

BRUGGEN

JAARGANG 12

NUMMER 1

MAART 2004



Themanummer Ingenieursbureau ARCADIS Amersfoort

Opgericht 10 april 1992

Bestuur:

ir. C.H. van Eldik, ing. C. Heiden,
ir. H.P. Klooster, ir. A. Kingma,
ir. F.J. Remery, Prof.dr.ir. R.A.F. Smook,
ir. J.G.C. Vegter, prof.ir. L.A.G. Wagemans

Raad van Advies:

Arcadis Infra b.v.
Ballast-Nedam
Bouwdienst Rijkswaterstaat
Gemeente Amsterdam, Dienst I.V.V.
Vereniging CBCW, vertegenwoordigd
door Machinefabriek Hollandia Krimpen
Holland Railconsult
BAM Civiel
ProRail
T.B.I. Bouwgroep b.v.
Witteveen + Bos, raadgevende ingenieurs
"BRUGGEN".

Het tijdschrift BRUGGEN verschijnt
vier maal per jaar.

Gratis voor begunstigers van de
Nederlandse Bruggen Stichting.
Losse nummers: € 6,50

Kopij

Ingezonden bijdragen worden alleen
in behandeling genomen als zij op
diskette, cd-rom of per e-mail worden
aangeleverd. Alle bijdragen dienen
voorzien te zijn van naam, adres en
telefoonnummer van de inzender.
Inzendingen kunnen zonder opgaaf
van redenen worden geweigerd.

Redactie

ir. G.J. Arends, drs. M.M. Bakker,
ing. E.J. Huisinga, ir. H.P. Klooster,
dr.ing. A. Romeijn

Redactieadres

NBS p/a Bouwdienst Rijkswaterstaat,
kamer A.237. Herman Gorterhove 4
2726 AC Zoetermeer.
Tel.: 079-3292368 of 079-3292428;
Fax.: 079- 3292643; e-mail: nbs@bwd.
rws.minvenw.nl

Eindredacteur

Ir. H.P. Klooster, Wulpenlaan 4 A,
4511 XB Breskens, tel: 0117-383051;
e-mail: info@bruggenstichting.nl

Website

<http://www.bruggenstichting.nl>

Grafische verzorging

C&C Design Zegveld.

Druk

Drukkerij Maarssenbroek

Oplage

1500

ISSN 1571-4586

INHOUD

Themanummer ingenieursbureau Arcadis Amersfoort	ir. H.P. Klooster	2
Van de Bestuurstafel Bruggen en Arcadis	prof.dr.ir. R.A.F. Smook ir. H.K.T. Kuijper ing. M.A. Slichter	3 4
Visie op kunst-werken	J. van der Steeg Mw. B. Vlaanderen ing. P. Bout	5
Nieuwe spoorbruggen leiden treinverkeer in goede banen	TH.M.G. Zoetemelk	6
Ook oog voor langzaam verkeer	ing. H.M.F. Beertsen	10
Complexe aansluiting van slanke en scheve structuren	ir. S.M. den Blanken ir. M. Zeenni	12
Ook de natuur komt over de brug	ir. E.P. van Jaarsveld	15
Trogbruggen, specifieke ontwerpaspecten	ir. C.S. van der Horst	17
Hangtrogbrug Terneuzen toont: beton en Staal gaan goed samen	ing. M.J. Ossendrijver	20
Een technisch hoogstandje bij Millau	ir. A.P.G. Hollanders	24

Berichten

Nieuwe hoofdingenieur-directeur van de Bouwdienst Rijkswaterstaat	27
Nieuwe brugverbinding tussen Amsterdam en Almere?	27
Architectuur en design in Nederland	27
Bouwen met Staal	27
Boekbespreking, Spoor en trein, editie 14	28

Foto voorpagina: Hangtrogbrug in de nieuwe goederenspoorlijn bij Terneuzen

THEMANUMMER INGENIEURS- BUREAU ARCADIS AMERSFOORT.

ir. H.P. Klooster

Het begint inmiddels een traditie te worden dat elk jaar een van de nummers van bruggen wordt verzorgd door een bekend ingenieursbureau, dat zich met de bouw van bruggen bezighoudt. Deze keer is het ingenieursbureau Arcadis aan het woord, dat aan de hand van een aantal artikelen de veelzijdigheid van dit bureau etaleert. Wat dat allemaal inhoudt leest u in het eerste artikel. In de daarop volgende artikelen komen de moderne technieken en de vormgeving van bijzondere brugconstructies in complexe situaties uitvoerig aan de orde.

De voorbereidingen voor het bruggenjaar 2004-2005 zijn in volle gang. We hopen in september in dit blad uitvoerig aandacht daaraan te besteden. Van een van onze trouwe lezers ontvingen wij een boekbespreking van de inmiddels veertiende editie van de serie Spoor en Trein, die jaarlijks door De Alk in Alkmaar wordt uitgegeven. In dat nummer komen onder meer de beweegbare spoorbruggen aan de orde.

Ook in deze aflevering is er voor iedereen wel iets van zijn gading te vinden. De redactie wenst u veel plezier bij het lezen van dit nummer.
H.K.

VAN DE BESTUURSTAFEL

prof. dr. ir. R.A.F. Smook, voorzitter Nederlandse Bruggen Stichting

Met het eerste nummer van 'Bruggen' in het jaar 2004 wil het bestuur van de Nederlandse Bruggen Stichting een begin maken met een nieuwe gewoonte.

Zoals iedere stichting of vereniging heeft de NBS een bestuur dat er aan gehouden wordt de stichting goed te besturen en de wisselwerking tussen het bestuur en de leden en tussen de leden onderling zo open mogelijk te doen verlopen. Daarom willen we voortaan onder het wervende hoofdje van 'Van de Bestuurstafel' aan iedereen vertellen waar de stichting en het bestuur zoal mee bezig zijn. Het kan helpen om de onderlinge band tussen het bijzondere soort mensen dat nu eenmaal gek is van bruggen, te verstevigen.

Het jaar 2004 zal voor de stichting een bijzonder jaar worden. In samenwerking met de faculteit van Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU Delft en het Techniek Museum Delft wordt in 2004 een begin gemaakt met het 'Bruggenjaar'.

Van oktober 2004 tot juli 2005 zullen rond een groots opgezette tentoonstelling in het Techniek Museum Delft allerlei activiteiten worden ontplooid die één noemer gemeen hebben, namelijk het fenomeen brug en de plaats van dat fenomeen in de Nederlandse samenleving. Het lijkt ambitieus en hoogdravend, maar het gaat er gewoon om in een gemeenschappelijke inspanning op een bijzondere wijze aandacht te vragen voor dat 'ding' dat ons allen bezighoudt en inspireert: de brug. In dit jaar en in het kader van deze 'manifestatie' zal ook het lang verbeide boek 'Visie op Bruggen, architectuur en constructie' worden gepresenteerd. Tevens zal het velen van u niet zijn ontgaan dat de NBS een opdracht van de Rijksdienst voor de Monumentenzorg heeft aangenomen om een inventarisatie te maken van interessante en misschien monumentwaardige bruggen uit het tijdvak van de Wederopbouw (1940 – 1965). Het resultaat van deze studie zal in het Bruggenjaar worden gepresenteerd.

Daarnaast is het bestuur voornemens nog meer 'brug gerelateerde' activiteiten te ontplooiën om het Bruggenjaar tot een succes te maken. U zult daar ongetwijfeld in een volgende editie van 'Van de Bestuurstafel' nog meer van horen, als u al niet via andere weg benaderd bent om uw steentje bij te dragen aan het Bruggenjaar.

Ik wens u nu reeds een goed Bruggenjaar toe!



*Foto Pijler van de brug bij Millau
Lees meer over de brug bij Millau op
pagina 24*

BRUGGEN EN ARCADIS

ir. H.K.T. Kuijper en ing. M.A. Slichter



Dit nummer van 'Bruggen' wordt grotendeels ingevuld door medewerkers van ARCADIS Nederland, een marktpartij die een naam heeft hoog te houden als het gaat om brugontwerp en -realisatie. ARCADIS is voortgekomen uit een aantal partijen die van oudsher actief betrokken zijn bij de inrichting van de openbare ruimte, zoals de voormalige Heidemij en Articon, het ingenieursbureau dat in 1947 werd opgericht ten behoeve van de wederopbouw van het Nederlandse spoorwegnet. De missie van ARCADIS is 'het verbeteren van de kwaliteit van de woon- en werkomgeving, het bijdragen aan een duurzame economische ontwikkeling en het creëren van meerwaarde voor opdrachtgevers, medewerkers en aandeelhouders'. Een missie die ook is terug te vinden in het logo: een oranje vuursalamander, die leeft op de scheiding van land en water, en wel daar waar het ecosysteem in balans is. Wereldwijd werken er 8500 mensen bij ARCADIS, die samen een omzet van circa € 850 miljoen genereren. Ruim eenderde daarvan wordt in Nederland gerealiseerd.

ARCADIS is werkzaam op de terreinen infrastructuur, gebouwen, milieu en communicatie. Meer concreet vertaalt zich dat in infrastructuur en mobiliteit (wegen, stations, railinfra, veiligheid); stedelijke ontwikkeling (herstructurering woonwijken, knooppuntontwikkeling); groene ruimte (natuurontwikkeling, ruimte voor de rivier, groen in de stad); water (waterbeheer, bescherming tegen hoog water, herstel van stroomgebieden); industrie (huisvesting, facility management, infrastructuur en locatieontwikkeling) en overheidsfinanciën (vastgoedwaardering, vastgoedinformatie, juridische advisering). Een logisch gevolg is dat bruggen regelmatig onderdeel uitmaken van ARCADIS-projecten!

Uitbreiding van het wegen- en railnet leidt er immers toe dat op een groot aantal plaatsen kruisingen van infra-

structuur ontstaan. Een ongelijkvloerse kruising in de vorm van een brug, viaduct of tunnel is in dat geval de aangewezen oplossing. De bouw van dergelijke constructies is complex. De locatie waar een kunstwerk is gepland vervult over het algemeen immers een veelvoud aan functies. Denk aan de reeds aanwezige weg-, rail- en/of waterverbindingen, maar ook aan ecologische functies en de noodzaak tot behoud van landschap en cultuurwaarden. Allemaal stellen ze hun eisen aan het ontwerp.

Omdat grote bruggen duidelijk zichtbaar zijn in het landschap, is er veel aandacht nodig voor de vormgeving. Dit zal er soms toe leiden dat een brug een prominent herkenningspunt in het landschap wordt, terwijl het in andere gevallen juist gewenst is om het kunstwerk te laten opgaan in de omgeving. Echter: vanwege deze complexiteit is het ontwerp van een brug per definitie altijd multidisciplinair en hebben verkeerskundigen, architecten, ecologen en ingenieurs allemaal hun inbreng. Alleen zó kunnen eisen vanuit de verschillende invalshoeken immers correct en op tijd voor onze opdrachtgevers in het ontwerpproces worden ingebed. Belangrijk, want het 'bedenken' van een brug is een tijdrovend en kostbaar proces, waarbij aanpassingen als gevolg van een incompleet eisenpakket in een later stadium sterk kostenverhogend werken. ARCADIS heeft in de loop der jaren een brede ervaring opgebouwd op dit gebied, hetgeen onder andere blijkt uit het brede scala projecten dat in dit nummer van 'Bruggen' de revue passeert. Meer weten over ARCADIS na het lezen? Surf dan naar www.arcadis.nl, of vraag ons boekwerk 'Kunstwerken, architectuur in infrastructuur' aan via Mark Slichter, telefoon 033-4771000.

Afbeelding bij artikel op pagina 5 -Kunst-werk: Artist Impression Utrechtboog



VISIE OP KUNST-WERKEN

Interview met Harrie Kuijper, Jaap van der Steeg en Beate Vlaanderen

Het is kunst. En het is werk. Aan die brug, dat viaduct of de tunnel die we passeren gaan maanden denk-, teken- en rekenwerk vooraf. En dan moet het 'kunstwerk' nog worden gerealiseerd. Maar wat is zo'n kunstwerk eigenlijk? En wanneer verdient het die naam? Enkele ARCADIS-'bedenkers'- Jaap van der Steeg en Beate Vlaanderen – gaan aan tafel met collega- 'bouwer' Harrie Kuijper.

Bij een geslaagd kunstwerk zijn ontwerp en constructie op elkaar afgestemd. Bij ARCADIS zitten bedenkers en bouwers vanaf dag 1 samen aan tafel. Zij zoeken samenwerking, vullen elkaar aan en vormen een interdisciplinair team waarin bedenkers en bouwers zich verdiepen in elkaars wereld. Zodoende wordt maakbaarheid (lees ook: betaalbaarheid voor de opdrachtgever), duurzaamheid en schoonheid vanaf de processtart bewaakt.

Realiteitszin

Zowel bouwers als bedenkers vinden een vroegtijdige integratie van alle betrokken disciplines in 'hun' organisatie heel belangrijk. "Juist daar zit de meerwaarde", meent Beate. "Zodra je architecten en ingenieurs verenigt in hetzelfde bedrijf, is de kans uiteraard groter dat beide partijen vanaf de start van een project samenwerking zoeken. Dat wordt dan ook aangemoedigd."

"Kunstwerken vallen bijna altijd op, denk aan een brug over een rivier. Dan is een goede wisselwerking tussen ontwerp en constructie uiteraard van groot belang", meent Harrie Kuijper. "En dan liefst in een vroeg stadium, zodat je achteraf niet hoeft bij te stellen. Je maakt iets dat een lange tijd gebruikt wordt en waar veel geld mee is gemoeid. Dan moet het qua ontwerp en constructie de tand des tijds kunnen doorstaan. Zo'n kunstwerk bouwen is een opgave die eenvoudiger wordt opgelost als architecten en constructeurs toekomstvisie hebben, elkaar verstaan en vanaf het begin samenwerken." Van der Steeg: "Opdrachtgevers zien de voordelen van kruisbestuiving tussen ontwerpers en ingenieurs ook. Bij grote infrastructurele werken, zoals de Hanzelijn, is ARCADIS al betrokken bij het Ontwerp Tracé Besluit (OTB). Het getuigt volgens mij van realiteitszin om gezamenlijk te opereren; elkaar aan te sporen en elkaar – wanneer nodig – af te remmen. Weten wat mogelijk en onmogelijk is. Hierdoor creëer je kunstwerken waar zowel opdrachtgever, gebruiker als ontwerper blij mee zijn."

