wordt elektrohydraulisch aangedreven. Het architectonische ontwerp van de brug is zeer bijzonder en heeft tijdens het DO-ontwerp geleid tot de nodige uitdagingen.

- **17.00 uur** Conclusie en afsluiting door de dagvoorzitter

- **17.15 uur** Borrel met hapjes

- **18.00 uur** Einde van de bijeenkomst



BRUGGEN

