

Nr.1 Jaargang 24
maart 2016

Bruggen



4

NIEUWE ONTWIKKELINGEN



14

BEWEGINGSWERKEN



21

WAT MIJ BEWEEGT



26

DE NIEUWE BOTLEKBRUG



33

BRUGGEN IN BEWEGING

Inhoud



4 Nieuwe ontwikkelingen



14 Bewegingswerken: vervangen of laten zitten



21 Wat mij beweegt



26 De nieuwe Botlekbrug



33 Bruggen in beweging



38 Ontwerp bruggen Singelpark, Leiden

39 Boeken over Leidse bruggen

COLOFON

Opgericht 10 april 1992

BESTUUR

Jan de Boer, Hans de Haan (voorzitter), Cees Heiden, Gert-Jan Luijendijk, Dick Schaafsma, Joris Smits, Theo Schillemans en Leo Wagemans.

RAAD VAN ADVIES

Antea Group, Arup Nederland, DIVV Amsterdam, Haasnoot Bruggen, IV-Infra, Janson Bridging, Mammoet, Mobilis TBI Infra, Movares, ProRail, Rijkswaterstaat, Spanbeton, Vereniging SNS Staalbouw, Ingenieursbureau Westenberg.

BRUGGEN

Het tijdschrift BRUGGEN verschijnt vier maal per jaar. Abonnement € 37,50 per jaar. Gratis voor begunstigers van de Nederlandse Bruggen Stichting. 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 opgave van redenen worden geweigerd.

ADVERTENTIES

Rob Lutke Schipholt (uitgever), renm-schipholt@planet.nl of 06 53 78 80 29

REDACTIE

Jan Arends, Michel Bakker, Elisabeth van Blankenstein, Fred van Geest, Hein Klooster, Frans Remery, Hans Rhee, Wils van Soldt en Pieter Spits.

REDACTIEADRES

Nederlandse Bruggenstichting, Lange Kleiweg 34, 2288 GK, Rijswijk
Tel: 088 7970727
e-mail: redactie@bruggenstichting.nl

HOOFDREDACTEUR

Fred van Geest, Annaplaats 1, 2713 AK Zoetermeer, tel: 079 3160168
e-mail: redactie@bruggenstichting.nl

WEBSITE

<http://www.bruggenstichting.nl>

GRAFISCHE VORMGEVING

Ronald Boiten en Irene Mesu, Amersfoort

OMSLAGFOTO VOORZIJDE

Rijnhavenbrug, Rotterdam (ontwerp bureau SLA)

OPLAGE

1000

ISSN 1571-4586

BRUGGENDAG



Dit nummer is nagenoeg geheel gewijd aan de tweede editie van de BRUGGENDAG, zoals die op 17 maart is gehouden. De Bruggenstichting is blij met de ondersteuning van Rijkswaterstaat bij de

realisering van deze dag, die zich dit jaar weer in een goede belangstelling mag verheugen. Opmerkelijk is dat het thema van deze dag een voor bruggen een specifiek onderwerp betreft, namelijk beweegbare bruggen: bruggen die veelal een prominent beeld vormen in de omgeving. Meestal maken we gebruik van bruggen zonder er iets van te merken: de overspanning is klein en de waterloop onbeduidend. Zo niet met beweegbare bruggen, die vallen veelal goed op met niet altijd een even groot genoegen. Maar de meesten waarden toch wel de vormgeving. Een ander interessant gegeven is het feit dat de techniek van de beweegbare brug zich

afspeelt in het overlappingsgebied van drie werelden: de civieltechnische, de werktuigbouwkundige en de vormgevende discipline. Met een hokjesgeestmentaliteit kom je er dus echt niet mee weg! Bruggenbouwen krijgt daarmee maar weer eens opnieuw een symbolische betekenis. Dit jaar staan weer een aantal interessante brugprojecten in de schijnwerpers: De bruggen in het SAA1-project (Schiphol-Amsterdam-Almere), de wat bescheidener bruggen in de Blauwe As te Assen en de Koningin Máximabrug bij Alphen aan de Rijn. We zullen u er een verslag van doen. Veel leesplezier en graag tot ziens op de Bruggendag 2017!

VAN DE VOORZITTER — Hans de Haan

BRUGGEN IN BEWEGING



Op onze 'Bruggendag' van 17 maart 2016 was het thema 'bruggen in beweging'. In een vogelvlucht werden recente ontwikkelingen en innovaties op het gebied van beweegbare bruggen in beeld gebracht. Nederland is met zijn vele

kruisingen van waterwegen en wegen bij uitstek een land van beweegbare bruggen. De oudste beweegbare bruggen zijn de valbruggen, die bij kastelen en stadspoorten werden toegepast. De ophaalbrug is daarvan de opvolger, die in ons land ook op velerlei plaatsen toepassing vond. De meest bekende Nederlandse ophaalbrug is toch wel de 'Magere Brug' in Amsterdam, waarvan de oorspronkelijke brug stamt uit de 17e eeuw. Een minder bekend brug type is de zogenaamde oorgatbrug, de kleinste beweegbare brug met een overspanning van een paar passen, die in het midden van een vaste brug was gemonteerd, zodat schepen zonder het strijken van de mast de vaste brug konden passeren. Hendrick de Keyser, de stadsarchitect van Amsterdam, was de uitvinder en vroeg in 1596 er octrooi op aan.

De oorgatbrug is letterlijk en figuurlijk uit het beeld geraakt respectievelijk verdwenen. De kraanbrug was ook een Nederlandse uitvinding van de spoorwegingenieur Frederik Willem Conrad. De kraanbrug werd toegepast in spoorwegen en forten bij kruisingen met waterwegen. De kraanbrug bestaat uit driehoekvormige armen die om een verticale as draaien. Eén van de rechthoekzijden van de driehoek dient als brugligger. De andere zijde vormt de verticale draai-as die aan het landhoofd is bevestigd. De kraanbrug wordt niet meer toegepast. Een gerestaureerde versie is nog wel te zien bij Fort Ronduit dat deel uitmaakte van de Nieuwe Hollandse Waterlinie. De oorgatbrug en kraanbrug waren indertijd innovaties maar met een zeer tijdelijk karakter. In dat soort bruggen zit geen beweging meer. Veel beweging of dynamiek zit er in het realiseren van nieuwe vaste bruggen, en niet in het minst in beweegbare bruggen, waar je zou kunnen spreken van een extra dimensie waar het de beweging betreft. Niet alleen de vele technische ontwikkelingen op het gebied van materialen, methoden, installaties, informatie- en communicatietechnologie bepalen de opgave, maar ook de marktomstandigheden met betrekking tot de realisatie en de vigerende regelgeving maken het bouwen en het onderhouden van bruggen tot een uitdagende, zo niet gecompliceerde opgave, dat een beroep doet op de kennis en kunde van een ieder die in het proces een rol van betekenis speelt. Kennis en kunde moeten in voldoende mate aanwezig zijn aan zowel de kant van de opdrachtgever als aan de kant van de opdrachtnemer(s). Het realiseren van bruggen vraagt bovendien om enige objectiviteit en een voldoende invoelingsvermogen waar het de omgevingsfactoren betreft. Het thema van de 'Bruggendag' - 'bruggen in beweging' - houdt ons zeker nog lang in beweging.

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 Belasting-

dienst erkend als culturele ANBI, wat staat voor Algemeen Nut Beogende Instelling. Van de culturele status is in 2016 om belastingtechnische redenen afgezien. Voor 2016 is de minimumbijdrage voor particulieren € 37,50 (incl. btw) en voor bedrijven en instellingen € 130,- per jaar (excl. btw). Studenten betalen € 10,- (maximaal 2 jaar). U kunt zich aanmelden door het overmaken van de bijdrage op

onze rekening 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.



LEZING 1

NIEUWE ONTWIKKELINGEN

IR. J.H. (JACO) REUSINK, SENIOR ADVISEUR KUNSTWERKEN,
GEMEENTE ROTTERDAM

Bij beweegbare bruggen is sprake van een veelheid aan nieuwe ontwikkelingen. Terugtrekkende overheid en DB(M) contracten resulteren in nieuwe marktverhoudingen. Ontwerpprijsvragen resulteren in geheel nieuwe verschijningsvormen en de toepassing van innovatieve materialen, aandrijvingen en installaties resulteren in nieuwe uitdagingen en valkuilen. Dit alles speelt zich af binnen het strakke keurslijf van normen, richtlijnen arbeidsmiddelen richtlijn en machinerichtlijn en veiligheidsstandaarden als PL en SIL en een groeiende markt voor innovatieve instandhouding. Dit artikel geeft enkele praktijkervaringen vanuit het recente verleden.

Nederland is bij uitstek een land waarbij wegverkeer en scheepvaartverkeer elkaar verdringen. Tijdens mijn college beweegbare bruggen in Delft bleken Chinese studenten zichtbaar problemen te hebben met dit brugtype. In China is de gangbare oplossing voor hoge scheepvaart een nog hogere vaste brug of een tunnel.

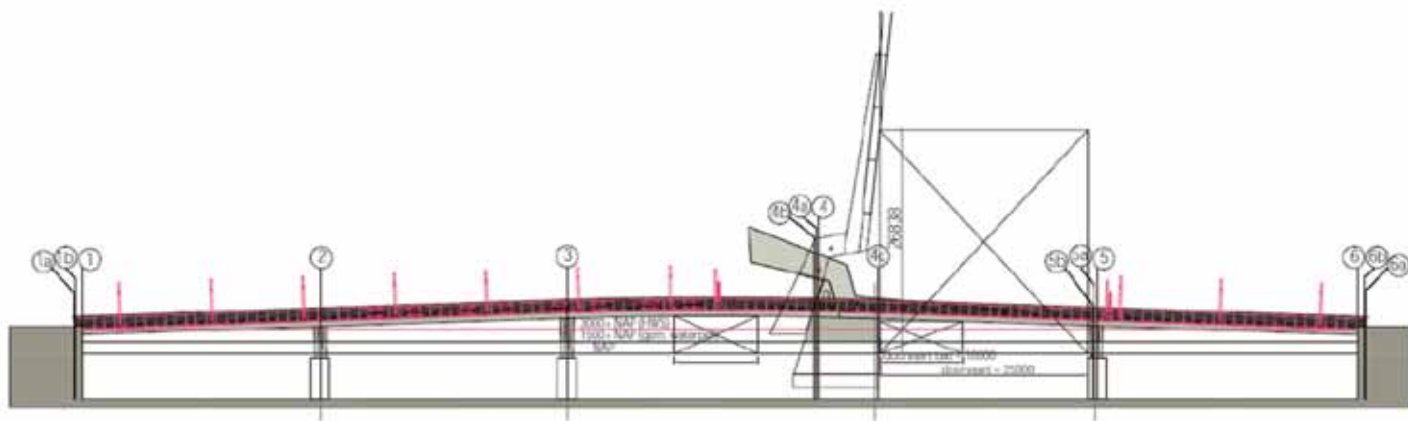
Nederland beschikt, door onze historische stedelijke havens over uitgebreide technische regelgeving voor (beweegbare-) bruggen. In het verleden werden beweegbare bruggen industrieel als machine ontworpen. Het ontwerp van beweegbare bruggen lag bij enkele overheidsbureaus. Beweegbare bruggen binnen een tijdgeneratie vertoonden grote overeenkomsten doordat standaard oplossingsmethoden met ervaringen uit de praktijk werden toegepast. Sinds enkele decennia doen zich belangrijke nieuwe ontwikkelingen voor bij de realisatie van beweegbare bruggen. Deze ontwikkelingen betreffen vooral de nieuwe systeemgerichte contractvormen waarbij een nadrukkelijker rol voor vormgeving, onderhoud en productinnovatie is weggelegd. De rol van de terugtrekkende overheid beperkt zich vaker tot een procesmatige, namelijk die van eishouder en toetsers. Dit maakt dat meer behoefte is aan een eenduidig toetskader door strakke regelgeving en normering. Immers daar waar technische regels in het verleden ondersteunend waren bij het ontwerpproces worden tegenwoordig eerder de mazen in de regelgeving gezocht en gebruikt ter verkrijging van aanbestedingsvoordeel bij inschrijving. Dit vraagt bijzondere aandacht bij het opstellen van de vraagspecificatie en het toepassing verklaren van specifieke op het project toegespitste regelgeving. Een referentieontwerp kan ondersteunend werken zowel om de haalbaarheid van de opgave te ondersteunen en visualiseren bij stakeholders, als om de beoogde ambitie te concretiseren.