Visie op tijd...

Wie infrastructurele projecten als bruggen, viaducten en geluidsschermen bekijkt ziet al snel de nodige verschillen. Sommige volgen de laatste vormgevingsnormen en stand der techniek. Andere zijn erfgoed, in positieve of negatieve zin. Hebben trends vat op kunstwerken? Volgens Kuijper wel. "Ideeën over schoonheid veranderen voortdurend en dat zie je in kunstwerken natuurlijk ook terug. Iedereen ziet dat het leven steeds sneller gaat. Dat stelt eisen aan het werk dat hier wordt gedaan. Je moet ver vooruit kunnen denken; hoe gaat de omgeving waarin het kunstwerk wordt geplaatst er over twintig jaar uitzien? Tegelijkertijd wordt het interval tussen bouw en vervanging of aanpassing van het kunstwerk steeds korter. Sommige kunstwerken moeten

worden aangepast aan een nieuwe functie of een nieuwe omgeving. Dat is een specialiteit op zich. Maar al met al blijft maakbaarheid – dus ook het werken binnen het gestelde budget – het eerste uitgangspunt."

Maar een kunstwerk moet vooral ook doen wat het moet doen, stelt Beate, die de omgeving van het spoorwegstation bij de Rotterdamse Kuip als voorbeeld aandraagt. "De gebouwen en de kunstwerken kunnen daar tegen een stootje en dat stralen ze ook uit. Elementaire eisen: een brug moet dragen, een ecoduct moet plant en dier veilig stellen en een geluidsscherm moet verkeerslawaaï intomen. En daarnaast rekening houden met bijvoorbeeld sociale en fysieke veiligheid in tunnels, een item dat de laatste jaren steeds belangrijker wordt. Ook daar moet je met ontwerp en constructie op inspelen."

(H)erkenning

Een andere trend is de vroegtijdige betrokkenheid van bedenkers en bouwers bij grote infrastructurele projecten als het ingrijpend herziene spoorwegtracé tussen Amsterdam en Utrecht, de Betuweroute en de eerder genoemde Hanzelijn. Deze 'lijnen' kennen een groot aantal kunstwerken, waar met intensieve en vroegtijdige samenwerking tussen architecten en ingenieurs samenhang of juist diversiteit kan worden aangebracht. Bovendien komen alle architectonische en constructieve disciplines bij zo'n lijn aan bod. En daarbij moeten 'bedenkers' en 'bouwers' ver vooruit kunnen kijken. Bijvoorbeeld naar kruisingen van stromen, waar mens en dier elkaar, al of niet met diverse verkeersmiddelen zonder voorrang te hoeven verlenen – en dus zonder gevaar – passeren. Bovenlangs, onderlangs, maar zeker niet erlangs. Ontworpen en gebouwd met oog voor de lokale omgeving. Een landmark, of juist heel bewust niet. Dat zijn volgens Van der Steeg, Vlaanderen en Kuijper de kenmerken van een kunstwerk. Van der Steeg mag zich, net als zijn gesprekspartners, inmiddels 'specialist onder specialisten' noemen. Zij en hun collega's bij ARCADIS hebben – in wisselende samenwerkingsverbanden – inmiddels zoveel kunstwerken gerealiseerd dat (h)erkenning optreedt. Binnen de organisatie worden interdisciplinaire teams gevormd van mensen die exact weten wat ze aan elkaar hebben. Beate laat voorzichtig de interne benaming 'Arcadianen' vallen; een term die zelfs onder jonge medewerkers gebruikt wordt om de overeenkomsten in visie en werkwijze te onderstrepen. Dan dringt zich vanzelf de vraag op of de kunstwerken uit het ARCADIS-atelier ook een 'handtekening' dragen; een signatuur hebben waardoor de constructie 'Arcadiaans' genoemd mag worden. Maar zo ver gaat het volgens Van der Steeg niet. "Uiteindelijk kijken we liever terug op een kunstwerk met langere adem; constructief en architectonisch. Dat is afhankelijk van de functie en de lokale omgeving en kan iedere keer heel verschillend uitpakken. We dienen het maatschappelijk belang. Daarom vragen we ons af wat een kunstwerk oplevert voor opdrachtgevers. En wat het betekent voor mensen die het kunstwerk 'gebruiken'. Dus geen cosmetica. En geen mode. Liever werk dat tijdloos is. Een kunstwerk dat 'part of a bigger picture' is."

NIEUWE SPOORBRUGGEN LEIDEN TREINVERKEER IN GOEDE BANEN

Stationseiland Amsterdam CS
volledig op de schop (1)

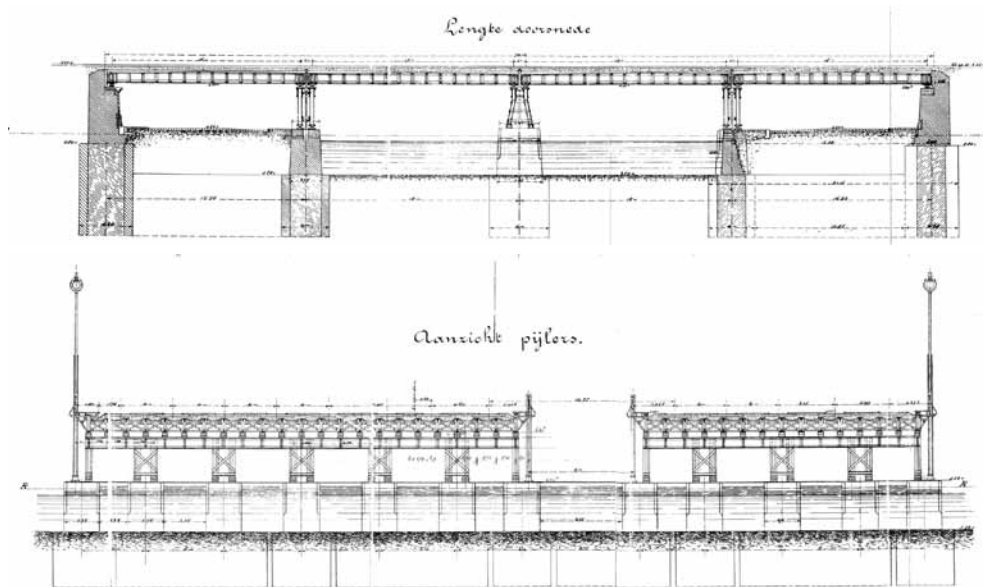
ing. P. Bout en Th.M.G.
Zoetemelk

Amsterdam Centraal Station: welke Nederlander kent het niet? Met dagelijks 240.000 al dan niet overstappende reizigers is dit het belangrijkste station van Nederland. Omdat dit knooppunt van trein, auto, bus, fiets en voetganger de groeiende stroom reizigers nauwelijks meer aankan, wordt het station momenteel 'aan alle kanten' aangepast. Bruggen vormen een belangrijk onderdeel bij het in goede banen leiden van al die verkeersstromen. Duidelijk is, dat bij een dergelijke complexe klus een optimale coördinatie, samenwerking, flexibiliteit en multidisciplinaire inzet dé basisvoorwaarden zijn om te komen tot het beste resultaat. Niet in de laatste plaats natuurlijk omdat het stationsgebied gewoon 'in bedrijf' blijft tijdens de werkzaamheden, één van de belangrijkste eisen van de opdrachtgever ProRail. In dit artikel aandacht voor de spoorbruggen.

Hoewel het de meeste treinreizigers niet zal opvallen, is het Centraal Station van Amsterdam gebouwd op een omstreeks 1870 in het IJ opgeworpen eiland (figuur 1). Het was toen dus al woekeren met vierkante meters op die locatie. Aan oost en westzijde, de beide uitgangen van het station, werd het eiland via stalen spoorbruggen verbonden met het 'vasteland'. Het toenemend aantal treinen dat Amsterdam CS vooral vanaf de westzijde aandoet, waaronder de Thalys, maakt capaciteitsuitbreiding noodzakelijk. De uitbreiding wordt vooral gevonden in een verlenging van de drie meest noordelijke perrons in westelijke richting, waardoor op deze perrons langere



Figuur 1: oorspronkelijke situatie



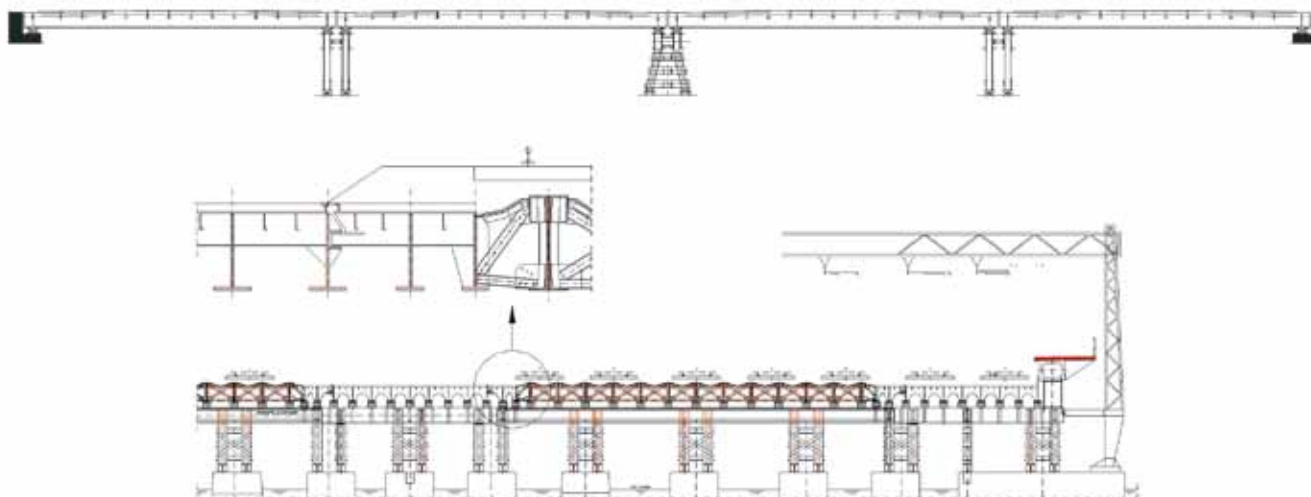
Figuur 2: lengte en dwarsdoorsnede van de bestaande brug

treinen kunnen worden afgehandeld. Het verlengen van de perrons betekent echter dat ze moeten doorlopen over de westelijke toegangsbruggen. Die moesten daardoor worden verbreed, waar ter plaatse gelukkig ruimte voor was. Volledige nieuwbouw is overigens ook overwogen, maar dat idee is terzijde geschoven vanwege de nog grotere bouw- en verkeershinder, de hogere kosten en het feit dat de bestaande brug nog een restlevensduur heeft van 50 jaar.

Oorspronkelijk brugontwerp

De oorspronkelijke bruggen aan de westzijde bestaan uit twee parallel gelegen brugdekken van gelijke opbouw. Ze zijn respectievelijk 35 en 23 meter breed en beschikten oorspronkelijk over acht respectievelijk vijf sporen. De bruggen worden gescheiden door een tussenruimte, een middenvide van 8.10 m (figuur 2).

Ze dateren uit het begin van de 20e eeuw. De constructief gelijkvormige, parallel gesitueerde bruggen vervingen destijds de in 1880 in gebruik genomen brug, die echter al snel met desastreuze funderingsproblemen te kampen kreeg. De bruggen die nu aangepakt worden, en het dus beduidend langer hebben volgehouden, bestaan in langsrichting uit 4 statisch bepaalde overspanningen: twee randvelden over de weg van elk 16 m en twee middenvelden over het water van de Westertoeegang van elk 17 m. Geklonken plaatliggers, om de 1.50 m, vormen de hoofdtragers, die bestaan uit een lijfplaat van 1000 x 14 mm en flenzen van 430 x 14 mm. De flenzen zijn opgedikt en volgen de momentenlijn. Op de uiteinden is een enkele flensplaat gebruikt, in het midden van de overspanning zijn 4 platen van 14 mm op elkaar toegepast. In langsrichting zijn de hoofdtragers om de 1.18 m aan elkaar gekoppeld met dwarsdragers bestaande uit kruisvormig aangebrachte UNP-profielen. Het brugdek wordt gevormd door rond gebogen platen



Figuur 3: uitbreiding tussen en naast de bestaande bruggen (boven: langsdoorsnede, onder: dwars-doorsnede, midden: detail aansluiting oud op nieuw)

die bevestigd zijn aan de zijkanten van de flenzen van de hoofdliggers en tevens ondersteund worden door de koppelingen tussen de hoofdliggers. Op caissons gefundeerde landhoofden van massief metselwerk vormen de eindsteunpunten. De tussensteunpunten bestaan uit stalen vakwerkspanten, waarop de oplegbalk rust en waarop de hoofdliggers zijn opgelegd. De stabiliteit in dwarsrichting wordt ontleend aan deze spanten. Deze stabiliteitsverbanden geven de brug-constructie het karakter van een vlakke plaatvloer. De stabiliteit van de brug wordt in langsrichting geleverd door het middensteunpunt, dat hierop qua vorm is aangepast.

Nieuwe ontwerp: uitgegaan van bestaande vormgeving

De uitbreiding van de bruggen is op te splitsen in drie hoofdonderdelen. Ten eerste het dichtleggen van de middenvide, wat een strookvormige uitbreiding oplevert van 800 m². Verder wordt het oorspronkelijke brugdeel aan de IJ-zijde verbreed met een nieuw deel variërend van 5.20 m tot 13.9 m breed en een lengte van 70 m, al met al goed voor 650m². En tenslotte komt er aan de IJ-zijde een aparte brug voor het meest noordelijke perron. Na de oplevering zal er visueel gezien geen sprake meer zijn van twee gescheiden bruggen, maar van één aangesloten brug met een grotere totaalbreedte dan de twee oorspronkelijke bruggen (figuur 3).

De bestaande vormgeving was het primaire uitgangspunt voor het nieuwe ontwerp. Daarbij zijn vanzelfsprekend de modernste technieken toegepast. Zo is er in plaats van geklonken hoofdliggers gekozen voor gelaste plaatliggers met een geringe hoogte, waarbij de flenzen verlopen in dikte. De reden voor de geringere hoogte van de plaatliggers is omdat daarmee een toename van de ballastdikte mogelijk is. Hiermee wordt voorkomen dat net als bij de oude bruggen veel onderhoud aan de conservering van het brugdek noodzakelijk is. De lijfdikte van de plaatliggers bedraagt 25 mm. Voor de flenzen zijn in het bestekontwerp LP-platen gebruikt met een dikteverloop van 5.5 mm/m¹. De dwarsdraggers zijn op dezelfde plaatsen toegepast als bij de bestaande brug, nu echter uitgevoerd in IPE 400 profielen, waarvan de bovenflens is verwijderd. Deze plaatsen zijn gekozen

om een goede koppeling te creëren met de bestaande brugdelen.

Indien de uitbreidingen vast verbonden zouden worden met de oorspronkelijke brug, zou in de nieuwe situatie een brugbreedte ontstaan van meer dan 80 m. Aangezien de steunpunten in dwarsrichting vrij stijf zijn en statisch onbepaald, kan dit bij temperatuurschommelingen leiden tot aanzienlijke secundaire spanningen. Daarom is de aansluiting tussen de oude en nieuwe brugdelen zodanig uitgevoerd dat er alleen een verticale dwarskracht kan worden overgebracht. In de horizontale richtingen, dwars op het spoor, kunnen de oude en nieuwe brugdelen zich vrij ten opzichte van elkaar verplaatsen. In de langsrichting zijn de brugdelen op enkele plaatsen gekoppeld om de remkrachten op te kunnen nemen. Een en ander is gerealiseerd via dubbelzijdige tandopleggingen met glijdplaten van PTFE/RVS (kunststof met roestvast staal). De scharnieropleggingen waren oorspronkelijk conform de bestaande gietstukken ontworpen, maar door een bezuinigingsronde is er later gekozen voor kokervormige opleggingen die de oorspronkelijke vorm zo dicht mogelijk benaderen.

Het meest noordelijke perron is uitgevoerd als een separate staal/beton brug, weer met vier statisch bepaalde velden. De maximale overspanning bedraagt 17.8 m. De brug is uitgevoerd als een stalen koker met lijfplaten van 1100x10 mm en een onderplaat van 1400x10 mm. Het excentrisch liggende betonnen dek is uitgevoerd in monoliet afgewerkt beton met breedplaatvloeren en heeft een totale dikte van 150 mm. Op de lijfplaten is een smalle bovenflens gelast, ter bevestiging van de toegepaste stifdeuvels en als oplegging voor de breedplaten. Een voorwaarde voor de aannemers was dat het dek van het perron in een bepaalde afwaterende helling kwam te liggen. De U-vormige stalen koker is gebouwd met een zeeg, eerst gemonteerd en tijdens het uitharden van het beton met behulp van een hulpconstructie voorgedrukt om het gevraagde resultaat te bereiken. Ook voor de ondersteuningsconstructies is de bestaande vorm zoveel mogelijk nagebootst, wat heeft geleid tot een vorm die tegenwoordig eigenlijk niet meer zou worden toegepast. De pendelsteunpunten

zijn samengesteld uit 2 x INP340 + strip 320x30, voor het vaste middensteunpunt is gekozen voor A-frames profielen samengesteld uit vier strippen van 120x 20 en een HE360M profiel.

Berekening

In de archieven aangetroffen berekeningen van de bestaande brug corresponderen niet meer met het huidige gebruik, behalve dat er nog steeds sprake is van een gelijkmatig verdeelde belasting van 80 kN/m' spoor met een lage waarde van de toelaatbare spanning in het staal. Dat heeft ertoe geleid dat er een herberekening van de aanwezige bruggen uitgevoerd is met belasting-klasse D4 bij een snelheid van 40 km/h. De nieuwe brugdelen zijn berekend op VOSB-belasting. De D4 komt overeen met een gelijkmatig verdeelde belasting van 80 kN/m', maar voor de VOSB geldt die belasting van 80 kN/m' vermeerderd met een extra laststelsel. Uitgangspunt is dat de stijfheid van de nieuwe brug zoveel mogelijk gelijk is aan de stijfheid van de bestaande hoofdliggers. Dit om het gedrag zoveel mogelijk met elkaar overeen te laten komen en grote spanningswisselingen in de voegconstructie te voorkomen. In tegenstelling tot de geklonken bestaande brug is de uitbreiding geheel gelast.

In de berekening is voorts aandacht geschonken aan onder andere: de herberekening van de bestaande brug voor vergelijking met de nieuwe uitbreiding; een balk-roosterberekening van de uitbreiding; de overgangen van bestaand naar nieuw (waaronder het overgangsdeel

tussen bestaand en nieuw dat vastgebout is aan de bestaande constructie); de nieuwe ondersteuningsconstructie; de staal-betonligger van het perron en vanzelfsprekend diverse detailberekeningen, waarbij de controle op vermoeiing uiteraard grote aandacht kreeg. Een en ander leidde tot de volgende interessante conclusies:

- nieuwe hoofdliggers h.o.h. 1000 mm in plaats van de 1500 mm van de bestaande geklonken constructie.
- vlakke verstijfde plaat in plaats van de holle plaat tussen de hoofdliggers.
- betonnen dwarsdragers onder het spoor worden niet toepasbaar geacht, omdat er veel beweging in de voegconstructie zit en dit extra onderhoud geeft voor het spoor.
- de bestaande ondersteuningsconstructies zijn waarschijnlijk niet berekend op remkrachten. De nieuwe constructie kan ze ook niet geheel opnemen. Gekozen is voor het koppelen van de bestaande en de nieuwe delen om zodoende de remkrachten te spreiden over oud en nieuw.
- de Pi-liggers van de ondersteuningsconstructies moeten van vereenvoudigde scharnierpunten worden voorzien, omdat er zettingsverschillen tussen de bestaande en de nieuwe fundaties zijn te verwachten.
- de rolopleggingen van de bestaande bruggen functioneren niet optimaal. Voor de nieuwe landhoofdopleggingen is voor glijdopleggingen gekozen om



Figuur 4: montage noordelijke verbreding

- een lange bedrijfszekerheid te behouden.
- de nieuwe plaatconstructie is versterkt met bulbstaal (HP-profiel), zoals bij schepen.

Montage

In de ontwerpfase is een studie verricht naar de meest voor de hand liggende montagemethode (figuur 4). De verbreding aan de noordzijde is gelegen aan het water en de openbare weg, wat de aanvoer van de brugelementen over water en de montage met een mobiele kraan vanaf de weg mogelijk maakte. Ingewikkelder was het dichtleggen van de middenvide, omdat er aan weerszijden meerdere sporen lopen die zonder problemen in gebruik moesten blijven.

Voor de montage van dit deel zijn drie oplossingen onderzocht:

1. montage met een zware mobiele kraan vanaf de weg aan de noordzijde. De vlucht is hierbij ca 45 m, waarbij over vijf sporen moet worden gehesen.
2. verplaatsen met spoorkranen vanaf op het naastliggende spoor staande wagons naar het gat van de vide en ze vervolgens op hun plaats schuiven.
3. montage vanaf de weg onder de vide (omhoog steken). Deze mogelijkheid is niet uitgewerkt, omdat de beperkte doorrijhoogte onder de bestaande bruggen reeds een heel scala van mobiele kraantypen deed afvallen.

Vanwege door NS opgelegde beperkingen bleek alleen de tweede mogelijkheid haalbaar en is deze dan ook in het contract verwerkt. Tijdens de uitvoering bleek het echter alsnog mogelijk om de vijf sporen tussen de weg aan de noordzijde en de vide voor korte tijd buiten gebruik te nemen en spanningloos te maken, waardoor de eerstgenoemde oplossing uiteindelijk is uitgevoerd. De montage is in vier nachtelijke hijssessies van vier uur uitgevoerd. Er is gebruik gemaakt van een 500 tons Demag AC 1600 kraan, die ter beperking van de radius vanaf twee locaties, gelegen op de weg aan de uiteinden van de bruggen, de brugsecties met een maximaal gewicht van 29 ton heeft ingehesen. Na montage zijn de secties op locatie aan elkaar gelast. De verbreding aan de noordzijde is ook vanaf twee aan de uiteinden van de brug gelegen locaties uitgevoerd. Hierbij is een 400 tons mobiele kraan gebruikt en was het maximale sectiegewicht 43,4 ton bij een radius van 21 m.

Tenslotte: de uitvoering vond plaats tussen mei 2000 en augustus 2002, de bouwsom bedroeg € 5.35 miljoen (prijspeil 2000, alleen stalen brug). In figuur 5 treft u de eindsituatie aan.

In het kader van het thema bruggen, treft u in het volgende artikel informatie aan over de andere (brug)inbreng die ARCADIS had op het Stationseiland Amsterdam CS.



Figuur 5: eindsituatie

OOK OOG VOOR LANGZAAMVERKEER

Stationseiland Amsterdam CS volledig op de schop (2)

ing. H.M.F. Beertsen

Op en rond het Stationseiland worden er, los van het treinverkeer, tal van aanpassingen uitgevoerd ten behoeve van de andere verkeersmodaliteiten. Zo wordt op de achter het Centraal Station gelegen De Ruijterkade op het maaiveld ruimte gereserveerd voor voetgangers en fietsers met daarboven een overkapt busstation. Het autoverkeer wordt via een nieuwe tunnel ondergronds gebracht (figuur 1). Dat laatste maakt het noodzakelijk dat de bruggen over de Ooster- en Westertoegang, die in het verlengde van deze auto-onderdoorgang liggen, moeten worden aangepast. Fietsers en voetgangers worden daarbij gescheiden van automobilisten en krijgen hun eigen separate voet-/fietsbruggen. De Dienst Infrastructuur, Verkeer en Vervoer van Gemeente Amsterdam trad op als opdrachtgever. Het architectonisch ontwerp van de langzaamverkeerbruggen is van Hans van Heeswijk Architecten te Amsterdam. Ook de betonnen bruggen voor het autoverkeer zullen worden uitgebreid en gerenoveerd.

De voet-/fietsbruggen zijn twee gelijkvormige boogbruggen (figuur 2). De brug over de Oostertoegang heeft een

lengte van circa 31 meter, die over de Westertoegang heeft een lengte van circa 28 meter. Op de bruggen is plaats voor een voetpad met een breedte van 2.5 meter en een fietspad met een breedte van 3.5 meter. Deze zijn aan weerszijden van de boogconstructie gesitueerd. Het fietspad heeft een gesloten oppervlak dat is afgewerkt met een epoxy slijtlaag. Het voetpad bestaat uit roestvast stalen persroosters, waarvan een deel van de mazen is gevuld met een granulaat van gerecyclede autobanden. De totale breedte van de bruggen bedraagt 10.80 meter. Ze zijn volledig uitgevoerd in staal.

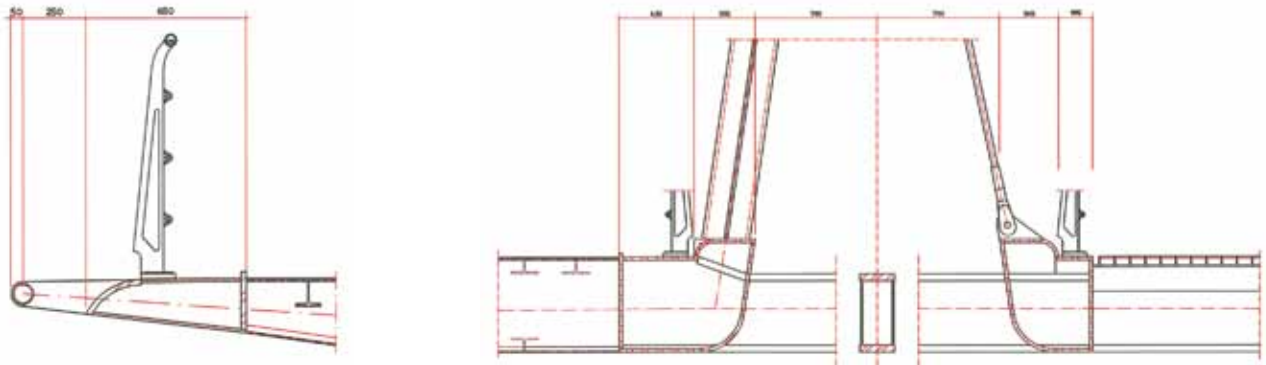
De hoofd draagconstructie van de bruggen bestaat uit twee naar elkaar toe neigende bogen, samengesteld uit ronde buisprofielen. De uiteinden van iedere boog zijn door middel van een kokervormige trekband met elkaar verbonden. Tussen de boog en de trekband zijn zes stuks roestvast stalen trekstaven aangebracht. Ter plaatse van de aangrijpingspunten van de hangers zijn haaks op de trekband kokervormige dwarsdragers aangebracht die het voetpad en het fietspad ondersteunen (figuur 3).



Figuur 1: overzicht Amsterdam CS



Figuur 2: 3D-visualisatie van de brug (Van Heeswijk Architecten)

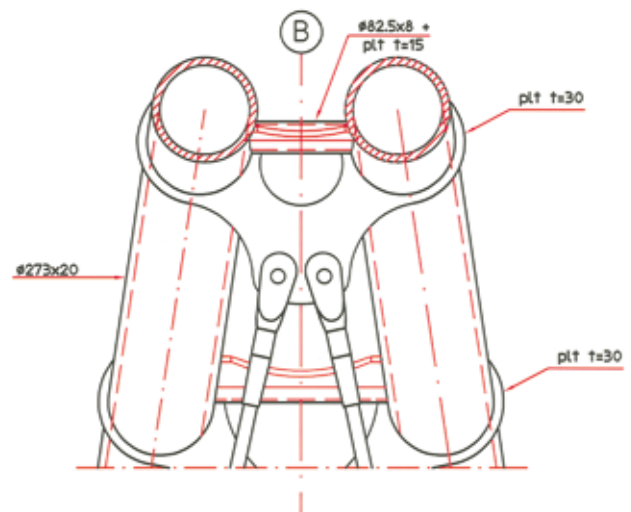


Figuur 3: dwarsdoorsnede over de rand en het midden van de brug

Onder de einddwarsdragers zijn de vier oplegpunten geplaatst. De positie van de opleggingen in dwarsrichting van de brug is zodanig dat er onder geen enkele belastingcombinatie trek op de opleggingen zal optreden. In verband met dwarsstabiliteit zijn de twee bogen onderling gekoppeld (figuur 4).