PRIJSVRAGEN BIJ BEWEEGBARE BRUGGEN RIJNHAVENBRUG

Voor de Rijnhavenbrug in Rotterdam is in 2009 een architectenprijsvraag georganiseerd. De kaders zijn vastgelegd in een van een stedenbouwkundig- en een technisch-functioneel Programma van Eisen Naast een jury is tevens participerende inbreng gegeven aan omwonenden. Bij de uitvraag zijn door de Gemeente

doelbewust naast enkele gerenommeerde bureaus ook jonge creatieve bureaus geselecteerd. Aan de voorkant van het proces is onderkend dat er waarschijnlijk onvoldoende kennis bij architecten aanwezig is voor de vaststelling van technische en financiële haalbaarheid en onderhoudbaarheid van de brug. Om ongewenste verassingen uit te sluiten is, naast de verplichting zich voor inschrijving te lasten bijstaan door een constructeur tevens aan opdrachtgeverszijde een intake team met technisch specialisten en de beheerder ingesteld. Dit team was betrokken bij de individuele dialoogronde en heeft de ingediende ontwerpen getoetst voor deze aan de jury werden overlegd. Bij de Rijnhavenbrug heeft deze intake selectief gewerkt. Bureau ZUS [Zones Urbaines Sensibles] had een plan ontwikkeld met verbindende commercie op de brug. Dit bleek om meerdere redenen onacceptabel, zoals publieke veiligheid, vastgoedexploitatie en de combinatie van verblijfsruimten en brugaandrijving. Het Amsterdamse bureau SLA (Stedenbouw Landschap en Architectuur) ontwikkelde een bijzonder ontwerp gebaseerd op een schaarbeweging. Ook dit bijzondere plan was voor de beheerder onacceptabel, omdat deze een dubbele doorvaartopening had met de aandrijving in het middendeel. In geval van storing zou het aandrijfwerk alleen per vaartuig bereikbaar zijn. Bij het winnend ontwerp van Quist Wintermans Architecten is lang gesproken over de beschikbare ruimte in de compacte machinekamer. Gekozen is voor een kelder met twee verdiepingen in de draaipuntspijler. Het plaatsen van de aandrijving diep onder de waterlijn in een getijdenrivier is daarbij als specifiek risico onderkend. Het betreft hier echter geen belangrijke scheepvaartroute.

Vervolgens gaf ontwerp van de aanvaarvoorzieningen de nodige hoofdbreken. Zeegaande vaart en getijdenwerking vragen om een groot, zwaar en hoog remmingwerk. Dit zou echter de vormgeving van de brug geheel aan het zicht onttrekken. Door afstempeling op de kelderwand en door een risicobeschoouwing is het remmingwerk sterk in afmetingen teruggebracht. Bij de risicobeschoouwing is de op te nemen bewegingsenergie voor de gegeven situatie verlaagd omdat er weinig zware vaart is en omdat de brug zich in een bocht bevindt waardoor de vaarsnelheid laag zal zijn.



↑ Rijnhavenbrug (QWA architecten)



↑ ↗ Rijnhavenbrug
prijsvraagontwerp Bureau ZUS



Zeegaande vaart en getijdenwerking vragen om een groot, zwaar en hoog remmingwerk. Dit zou echter de vormgeving van de brug geheel aan het zicht onttrekken. Door afstempeling op de kelderwand en door een risicobeschouwing is het remmingwerk sterk in afmetingen teruggebracht



↑ ↗ **Rijnhavenbrug** (prijsvraagontwerp bureau SLA)

Tot slot was de gebruiksveiligheid van de verblijfsruimten van de aanbruggen met wachtende passanten bij aanvaring als onvoldoende aangemerkt door de vergunningverlener. Het is daarbij niet wenselijk de afsluitbomen buiten de aanbruggen en ver van het bewegend deel te plaatsen, en onmogelijk de lichte aanbruggen afdoende te beschermen tegen een aanvaring door een maatgevende zeeschip. Als compromis oplossing zijn een aantal aanvullende veiligheidsmaatregelen genomen zoals een langere remmingwerktrechter met grotere trechterhoek, geluidsalarminstallaties, aanvullende instructies voor het brugbedienend personeel en een snelheidsbeperking voor zware vaart.

PRIJSVRAAG CLAUSBRUG DORDRECHT

Naar het voorbeeld van de Rijnhavenbrug is in 2015 in Dordrecht een open prijsvraag voor de overbrugging van het Wantij tussen de binnenstad en de nieuwe wijk Stadswerven gehouden.

Door de dominantie van het remmingwerk is deze op voorhand als referentieoplossing aan alle inschrijvers meegegeven. Bij de eerste selectie is op basis van een neergelegde visie op de opgave het aantal gegadigden van 127 teruggebracht tot 5. Ook hier is gekozen om de geselecteerde architecten in de tweede ronde te laten bijstaan door een constructeur.



↕ → **Clausbrug Dordrecht**
prijswinnend ontwerp René van Zuuk architecten





↑ Chaban-Delmas brug, Bordeaux (doorvaartbreedte 106 m, hoogte 53 m)

Een kostenraming als toets op het taakstellend budget maakte deel uit van de inschrijving.

Door de jury is de inzending van René van Zuur als zeer positief beoordeeld. Het werkingsprincipe voorziet in een verticaal opgesteld contragewicht op een kleine hefboomsarm, naar analogie van vooroorlogse Amerikaanse Straussbruggen. Er waren echter bij de jury sterke twijfels aan de uitvoerbaarheid van het ontwerp. Immers voor een doorvaartopening van 25 m is een brug gepresenteerd die in geopende stand tot ruim 60 m hoogte reikt. Voorafgaand aan de prijsuitreiking heeft de opdrachtgever besloten om een

→ Gustave Flaubert Bridge Rouen





← Oasis of the Seas

Lengte	360 m	Breedte op de waterlijn	47 m
Maximale breedte	60 m	Hoogte boven de waterlijn	65 m
Diepgang	9,3 m	Capaciteit	225.000 ton

technische quick scan op technische en financiële haalbaarheid en onderhoudbaarheid te laten uitvoeren. Hieruit kwam naar voren dat er, na het doorvoeren van enkele beperkte versoberingsmaatregelen, het ontwerp als uitvoerbaar kan worden aangemerkt. Van Zuuk is daarop als winnaar van de prijsvraag uitgeroepen. Voorafgaand aan de E&C aanbesteding wordt het ontwerp op specifieke vastgestelde risico's verder uitgewerkt en wordt een uitgewerkt integraal 3D model opgesteld als gedetailleerd taakstellend referentiekader ten behoeve van de contractering.

NIEUWE STADSBRUGGEN

Zowel in Amsterdam als in Rotterdam zijn studies gaande voor nieuwe oeververbindingen. Bijzonder is dat in beide gevallen sprake is van een cruiseterminal bovenstrooms van de geplande nieuwe verbindingen. De grootste cruiseschepen van de Oasis klasse hebben op dit moment een maximale breedte van 60 meter en een hoogte tot ruim 65 meter boven de waterlijn. Omdat de maatgevende breedte van de schepen bepaald wordt door uitstekende reddingboten, ver boven de waterlijn, is het schip moeilijk door middel van een remmingwerk te geleiden door een brug of sluis. In Rotterdam geven de eerste nautische studies aan dat een beweegbaar brugdeel benodigd is met een vrije breedte van ruim boven de 100 meter om het schip met een lengte van 360 meter te laten passeren. Studievarianten zijn op dit moment:

- 1 de cruiseterminal verplaatsen benedenstrooms van de brug;
- 2 alleen grote cruiseschepen benedenstrooms afwikkelen;
- 3 beperking op grootste cruisevaart;
- 4 een grote beweegbare brug met de benodigde doorvaartwijdte van ca. 100 m bij een (hef-)hoogte van 80 meter, en tot slot
- 5 een tunnel.

Vergelijkbare beweegbare bruggen zijn in Frankrijk gerealiseerd zoals de Gustave Flaubert brug in Rouen en Chaban-Delmas brug Bordeaux. Van deze bruggen is bekend dat de doorvaartstremming gemiddeld tussen de 20 en 30 minuten verkeersstremming oplevert, vooral omdat de schepen pas op mogen stomen bij dubbel groen sein. Daarbij geldt dat het gedeeltelijk openen van de brug in strijd is met veiligheidsregelgeving. Overwogen wordt aldus om een tweede bewegende doorvaart toe te passen voor kleinere schepen die sneller kunnen worden afgewikkeld.

Cruiseschepen kunnen niet in vensters afgewikkeld worden omdat deze vooral in de ochtendspits aanmeren ten behoeve van het dagexcursieprogramma. Dit betekent dat juist in de spits zware verkeershinder ontstaat voor het wegeverkeer.

De maatschappelijke onwenselijkheid van deze situatie laat zich beschrijven vanuit de Nieuwe Botlekbrug. Na ingebruikname heeft de verkeershinder, o.a. veroorzaakt door storingen tot veel klachten en tweede kamer vragen aan de Minister geleid. Hierbij dient opgemerkt dat ondanks alle commotie 99% van de totale verkeershindertijd veroorzaakt is door regulier brugbedrijf.

TOEPASSING VAN VVK BRUGDEKKEN BIJ BEWEEGBARE BRUGGEN

VVK (Vezelversterkt Kunststof) is een snel oprukkend bouw materiaal in de infra. In Rotterdam is het beleid bij Stadsbeheer dat de draagconstructie van voetgangersbruggen als industriële standaard wordt uitgevoerd in VVK. Alleen in geval van bijzondere vormgeving (staal) en pilotprojecten (Ultra hoge sterkte beton) wordt hiervan afgeweken. De stap naar ver-

VVK (Vezelversterkt Kunststof) is een snel oprukkend bouw materiaal in de infra



↑ Oeververbinding over het IJ.
dubbele draaibrug inzending team CS

moeiingsbelaste toepassingen zoals wegverkeersbruggen is tot voor kort tegengehouden omdat onvoldoende beproevingen zijn uitgevoerd met simulatie van werkelijke wiellasten. De Gemeente is daarbij zeer beducht voor de introductie van een generatieprobleem, zoals die zich heeft gemanifesteerd bij de vermoeiingsweerstand van stalen orthotrope dekken daterend van voor 1990 in het Rijkswegennet. Immers de praktijk leert dat als er één schaaap over de dam is, andere opdrachtgevers min of meer blind zullen volgen.

Voor beweegbare bruggen geldt op vergelijkbare wijze dat zich een probleem voordoet in de aantoonbaarheid van de vermoeiingscapaciteit op de overgang tussen staal en VVK. Ter plaatse van de (hoofd)draaipunten blijft er sprake van hoogbelaste stalen onderdelen die duurzaam moeten worden bevestigd aan het VVK brugdek.

De laatste jaren zijn er belangrijke stappen gezet. Zo is bij de brug in Hillegom een ontwerp opgesteld waarbij de hoge spanningen vanuit het draaipunt door toepassing van een achterdwarsdragerkoker worden verdeeld. Pas daarna vindt de overgang naar het Composiet plaats door toepassing van over de onder- en bovenflens van de achterkoker doorgezette verlijmd kunststof deklagen.

Hierbij wordt de lijmlaag gunstig belast en zijn er geen discrete overgangen van staal naar composiet.

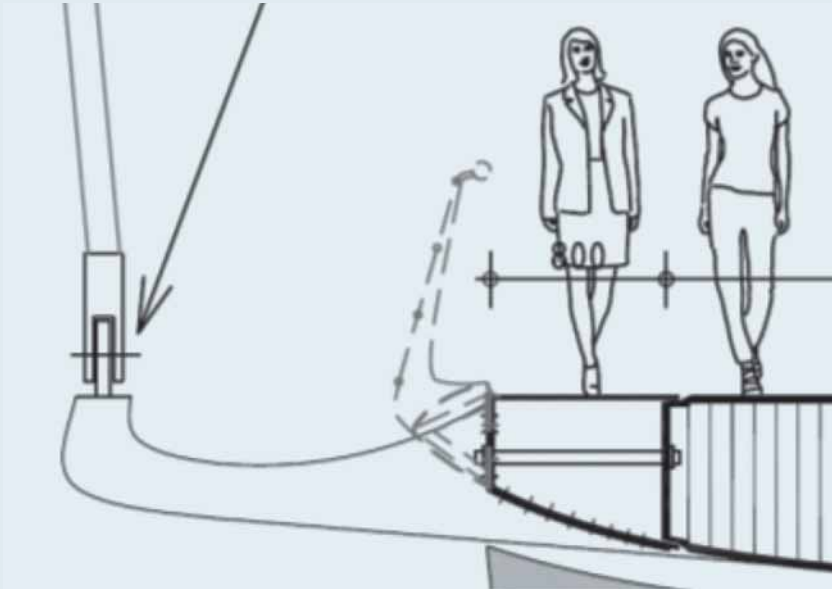
Dit betekent dat de brede toepassing van Composiet in beweegbare bruggen snel dichterbij komt. De eerste verdringingsmarkt is die van de renovatieprojecten waarbij belastingbeperking op de bestaande onderbouw een grote rol speelt.

Cruiseschepen kunnen niet in ‘vensters’ afgewikkeld worden omdat deze vooral in de ochtendspits aanmeren ten behoeve van het dagexcursieprogramma. Dit betekent dat juist in de spits zware verkeershinder ontstaat voor het wegeverkeer.

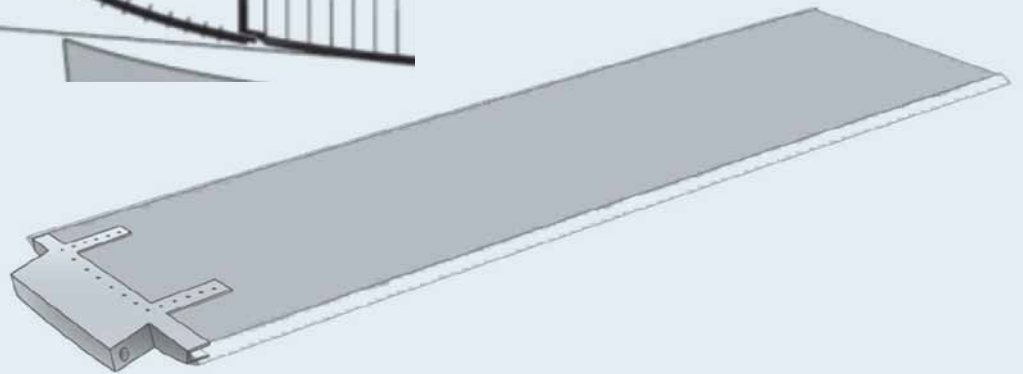
Samenvattend kan worden gesteld dat er veel ontwikkelingen zijn op de markt van beweegbare bruggen. Ook bij de ontwikkeling van de nieuwe VOBB is rekening gehouden met deze marktverschuivingen en innovaties, daarbij is de norm volledig aangesloten op de constructieve Eurocodes. Alle reden voor de ontwikkeling van en nieuwe generatie nog bijzonderder beweegbare bruggen. Deze opgave is aan u.