De verdeling van de koppelingen tussen de bogen strookt met die van de hangers en de dwarsdragers. In vergelijking met het grootste van de bruggen die ten behoeve van het treinverkeer worden aangepakt, zijn deze voet-/fietsbruggen vanzelfsprekend van een andere orde. Desalniettemin zullen het vooral deze bruggen zijn, die de eilandstructuur langs het IJ zullen gaan markeren. De bruggen liggen als mooi gedetailleerde meubels tussen de kademuuren. Zeker 's nachts, wanneer de bogen van onderen worden aangelicht, zullen zij er als (ei)landmarks uitspringen!

Bent u geïnteresseerd in de meer technische informatie van deze bruggen als afmetingen, constructiewijzen, gebruikte materialen enzovoorts, neem dan contact op met Harry Beertsen, ARCADIS Infra Amersfoort, 033-4771000.



Figuur 4: Boogkoppelingen

COMPLEXE AANSLUITING VAN SLANKE EN SCHEVE STRUCTUREN

Spoorbrug over het Van Starckenborghkanaal, Groningen

ir. S. M. den Blanken, projectmanager: ir. M. Zeenni

Met een nieuwe spoorbrug over het Van Starckenborghkanaal werden in de nok-van-Nederland twee vliegen in één klap geslagen. In het kader van de spoorverdubbeling tussen Groningen en Sauwerd wilde ProRail de bestaande brug, die aan het eind van zijn technische levensduur was, vervangen. 'En passant' zag Rijkswaterstaat haar wens in vervulling gaan om de doorvaarthoogte en breedte van het eronder liggende kanaal te vergroten. De brug zelf valt vooral op vanwege z'n scheve, 'uit het lood geslagen' ontwerp (figuur 1). Het plaatsen ervan - per boot - was een al even opvallend spektakel. In dit artikel wordt nader ingegaan op het ontwerp van de nieuwe brug en de berekeningswijze van de verbinding ervan met de betonnen middenpijlers.

De bestaande spoorbrug is een stalen vakwerkbrug voor enkelspoor, opgebouwd uit meerdere statisch bepaalde segmenten. De nieuwe spoorbrug is ontworpen als stalen boogbrug met een halfhooggelegen rijvloer met een middenoverspanning van 89 meter en twee ongelijke eindvelden van 28 en 36 meter. De oorsprong van de bogen is lager gelegen dan het rijdek, waardoor de primaire spatkrachten vanuit de boog gedeeltelijk

worden opgenomen door een inwendige trekband op gelijke hoogte met het rijdek. Ter plaatse van de aansluiting met de middenpijler wordt de boog gesteund door schoorpoten. De schoorpoten staan onder een hoek van 45° en zijn verbonden met de hoofdligger, waardoor een stijve driehoek ontstaat.

Zoals bij elke boog met een inwendige trekband ontstaat er een gecombineerde krachtswerking van buiging en normaalkracht doordat de trekband zal verlengen. Door deze buiging zal de brug een hoekverdraaiing ondergaan bij het snijpunt van de trekband met de boog. De stijve driehoek zal hierdoor tevens een gedwongen hoekverdraaiing ondergaan en het brugdek van de eindvelden optillen. Dit effect is niet te compenseren met een toename van de rustende belasting. In dit geval is gekozen voor de toepassing van een initiële vooruitbuiging van de ongelijke eindvelden van respectievelijk 340 en 370 mm, voorafgaand aan het plaatsen van de brug op haar steunpunten. Na het aflaten van de brug ontstaat er een verticale drukkracht op de eindopleggingen die ter compensatie dient voor de opwaartse verticaalkracht.



Figuur 1: Aanzicht spoorbrug over het Van Starckenborghkanaal



Figuur 2: De scheefstand van de bogen in dwarsrichting

Verschoven bogen

De spoorbrug kruist het kanaal onder een hoek van 46° . In het ontwerp is door ARCADIS-architect Jaap van der Steeg gekozen voor een accentuering van deze scheve kruising door de bogen in lengterichting ook scheef ten opzichte van elkaar te plaatsen (figuur 2). De bogen zijn hierdoor 12,75 meter van elkaar verschoven en dat is precies gelijk aan de hangerafstand. Door deze verschuiving ontstaan er torsie- en wringspanningen in de staalconstructie. Door de toepassing van momentverbindingen in het rijdek en het weglaten van het stabiliteitsverband ontstaat er een viendeelligger die wringing kan ondergaan en de momenten kan opnemen. En door de ongelijke stand van de bogen ontstaan ook ongelijke oplegreacties in langsrichting, waardoor de fundering zal willen verdraaien.

De bogen zijn in dwarsrichting naar elkaar toe gebogen. Op het niveau van het rijdek zouden beide bogen dus gekoppeld kunnen worden, waarbij deze koppeling dan wel scheef zou moeten worden geplaatst. Doordat alle langsliggers en dwarsdragers haaks zijn ontworpen, was er echter geen mogelijkheid deze verbinding te integreren op hetzelfde niveau als het rijdek. Uit esthetisch oogpunt bleek het niet wenselijk een 'scheve' trekverbinding tussen beide bogen onder het rijdek aan te brengen, reden waarom er is gekozen voor het opnemen van spatkracht in de betonnen funderingssloof. Gevolg daarvan is wel dat de verbinding tussen stalen brug en de betonnen onderbouw ook op deze spatkracht moest worden ontworpen.

Ondergrond

Ter plaatse van de spoorbrug over het Van Starcken-borgkanaal bestaat de ondergrond uit zeer slappe lagen. De draagkrachtige laag ligt op circa 50 meter beneden

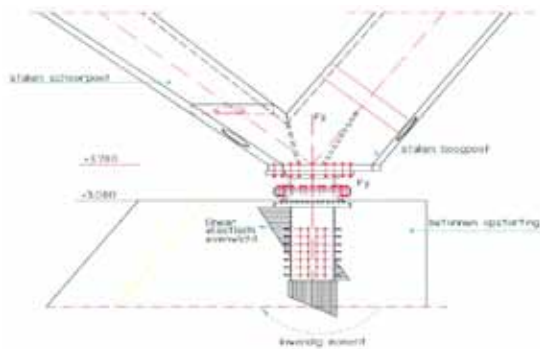
NAP. Omdat het toepassen van schoorpalen dan geen optie is, is gekozen voor een paalfundering met weinig palen en grote buisdiameters. De opname van de grote horizontaal krachten is gerealiseerd door de toepassing van momentvaste verbindingen tussen de paalkop en de fundering. De grote buisdiameters ($\varnothing 1500$ mm) kunnen uitstekend hoge paalkopmomenten opnemen met traditionele kopwapening. Bijkomend negatief effect is de relatief grote vervormingen van de fundering. Hiervoor zijn aanvullende stabiliteitsschermen geplaatst die gekoppeld zijn aan de fundering van de middenpijler.

Oplegsysteem

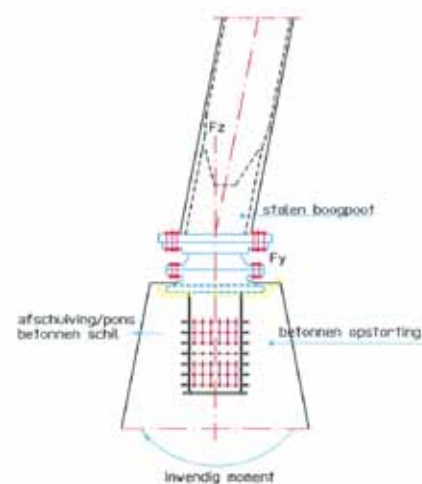
De horizontale krachten zijn verdeeld naar beide middenpijlers van de brug. Hierdoor ontstaat een oplegsysteem met vier oplegpunten van de boog, waarbij tevens een fixatie in x- en y-richting is toegepast. Ter plaatse van de eindopleggingen op de landhoofden zijn twee verticale opleggingen direct onder de beide sporen ontworpen en een fixatie in y-richting. Dit naar aanleiding van de zeer strenge eisen aan verschilverplaatsingen bij ingegoten spoorstaven ter plaatse van de overgang van de brug naar de aardebaan.

Opleggingen

In eerste instantie is gekeken naar standaard oplossingen waarbij de potoplegging door middel van traditionele voorspanbouten wordt verankerd in het beton. Na uitgebreide berekeningen bleek dat het opnemen van de slijt- en trekkrachten in de betonnen opstorten niet op een verantwoorde wijze kon worden gerealiseerd. De voorkeur ging vervolgens in eerste instantie uit naar een oplossing zonder voorspanbouten. Doordat de ge-



Figuur 3: Langsdoorsnede ontwerp staalbeton verbinding – lineair elastisch evenwicht



Figuur 4: Dwarsdoorsnede ontwerp staalbeton verbinding – afschuiving en pons



Figuur 5: De stalen dook met deuvels in nog niet voltooide wapeningskorf



Figuur 6: De brug op tijdelijke ondersteuning na het aflaten

hele oplegstoel vervangbaar dient te zijn, bleek het toepassen van bouten toch wenselijk. Het bovenzadel van de oplegstoel wordt door middel van voorspanbouten aan de brug bevestigd. Het onderzadel van de oplegstoel wordt ook door middel van voorspanbouten aan een stalen dook bevestigd, die in de betonnen opstorten zijn verankerd met deuvels. Omdat de huidige Nederlandse en Europese normen weinig houvast bieden voor de toetsing van een staalbetonverbinding die niet-standaard is, zijn eerst de bezwijk- en faalmechanismen in de uiterste en gebruikstoestand geanalyseerd en is vervolgens een literatuuronderzoek uitgevoerd naar gelijkwaardige verbindingen.

Lineair elastisch evenwicht

In een eerste controle zijn de driedimensionale (contact)spanningen geanalyseerd op basis van lineair elastisch evenwicht van de ingestorte stalen dook (zie figuur 3.). De gecombineerde verticaal en horizontaalkrachten leiden tevens tot hoge dwarskrachten en momenten in het beton die met buigtrekwapening en dwarskrachtwapening zijn opgenomen.

Scheurwijdtebeheersing en vervormingen

De scheurwijdte is gecontroleerd aan de hand van de spanningsverdeling in het beton en de wapening op basis van het lineair elastische evenwicht in de gebruiksfase. De vervormingen zijn globaal bekeken aan de hand van een M-N-Kappa diagram.

Lokale krachtsinleiding

De trekkracht vanuit het moment op de stalen dook wordt middels deuvels overgedragen op het beton. Vanuit de deuvels ontstaan drukdiagonalen die door middel van verticale buigtrekwapening wordt overgenomen en in het beton wordt geleid. Ook wordt aan de drukzijde aan de onderzijde van de dook een extra drukstrip geplaatst om de resterende druk geleidelijk in te leiden.

Afschuiving en pons

Met name in die situaties waarbij de verticale belasting minimaal, en de kracht op de dook in dwarse horizontale richting maximaal is, bestaat de kans op bezwijken door afschuiving of pons van de betonnen schil. In figuur 4 wordt deze situatie aangegeven, in de berekening is gebruik gemaakt van de algemene theorie betreffende afschuiving en is de controle op pons uitgevoerd.

Uitvoering staalbeton verbinding

Om de horizontale krachten op de verbinding te beperken is de verankering van de boogpoot aan de betonnen fundering pas gerealiseerd na het aflaten van de brug. Tijdens het aflaten van de brug, waarbij de eindopleggingen onder druk worden gebracht, ondergaan de schoorpoten namelijk een opgelegde beweging in langsrichting. Op figuur 5 is duidelijk te zien dat de stalen dook al is geplaatst in de betonnen opstort voorafgaand aan het storten.

Na het plaatsen van de stalen dook en de wapening is de betonnen schil gestort. Vervolgens is de brug afgelaten en gepositioneerd. Na het positioneren is de potoplegging geplaatst en zijn de stalen boog en de betonnen fundering aan elkaar verbonden door middel van het voorspannen van de bouten. Op figuur 6 is te zien dat de brug op tijdelijke ondersteuning is geplaatst, zodat de potoplegging kan worden gepositioneerd en gemonteerd. Het plaatsen van de brug was overigens een spektakel (en prestatie) op zich. Vanuit België, waar de vijf brugdelen zijn gemaakt, werden ze op speciale pontons richting Groningen gevaren, een reis die drie dagen in beslag nam. Tijdens de plaatsing raasde het treinverkeer gewoon door over de oude spoorbrug, eveneens een complicerende factor.

Dankzij de nieuwe brug is de baanvakcapaciteit verdubbeld en de doorvaarhoogte vergroot van zes naar negen meter en is het Starkenborghkanaal ter plaatse verbreed van 22 naar maar liefst 54 meter, waardoor er nu ook grote schepen met vier lagen containers kunnen passeren. Dit tot alle tevredenheid van ProRail, Rijkswaterstaat en niet te vergeten alle passanten (waaronder fietsers, voor wie op de brug ook ruimte is vrijgemaakt), die er een opvallend kunstwerk in het voor het overige vrij kale landschap hebben bij gekregen.

OOK DE NATUUR KOMT OVER DE BRUG

ir. E.P. van Jaarsveld

Bruggen zijn er in alle soorten, maten en voor diverse soorten gebruikers. Zelfs voor dieren. In opdracht van het Goois Natuurreservaat, Provincie Noord-Holland en ProRail ontwierp ARCADIS bij Hilversum een natuurbrug, waar vanaf 2005 mensen én dieren veilig de oversteek kunnen maken tussen het Spanderswoud en de Bussummer heide (figuur 1). Het ecoduct is 800 meter lang en daarmee waarschijnlijk de langste natuur-brug ter wereld!

Er worden bij Crailo vier barrières overbrugd: de provinciale Naarderweg tussen Hilversum en Bussum, de spoorlijn tussen deze plaatsen, een NS bedrijfsterrrein en de gemeentelijke ontsluitingsweg van een sportcomplex. Voordat er daadwerkelijk met de bouw kon worden begonnen, moest het Goois Natuurreservaat de nodige landbouwgrond aankopen. De sportvelden waren al in hun bezit, maar voor langere tijd verhuurd, reden waarom er een enorme 'ruilverkaveling' plaatsvond. Ook de natuur zelf lag in de weg, want aan de provinciale weg moesten beschermde wijngaardslakken worden verplaatst.

Inmiddels is de ruwbouw van de natuurbrug bijna ten einde. De grond voor de grondlichamen wordt aangevoerd en de betonnen bruggen zijn gereed. In de loop van 2004 wordt er begonnen aan de inrichting van de natuurbrug. Er wordt dan gezorgd voor een plezierige leefomgeving en voldoende beschutting voor de dieren en planten die op de brug gaan leven, én natuurlijk voor de dieren die de brug gaan gebruiken om van het ene naar het andere natuurgebied over te steken, zoals hagedissen, dassen, vossen, boommarters en edelherten.

Nauw overleg met opdrachtgever

Doorgaans benader je een kunstwerk vanuit de civieltechnische hoek. Hier is de ecologie de bepalende factor, en de natuur stelt zo zijn eigen eisen aan een kunstwerk. De eerste vraag is wie, hoe vaak en onder welke omstandigheden maken dieren van zo'n verbinding gebruik? Zo kiezen reptielen een vochtige route, hebben vlinders behoefte aan beschutting en zullen edelherten pas bij een minimale breedte van 50 meter de oversteek wagen.



Figuur 1: ProRail-terrein in vogelvlucht

De brug bestaat uit twee ecoducten. Eén van 35 meter lang over de provinciale weg en een 135 meter lang viaduct die zowel spoorlijn, bedrijfsterrrein en ontsluitingsweg overbrugt (figuur 2). Daarvoor moest wel de bovenleiding van de spoorlijn Amsterdam-Amersfoort een halve meter worden verlaagd. Deze werkzaamheden moesten gespreid over een aantal nachten plaatsvinden, per nacht was netto maar drie uur beschikbaar. ProRail is dan ook nauw betrokken geweest bij het uiteindelijke ontwerp en de bestekken voor de twee ecoducten. De maximale overspanning van de brug van 35 meter over het bedrijfsterrrein van NS wordt bepaald door de ruim 33 meter brede portaalkranen. Overigens wordt de hoogte uiteindelijk niet bepaald door die portaalkranen, maar door het profiel van vrije ruimte ter plaatse van het spoor.

NS en ProRail stellen hoge eisen aan bouwen boven hun sporen en bedrijfsterrrein (figuur 3). Omdat de werkruimte er gering is en om het 24-uurs bedrijfsproces niet te verstoren, moest op de fundering van de brug een tijdelijke constructie voor de portaalkranen worden aangebracht.



Figuur 2: Eindsituatie



Figuur 3: Inhijsen van de liggers

Oase van rust

Het brugdek van het langste ecoduct steunt op drie pijlers van V-vormige kolommen. De landhoofden worden opgebouwd uit gewapende grondconstructies. De uitlopende vleugelwanden worden opgebouwd met schanskorven gevuld met zwerfkeien en grond (Terra Trel). Dit om de brug een zo natuurlijk mogelijk uiterlijk te geven.

Het aanbrengen van de 43 liggers van 25,5 meter lang met randelementen boven het spoor heeft in één treinvrij weekend plaatsgevonden. Op de betonnen liggers is vervolgens een waterafsluitende laag, een drainagemat met wortelverankeringsdoek en een laag aarde van één meter dik aangebracht.

De verdere inrichting van de natuurbrug is in handen van het Goois Natuurreservaat en ontworpen door Vista. Daarbij wordt de noordzijde van de natuurbrug aanzienlijk natter dan de zuidkant. In het talud worden watervasthoudende voorzieningen getroffen in de vorm van greppels en humusrijke grond. Op de holle weg zelf

zullen de dieren overigens niets van het verkeerslawaaï merken: daar heerst een oase van rust.

Voor de natuurbrug wordt in totaal 500.000 kubieke meter grond gebruikt. Voor de landhoofden wordt voor de aan te brengen strips, die de wand moeten verankeren, schoon zand gebruikt. Voor alle andere werkzaamheden volstaat licht vervuild zand (categorie1). De oplevering is als gezegd in 2005 gepland, maar dat is misschien een wat optimistische planning omdat de voortgang afhankelijk is van het beschikbaar komen van categorie 1-zand. En zoals we allen weten kan dat wel eens wat langer duren als het economisch slechter gaat.

Tenslotte: de opdrachtgevers hopen dat er ook fietsers, voetgangers, paarden en - in geval van calamiteiten - ook hulpdiensten gebruik gaan maken van het ecoduct bij Crailo. De natuur is en blijft echter de primaire gebruikersdoelgroep bij dit bijzondere, 13,5 miljoen euro kostende, project.

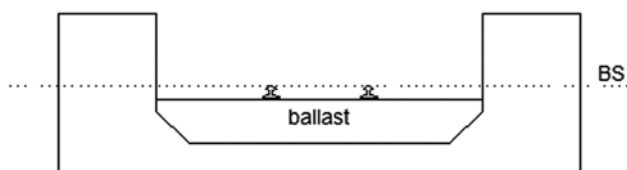


Figuur 4: eindsituatie, kruising met de weg

TROGBRUGGEN, SPECIFIEKE ONTWERPASPECTEN

ir. C.S. van der Horst

In Nederland zijn in de afgelopen decennia tientallen trogbruggen gebouwd die vrijwel allemaal bestemd zijn voor spoorverkeer. In het verleden zijn incidenteel ook voor het wegverkeer trogbruggen gebouwd. Deze worden echter slechts beperkt toegepast, voornamelijk uit oogpunt van verkeersveiligheid (wandvrees en zijwindhinder). Zowel bij het ruimtelijk als het constructief ontwerp moet rekening worden gehouden met een aantal specifiek voor dit constructietype geldende kenmerken. In figuur 1 is de schematische doorsnede van een trogbrug voor spoorverkeer gegeven.



Figuur 1: Doorsnede trogbrug voor spoorverkeer

Een trogbrug is opgebouwd uit grote hoofdliggers met daarin de langsvoorspanning, die overspannen tussen de verschillende steunpunten, en daartussen een relatief dunne vloer. De constructiehoogte van de vloer is onafhankelijk van de overspanning van de liggers en wordt bepaald door de doorbuigingseis van de vloerplaat en de toe te passen spoorbevestiging. De afschuiningen tussen de hoofdliggers en de vloer zijn aangebracht om te zorgen voor een gelijkmatige spanningsopbouw en een goede overdracht van de ophangkrachten tussen vloer en hoofdligger. De oplegblokken ter plaatse van

de steunpunten worden midden onder de hoofdliggers geplaatst (twee oplegblokken per steunpunt).

In het algemeen wordt voor een trogbrug gekozen bij een overspanning tot circa 55 m of een kleine toelaatbare constructiehoogte. Een grote overspanning ontstaat onder andere bij een scheve kruising. Een voorbeeld hiervan is de hangtrogbrug bij Terneuzen waar het spoorverkeer de toeleidende weg naar de Westerschelde kruist (figuur 2). Meer hierover elders in dit nummer.

Door een relatief grote vrijheid bij het plaatsen van steunpunten onder de hoofdliggers kunnen met asymmetrisch ondersteunde trogbruggen zeer scheve kruisingen worden gerealiseerd. Dat is bijvoorbeeld het geval bij de Utrechtboog, een opvallend kunstwerk bij het station Amsterdam - Bijlmer. Grote overspanningen hebben daar geleid tot de keuze voor een trogbrug. De boog bestaat uit twee naast elkaar gelegen enkelsporige voorgespannen trogbruggen van respectievelijk 1450m en 1700 m lengte. In het architectonisch ontwerp is de vorm van de trogbrug aan de onderzijde afgerond zodat deze brug met de grote overspanningen en circa 15 m hoge kolommen slank oogt.

Een andere locatie waar vanwege de geringe constructiehoogte ook voor een trogbrug gekozen is, is Amsterdam CS. Hier is voor het spoorverkeer een dubbelsporige trogbrug gebouwd voor die situaties waar een minimale constructiehoogte gewenst is. Zo kan het spoor zo laag mogelijk over de dwangpunten heen worden ontworpen. Een ander voordeel is, dat de op- en afritten behalve lager ook smaller en korter kunnen worden.



Figuur 2 Hangtrogbrug Terneuzen

Tenslotte hebben de hoofdliggers ook een geluidsafschermende functie, waardoor dit type zeer geschikt is voor toepassing in stedelijk gebied.

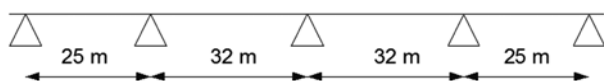
Zoals hiervoor is vermeld moet zowel bij het ruimtelijk ontwerp als het constructief ontwerp van trogbruggen rekening worden gehouden met een aantal specifiek voor dit constructietype geldende kenmerken. Het ruimtelijk ontwerp van trogbruggen voor spoorverkeer wordt deels bepaald door richtlijnen van de NS. Daarin worden specifieke eisen gesteld aan de vluchtmogelijkheden in geval van een calamiteit, die consequenties hebben voor de afmetingen van een trogbrug. Een trogbrug is een geschikte constructie om snel in een bestaande spoorbaan met spoor in exploitatie in te schuiven en op te vijzelen.

Door de relatief hoge hoofdliggers van een trogbrug in langsrichting voor te spannen, kunnen grote overspanningen worden gehaald. Omdat vaak grote overspanningen en daarmee grote voorspankrachten worden toegepast, moet bij het ontwerp uitgebreid worden stilgestaan bij de dimensionering van kop- en splijtwapening in de hoofdliggers en dwarsvoorspanning in de vloer. De vloerdikte kan beperkt blijven, omdat de vloer slechts een overspanning heeft die gelijk is aan de hart op hart afstand van de hoofdliggers. Door de excentrische belasting uit de vloer op de hoofdliggers worden deze liggers belast door een ophangkracht uit de vloer die leidt tot wringende momenten in de hoofdliggers. Een ander aandachtspunt bij de bepaling van deze wringende momenten zijn de rubber oplegblokken die worden toegepast ter plaatse van de steunpunten van de trogbrug.

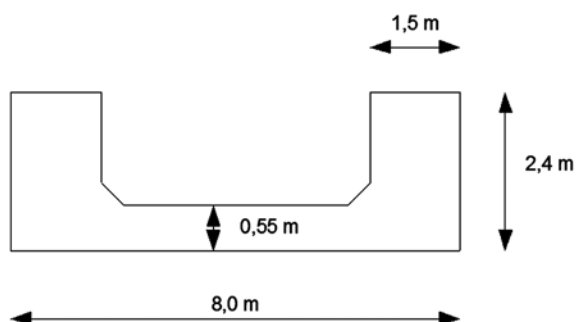
De berekening van wringing in trogbruggen door zowel permanente als mobiele belasting wordt in het volgende voorbeeld uitgewerkt. Daarin wordt ook aangegeven welke invloed de oplegblokken hierop hebben.

Fictief voorbeeld

Uitgegaan wordt van een symmetrische trogbrug met vier overspanningen. De eindvelden hebben een overspanning van 25 m, de tussenvelden overspannen 32 m (figuur 3).



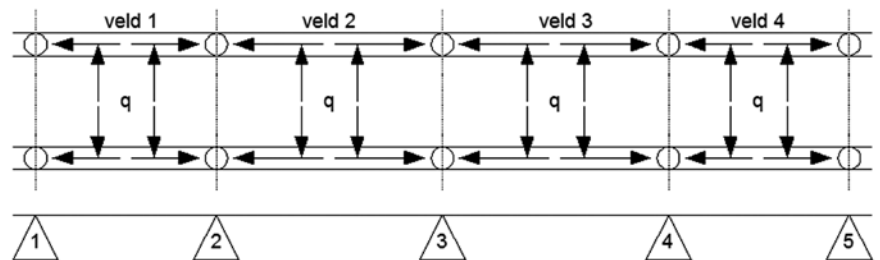
Figuur 3 Schema trogbrug in langsrichting



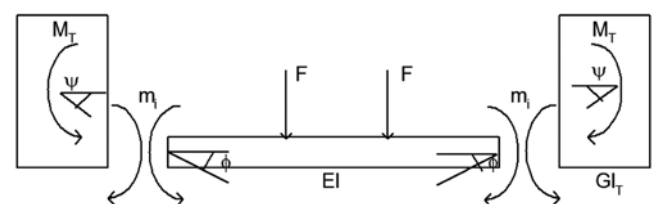
Figuur 4 Dwarsdoorsnede trogbrug

In de dwarsdoorsnede (figuur 4) is aangegeven dat de hoofdliggers een afmeting hebben van 1,5 m bij 2,4 m. De vloer van de trog heeft een overspanning in dwarsrichting van 5 m tussen de hoofdliggers en een gemiddelde dikte van 0,55 m.

Een trogbrug wordt meestal uitgevoerd in betonkwaliteit B45. De hoofdliggers zijn in langsrichting voorgespannen. De vloer is zowel in langsrichting als in dwarsrichting gewapend. De stijfheidsverschillen die hierdoor ontstaan leiden ertoe, dat het overgrote deel van de belasting van de vloer via de kortste weg naar de hoofdliggers zal worden afgedragen. De hoofdliggers dragen de belasting vervolgens af naar de steunpunten (figuur 5).



Figuur 5 Krachtsafdracht trogbrug



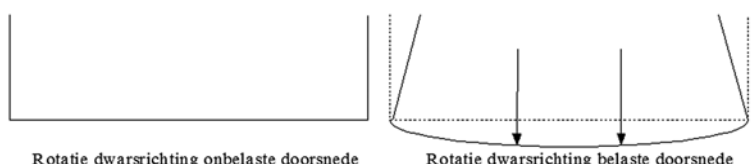
Figuur 6 Schema krachtsafdracht dwarsrichting

De krachswerking tussen de vloer en de hoofdliggers is in figuur 6 aangegeven.

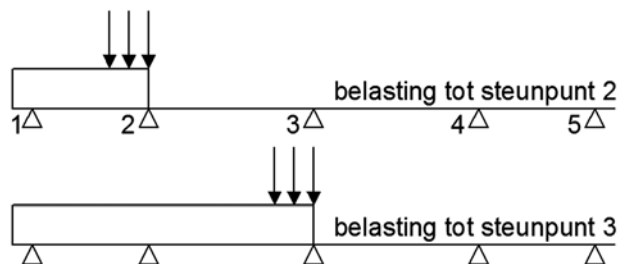
Wringing in de hoofdliggers van de trog ontstaat wanneer de vloer in langsrichting van de trogbrug slechts over een deel verticaal belast wordt. Het belaste deel zal willen roteren in dwarsrichting, terwijl het onbelaste deel dit niet wil (figuur 7).