↑ Churchillbrug



↑ Overgang staal op VVK door zgn C-constructie met bouten als tweede draagweg



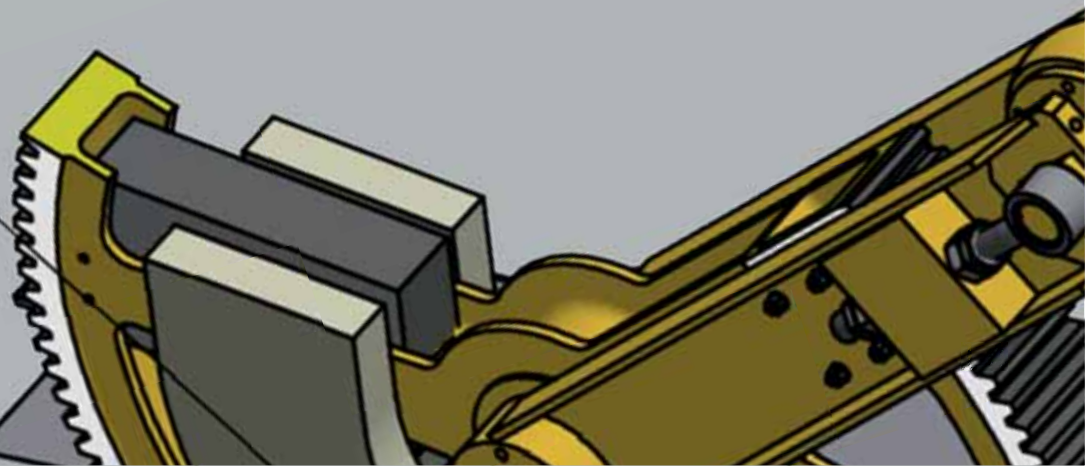
↑ Toepassing VVK bij een beweegbare brug



LEZING 2

BEWEGINGS- WERKEN:

VERVANGEN OF LATEN ZITTEN?



Jacques Montijn — Consultant Beweegbare Installaties, Movares Nederland BV, tevens lid van de normcommissie 'beweegbare bruggen', werkgroep veiligheid.

en

Anton van 't Klooster — Senior Adviseur Beweegbare Installaties, Movares Nederland BV, tevens lid van de normcommissie 'beweegbare bruggen'.

'IF IT AIN'T BROKE, DON'T FIX IT'

is onder werktuigbouwkundigen een gevleugelde uitdrukking. De achterliggende gedachte is dat als een machine al jaren goed functioneert, je deze niet moet proberen te repareren als er geen aanleiding voor is. Er komen dan vaak meer problemen op je pad, dan je aanvankelijk probeerde op te lossen. Geldt dit principe ook voor bewegingswerken van beweegbare bruggen? Enerzijds functioneren veel aandrijvingen al tientallen jaren naar alle tevredenheid, mits ze goed onderhouden zijn. Anderzijds, als je ze nu zou doorrekenen, is de kans groot dat je ze (op papier) 'stuk rekent'. Het is een goede vraag waarom bruggen opnieuw moeten worden doorgerekend en hoe je kunt voorkomen dat je inderdaad alles 'stuk' rekent, met potentieel hoge kosten voor vervanging in het verschiet.

Figuur 1

Het bewegingswerk van de Zegerbrug in de N207, bouwjaar 1980 (©Movares).



Beweegbare bruggen in Nederland vormen essentiële schakels in het nauw geweven net van wegen en vaarwegen, omdat deze zich op de kruispunten van beide soorten infrastructuur bevinden. Inzicht in de constructieve veiligheid van een brugaandrijving is voor een eigenaar van groot belang, omdat het bezwijken van een aandrijving grote schade te weeg brengt, mogelijk zelfs persoonlijk letsel, en grote maatschappelijke gevolgen in de vorm van hinder voor wegverkeer en scheepvaart.

De vragen rond constructieve veiligheid komen vooral aan de orde als een eigenaar van een beweegbare brug van plan is een grootschalige revisie of wijziging uit te voeren. Bij bruggen met een leeftijd van ongeveer 50 jaar komt dan de vervanging van het bewegingswerk in beeld. Een ander voorbeeld is dat de brug wordt aangesloten op een afstandbedieningscentrale, wat als grote wijziging volgens de Machinerichtlijn wordt aangeduid. Dat levert de verplichting om de hele brug opnieuw te beschouwen in het licht van de veiligheidseisen. De constructieve veiligheid van het bewegingswerk is daarvan één van de essentiële eisen, met de verplichting om te toetsen of het aandrijfwerk bestand is tegen de belastingen die optreden bij het gebruik.

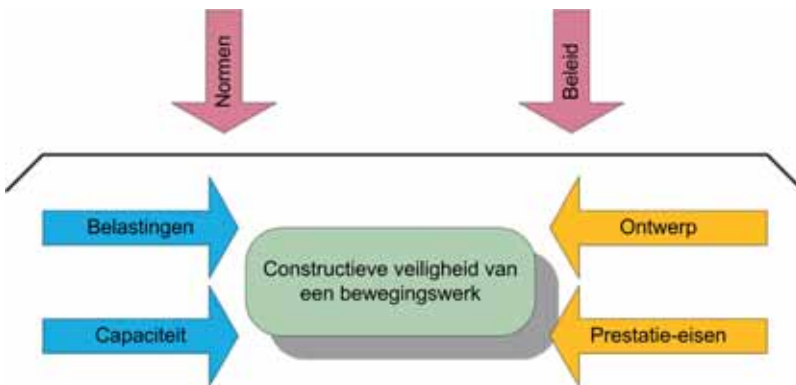
Namens Movares zijn wij als adviseur betrokken geweest bij verschillende projecten, waarbij deze vraagstukken aan de orde kwamen. Naar aanleiding van die vragen hebben wij voor het eerst een stappenplan ontwikkeld dat kan worden gevolgd om vast te stellen of de constructieve veiligheid van bestaande bewegingswerken nog voldoende is. Het heeft als ook als doelstelling te voorkomen dat onnodig veel onderdelen worden vervangen. In dit artikel delen wij onze ervaringen, mede aan de hand van een voorbeeldproject, dat wij voor de provincie Zuid-Holland hebben uitgevoerd.

DE SCHIJNBARE TEGENSTRIJDIGHEID

De huidige beweegbare bruggen in Nederland stammen hoofdzakelijk uit de periode 1960-1990 en zijn berekend volgens de *Voorschriften voor het Ontwerp van Beweegbare Bruggen* uit 1965 (VOBB-1965) of zelfs de voorloper uit 1946. In 2001 is de nieuwe VOB (VOBB-2001) gepubliceerd, waarvan vanaf 1995 al een vroege versie in omloop was. Deze norm betekende een grote stap in de wijze waarop bruggen werden berekend. In 2016 komt waarschijnlijk de nieuwste versie uit waarin ook de koppeling met de Eurocodes is gemaakt. Bij een toetsing volgens de VOB-2001 gaat men er nu van uit dat de bewegingswerken ontworpen zijn voor een (theoretische) levensduur van 50 jaar. Dat zou betekenen dat de bruggen uit de voornoemde periode binnen nu en 25 jaar het einde van de levensduur hebben bereikt. Bij een toetsing van een dergelijk oud bewegingswerk aan de huidige norm (VOBB-2001) lijkt een advies voor vervanging van het bewegingswerk onontkoombaar.



↑ **Figuur 2**
De Papenbrug over het Aarkanaal, gebouwd in 1968, wordt in de loop van 2016 aangesloten op afstandbediening (© Movares).



↑ **Figuur 3**
Invloedsfactoren op de constructieve veiligheid



↑ **Figuur 4 en 5** ↘
Het bewegingswerk van de Aardammerbrug, een panamakruksysteem, het origineel stamt uit 1977. Rechts de situatie na het geplande groot onderhoud in 2016/2017. Vrijwel het gehele bewegingswerk blijft behouden (© Movares)

Deze conclusie stemt echter vaak niet overeen met de staat van dienst van de bewegingswerken, zeker als deze goed onderhouden zijn. De oorzaak ligt meestal in het feit dat de VOBB-2001 rekent met belastingen die tijdens de levensduur van de gemiddelde brug niet zijn opgetreden. Het afkeuren van de bewegingswerken, alleen omdat deze ouder zijn dan 50 jaar en niet voldoen aan de huidige normen, is daarom gevoelsmatig niet te verantwoorden, omdat dit niet overeenstemt met het beeld dat de eigenaar heeft van de bewegingswerken.

Het dilemma waar de eigenaar van de brug vervolgens voor komt te staan, is dat hij moet kiezen tussen twee kwaden: de huidige aandrijving handhaven zonder nadere onderbouw (met het risico dat je dan bewust niet voldoet aan de huidige wetgeving en het bewegingswerk onverwacht kan bezwijken) of grotendeels vervangen van de onderdelen die op het eerste gezicht niet aan de norm voldoen (met hoge investeringskosten per brug en een ongewenst domino-effect – voor wat betreft vervanging – in de richting van brugval en onderbouw). Het lijkt een

tegenstrijdigheid dat het voldoen aan wettelijke eisen en het handhaven van (onderdelen van) het bewegingswerk samen kunnen gaan. Dit lijkt echter oplosbaar door stap-voor-stap alle aspecten van het bewegingswerk in kaart te brengen. Hier ligt een uitdaging voor de constructeur om de theoretische benadering te laten overeenstemmen met de werkelijkheid, zodat de juiste conclusies kunnen worden getrokken.

WEL OF NIET HERBEREKENEN?

De verplichting om wel of niet een herberekening uit te voeren is geregeld in verschillende wetgevingen, maar zoals een brug op het kruispunt van wegen staat, geldt dat ook voor de van toepassing zijnde wetgeving. Enerzijds is een beweegbare brug een bouwwerk dat valt onder het Bouwbesluit, maar het is tegelijkertijd ook een machine volgens de Warenwet/Machinerichtlijn. Daarnaast wordt het ook als een arbeidsmiddel gezien volgens de Arboretgeving. De gemene deler is echter dat alle wetten stellen dat zowel een nieuwe als een bestaande brug



op een veilige wijze zijn functie moet vervullen en dat dit volgens de 'stand der wetenschap' moet zijn aangetoond. Als 'stand der wetenschap' kunnen de NEN 6786 en de NEN 6787 worden beschouwd. Naast de wettelijke plicht is het vaststellen van het niveau van constructieve veiligheid ook 'goed huisvaderschap' en is de kennis onontbeerlijk bij het beoordelen van eventuele (constructieve) wijzigingen aan de brug. Dat betekent dat de aantoonbaarheid van constructieve veiligheid niet ter discussie staat.

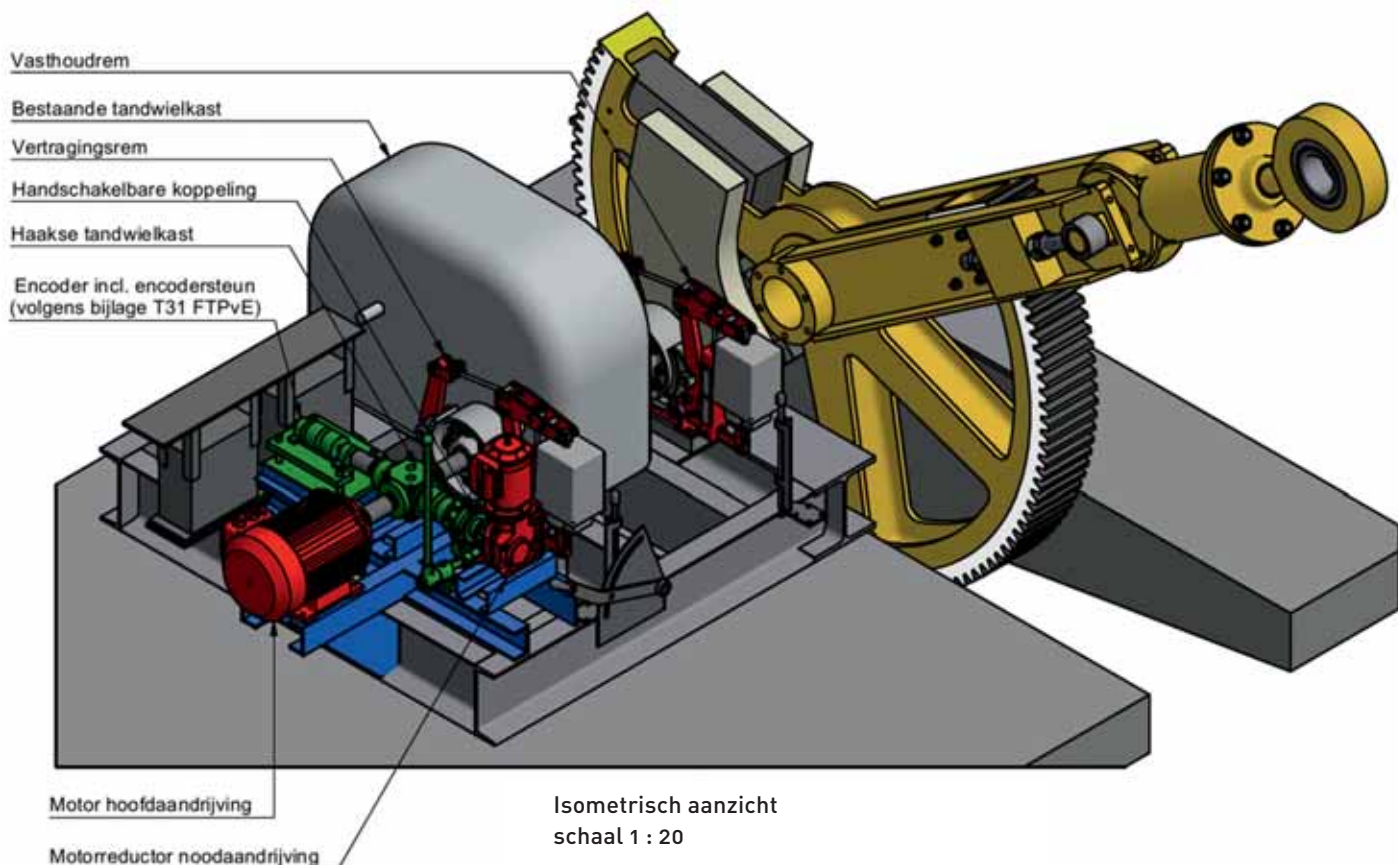
Om te kunnen vaststellen voor welke bruggen en op welke wijze een eigenaar van een beweegbare brug de constructieve veiligheid moet aantonen, is het van belang een aantal vragen te beantwoorden.