Bij een voldoende lange trogbrug die over een gedeelte belast wordt, zal de hoekverdraaiing aan het belaste uiteinde vrijwel gelijk zijn aan de hoekverdraaiing van een geheel belaste trogbrug. In dat geval zal de hoekverdraaiing aan de niet belaste zijde vrijwel gelijk aan nul zijn. Tussen de uiteinden zal de hoekverdraaiing verlopen tussen deze twee waarden.

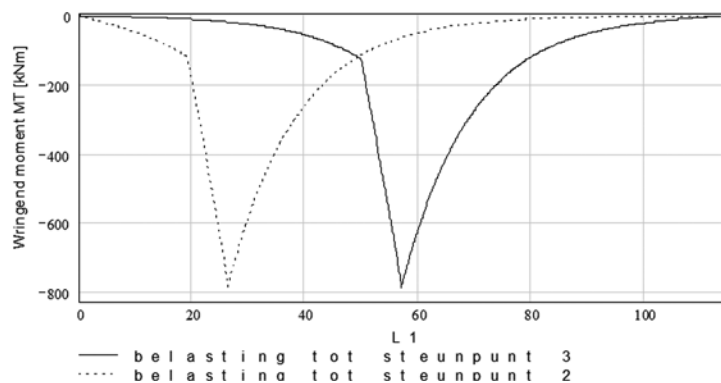
Het maximale wringende moment wordt gevonden als de trogbrug, door bijvoorbeeld mobiele belasting slechts belast wordt in de velden 1 en 2 (figuur 8). Op de overgang van het belaste op het onbelaste gedeelte (ter plaatse van steunpunt 3) zal de verandering van de hoekverdraaiing van de hoofdliggers en daarmee het wringend moment maximaal zijn.



Figuur 7 Rotatie dwarsrichting onbelaste en belaste doorsnede



Figuur 8 Belastingsschema voor maximaal wringend moment steunpunt 2 en 3



Figuur 9 Wringende momenten ten gevolge van mobiele belasting

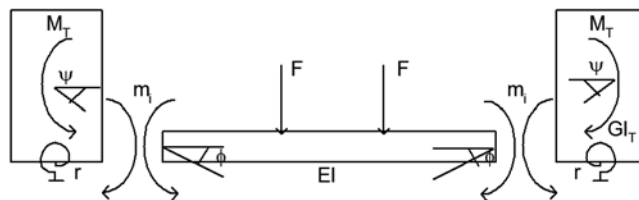
Wringing door mobiele belasting

Voor de berekening van de wringing door mobiele belasting wordt de invloed van de oplegblokken ter plaatse van de steunpunten verwaarloosd. Dit houdt in dat de trog wordt verondersteld vrij te kunnen roteren in dwarsrichting, zodat een gelijkmatig verdeelde belasting langs de gehele trog zal leiden tot een constante hoekverdraaiing en geen wringende momenten. Er is volgens de richtlijnen uitgegaan van een VOSB belasting vanuit het spoor: een gelijkmatig verdeelde belasting op de eerste twee velden en puntlasten juist voor het middensteunpunt (figuur 8). De wringende momenten die dit oplevert zijn weergegeven in figuur 9. Daarin zijn de momenten ter plaatse van steunpunt 2 en 3 aangegeven wanneer de belasting respectievelijk tot steunpunt 2 of 3 is aangebracht.

De maximale wringende momenten worden gevonden op de plaats waar het belaste deel overgaat in het onbelaste deel. Voor beide belastinggevallen geldt, dat het eerste, relatief flauw verlopende deel wordt belast door de gelijkmatig verdeelde belasting terwijl voor het tweede gedeelte ook de drie puntlasten tot een extra gelijkmatig verdeelde belasting zijn omgerekend. De derde tak in de grafieken is het onbelaste gedeelte.

Wringing door permanente belasting

Bij de bepaling van de wringende momenten door mobiele belasting is de invloed van de rotatiestijfheid van de opleggingen buiten beschouwing gelaten. In werkelijkheid geeft deze rotatiestijfheid een extra wringend moment. Door ter plaatse van de steunpunten een extra rotatieveer aan het systeem toe te voegen, ontstaat een situatie als in figuur 10.



Figuur 10 Schema krachtsafdracht dwarsrichting inclusief rotatieveren

Door een rotatieveer toe te voegen ter plaatse van de steunpunten krijgt de verticale oplegreactie een zekere excentriciteit. De rotatiestijfheid van de steunpunten wordt bepaald door de stijfheid van de onderbouw en de stijfheid van de oplegblokken.

Wanneer de rotatie in dwarsrichting met de invloed van de oplegblokken wordt bepaald, blijkt de invloed van deze oplegblokken op de rotatie beperkt. Deze invloed is het grootst bij de opleggingen met relatief rotatiestijve oplegblokken. Hier zal de rotatie van de ligger met oplegblokken (werkelijke situatie) iets minder zijn dan wanneer de opleggingen worden geschematiseerd tot steunpunten zonder rotatiestijfheid.

Wanneer uit het verloop van de rotatie het wringend moment in de hoofdliggers wordt bepaald, blijkt in het voorbeeld dat het maximale wringende moment juist links van het middelste steunpunt met circa 10% toeneemt. Dit wordt veroorzaakt door de invloed van de rotatiestijve opleggingen en is niet verwaarloosbaar.

Het uitwendige moment uit de opleggingen dat wordt veroorzaakt door excentriciteit van de oplegreacties kan, aangezien de rotatie niet noemenswaardig verandert door de opleggingen, worden benaderd door de samengestelde rotatiestijfheid van de oplegging en onderbouw te vermenigvuldigen met de rotatie zonder de invloed van de opleggingen

$$(M_{\text{uitwendig}} \cong r_{\text{totaal}} \cdot \psi_{\text{zonder invloed oplegging}})$$

Dit moment wordt in de constructie gespreid naar twee zijden en zo als wringend moment opgenomen in de hoofdliggers. Dit betekent dat rotatiestijve oplegblokken een relatief grote bijdrage aan het wringend moment in de hoofdliggers leveren. Deze bijdrage mag dan ook niet verwaarloosd worden.

Op basis van deze bovenstaande conclusie zijn de volgende ontwerphandleidingen geformuleerd voor de berekening van trogbruggen:

- Allereerst moet worden nagegaan of de invloed van de opleggingen relevant is (in verhouding tot de wringing door mobiele belasting) door uit te gaan van de hoekverdraaiing zonder invloed van de oplegblokken en de rotatiestijfheid van de blokken.
- Wanneer de invloed op de wringende momenten groot is kan ervoor worden gekozen minder stijve (bijvoorbeeld hogere) oplegblokken toe te passen.
- Bij een Eindige-Elementen-berekening moet altijd de stijfheid van de opleggingen worden meegenomen door de opleggingen te schematiseren tot rotatieveren of een set van translatieveren.

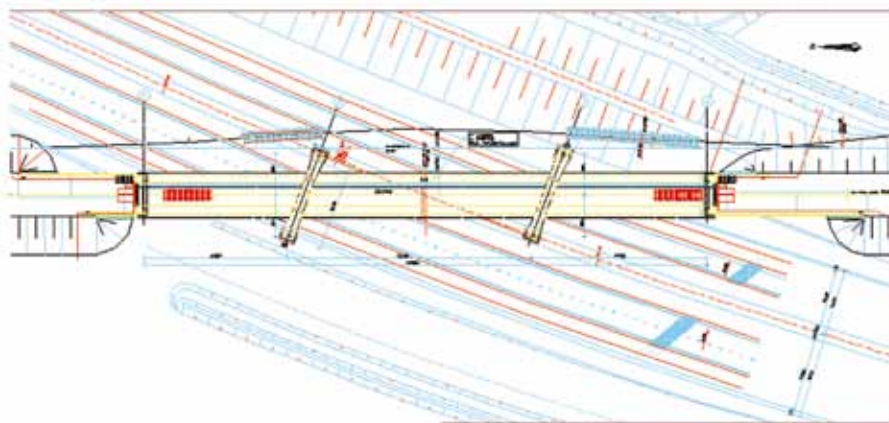
HANGTROGBRUG TERNEUZEN TOONT: BETON EN STAAL GAAN GOED SAMEN

ing. M.J. Ossendrijver.

In Zeeuwsch Vlaanderen is op het kruispunt van de toegangsweg naar de Westerscheldetunnel en de goederenspoorlijn naar het industrieterrein Dow-Benelux een ongelijkvloerse kruising gerealiseerd in de vorm van een opvallende betonnen hangtrogbrug met stalen portalen. Het resultaat is een mooi voorbeeld van het uiterst benutten van de materialen beton en staal. Een bouwrichting met grote mogelijkheden.

De tunnel inclusief bijbehorende infrastructuur is gebouwd in opdracht van de NV Westerscheldetunnel, met het Rijk en de Provincie Zeeland als aandeelhouders. Omdat de wegen van en naar de tunnel het omliggende landschap beïnvloeden is de Dienst Landelijk Gebied (DLG) gevraagd dit landschap opnieuw in te richten. Voor de inpassing van de wegen waren twee uitgangspunten belangrijk: het behouden/ versterken van de verschillende landschapstypen en het zorgen voor een rustig wegbeeld door samenhang te creëren tussen alle elementen langs het tracé, zoals de tunnelinritten, viaducten en geluidsschermen. Om deze samenhang duidelijk te maken werden twee centrale thema's doorgevoerd die in alle elementen terugkomen, te weten de ronde vormen (in lijn met de geboorde tunnel) en de kleur zeegroen, conform het water van de Westerschelde.

vervolgens in opdracht van ProRail de mogelijkheden van een spoortrogbrug. Een betonnen trogbrug, waarbij de dragende balken vlak naast het spoor zijn gesitueerd en één geheel vormen met de rijvloer waarop de trein rijdt. Voordeel van een trogbrug is de geringe constructiehoogte bij relatief grote overspanningen. Hierdoor diende het spoor over een kleinere lengte te worden verhoogd en kon de spoorbaan weer sneller op de hoogte van de bestaande spoorbaan worden aangesloten. Door de kleine kruisingshoek bedraagt de totale lengte van de brug circa 124 m. Door het brede profiel van vrije ruimte van de toekomstige autosnelweg waren de traditionele plaatsingsmogelijkheden voor kolommen onder de balken van de trogbrug beperkt. Dit zou immers resulteren in (asymmetrische) overspanningen van 65 m. In het verleden door ARCADIS uitgevoerde verkennende berekeningen voor trogbruggen in het algemeen gaven echter aan dat de maximale overspanning voor trogbruggen (met spoor in ballast) ligt op circa 50 tot 55 m. Een oplossing werd gezocht in het plaatsen van kolommen naast de trogbrug, maar door de dan benodigde oplegbalk ($h=2$ m) zou het spoor in dat geval hoger c.q. de weg lager moeten worden aangelegd. Een betere optie was de kolommen naast de trogbrug tot ver boven de trog door te zetten en de brug aan een bovenbalk op te hangen, waardoor de hoogte van het spoor noch de weg aangepast hoefden te worden (figuur 2). Door het toepassen van hangportalen kon bovendien een tussensteunpunt extra worden gecreëerd waardoor de maximale overspanning werd gereduceerd tot 52,4 m. Een overspanning, waarvan inmiddels is aangetoond dat die haalbaar is.



Figuur 1: Situatie hangtrogbrug

Ontwerp en vormgeving

De toeleidende weg op Zeeuwsch Vlaanderen kruist de bestaande goederenspoorlijn van Sluiskil naar het industrieterrein Dow-Benelux onder een hoek van ongeveer 21° (figuur 1).

De spoorlijn ligt op een dijklichaam, circa 3 m. boven het maaiveld. Hierdoor lag het voor de hand de spoorlijn over de weg te voeren. Een tunnel viel om economische redenen af, zo wees een onderzoek van de Bouwdienst Rijkswaterstaat uit. ARCADIS onderzocht



Figuur 2: Zij aanzicht trogbrug

portalen opgehangen met behulp van twee groepen van drie hangkabels per portaal. Per groep van drie kabels is een veiligheidsfactor van 2,3 aangehouden. Dat betekent dat mocht er een kabel breken de kracht door de overige twee kabels wordt opgenomen met behoud van een veiligheidsfactor van 1,6. De tussen-steunpunten zijn zo gekozen dat ze de brug symmetrisch maken, zowel in lengterichting als in dwarsrichting. Met name de symmetrie in dwarsrichting (trogbrug in het hart van het portaal) is van essentieel belang voor de krachts-werking in de hangportalen. De portalen zijn gefundeerd op 40 m. lange Tubex-palen die trillingsvrij zijn aange-bracht. Een eveneens niet onbelangrijke factor was dat de trogbrug 10 m. uit de as van de bestaande spoorlijn gebouwd werd, waardoor de bouwactiviteiten zonder hinder van de treinexploitatie konden worden uitgevoerd.

De vormgeving van het kunstwerk is verzorgd door architect ir. J.A. van Belkum van ARCADIS. In samenwerking met onder andere het Buro Ruimte & Groen uit Borsele zorgde hij ervoor dat het ontwerp zo goed mogelijk voldoet aan de uitgangspunten zoals die waren vastgelegd in het landschapsplan en de architectuurnota voor het tracé Westerscheldetunnel.

Staal & beton

Omdat voor de weggebruiker met name de achttien meter hoge hangportalen opvallende elementen in het landschap zouden worden, werd in plaats van verticale, massieve betonnen portalen met een horizontale bovenbalk gekozen voor slanke stalen boogconstructies in een doorgaande vloeiende lijn. De zijkant neigt hierbij naar binnen tot aan het profiel van vrije ruimte van de autosnelweg. Belangrijk punt was ook de stabiliteit van het portaal in de lengterichting van het spoor; reden om de uiteinden van de poten V-vormig te splitsen. In de richting loodrecht hierop was constructief weer een kleinere doorsnede mogelijk, zodat als totaal een krachtige, lenige vorm ontstond (figuur 3).

Uiteindelijk zijn hiermee portalen verkregen, die in een boogvormige constructie over de trogbrug heen werden geplaatst en zorgden voor een doorgaande beweging die in het landschap oprijst en weer terugzakt (figuur 4).

De vloeiende lijnen van de portalen zijn terug te vinden in de vorm van de trogbrug (figuur 5).