WAT IS DE CONDITIE VAN DE BEWEGINGSWERKEN?

Een voorwaarde om onderdelen te kunnen behouden is een goede conditie van de bewegingswerken (gebaseerd op inspecties, metingen, onderzoek en gegevens van storingen). Daarentegen kan een slechte conditie aanleiding zijn om onderdelen te vervangen, zodat ook daarvoor een herberekening noodzakelijk is. Aandachtspunt is dat een (her-)berekening niet zou mogen leiden tot een ongewenst domino-effect, waarbij ook het val en/of de onderbouw moeten worden gewijzigd of vervangen.

WAT IS HET BOUWJAAR VAN DE BRUG EN WELKE DOCUMENTATIE IS AL AANWEZIG?

De VOBB (NEN 6786) is definitief gepubliceerd in 2001, het is dus aannemelijk dat alle bruggen die daarvoor zijn opgeleverd niet volgens deze norm zijn berekend. De VOBB was in ontwerpversie al in 1995 in de omloop en tevens waren er nog NBD-(Bouwdienst)-normen in omloop, dus er zullen hier en daar bruggen te vinden



Nieuwe componenten zijn in rood, groen en blauw aangegeven.

zijn die voor 2001 al volgens de nieuwste norm zijn ontworpen. Als er geen berekening is volgens de principes van de VOBB-2001 of er ontbreekt een geldige berekening, dan is dat uiteraard direct aanleiding om een nieuwe toets uit te voeren. Echter des te meer berekeningen er beschikbaar zijn, des te meer vertrouwen dit geeft in de constructieve integriteit en des te eenvoudiger de uit te voeren toets wordt.

HEEFT DE BRUG CE-MARKERING EN ZIJN ER SUBSTANTIËLE WIJZIGINGEN AANGEBRACHT?

Een belangrijke datum is 1 januari 1995, de datum waarop de Machinerichtlijn van kracht is geworden en CE-markering verplicht is gesteld voor machines en dus ook voor bruggen. Deze wetgeving is van toepassing op alle nieuwe bruggen na die datum, maar ook op oudere bruggen die worden gewijzigd. Het heeft echter in Nederland lang geduurd voordat de branche deze wettelijke verplichtingen heeft erkend en pas na de publicatie van de NEN 6787 in 2003 is het aanbrengen van CE-markering enigszins op gang gekomen voor nieuwe bruggen. Een substantiële wijziging aan een beweegbare brug leidt tot de situatie dat er sprake is van een 'nieuwe' machine, die weer geheel opnieuw moet worden getoetst aan de huidige geldende normen. Alle substantiële wijzigingen sinds 1995 zouden altijd ook tot een herbeschouwing van de (constructieve) veiligheid hebben moeten leiden. In de praktijk is dat meestal (nog) niet gedaan, mede vanwege de onverwacht hoge kosten, de angst voor het 'kapot rekenen' of door onbekendheid met de norm en het begrip 'substantiële wijziging'. Vanuit de wettelijke verplichtingen zal het aantoonbaar maken van de veiligheid echter alsnog moeten gebeuren. Hiermee is de Machinerichtlijn een katalysator voor het in kaart brengen van de constructieve veiligheid van bewegingswerken.

IS ER BEREIDHEID OM CONCESSIONS TE DOEN AAN DE PRESTATIE-EISEN AAN DE BEWEEGBARE BRUG DOOR DE WEGBEHEERDER OF DE VAARWEGBEHEERDER?

Als het aantal brugopeningen zowel historisch als toekomstig lager ligt dan de norm, en de beschikbaarheid van de weg en de vaarweg mogen worden verlaagd, geeft dit mogelijkheden om in de herberekeningen tot gunstiger uitkomsten te komen. Met de antwoorden op deze vragen is een eigenaar in staat om vast te stellen of er een noodzaak is om de constructieve veiligheid van de aandrijving te toetsen en of er überhaupt speelruimte is om herberekeningen gunstiger te laten uitvallen, zodat delen van het bewegingswerk kunnen worden gehandhaafd. We verwachten dat voor de meeste bruggen zal gelden dat een herberekening volgens de huidige norm noodzakelijk is om op een verantwoorde manier aan te tonen dat aan de eisen ten aanzien van de constructieve veiligheid wordt voldaan. Zeker geldt dit voor bruggen in belangrijke vaarwegen en die gebouwd zijn vóór 1995.

Wij zien alleen mogelijkheden om een herberekening achterwege te laten als:

- a. er een recente en goed navolgbare berekening aanwezig is volgens de NEN 6786,
- b. de brug gebouwd is vóór 1995, er een goede 'oude' berekening (VOBB-1965) aanwezig is en de brug sindsdien aantoonbaar geen substantiële wijziging heeft ondergaan, en

- c. als de veiligheid op andere wijze is aan te tonen, bijvoorbeeld met beproevingen en metingen.

Voor deze situaties geldt dan wel als voorwaarde, dat het bewegingswerk in goede conditie is en storingsvrij functioneert. Het komt er op neer dat het maatwerk per brug is. De rode draad is dat in alle gevallen helder onderbouwd en gedocumenteerd moet worden hoe aan de wettelijke eisen wordt voldaan.

HERBEREKENEN VAN AANDRIJVINGEN

Als eenmaal de noodzaak tot het uitvoeren van herberekening is vastgesteld en er een duidelijke wens is om de kosten voor vervanging zo veel mogelijk te beperken, is het verstandig een vast stappenplan te volgen, waarbij wordt gewerkt van grof naar fijn. Het is namelijk niet altijd nodig om direct een geheel gedetailleerde berekening uit te voeren.

STAP 1. GLOBALE TOETS

Het proces begint met informatie verzamelen over de brug en het bewegingswerk. Voorafgaand aan de herberekening moeten alle beschikbare gegevens worden verzameld, zoals het verloop van de snelheid tijdens de beweging en bijvoorbeeld 'as-built'-tekeningen. Verder kunnen metingen aan de brug en gegevens uit inspecties van belang zijn. Voor het vaststellen van de belastingen voor de belastingcombinaties worden in de eerste toets de uitgangspunten van de VOBB-2001 / NEN 6786 gehanteerd, zonder afwijkingen en concessies.

Daarna wordt per onderdeel nagegaan of de capaciteit daarvan voldoende is. De resultaten kunnen in een tabel worden gezet waarin per component en per grenstoestand (vermoeding of overbelasten) zichtbaar is en in welke mate de capaciteit ontoereikend is, zie als voorbeeld figuur 6.

De eerste toets levert een goed beeld op van in hoeverre de capaciteit van de onderdelen door de belastingen die daarop werken wordt overschreden. Aan de hand van de verkregen gegevens kan per aandrijfcomponent een advies worden opgesteld, wat ook afhankelijk is van welke belastingcombinatie maatgevend is. Dit blijkt uit een analyse, zoals weergegeven in figuur 8. Componenten die direct goed scoren worden verder buiten beschouwing gelaten, tenzij er andere reden zijn om deze te vervangen (bijvoorbeeld een slechte onderhoudstoestand).

STAP 2. NAUWKEURIGER BEREKENING

Voor de kostbaarste onderdelen (bijvoorbeeld tandwieloverbrengingen) kan een afweging worden gemaakt of er nog mogelijkheden zijn om met een nauwkeuriger of aangepaste rekenwijze de constructieve veiligheid alsnog aan te tonen. Een nauwkeuriger beschouwing is arbeidsintensiever, maar er kan daardoor per onderdeel nauwkeuriger bepaald worden wat de meest effectieve benadering is. Bij de toets op constructieve veiligheid spelen het bepalen van de belastingen en de capaciteit van de onderdelen de belangrijkste rol. Voor beide aspecten zijn verfijndere rekenmethoden beschikbaar, die gericht zijn op het dichter benaderen van de werkelijkheid.

Verfijningen in de berekeningen van de *optredende belastingen* kunnen een gunstiger toetsresultaat opleveren. Dit kan door bijvoorbeeld de werkelijkheid beter te benaderen qua verloop van de brugbesturing, de afhankelijkheid van de belastingen van de stand van de brug en de werkelijke stijfheid van onderdelen van de aandrijving. Verder kan soms worden aangetoond dat

Onderdeel	Aardammerbrug		Papenbrug		Zegerbrug	
	Vermoeiing	Overbelasten	Vermoeiing	Overbelasten	Vermoeiing	Overbelasten
Vaste ligging						
Motor						
Remkoppeling						
Rem						
Tandwielkast						
Rondsel tandwiel						
Spieverbindingen						
Rondselas						
Lagers rondselas						
Rondsel panamawiel						
Trek-duwstang						

← **Figuur 6**

Voorbeeld van de resultaten van de eerste toets aan de hand van de NEN 6786. Groen betekent: voldoet. De kleurschaal geel-oranje-rood geeft de oplopende ernst van de onderschrijding van de vereiste capaciteit aan.

specifieke belastingen door het ontwerp van de brug eenvoudigweg niet kunnen optreden.

Verfijningen in de berekening van de *capaciteit van de onderdelen* is mogelijk door bijvoorbeeld eindig-elementenberekeningen uit te voeren. Ook kunnen uitgebreidere berekeningen voor tandwielen worden toegepast volgens NEN-ISO 6336, hetgeen vaak meer restcapaciteit oplevert dan de vereenvoudigde berekeningen volgens de VOB-2001. Verder is de capaciteit van tandwielkasten in sommige gevallen hoger dan de opgegeven capaciteit die eenvoudigweg is gebaseerd op de koppels van de aangesloten elektromotoren. Voor berekening van de (rest) levensduur kan gerekend worden met het werkelijk aantal brugopeningen van de brug.

STAP 3. AANPASSEN ONTWERP / EISEN

Als een nauwkeuriger en verfijnde berekening nog onvoldoende oplevert, bestaat er nog de mogelijkheid te sleutelen aan de eisen die worden gesteld aan de prestaties van de brug of zelfs aan het ontwerp. Omdat dit afwijkingen betreft van normen en beleid, zullen deze altijd moeten worden besproken tussen constructeur, eigenaar, wegbeheerder en vaarwegbeheerder.

Voorbeelden van het aanpassen van *prestatie-eisen* zijn een beperking van bediening bij harde wind (dit verlaagt de windbelasting, maar beperkt de beschikbaarheid), verlengen van versnel- en retardeertijden alsmede verlaging van het toerental (dit heeft invloed op belastingen, maar veroorzaakt ook meer hinder voor wegverkeer).

Het plegen van relatief kleine aanpassingen aan het *ontwerp* kan in sommige gevallen ook aanzienlijke voordelen opleveren. Voorbeelden daarvan zijn de stijfheid van het bewegingswerk wijzigen of het voorkomen dat de slag van verende buffers (trek-duwstang) wordt doorlopen. Toepassen van een vliegwielt verlaagt in veel gevallen de dynamische belastingen. Ook het aanpassen van de verhouding tussen onbalans van de brug en opzetkracht kan een positief effect hebben op de belastingen op het bewegingswerk.

Voor alle verfijningen en aanpassingen (samengevat in figuur 4) geldt, dat er een afweging moet worden gemaakt tussen kosten, hinder bij de realisatie, de beperkingen tijdens het gebruik en de te verwachten opbrengsten en besparingen. In deze fase van het proces kan men ook nog steeds beslissen om het gehele bewegingswerk te vervangen. Een zogenaamde Life-Cycle-Cost-beschouwing kan hierbij ondersteuning bieden.

→ **Figuur 7**

Ligging van de bruggen in het Aarkanaal

BRUGGEN AARKANAAL

De hiervoor beschreven methodiek is door Movares toegepast in een project voor de provincie Zuid-Holland, dat gericht was op de voorbereiding van het groot onderhoud aan alle bruggen in het Aarkanaal ten noorden van Alphen aan den Rijn. Doel was de benodigde omvang van het geplande groot onderhoud vast te stellen, waarbij het een sterke wens van de opdrachtgever was die omvang te beperken.

De Zegerbrug, de Aardammerbrug en de Papenbrug (zie figuur 2) zijn drie beweegbare bruggen in het Aarkanaal, met een leeftijd variërend van 35 tot 52 jaar (zie figuur 7). De bruggen worden elk aangedreven met een panamakruksysteem, wat bestaat uit een open tandwieloverbrenging en een trek/duwstang, waarmee de brug in open stand kan worden gedraaid (zie figuur 4 en 5). De provincie heeft als eis geformuleerd dat de bruggen moeten worden voorzien van CE-markering en aangesloten moeten worden op een centrale afstandbediening, hetgeen als substantiële wijziging wordt gezien. De toets van de constructieve veiligheid van de aandrijvingen werd daarmee onderdeel van het project.

De onderdelen zijn getoetst aan de belastingcombinaties uit de VOB-2001/NEN 6786 die voortkomen uit overbelasten (breuk, direct fataal) en vermoeiing (breuk op langere termijn). In figuur 9 is een voorbeeld weergegeven van de berekende koppels per belastingcombinatie. De eerste analyse leverde op, dat de bewegingswerken niet voldoen aan de norm (zie figuur 3). Voor



Onderdeel	Aardammerbrug		Papenbrug		Zegerbrug	
	Vermoeiing	Overbelasten	Vermoeiing	Overbelasten	Vermoeiing	Overbelasten
Vaste ligging						
Motor						
Remkoppeling						1,2
Rem						
Tandwielkast						revisie
Open tandwieloverbrenging					Niet aanwezig	
Spieverbindingen						
Rondsel						
Lagers rondsels						
Panamawiel						
As panamawiel						
Trek-duwstang			1,5			1,1

← **Figuur 8**

Voorbeeld van de resultaten van na het doorlopen van alle stappen van herberekening. Slechts enkele onderdelen resteerden voor revisie of aanpassing.

alle bewegingswerken geldt echter dat de staat van onderhoud uitstekend is en er vanuit dat oopunt geen aanleiding aanwezig is om de grote onderdelen als de panamawielen te vervangen. Het advies van Movares betrof het uitvoeren van aanvullende berekeningen en het onderzoeken volgens voornoemd stappenplan of vervanging van onderdelen voorkomen zou kunnen worden. Hierbij was de voorwaarde dat de bruggen daarbij aantoonbaar veilig blijven en voldoen aan de minimale wettelijke eisen. Naast de meer verfijnde berekening van de belastingen en een nauwkeurigere bepaling van de stijfheden van onderdelen van het bewegingswerk, is de capaciteit van de tandwieloverbrengingen volgens NEN-ISO 6336 bepaald. Een nauwkeurige inspectie van alle tandwielen op schade was daarbij noodzakelijk om de uitkomsten van de herberekeningen te onderbouwen.

Resultaat van de beschouwingen voor deze drie bruggen is dat de eerder getrokken conclusie dat vrijwel alle onderdelen van het bewegingswerk zouden moeten worden vervangen, grondig kon worden herzien (zie figuur 8). Door de aanvullende, meer verfijnde berekeningen en een relatief beperkte verlenging van de openingstijden bleef de omvang van de vervanging beperkt. De grootste kostenposten die zijn overgebleven, betreffen de revisie van de tandwielkast van de Zegerbrug en het vervangen van de trek/duwstang van de Papenbrug. Hiermee is zowel conformiteit met de eisen aan constructieve veiligheid bereikt en tegelijk een potentiële kostenpost van ca. 1 miljoen aan bouwkosten voorkomen.

Samenvatting en conclusies

Een beheerder van beweegbare bruggen is te vergelijken met een fabriekseigenaar met een groot machinepark. Het verschil is echter dat de machines een functie vervullen in de openbare ruimte en een relatief lange levensduur hebben. De

beheerder moet daarom weten of de bruggen veilig en betrouwbaar kunnen functioneren en dat ook in de toekomst blijven doen. De wetgeving geeft aan dat het in veel gevallen een verplichting is de constructieve veiligheid aan te tonen. Toetsen aan de huidige normen als de VOB-2001/NEN 6786 leidt al gauw tot de conclusie dat gehele aandrijvingen moeten worden vervangen, met hoge kosten voor de overheid als gevolg. Als de staat van onderhoud van de aandrijvingen goed is, is dat niet goed met elkaar te rijmen. Als de eigenaar van de beweegbare brug de kosten voor vervanging wil verantwoorden, zal hij helderheid moeten krijgen wat betreft deze schijnbare tegenstelling tussen theorie en werkelijkheid. Wij zien mogelijkheden om tegen relatief lage kosten (ten opzichte van de investeringen) aan te tonen dat bestaande aandrijfwerken aan de huidige normen kunnen voldoen, ook al zijn deze van vóór invoering van de NEN 6786. De oplossing bestaat uit het beter in rekening brengen van de werkelijkheid qua belastingen en capaciteit, het eventueel aanpassen van gebruiksvoorwaarden en beschikbaarheid, en geringe ontwerp-aanpassingen. Het gehele pakket, dat maatwerk is per brug, kan een positief resultaat opleveren voor het behoud van aandrijvingen of componenten daarvan. In het geval van de Aardammerbrug, de Zegerbrug en de Papenbrug is daardoor meer dan 60% bespaard op de aanvankelijk begrote kosten voor het onderhoud.

Om deze werkwijze toe te passen is een grondige kennis vereist van de normen en vooral van de achtergronden van deze normen als het gaat om afwijkingen en interpretatie van eisen. Na uitvoering van een dergelijke herberekening weet de eigenaar van de brug echter wel welke onderdelen definitief vervangen moeten worden om in overeenstemming te zijn met de wettelijke eisen. Het blijkt dat in veel gevallen dit niet altijd hoeft te leiden tot (vervroegd) afschrijven van de aandrijving van de brug.



↑ **Figuur 9**

Koppels op het bewegingswerk op basis van de 20 voorgeschreven belastingcombinaties in de NEN 6786 (voorbeeld uit de berekening).

LEZING 3

WAT MIJ BEWEEGT



JORIS SMIT

ARCHITECT & BRUGONTWERPER

ROYAL HASKONINGDHV

TU Delft, leerstoel Ontwerpen van Draagconstructies



Nelson Mandelabrug Alkmaar

Liever nog dan bruggen ontwerpen, ontwerp ik beweegbare bruggen.

Beweging is per definitie dynamisch en is in staat levenloze objecten te animeren. Beweging spreekt tot de verbeelding en is tegelijkertijd buitengewoon ingewikkeld.

Een beweegbare brug is immers één grote machine.

Hoewel alle onderdelen hun eigen taak hebben, zijn ze ook nauwkeurig op elkaar afgestemd om te komen tot één efficiënte openingsbeweging. In dit artikel zal ik een aantal ongebruikelijke beweegbare bruggen, zowel van mijn eigen hand als van mijn studenten aan de TU Delft de revue laten passeren.

Nederland loopt voorop in de wereld als het gaat om het aantal beweegbare bruggen per vierkante meter. Dit heeft natuurlijk alles te maken met de platheid van ons kleine kikkerlandje in relatie tot ons steeds verder verdichtende wegennet. Die wegendichtheid veroorzaakt regelmatig conflicten met onze eveneens talrijke waterwegen. Wanneer oplossingen zoals tunnels of vaste bruggen onwenselijk of onhaalbaar zijn, kan een beweegbare brug uitkomst bieden voor zowel land- en scheepvaartverkeer. Als brugontwerpers zijn wij ons er van bewust dat

beweegbare bruggen uitzonderlijke en complexe objecten zijn. Om een beweegbare brug te ontwerpen is een nauwe samenwerking tussen de architect, de constructeur en de werktuigbouwkundig ingenieur cruciaal om te komen tot een uitgebalanceerd ontwerp.

Voordat ik overga tot het bespreken van een aantal projecten is het van belang om stil te staan bij een tweetal generieke aspecten die de afgelopen decennia een steeds grotere rol zijn gaan spelen in de totstandkoming van het ontwerp. Ten eerste is daar de mate waarin een ontwerp aansluiting weet te vinden bij de eigenheid van de streek of regio, hoe het ontwerp regionale identiteit uitstraalt en versterkt. Ten tweede staan we stil bij de terecht groeiende aandacht voor duurzame en onderhoudsvriendelijke bruggen.

REGIONALE IDENTITEIT

We zien de laatste jaren een beweging die zich afzet tegen de eenheidsworst van de globalisatie. De kracht van de 'regio' is sterk in opkomst en het uitdragen van regionale identiteit wordt steeds belangrijker gevonden. Politici en overheden zetten zich in om het sociaal culturele karakter van de regio te versterken en zijn zich bewust van de economische waarde van hun merk. Een zorgvuldig afgestemd ontwerp versterkt de regionale identiteit op het raakvlak van de brug en de omgeving. Een beweegbare brug drukt een onmiskenbare stempel op een plek, een weg, een streek. Bij een geslaagd ontwerp kan de brug bijdragen aan het gevoel van trots en eigenwaarde dat mensen aan hun leefomgeving bindt. In een goed ontwerp staat de

‘Genius Loci’, de eigenheid van een plek, aan de basis van het ontwerp. Zo ontsnappen wij aan de verleiding van de eenheidsworst en is iedere brug uniek en plaatsgebonden.

DUURZAAMHEID EN ONDERHOUD

De tweede ontwikkeling die een duidelijk stempel drukt op het ontwerpproces van een beweegbare brug is de toegenomen aandacht voor duurzaamheid en onderhoudsvriendelijkheid. Terecht is er de laatste decennia een groeiende aandacht voor de manier waarop wij omgaan met de opwarming van de aarde en met de schaarste en eindigheid van niet hernieuwbare grondstoffen. Voor mij is een beweegbare brug duurzaam te noemen als hij op twee fronten voldoet aan het adagium ‘less is more’: een effectieve en doelgerichte inzet van materiaal en energiezuinig in aanleg en operationeel gebruik. Omdat een beweegbare brug energie verbruikt kan gedurende de levensduur een aanzienlijke CO₂-reductie worden bereikt door de toepassing van contragewichten. Een goed uitgebalanceerde brug kan volstaan met een lichter bewegingswerk en is ook minder onderhevig aan slijtage. De milieubelasting van het ontwerp kan verder omlaag worden gebracht door voor een lichtgewicht dek te kiezen, bijvoorbeeld van vezelversterkte kunststof (VVK) zodat ook de onderhoudsgevoeligheid afneemt. Een lichtgewicht dek heeft ook een gunstige invloed op de omvang van de fundering. Al onze bruggen voldoen aan de hoogste standaard en worden ontworpen op een levensduur van 100 jaar. Onze uitgebreide kennis van beweegbare bruggen stelt ons in staat om mooie, efficiënte en onderhoudsarme bruggen te bouwen.

NELSON MANDELABRUG ALKMAAR

Soms kan een beweegbare brug op meerdere fronten innoverend zijn, bijvoorbeeld in materiaalgebruik of in het gekozen bewegingsmechanisme. De Nelson Mandelabrug doet beide. De in februari 2016 geopende verkeersbrug is de grootste beweegbare brug in VVK ter wereld. Het val is 22,5 meter lang en 14,5 meter breed en maakt de overspanning geheel in VVK. Een equivalent in staal was ongeveer 50% zwaarder geweest. Door gebruik te maken van dit zeer lichte constructiemateriaal waren wij ook in staat om te kiezen voor een

onconventioneel bewegingswerk met relatief kleine contragewichten in de open lucht boven de waterlijn. Qua typologie houdt deze brug het midden tussen een tafelbrug en een meervoudige basculebrug. Het tafelmecanisme met vier poten moest gebalanceerd worden; hiervoor ontwierpen wij samen met de constructeur een viertal bascule hefboom-constructies, onder iedere poot één. Aan de vormgeving van de opvallend rood geschilderde contragewichten kan je de beweging al aflezen voordat deze plaatsvindt.

KLOOSTERBRUG ASSEN

De allereerste beweegbare brug die ik mocht ontwerpen was de Kloosterbrug in Assen, in 1997. Ik was net een week in dienst bij Haskoning toen we deelnamen aan deze prijsvraag. Belangrijkste randvoorwaarde uit het prijsvraagreglement was dat de brug in geopende toestand ‘transparant’ moest zijn naar de overkant. Wij besloten deze randvoorwaarde heel letterlijk te nemen door een niet vaak toegepaste typologie te gebruiken, de staartbrug. Een staartbrug is niets anders dan een basculebrug op zijn kop. In plaats van een contragewicht te maken dat laag achter het val zit, leg je bij een staartbrug het draaipunt wat hoger en het contragewicht nog hoger. Zo ontstaat een in het oog springend baken dat de overgang markeert. Groot voordeel van dit principe is dat je geen diepe en dure basculekelder hoeft aan te leggen. De transparantie ontstaat vanzelf als de brug opent: door het hoge en wat naar achteren geplaatste contragewicht maakt het dek een scheppende beweging naar boven en ontstaat er een vier meter hoge doorkijk die het uitzicht naar de overkant omlijst. Een staartbrug die sterk lijkt op de Kloosterbrug, is onlangs ontworpen door Paul Wintermans van Quist Wintermans Architecten bij Katendrecht in Rotterdam.