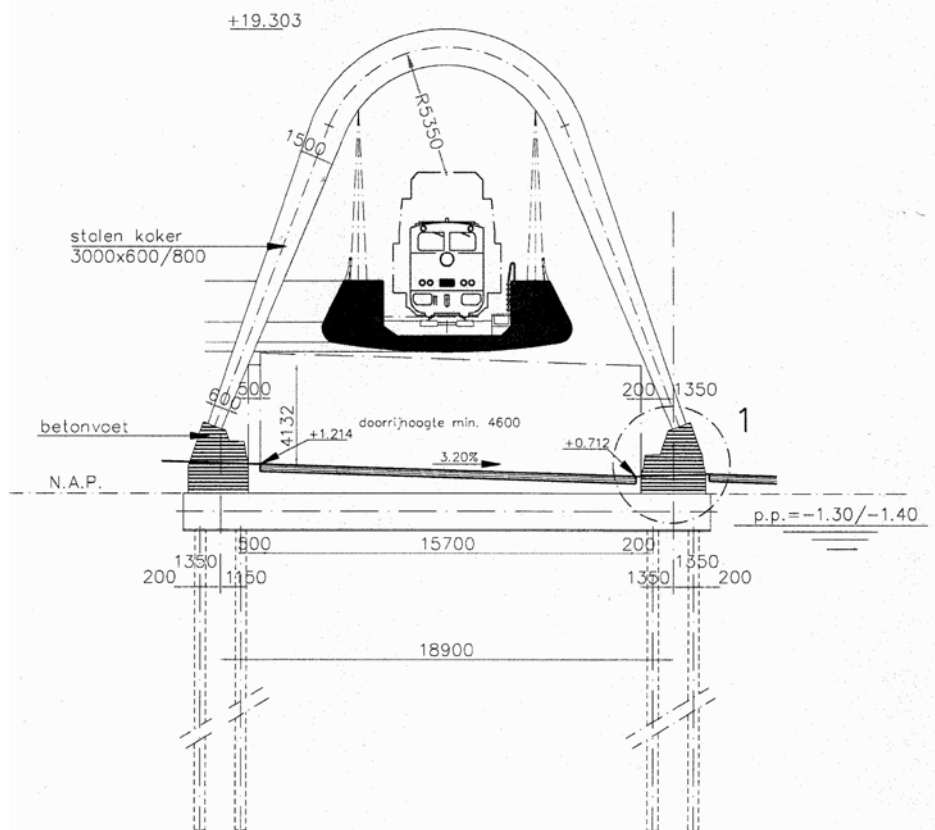
Belangrijk voor de trogbrug is dat de afgeronde vorm niet alleen de 'tubevorm' benadrukt, maar ook de spanning van de krachten in de enorme overspanning visueel voelbaar maken. Bovendien is door de tubevorm de opgehangen trogbrug een zelfstandiger, losser element tussen de portalen geworden. De trogbrug start en landt in de landhoofden, die een extra accent krijgen door zowel het naar achter hellende voorvlak (figuur 6)



Figuur 3: Zijaanzicht stalen hangportaal



Figuur 4: Aanzicht loodrecht op stalen portaal



Figuur 5: Doorsnede in het vlak van het hangportaal

als de stalen vinnen aan de zijkant, die de ronde vorm van de brug nog even vasthouden en voortzetten (figuur 7). De trog wordt bovendien opgevangen in oplopende zijvleugels van de landhoofden.

Als detailuitwerking heeft de zijkant van de trogbrug een alternerende tegelstreep in twee tinten zeegroen gekregen en is op de landhoofden een rietvormige baanstructuur verdiept in de beton aangebracht. Interessant detailelement is ook de lichte draaiing van de hangkabels, die ontstaat door de schuine kruising van portaal en trogbrug.

Constructieve aspecten

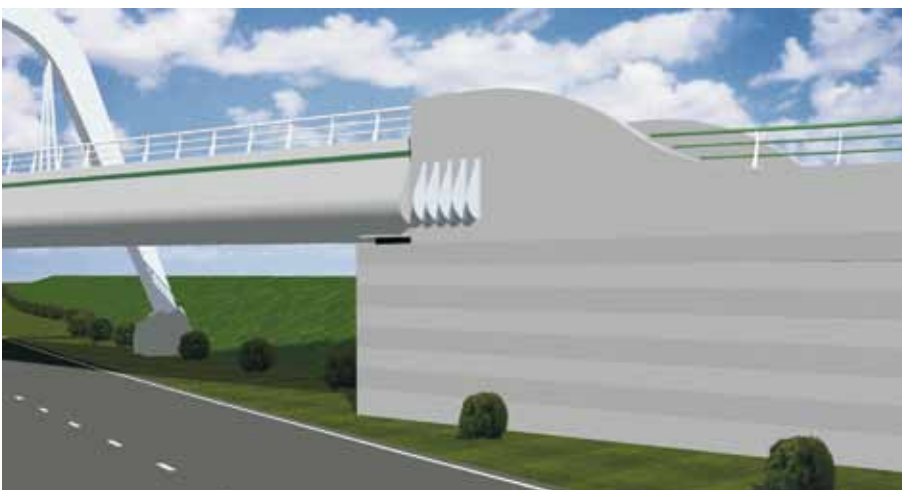
De ophanging van de trog met kabels aan schuin geplaatste stalen portalen is een bijzonderheid die in het constructief ontwerp van de brug de nodige aandacht vergde. In constructief kader is vooral gekeken naar achtereenvolgens het dynamisch gedrag van de trog onder treinbelasting en windbelasting; de dimensionering van de hangkabels en de bevestiging van de hangkabels aan de trog en tenslotte krachtafdracht via de portalen naar de ondergrond, waarbij grote spatkrachten optreden.

Dynamisch gedrag onder treinbelasting

Het op- en afrijden van treinen op de brug leidt tot plotselinge toe- en afname van de belastingen op de trog. Als gevolg hiervan zal de trog in trilling worden gebracht, waardoor de interne krachten in de trog groter kunnen worden dan uit een statische berekening volgt. De verhouding tussen de werkelijk optredende (dynamische) krachten en de statisch berekende krachten staat bekend als de Dynamic Load Factor. De waarde van deze factor hangt voornamelijk af van de massa van de trog; de buig- en torsiestijfheid van de trog; de stijfheid van de opleggingen en de snelheid en massa van de passerende trein. In de vigerende ontwerpvoorschriften is een dynamic load factor van 1,1 voorgeschreven. Gezien het bijzondere karakter van de constructie is de dynamic load factor voor dit ontwerp echter gecontroleerd met behulp van het eindige-elementen-



Figuur 6: Landhoofd

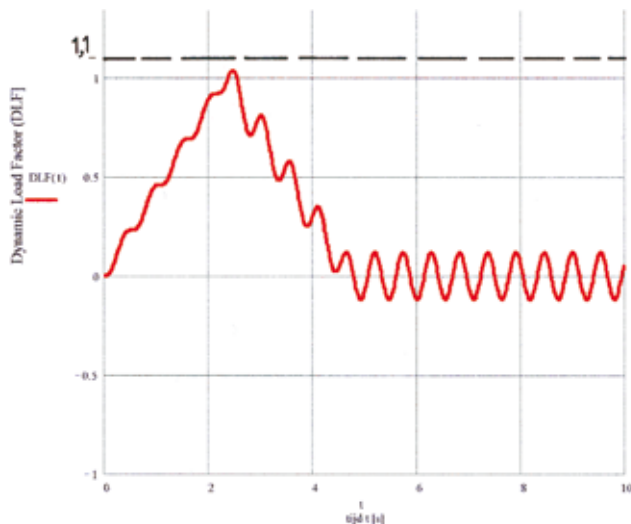


Figuur 7: Stalen vinnen op vleugelwand

programma ANSYS. Uit de berekening blijkt dat met een dynamic load factor van 1,1 de dynamische effecten van een passerende goederentrein voldoende zijn afgedekt (figuur 8).

Dynamisch gedrag onder windbelasting

De trog vormt een obstakel voor de wind. Als gevolg hiervan ontstaan rondom de brug wervels die na hun ontstaan loslaten van de brug. Het loslaten van de wervels gaat gepaard met drukvariaties die de brug belasten en leiden tot trillingen van het brugdek. Bij windsnelheden tot 50 km/h treedt voornamelijk verticale buiging van het brugdek op. Voor hogere windsnelheden kan bij dit type bruggen een verschijnsel optreden dat bekend staat als 'flutter': het optreden van torsietrillingen in combinatie met verticale buigtrillingen. Flutter treedt op wanneer het loslaten van wervels en de eigentrilling van de brug elkaar versterken. De windsnelheid waarbij dit plaatsvindt wordt de kritieke windsnelheid genoemd. De kritieke windsnelheid hangt af van de stroomlijning van de brug, de verhouding tussen buig- en torsiestijfheid van de trog en de massa en vorm van de brug. Door een juiste keuze van deze parameters werd bereikt dat de kritische windsnelheid hoger ligt dan de windsnelheid die ter plaatse kan optreden. Het ontwerp van de hangtrogbrug is gecontroleerd met behulp van ontwerpgrafieken waarmee de kritische windsnelheid werd bepaald. Hieruit bleek dat de kritieke windsnelheid hoger lag dan 200 km/h waarmee flutter kan worden uitgesloten. (figuur 9)



Figuur 8: grafische voorstelling van de dynamic load factor

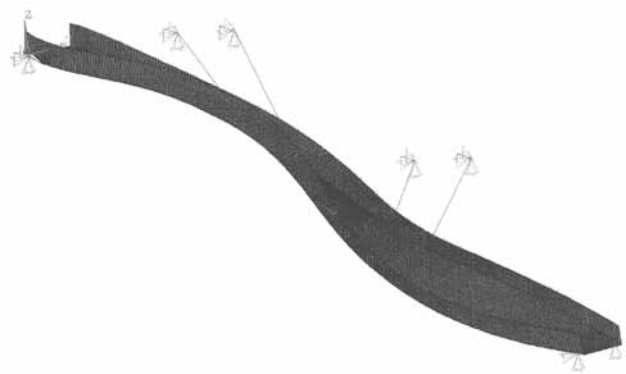


Figuur 10: De stalen doorvoeren in de trogbalk

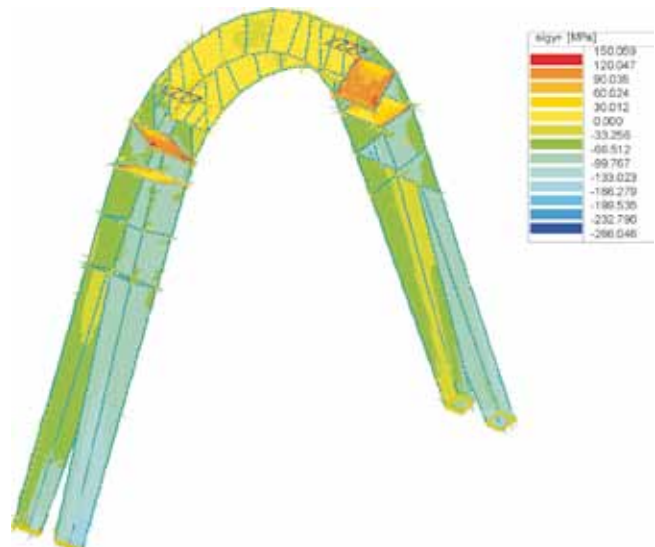
Dimensionering hangkabels en bevestiging

De belastingen als gevolg van de trein en het eigen gewicht van de trog worden via hangkabels afgedragen naar de stalen portalen. Ieder ophangpunt bestaat uit drie kabels (twee ophangpunten per portaal). De kabels dienen voor het afdragen van de krachten naar de portalen (uiterste grenstoestand) en het beperken van de vervorming van de trog (bruikbaarheidsgrenstoestand). Door de kabels te gebruiken ter beperking van de optredende doorbuiging kon de trog zelf minder stijf worden gedimensioneerd. Tegelijkertijd werden daarmee wel stijfheidseisen opgelegd aan de hangkabels. Het bleek dat de bruikbaarheidsgrenstoestand maatgevend was voor de dimensionering van de kabels. In de uiterste grenstoestand hebben de kabels een veiligheid van 2,3 tegen bezwijken.

De kabels en de bevestiging aan de trog staan bloot aan relatief grote belastingwisselingen, waardoor een controle op vermoeiing nodig is. De bevestiging van de kabels aan de trog is zodanig gedetailleerd dat de spanning in de kabel gelijkmatig wordt overgedragen aan de trog. Hierdoor worden de piekspanningen beperkt en is de weerstand tegen vermoeiing voldoende groot. De vermoeiingssterkte van de kabels ligt hoger dan de vermoeiingssterkte van de bevestiging (figuur 10).



Figuur 9: torsie-eigentrillingsvorm



Figuur 11: Spanningspatroon in het stalen portaal



Figuur 12: Bouw van de Hangtrogbrug

Dimensionering van de portalen

Via de kabels wordt de belasting ingeleid in de portalen. De portalen zelf zijn kokervormige constructies opgebouwd uit staalplaat. De kokers zijn inwendig verstijfd en ter plaatse van de ophanging van de kabels versterkt. Als gevolg van de belastingen worden de portalen op druk belast (figuur 11).

De portalen rusten op betonnen poeren. De benen van de portalen zijn schuin geplaatst. Deze schuine stand, in combinatie met de drukkracht in de portalen, leidt tot een spatkracht van 6000 kN die in de poeren wordt opgenomen. De fundering van de poeren is niet in staat om deze kracht op te nemen. In plaats daarvan zijn de poeren aan elkaar gekoppeld met een balk in voorgespannen beton, die de spatkracht opneemt. Daarmee is het evenwicht van het portaal verzekerd.

Al met al tal van inventieve en fraai ogende oplossingen voor een 'simpele' spoorwegkruising!

EEN TECHNISCH HOOGSTANDJE BIJ MILLAU

ir. A.P.G. Hollanders

Als het viaduct bij Millau begin 2005 gereed is, betekent dat de voltooiing van de Méridienne, de autosnelweg van Parijs naar Montpellier en tevens het einde van de beruchte verkeersopstopping bij Millau. In 1985 werd het besluit genomen de snelweg aan te leggen. Een belangrijk obstakel in de route was het Tarndal, dat als een brede geul de hoogvlaktes doorsnijdt en een hoge ecologische waarde heeft (figuur 1). Het zoveel mogelijk ontzien van de natuur was een van de belangrijkste ontwerpcriteria voor dit viaduct en een behoorlijk lastige ontwerpopgave. Reden waarom het viaduct niet dóór maar óver het schitterende Tarndal loopt.