REKERVLOTBRUG

Soms kan innovatie ook voortkomen uit oude principes. Voor de Rekervlotbrug over het Noord-Hollands kanaal ter hoogte van Geestmerambacht en Bergen is dit het geval. De geschiedenis van beweegbare bruggen over het Noord-Hollands kanaal gaat terug tot de negentiende eeuw. In die tijd was het construeren in staal nog niet ver genoeg gevorderd om ophaalbruggen te maken met een doorvaartbreedte die groot



↑ Kloosterbrug, Assen



genoeg was om een driemast oorlogsfregat doorgang te geven. Vlotbruggen boden uitkomst en drukken tot op de dag van vandaag hun stempel op de streek. Dit zie je bijvoorbeeld terug in dorpsnamen als St. Michelsvlotbrug en St. Maartensvlotbrug. Toen er een nieuwe beweegbare brug over het kanaal moest worden gebouwd, waren wij het er met de opdrachtgever en met de constructeur snel over eens dat we een moderne variant van de ouderwetse vlotbrug wilden bouwen. Groot voordeel van de vlotbrug is dat deze typologie per definitie niet het uitzicht verpest maar juist dicht tegen de waterlijn aanblijft. Het fietspad zakt zelfs naar beneden ten opzichte van het dijkniveau. Zo kunnen de bewoners nog steeds genieten van een onbelemmerd uitzicht op de open polder richting Bergen.

ZAANBRUG

De Zaanbrug tussen Wormer en Wormerland is op het eerste gezicht een doorsnee ophaalbrug. Het bijzondere zit hem in de manier waarop het nieuwe ontwerp recht doet aan de schaal en proporties van de oude en veel kleinere brug op die plek. Op een zeer fraaie binnenstedelijke locatie met monumentale uitstraling en industrieel erfgoed, en met een wel zeer kritische bevolking die iedere stap naar een nieuwe brug met argwaan bekeek, is gekozen voor de vertrouwde typologie van de Hollandse ophaalbrug met balansplateau boven de weg. De gebruikerseisen aan de nieuwe brug vroegen echter om een 1,5 maal bredere doorvaart en een toegenomen werkbreedte. Normaal gesproken zou dat een veel hogere en bredere constructie tot gevolg hebben. Wij hebben er echter voor gekozen om de verhoudingen ongewijzigd te laten. Gevolg van deze keuze is dat de langzaam verkeerstromen in het nieuwe ontwerp langs de buitenkant van de hameipoot leiden. Dit geeft een aangename gelaagdheid in het ontwerp met fraaie vides die de auto's van de fietsers scheiden. Deze tactiek van geleiding is ook terug te vinden in de constructie van de armen van de balans. In plaats van hoge en massieve armen die een groot moment moeten kunnen opnemen, is gekozen voor het ontleden van druk- en trekkrachten in een relatief slankere balk met een trekstang erboven. Dit is in feite een oud principe uit de tijd dat gietijzer werd gebruikt in ophaalbruggen, verstijfd met kabels, een mooie knipoog naar het historisch industrieel erfgoed rondom de brug.

SINT JORISBRUG DELFT

Zoals ik in de introductie al schreef, is het ontwerpen van een beweegbare brug een integrerende opgave die strekt over verschillende disciplines. Aan de TU Delft hebben wij dit jaar een begin gemaakt met het introduceren van interdisciplinaire samenwerking in de Minor 'Integrated Infrastructural Design', mede opgezet vanuit het 'Delft Infrastructures en Mobility Initiative' DIMI. Binnen deze minor mag ik het vak 'Design of Infrastructures' geven. Studenten uit verschillende

faculteiten werken samen aan het ontwerp van een aantal vaste en beweegbare bruggen. De slotopgave van het vak bestond uit het maken van een ontwerp voor twee beweegbare bruggen over de Schie, één ten noorden en één ten zuiden van de Kruithuisweg. Meest opvallend was het ontwerp van de Sint Jorisbrug, een brug die een cross-over is tussen een basculebrug en een tafelbrug. In gesloten toestand ziet de brug er heel bescheiden uit en manifesteert zij zich als een strakke lijn over het water. De verrassing openbaart zich pas als de brug open gaat. Op een ingenieuze wijze wordt het val in een vloeiende beweging rechtstandig opgetild en tegelijkertijd naar achteren bewogen. De beweging is uitgebalanceerd achter de draaijiler en de synchronisatie van heffen en kantelen wordt verzorgd door hydraulische cilinder ter plekke van een tweede scharnierpunt halverwege het val. Ik kan niet uitsluiten dat de naamgeving van de brug een poging is van de studenten om bij hun mentor in het gevele te komen, hoewel het ook een verwijzing kan zijn naar de plaatselijke psychiatrische inrichting.



↑ Rekervlotbrug



Het bijzondere zit hem in de manier waarop het nieuwe ontwerp recht doet aan de schaal en proporties van de oude en veel kleinere brug op die plek



↑ Sint Jorisbrug Delft

↓ Zaanbrug



DE NIEUWE BOTLEKBRUG

LEZING 4



IN AFLEVERING 2014 NR. 4 VAN
BRUGGEN IS DIT ARTIKEL AL GEPLAATST.
VOOR DE VOLLEDIGHEID VAN HET
LEZINGENPROGRAMMA IS DIT ARTIKEL
NOGMAALS OPGENOMEN.

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

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

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

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

De nieuwe Botlekbrug wordt aanzienlijk groter dan de huidige (zie afb. 1). De huidige brug heeft één hefdeel met een doorvaartbreedte van 55 meter, de nieuwe

brug krijgt twee hefdelen met elk een doorvaartbreedte van 87 meter. Hierdoor kan het scheepvaartverkeer van beide kanten tegelijk onder de brug door varen. De doorvaarthoogte in gesloten stand van de nieuwe brug is 14 meter, 6 meter hoger dan de huidige brug, waardoor de nieuwe brug minder vaak open hoeft. De hefhoogte van de nieuwe brug is 31 meter, de doorvaarthoogte in geopende stand wordt hiermee 45 meter, dit is vergelijkbaar met de huidige brug.

De nieuwe Botlekbrug bestaat uit twee identieke beweegbare brugdelen, een middenpijler, twee buitenpijlers en aanbruggen aan beide zijden. Elk beweegbaar brugdeel is circa 90 meter lang, 45 meter breed en heeft een massa van 5000 ton. Hiermee is de nieuwe Botlekbrug zonder meer een brug van wereldformaat en is straks de grootste hefbrug van Europa.



↑ Stalen brugdekken in aanbouw

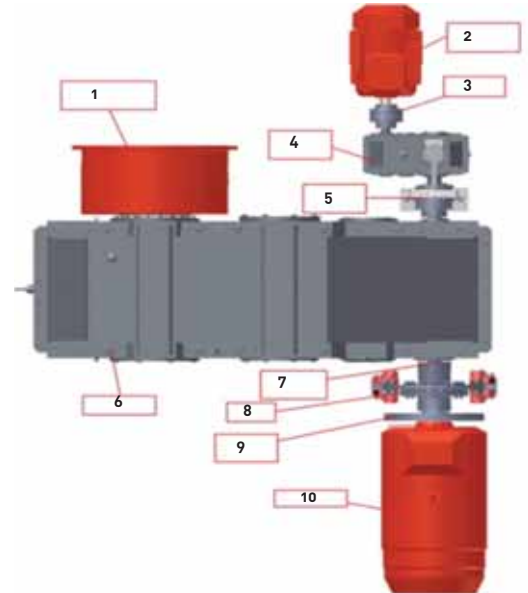


↑ Stalen eindstuk contragewicht met trekstangen

→ Bovenaanzicht aandrijflijn

Legenda

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



Projectuitvoerder is A-Lanes A15, een bouwconsortium gevormd door Ballast Nedam, John Laing, Strabag en Strukton, die in opdracht van Rijkswaterstaat de nieuwe Botlekbrug realiseert. Het Definitief Ontwerp van het bewegingswerk van de Botlekbrug is gemaakt door Railinfra Solutions in opdracht van A-Lanes A15. Het integrale ontwerp van de Botlekbrug is in handen van A-lanes A15.

ALGEMENE OPZET NIEUWE BOTLEKBRUG

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

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

De twee beweegbare brugdelen zijn opgelegd op drie pijlers. Op de buitenste pijlers staan twee heftorens en op de middelste pijler staan twee dubbele heftorens. De heftorens zijn onderling niet gekoppeld. Het contragewicht beweegt tussen twee heftorens en wordt geleid in de heftorens. Het contragewicht wordt gemaakt van voorgespannen beton met uiteinden van staal om de bevestiging van balans- en aandrijfkabels



↑ Kabelwielen - Ø 3600 mm



↑ Kabeltrommel

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

en geleidewielen beter mogelijk te maken (zie afb. 2). Het beweegbare brugdeel heeft drie grote vakwerkliggers met kokerprofielen in lengterichting van de brug (zie afb. 3). Aan beide uiteinden van de brug bevindt zich een einddwarsdrager, een kokerligger met een hoogte van 6 meter. De onderlinge afstand tussen de vakwerkliggers is niet gelijk, in het ene veld bevindt zich het bruggedeelte voor het wegverkeer en in het andere veld het bruggedeelte voor het railverkeer. Het bewegingswerk en de overige technische installaties zijn in de pijlers opgenomen. Op elke hoek van de brug staat een aandrijflijn die aangestuurd wordt door een eigen frequentieomvormer (zie afb. 4). Ook de transformatoren voor de energievoorziening staan in de pijlers opgesteld. De noodstroomaggregaten staan in een gebouw aan de Oostkant van de brug, onder één van de aanbruggen.

UITBALANCERING

Het beweegbare brugdek wordt uitgebalanceerd door de twee contragewichten. De contragewichten zijn

met balanskabels, die over kabelwielen lopen (zie afb. 5) die boven op de heftorens staan, verbonden met de bovenzijde van het brugdek. De kabelwielen hebben een nominale diameter van 3600 mm waarbij elk wiel is voorzien van twee kabelgroeven voor de twee balanskabels.

Per hoek van de brug worden 16 balanskabels met een diameter van 90 mm aangebracht. Deze kabels hebben een massa van circa 38 kg per m¹. Het gewicht van een kabelset op een hoek van de brug is dus hoog. De brug is in de half open positie uitgebalanceerd. Dit betekent dat de brug verder open wil indien de brug zich in een hogere positie bevindt vanwege de onbalans door de kabels. In een lagere positie heeft de brug de neiging om verder dicht te gaan waarmee dit overgewicht ook bijdraagt, zij het in geringe mate, aan de vaste ligging van de brug.

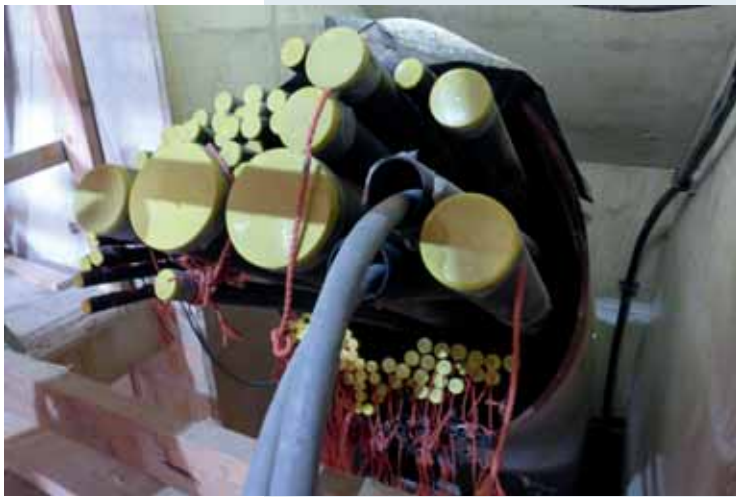
In eerste instantie wordt één spoor op de brug aangelegd. Op de brug is echter de ruimte om op termijn een tweede spoor aan te leggen. Deze toevoegingen



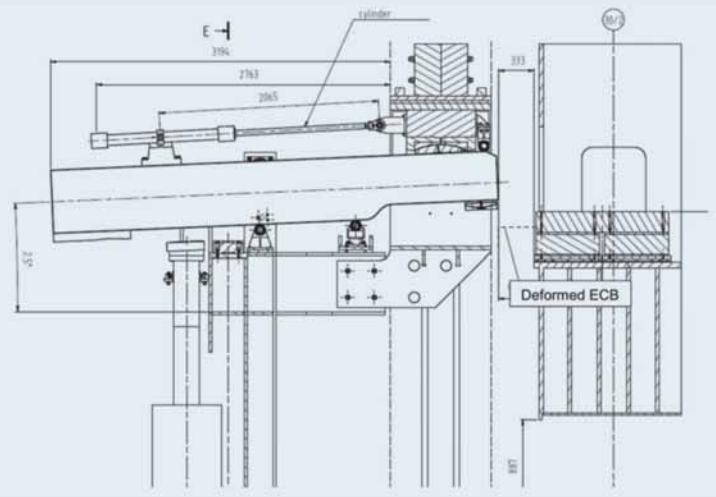
↑ De betonnen pijlers met één contragewicht in aanbouw

betekenen dat het gewicht van het brugdek vergroot wordt. Uitgangspunt blijft dat het brugdek in de half open positie uitgebalanceerd wordt. Elke gewichtstoename van het brugdek wordt dan ook gecompenseerd in beide contragewichten. Daarnaast geldt dat het spoor aan de noordelijke zijde van de brug ligt. Op de

noordelijke hoeken van de contragewichten wordt dan ook meer massa toegevoegd dan aan de zuidelijke hoeken. Het toevoegen van massa gebeurt door in het contragewicht stalen platen te plaatsen. Aan het contragewicht bevinden zich kleinere stalen platen die als regelballast gebruikt worden voor het definitief



↑ Binnenkomst zinker met kabels in pijler



↑ Grendel

uitbalanceren van de brugdekken. De platen hangen aan het deel van het contragewicht dat zich in de heftorens bevindt en zijn dus niet zichtbaar vanuit de omgeving.

BEWEGINGSWERK

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

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

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

GELEIDINGEN

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

BEDIENING

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



↑ De betonnen pijlers

BESTURING

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

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

SENSOREN

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

ENERGIEVOORZIENING

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

Mocht de netvoeding (langdurig) uitvallen dan is de Botlekbrug voorzien van een viertal noodstroomgeneratoren (elk ruim 680 kVA) waarmee de brug in noodbedrijf kan worden bediend. De brug beweegt dan op 1/10 van de normale snelheid. Daarnaast wordt de besturing van elk brugdek gevoed vanuit twee, ook hier weer redundante, 'Uninterruptible Power Supplies' (UPS).

Om energiepieken te voorkomen, worden beide brugdekken niet precies gelijktijdig bewogen. Er is een ingebouwde tussentijd van 15 seconden aanwezig.

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

BEWEGINGSTIJD

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



→ Tandwielkast

VASTE LIGGING BRUG

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

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

UITVOERING BRUG

Alle onderdelen van de stalen brugdekken worden geproduceerd en gecoat in de fabriek van Eiffel

Deutschland Stahltechnologie in Hannover. Hier worden verschillende bouwdelen samengesteld, variërend in massa tussen 30 ton en 85 ton, waarvan het zwaarste bouwdeel de einddwarstrager is. Deze bouwdelen, in totaal 240 stuks voor beide brugdekken samen, worden over de weg vervoerd naar de werf van Mammoet in Schiedam. Hier worden de delen gemonteerd en tot één complete brug samengesteld. Vervolgens worden de stalen brugdekken opgevoerd waarna duizendwielwagens onder de dekken gemanoeuvreerd worden. De dekken worden door de duizendwielwagens op pontons gereden en varend getransporteerd richting de Botlekbrug. Het brugdek wordt op tijdelijke opleggingen geplaatst en de balanskabels worden bevestigd aan de brug, over de kabelwielen gelegd en bevestigd aan de stalen eindgedeelten van het contragewicht. Dit wordt vervolgens omlaag getrokken en bevestigd aan het contragewicht, dat zich in de laagste stand bevindt. Op deze manier wordt het brugdek in de hoge positie gebracht zodat het geen scheepvaartstremming veroorzaakt en verder afgebouwd kan worden.

De betonnen brugpijlers (zie afb. 9) zijn 'op staal' gefundamenteerd op een natuurlijke zandlaag die zich op circa 20 m onder NAP bevindt. Hiertoe is voor elke pijler een bouwkuip gemaakt in de rivier. De slappere grondlagen zijn verwijderd uit de bouwkuipen en vervolgens zijn de bouwkuipen volgestort met 8 m dikke gewapend onderwaterbetonlaag tot 12 m onder NAP. Hierboven is een smaller pijlerlichaam in gewapend onderwaterbeton tot 3 m onder NAP gestort. Daarover is in den droge een pijlerbalk tot 10,5 m boven NAP gestort, waarop de

heftorens worden aangebracht. De torens reiken tot 64 meter boven NAP en zijn uitgevoerd met behulp van een glijbekisting. Bij deze methode wordt een bekisting gebruikt die continu langzaam omhoog wordt gevijzeld aan klimstaven die in het beton zijn ingestort en steeds omhoog verlengd worden. Aan de bovenzijde van de kist wordt wapening aangebracht en beton gestort. Onder de kist komt het verse en voldoende verharde beton tevoorschijn. Elke toren is op deze wijze binnen een tijdsbestek van twee weken gemaakt.

De vier contragewichten zijn op de bouwlocatie gestort. Omdat de Botlekbrug volledig uitgebalanceerd is, moet het gewicht van twee contragewichten overeenkomen met het gewicht van één stalen dek. Om de afmetingen van het contragewicht enigszins te beperken, zijn ze uitgevoerd in zwaar beton met magnetiet als toeslagmateriaal. Hierdoor is het beton anderhalf keer zo zwaar (3300 kg/m^3) dan normaal beton. Desalniettemin zijn de afmetingen van de contragewichten indrukwekkend te noemen, namelijk 50 m lang, 2 m breed en 8 m hoog. In de contragewichten zijn holle kamers opgenomen die gevuld worden met staalplaten. Hiervoor is niet alleen gekozen om de contragewichten verder nauwkeuriger te kunnen verzwaren, maar ook om het zwaartepunt van het contragewicht in dwarsrichting te kunnen verschuiven. Het zwaartepunt moet namelijk overeenkomen met het zwaartepunt van het stalen dek, dat excentrisch ligt door de positie van snelweg en spoorbaan op het stalen dek.

UITVOERING BEWEGINGSWERK

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

ONDERHOUD EN VERVANGING

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

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

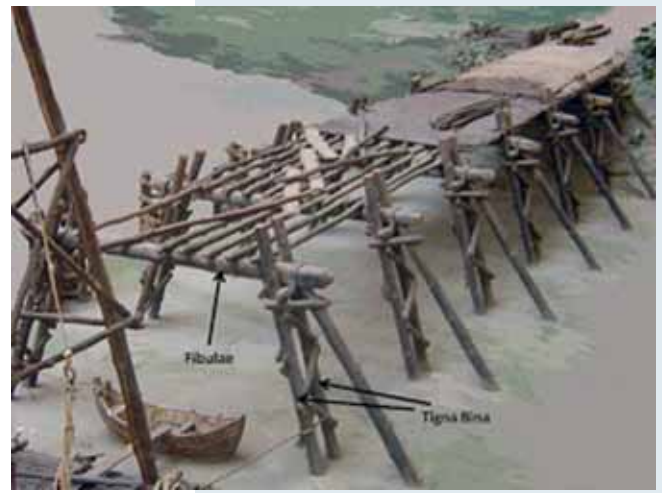


LEZING 5

BRUGGEN *in beweging*

Toen ik gevraagd werd om een lezing te geven over bruggen, heb ik enthousiast 'JA' gezegd, niet wetende dat er ook een artikel voor het blad Bruggen geschreven moest worden. Maar hij die A zegt moet ook B schrijven. Dus eerst maar eens naar de doelgroep gekeken en daar bleek dat ik waarschijnlijk het minste van bruggen weet, dus dit artikel is een behoorlijke uitdaging.





Het seminar waar dit artikel bij hoort, heeft als titel “bruggen in beweging” met als ondertitel “ontwikkeling en innovatie in beweegbare bruggen. Daar begint het lastig te worden want bij Defensie, in het bijzonder de Landmacht, hebben wij wel bruggen die kunnen bewegen maar daar verstaan we echt heel iets anders onder dan wat we er in de civiele wereld onder beweegbare bruggen wordt verstaan. Ik neem dan ook de vrijheid om, zowel in het artikel als in mijn lezing, het begrip ‘bruggen in beweging’ iets vrijer te interpreteren. In dit artikel wil ik ingaan op het belang van bruggen voor de krijgsmacht in combinatie met civiele kennis. Ik wil dit doen aan de hand van een aantal historische voorbeelden. ‘Bruggen in beweging’ gaat in op het belang van bruggen voor de krijgsmacht en hoe bruggen zich binnen de krijgsmacht zich verder ontwikkelden, in beweging bleven.

Binnen de krijgsmacht zijn bruggen vooral bedoeld om beweging mogelijk te maken. Verrassing is één van de grondbeginselen van het gevecht en door slim gebruik te maken van overgangen (bruggen) vergroten we het verrassingseffect. Om dat te doen moeten we aan een aantal voorwaarden voldoen. We moeten een goed operationeel en tactisch inzicht hebben, we moeten technisch inzicht hebben om de bruggen te kunnen bouwen en we moeten, als het even kan, bruggen bouwen daar waar anderen dat niet verwachten.

Hoe we dat door de jaren heen gedaan hebben en hoe zich dat ontwikkeld heeft, daar ga ik nader op in en hoe we in de nabije toekomst aankijken tegen bruggen en beweging. Belangrijk in deze zijn de verbindende elementen tussen de krijgsmacht en civiele instituten op het gebied van bruggen en hoe we die kunnen exploiteren en uitbreiden.

Bruggen in het verre verleden, de ontwikkeling

Van oudsher is er een sterke band tussen bruggen en het leger. Rivieren, waterlopen en insnijdingen vormen obstakels die het voor legereenheden moeilijk maken om te opereren. Al lang geleden werden bruggen gebouwd door legereenheden om beweging en verrassing mogelijk te maken. Ware technologische kunststukjes zijn uitgevoerd om legers te laten bewegen.

In 480 BC bouwde Xerxes een brug over de Hellespont met behulp van pontons. Deze brug was meer dan een kilometer lang en bestond uit honderden schepen die bij elkaar de pontonbrug vormden. Kabels van papyrus hielden de boten bijeen en door deze brug was het mogelijk dat Xerxes zijn troepen snel kon verplaatsen. Helaas hebben een groot aantal ingenieurs het niet overleefd vanwege de toorn van Xerxes, die, toen een brug in een storm beschadigd werd, de ingenieurs liet doden. Maar het bouwen en ontwerpen van deze brug toonde een staaltje vakmanschap van de toenmalige militaire ingenieurs. Deze brug leidde het begin in van de pontonbruggen, die in principe hetzelfde zijn als de moderne bruggen die wij nog steeds gebruiken. Huidige bruggen zijn uiteraard aangepast aan de eisen van de moderne tijd maar zelfs met de moderne bruggen is het nog steeds zeer lastig om een brug te bouwen op de plaats waar Xerxes die bouwde.

Veel later bouwden de Romeinen de eerste bruggen over de Rijn. Deze werden in 55-53 BC gebouwd door de troepen van Julius Caesar om zijn troepen snel te kunnen verplaatsen. De Romeinen bouwden binnen tien dagen een brug over de Rijn. Er waren toen nog geen moderne middelen voor handen. Deze brug werd gebouwd door specialisten en geheel uit hout vervaardigd. Zelfs in onze moderne tijd is dit geen eenvoudige opgave. De Romeinen bouwden nog vele ander kunstwerken om hun troepen snel te kunnen verplaatsen. Zo is een groot deel van het wegennet uit de Romeinse tijd gebouwd voor dit doel, wegen en beweging. De gebruikte technieken wijken niet veel af van de huidige technieken om met behulp van hout geïmproviseerde bruggen te slaan. Om deze bruggen te bouwen is een gedegen kennis van de civiele techniek nodig. Door het bouwen van deze brug in een voor toen zeer korte tijd was het mogelijk voor Julius Caesar zijn troepen snel te bewegen over het slagveld wat een voordeel ten opzichte van zijn tegenstanders opleverde.

De tijd schrijdt voort en ook de snelheid waarmee troepen zich over het slagveld bewegen, neemt toe. Om de beweging mogelijk te blijven maken, evolueren militaire bruggen mee met deze trend. Zo is er een bekend voorbeeld van eeuwen later dat velen kennen, namelijk de brug over de Berezina gebouwd door en voor de legers van Napoleon. De reden om de brug te bouwen was in dit geval minder heroïsch dat die



van Julius Caesar: Napoleon was immers op de terugtocht. Hier vinden we ook Nederlandse Genie-eenheden aan het werk. De Nederlandse Pontonniers bouwen de jukken en verrichten hun taak ondanks het slechte weer en de sterke stroming. Ook hier wordt weer vakmanschap getoond. In deze oude tijden waren het vooral militaire ingenieurs die bruggen en wegen ontwierpen en uitvoerden. Het was immer noodzakelijk om innovatieve methoden te ontwikkelen om de troepen sneller te kunnen verplaatsen dan de tegenstander en door verrassing voordeel te halen op het slagveld. Legers verplaatsten zich in die tijd vooral lopend of per paard of andere lastdieren. De verplaatsingssnelheid en de snelheid op het gevechtveld waren nog laag. Militaire ingenieurs waren van groot belang om het hoofd te bieden die moderne ontwikkelingen zoals vuurwapens met zich mee brachten. Innovatie en ontwikkeling kwam dus vaak voort uit militaire ontwikkelingen die later overgenomen werden in de civiele



wereld. Overigens is in de USA het Army Corps of Engineers nog steeds verantwoordelijk voor een groot aantal bruggen. Militaire ingenieurs behoorden tot de top van de innovatie; pas later zijn de kunstwerken en bruggen het domein geworden van civiele ingenieurs.

Tijd van vooruitgang en mechanisatie

Na de uitvinding van de stoommachine kwam de mechanisatie van de samenleving op gang. Tijdens deze mechanisatie konden krijgsmachten niet achter blijven. Na de uitvinding van de auto en het vliegtuig werden er ook andere eisen gesteld aan bruggen. De ontwikkeling van bruggen kwam weer in beweging aangezien de aard van de operaties van de krijgsmacht veranderde: sneller, meer vuurkracht en een extra dimensie in de lucht. Er kwam behoefte aan bruggen die eenvoudig in elkaar gezet konden worden en aan bruggen die meegevoerd konden worden door de troepen te velde. Er was geen tijd meer voor weken tot maandenlange voorbereiding en uitvoering. Maar de bruggen moesten ook sterker zijn, auto's en treinen zijn zwaarder dan paard en wagen. Bruggen moesten snel op het slagveld gebouwd kunnen worden om de nieuwe manoeuvrevormen te ondersteunen. Bruggen moesten ook snel in en uit elkaar te halen zijn, aangezien de luchtdreiging nu een nieuwe dimensie toevoegde. Ik wil hier twee voorbeelden noemen die niet meer weg te denken zijn uit de moderne oorlogsvoering. Ten eerste de baileybrug. De baileybrug is tijdens de Tweede Wereldoorlog ontworpen, getest en gebouwd. Het idee was om als een soort mecanodoos voor bruggen te ontwerpen

waarmee troepen te velde elke insnijding of waterloop zouden kunnen overwinnen. Het materiaal moest geschikt zijn om verkeersbruggen, treinbruggen, drijvende bruggen en nog vele ander soorten bruggen te ontwerpen en te bouwen. Dit moest dan gebeuren door speciale Genietroepen die in staat waren te velde (zelfs onder vuur) de brug te ontwerpen en te bouwen. Ik mag het resultaat bekend veronderstellen bij iedereen die enige belangstelling voor bruggen heeft, de Baileybrug is niet meer weg te denken uit zowel de militaire als civiele samenleving. Het is waarschijnlijk het meest flexibele systeem op de wereld om bruggen te bouwen. Het is vele malen gekopieerd en verbeterd en nog steeds leidend als het gaat om een innovatief idee.

De eerste bruggen werden met groot succes gebouwd, eerst in Tunesië en later in Italië gedurende de geallieerde campagne. De snelheid van bouwen en de flexibiliteit van de brug verraste de Duitsers. Tot dan toe waren er alleen veel arbeidsintensievere en minder flexibele systemen gebruikt. Het noopte zelfs tot verandering in tactieken: het werd vanaf nu gemeen goed om brugslagplaatsen te bemijnen om zo het bouwen van de brug te vertragen. Iets wat we tot enige jaren geleden ook nog deden. Deze bruggen leiden tot een grotere bewegingsvrijheid enerzijds en tot verandering van tactieken anderzijds; ze brachten dus zowel letterlijk als figuurlijk veel in beweging.

Als tweede voorbeeld wil ik de brugleggende tank aanhalen. Dit is een zuiver militaire ontwikkeling die gestart is gelijk met

de ontwikkeling van een gemechaniseerde krijgsmacht. Daar waar de Baileybrug een innovatief ontwerp was, is het basic en low tech. De brugleggende tank is van heel andere orde technisch hoogstaand, mobiel en kwetsbaar. Waarom haal ik deze brug aan? De eerste uitvoeringen van de deze tank lijken veel op een basic ophaalbrug (een beweegbare brug) die zelfstandig kan verplaatsen. Latere versies, zoals die nu nog in gebruik zijn, zijn technisch zeer complex, kunnen bruggen lanceren in enkele minuten en zonder enorm hoogtepfiel. De ontwikkeling van dit middel maakte meer en nog snellere beweging van troepen mogelijk.

Deze twee ontwikkelingen zijn puur militair, echter de toepassing van de Baileybrug bleek zo universeel dat deze nu civiel van een groter belang is dan militair. Het is allang niet meer de snelle brug die het was. Maar het is nog steeds een zeer betrouwbaar en flexibel middel dat werkelijk overal op aarde gebruikt wordt. Nieuw civiele versies zijn op de markt en worden nu gebruikt door krijgsmachten over de gehele wereld.

Met de brugleggende tank ligt dit anders. Dit middel wordt sporadisch civiel gebruikt. Maar zou het niet handig zijn een mobiele ophaal brug te hebben? Bij voorbeeld voor calamiteiten, of gaan we daar Bailey voor gebruiken? De laatste jaren zijn in Nederland een aantal keren deze middelen toch ingezet voor 'civiele' doeleinden, zoals een ontruiming, maar ook als tijdelijke noodbrug. Dus ook hier raken de militaire en de civiele wereld elkaar.





De Civiel Militaire connectie, bruggen bouwen

In de paragrafen hiervoor heb ik in het kort een aantal ontwikkelingen geschetst van militaire bruggen vanaf een ver verleden tot bijna nu. Maar buiten deze ontwikkeling zijn er nog andere ontwikkelingen op het gebied van bruggen, andere bewegingen. In de laatste paragrafen wil ik de nadruk leggen op de connectie tussen militaire en civiele bruggen. Laat ik beginnen met militair gebruik van civiele bruggen. In de laatste militaire missies is dat iets wat veelvuldig voorkomt. Zowel in het voormalig op de Balkan als in Irak en Afghanistan wordt op grote schaal gebruik gemaakt van civiel brugslagmateriaal voor militaire doeleinden. Het gaat hier vaak om verbeterde Bailey versies. Om deze te kunnen bouwen is civiele expertise nodig, of een civiele training als het niet mogelijk is om niet militairen uit te zenden naar bepaalde gebieden. Specifiek militair brugslagmateriaal wordt slechts beperkt gebruikt. Het voordeel van het gebruik van civiel materieel is dat dit later ook onderhouden kan worden door het land waar de brug gebouwd is en veelal aan civiele specificaties voldoet zodat al het verkeer er gebruik van kan maken. Het gebruik van civiele bruggen in missies is een beweging die niet meer weg te denken is.

Een tweede, misschien wel lastiger element is het gebruik van normale civiele bruggen voor militair gebruik. Speciaal als het hier gaat om beschadigde bruggen of bruggen waar geen load classificatie van bekend is. In veel gevallen kan de militair geen gedegen antwoord geven op de vraag wat zo een brug nu precies kan dragen en dus wat er overheen kan. Voor de eenheden betekent dit minder bewegingsvrijheid met alle gevolgen van dien voor de operatie. Om dus toch alle bewegingen mogelijk te maken, is specifieke kennis nodig om te bepalen wat wel en niet mogelijk is met de desbetreffende brug. Uiteraard is het mogelijk een schatting te doen aan de hand van civiel verkeer dat de brug passeert zonder ogenschijnlijke problemen maar dit is uiteraard slechts een tijdelijke oplossing. Op zo'n moment ontberen wij militairen op missie vaak de specifieke kennis om uitspraken te doen over de belastbaarheid. Hier hebben we civiele kennis nodig van mensen die dit dagelijks doen. Hier zie ik een duidelijke beweging van Militair naar Civiel.

Hoe zit het dan andersom? Nu in vroeger jaren, de jaren van de Baileybrug, was er ook civiel veel kennis van zaken over dit materiaal. Door de uitfasering van dit materiaal en weinig gezamenlijke, nationale oefeningen met dit soort materiaal, ebt de kennis in de civiele wereld waarschijnlijk weg. (uitgezonderd gespecialiseerde bedrijven) Nu zijn militairen opgeleid om tijdens een crisis binnen korte tijd beslissingen te nemen, een plan te maken en dat uit te voeren. En hier zit hem denk ik de meerwaarde. Militairen zijn met zowel militair als civiel materiaal uitstekend in staat in crisissituaties civiele instanties bij te staan. Alle mogelijkheden die hiervoor genoemd zijn, komen daarvoor in aanmerking. Ik zie hier een duidelijke mogelijkheid voor beweging van civiel naar militair. Dit gaat echter niet vanzelf. Het kost tijd en dus geld, maar het is de investering waard; civiel en militair hebben elkaar nodig. Zoals het ooit begon met innovatieve ideeën van militaire ingenieurs eeuwen geleden, en er later civiele innovatie gebruikt werd door militairen, kan dit nu resulteren in een gezamenlijk optrekken om problemen op te lossen. In ieder geval kunnen militaire organisaties zich niet meer de luxe permitteren om alles zelf te kunnen en te weten: samenwerking is dan ook hoogst noodzakelijk. Bruggen zijn al eeuwen in beweging. Dit artikel gaat, zoals u gelezen heeft, niet over highly sophisticated beweegbare bruggen, maar meer over het bouwen van nieuwe bruggen, kijkend en gebruik makend van het verleden. Toch heb ik kort de beweging van militaire bruggen verwoord en daarbij aangegeven dat beweging voor militairen in het geval van bruggen misschien wel iets anders betekent dan waarop gerekend werd. Bruggen in beweging, het zou mooi zijn als we een brug kunnen slaan tussen de civiele en militaire experts, dan kunnen we echt spreken van 'bruggen in beweging'.





↑ **Figuur 1** Blekersparkbrug – ©Ney & Partners

Let op de bollen in de borstwering, die de boogwerking aangeven. Tevens zijn in dwarsrichting de flenzen van de U-profielen te zien, waartussen steeds 2 rijen stenen aangebracht zijn.

ONTWERP BRUGGEN SINGELPARK, LEIDEN

Het Belgische Ontwerpbureau NEY en Partners is geselecteerd voor het ontwerpen van een ‘familie van bruggen’ voor het Singelpark in Leiden. In april wordt het VO gepresenteerd.

De vraag van de Gemeente Leiden om vijf voetgangersbruggen te ontwerpen voor één park is niet uniek, maar wel uitzonderlijk. De bruggen zijn bestemd voor het Singelpark dat als een cirkel rond de stad ligt. De bruggen krijgen de klassieke rol van verbindende elementen, maar moeten ook meer zijn dan alleen dat. Ze zullen op een natuurlijke manier de dragers van de identiteit van het park worden. De uitdaging is om een familie van bruggen te ontwerpen die een oplossing voor alle situaties kan bieden, door één herkenbaar geometrisch, architectonisch en constructief antwoord te geven op het kenmerkende van elke plek.

De bruggen hebben drie kenmerkende en herkenbare elementen: stalen U-elementen, spiegelende bollen en een stenen vloer. De toepassing van deze elementen zal per locatie variëren, maar de brug wordt daardoor wel herkenbaar als ‘Leidse Singelparkbrug’.

CONSTRUCTIEF CONCEPT

De bruggen worden opgebouwd uit U-vormige dwarsdragers van weervaststaal, die vervaardigd zijn door op een stalen bodemplaat (dik 10 mm) in dwarsrichting opstaande ribben 10x100 mm² te lassen. Elke rib is verbonden met een stijl 60x10 mm² in de leuning; de stijlen worden aan elkaar gekoppeld via roestvaststalen bollen, die de boogwerking in de borstwering verbeelden. (zie figuur 1)

→ **Veerpleinbrug** –
©Ney & Partners

De borstwering heeft hiermee de functie van hoofdlijger verkregen.

BIJZONDERHEDEN

De ruimte tussen de opstaande ribben van de U-profielen in het dek wordt opgevuld met straatstenen die veelvuldig in de Leidse binnenstad voorkomen.

Roestvaststaal, weervaststaal en baksteen: drie materialen die onderhoudsvriendelijk zijn. Het zijn de basismaterialen voor alle Leidse Singelparkbruggen. Het concept is flexibel: het kan aangepast worden aan de locatie en het laat ruimte voor inspraak van burgers of aan samenwerking met een kunstenaar.



Oud Leids



110 Leidse bruggen

historische feiten en achtergronden

Boeken over Leidse bruggen

In november 2007 presenteerde Irene Nieuwenhuijse op de Korenbeursbrug in Leiden *Het Leids Bruggenboek: de 88 bruggen binnen de singels*. Leiden heeft een rijke geschiedenis en haar bruggen zijn daar onlosmakelijk mee verbonden. Het is mooi om de groei en ontwikkeling van deze waterrijke stad aan haar bruggen te kunnen volgen. Voor haar boek heeft Nieuwenhuijse alle bruggen binnen de singelring gefotografeerd en beschreven. Niet

eerder was er zo'n volledig en uitvoerig boek over de geschiedenis van Leidse bruggen. Het geeft een fascinerend en inzicht in wat Leidse bruggen zoal over hun verleden kunnen vertellen. Het is een mooi en rijk geïllustreerd boek vol historische en hedendaagse wetenwaardigheden. Op een ingevoegde waterbestendige kaart, waarop alle Leidse bruggen met hun brugnummers zijn aangegeven, worden twee wandel- en twee fietsroutes beschreven.

In november 2015, dus precies acht jaar na de publicatie van het *Leidse Bruggenboek*, verscheen het boek *110 Leidse bruggen: historische feiten en achtergronden*. Zoals de titel al aangeeft, worden dit keer 110 Leidse bruggen onder de loep genomen. Hoewel niet in kleur maar in zwart-wit is dit een aantrekkelijk publicatie, onder meer vanwege de vele oude foto's die erin zijn opgenomen. De samensteller, Wim van Noort, heeft veel beeldmateriaal uit het voormalige Leids gemeentearchief (tegenwoordig het Erfgoed Leiden en omgeving) opgediept en voor het boek 'opgepoetst'. Als er geen plaatje voor handen was trok hij er zelf met de camera op uit. Van Voort, bekend als oud-fotograaf van Leidse en regionale kranten, verschaft de lezer een kostelijk beeld van de bruggen in zijn stad. De historische informatie en de verrassende details in het boek zullen ieder met belangstelling voor bruggen en de geschiedenis van Leiden intrigeren. Ook aan deze publicatie is een overzichtelijke kaart met bruggen toegevoegd.

Het Leids Bruggenboek — de 88 bruggen binnen de singels, tekst en fotogr. Irene Nieuwenhuijse; met een inl. van Cor Smit; [eindred: Job de Kruiff]

Oud Leids — 110 Leidse bruggen: historische feiten en achtergronden, samenstelling; Wim van Noort: fotografie & reproductie; Wim van Noort: eindredactie; Hans Verhoog en C.J.T. Ortgies

Raad van Advies

ARUP



BRUGGEN