Figuur 1: het Tarndal met op de achtergrond Millau. De stip-pellijn was het uitgangspunt voor de ontwerpcompetitie

Het was voor de Franse staat aanleiding om als opdrachtgever een ontwerpcompetitie uit te schrijven, die gewonnen werd door een samenwerkingsverband bestaande uit architect Norman Foster en ARCADIS. Zij kozen voor een slanke, esthetische tuibrug die hoog over het dal lijkt te zweven, waarbij het dal op slechts zeven plaatsen door een slanke pijler wordt 'aangetikt' (figuur 2). De 2460 meter lange brug zal in het Guinness-book of Records worden opgenomen als de hoogste brug ter wereld: de hoogste pijler meet 240 meter, de pylonen komen hier nog eens 90 meter bovenuit. De constructie is daarmee 30 meter hoger dan de Eiffeltoren!



Figuur 2: impressie van de architect

De gekozen oplossing heeft uit ecologisch en kosten-technisch opzicht veruit de voorkeur boven de oplossing af te dalen naar de rivier en deze laag te kruisen: er zou dan een tunnel noodzakelijk zijn en de ingreep in de omgeving zou gigantisch zijn. Ook met het oog op de bouwactiviteiten is dit het meest gunstig: er zijn nu slechts zeven kleine bouwplaatsen, waar de pijlers

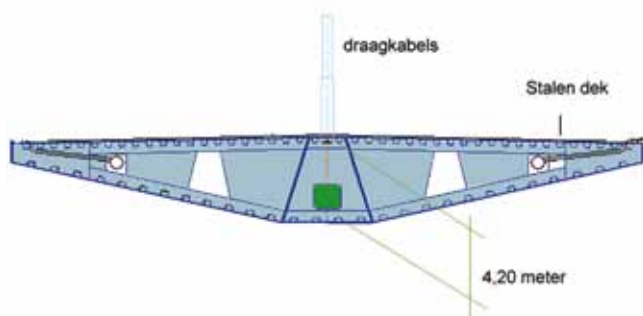


Figuur 3: bouw van de pijlers

in alle rust gebouwd kunnen worden. Meer concreet betekent dit 5000 keer minder vrachtwagenbewegingen in vergelijking met het alternatief. Voor de overspanningen waren vele oplossingen mogelijk. Een slank brugdek gedragen door tuikabels - de lichtste constructie - is in dit geval het meest economisch, mede omdat iedere kilogram besparing in gewicht een besparing in de constructie van de pijlers is.

Reizende pyloon

De overheid besloot het viaduct privé te laten bouwen en exploiteren. De Eiffage groep kreeg het werk gegund, en richtte de compagnie Eiffage du Viaduc Millau op, die het viaduct 75 jaar lang zal onderhouden en exploiteren. Gedurende de uitvoering blijft ARCADIS als ingenieursbureau nauw betrokken bij de werkzaamheden, zowel vanwege haar grote ervaring met het ontwerpen van grote bruggen als met ecologisch verantwoord construeren. De uitvoering is gestart in oktober 2001. In het Tarndal worden op zeven plaatsen de fundamente gestort voor de pijlers. Deze fundamente zijn stevig ingebed in de rotsbodem. Vervolgens worden hierop de



Figuur 4: doorsnede van het rijdek



Figuur 5: de pyloon op het voorste deel van het dek, tijdens het schuiven

betonnen pijlers gebouwd (figuur 3).

De pijlers zijn gebouwd met behulp van een glijbekisting. De glijbekisting is een constructie op zich, zestien meter hoog en bestaand uit meerdere verdiepingen: één voor het vastmaken en losmaken van de ondersteuning en het hydraulisch hefsysteem, één voor het storten van het beton en één voor het vlechten van de wapening. Ook is het mogelijk de verlopende dikte van de pijler te volgen. In slechts twintig minuten wordt de bekisting vier meter de hoogte in geschoven.

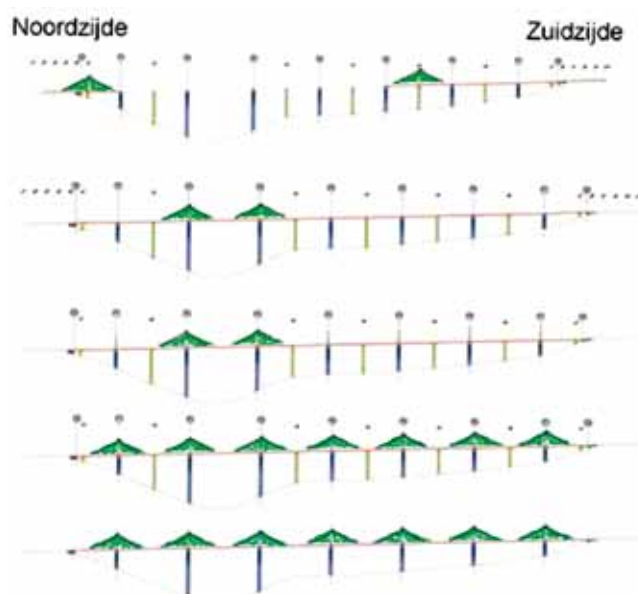
Voor het rijdek was er de keuze tussen een betonnen en een stalen constructie.

Gekozen is voor de laatste, vanwege de geringere constructiehoogte (slechts vier meter hoog) en minder risico's tijdens de uitvoering (figuur 4). Ter plaatse van de landhoofden wordt het 27 meter brede stalen rijdek, nadat het in delen is aangevoerd, geassembleerd op de bouwplaats die in het verlengde ligt van de brug. Vervolgens wordt het dek over de pijlers heen het dal in gelanceerd.

Hiertoe is tussen elke betonnen pijler een tijdelijke stalen hulppijler geplaatst, die het dek gedurende het lanceren ondersteunt. In oktober 2003 is met het lanceren gestart. Het schuiven van het 15.000 ton zware dek gebeurt met een snelheid van maar liefst zeven meter per uur. Na twee dagen heeft de 350 meter lange sectie de eerste pijler bereikt. Daarna wordt het volgende deel van het dek geassembleerd op de bouwplaats en wordt de lancering na circa vijf weken vervolgd, totdat het begin



Figuur 6: zicht op de laaghangende bewolking in het dal



Figuur 7: fasering

van het dek de volgende pijler bereikt. Vanuit het landhoofd aan de andere zijde gebeurt hetzelfde, waardoor beide delen van de brug elkaar in de zomer van 2004 boven de rivier de Tarn zullen ontmoeten en aan elkaar worden gelast (figuur 8). Omdat midden boven de rivier de Tarn geen hulppijler kan worden geplaatst én om het voorste deel van het rijdek voldoende stijfheid te geven, is de pyloon met gespannen tuikabels reeds op de eerste sectie van het rijdek aangebracht. Deze pyloon schuift dus op het brugdek mee naar het eindpunt. Een spectaculair gezicht, zo'n door de lucht reizende pyloon! (figuur 5)

In figuur 6 is de brug te zien tijdens de uitvoeringsfase, waarvan de fasering is aangegeven in figuur 7. Nadat de brug in zijn geheel boven het dal ligt, zullen de andere pylonen één voor één boven de pijlers op het rijdek worden geplaatst. Dit gebeurt met een speciaal daarvoor ontwikkelde kraan, die op het dek rijdt en de pylonen rechtop zet. Als de tuikabels zijn bevestigd en afgespannen, kunnen de hulpsteunpunten onder het dek worden verwijderd.



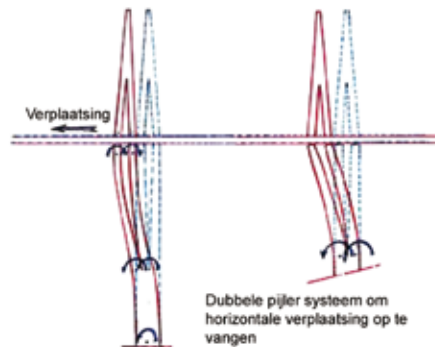
Figuur 8: vanuit beide uiteinden worden de dekken naar elkaar toe geschoven



Figuur 9: de S-bocht in het dek is goed te zien



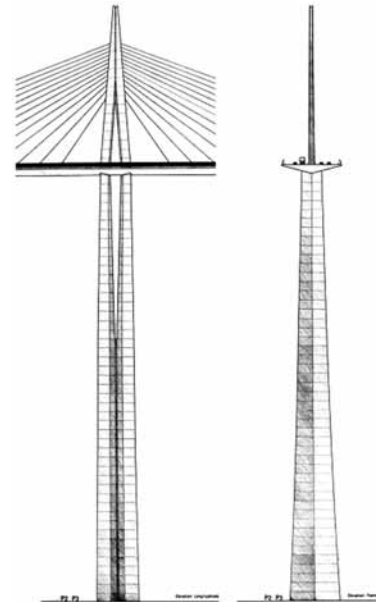
Figuur 10: doorbuiging van het dek als gevolg van het gewicht van de pyloon



Figuur 11: Opname van horizontale vervorming



Figuur 13: de brug bij Millau, zoals hij in 2005 voor het verkeer geopend zal worden. ARCADIS was erbij betrokken vanaf de allereerste studie in 1993 tot en met de detailberekeningen en tekeningen



Figuur 12: tekening van een pijler

Tenslotte zullen de negen bouwplaatsen (zeven ter plaatse van de pijlers en twee bij de landhoofden) volledig worden ontmanteld en teruggegeven aan de natuur. Als alles op schema blijft verlopen komt de totale bouwtijd op 39 maanden.

Symbiose vormgeving en constructie

Deze spectaculaire bouwmethode stelt hoge eisen aan het ontwerp van het dek. De vier meter hoge, V-vormige stalen kokerconstructie moet grote vervormingen kunnen opnemen. Allereerst dient het dek vanaf het landhoofd vier meter (de constructiehoogte van het dek) te zakken naar het uiteindelijke niveau, waardoor het in een verticale S-bocht komt te liggen (figuur 9). Vervolgens is er ook nog de pyloon die op het voorste deel van het dek staat. Als deze pyloon tijdens het schuiven van het dek tussen een pijler en een hulppijler in staat, buigt het dek als gevolg van het gewicht zo'n twee meter door, wat een golf in het hele dek veroorzaakt (figuur 10). Het stalen dek is op deze krachten gedimensioneerd.

De zeven pijlers onder het dek hebben een spannende vormgeving: halverwege splitst de pijler zich als een

stenvork in tweeën (vanaf de zijkant van de brug gezien). Het lijkt of de architect zich heeft uitgeleefd, maar het dient een noodzakelijk doel: de pijlers moeten de horizontale vervorming van de brug als gevolg van temperatuurwisselingen kunnen opnemen. (figuur 11 en 12).

Door de pijler te splitsen wordt een buigzaam en toch stabiel geheel verkregen. Ook blijven op deze wijze het dek en de pyloon boven op de gespleten pijler kaarsrecht. Constructief en qua vormgeving dus een bijzondere symbiose.

De in aanbouw zijnde brug trekt nu al honderdduizenden geïnteresseerden naar het gebied. Straks, na oplevering in januari 2005, zullen vele vakantiegangers richting het zuiden de brug passeren (figuur 13). Alleen al het feit dat de kilometers lange file bij Millau dan tot het verleden behoort zal menigeen bekoren. Maar dat niet alleen: de brug zal hét landmark worden voor de regio, even beroemd als de Eiffeltoren voor Parijs. Het visitekaartje voor Millau, waar wordt bewezen hoe een staaltje architectuur en constructie prachtig kan opgaan in, en één kan worden met het landschap.

BERICHTEN

Nieuwe hoofdingenieur-directeur van de Bouwdienst Rijkswaterstaat

Op 26 september 2003 nam ir. M.J. Olierook afscheid als hoofdingenieur-directeur van de Bouwdienst Rijkswaterstaat en wel tijdens het seminar, dat gehouden werd in het Keringhuis naast de Maeslantkering in de Nieuwe Waterweg. Het thema van dit seminar was: Olierook integreert infrastructuur, inrichting en ontwerp. Dat thema was niet zomaar gekozen, vormgeving van de infrastructuur en de landschappelijke inpassing daarvan had de grote belangstelling van de heer Olierook. De jaarlijkse vormgevingsdagen, die door de Bouwdienst werden georganiseerd, hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan de discussie over een andere wijze van werken bij het ontwerpen van infrastructurele voorzieningen.

Inmiddels heeft de Directeur Generaal van de Rijkswaterstaat, ir. L.H. Keijts, voor de heer Olierook een opvolger benoemd, de heer ir. L.C. Bouter, die onder meer projectdirecteur is geweest bij de Betuweroute en de Hogesnelheidslijn Zuid. Onder zijn leiding zal de Bouwdienst op een zakelijker grondslag moeten worden gereorganiseerd en gericht worden op een professioneel opdrachtgeverschap. De NBS wenst de heer Bouter veel succes in zijn nieuwe functie en hoopt dezelfde prettige samenwerking als met zijn voorganger te kunnen voortzetten.

H.K.



ir. M.J. Olierook

Nieuwe brugverbinding tussen Amsterdam en Almere?

Wie van Amsterdam naar Almere moet reizen, kan dit slechts doen via een grote omweg over Weesp (per trein) of over Muiderberg (per auto). Het is dus niet verwonderlijk dat de Bouwdienst Rijkswaterstaat en de gemeente Amsterdam een haalbaarheidsstudie heeft verricht naar een rechtstreekse verbinding tussen Amsterdam en Almere via IJburg door middel van een 8 km lange brug over het IJmeer. De bestaande wegen A 1 en A 6 alsmede het drukke spoortraject tussen Amsterdam Muiderpoort en Weesp zouden dan kunnen worden ontlast. Dit is noodzakelijk omdat Almere een groeikern is die tot 400.000 inwoners zal moeten groeien en de mensen, die daar zullen wonen en werken zullen zich ook moeten kunnen verplaatsen.

Uiteraard laaien de politieke emoties voor dit plan, zoals in Nederland gebruikelijk is, hoog op. Geen geld, niet goed voor het milieu, horizonvervuiling en belemmering van de vrije vaart op het IJmeer.

De gemeenten Amsterdam en Almere zien dit project echter als een icoon, een beeldmerk voor de dubbelstad Amsterdam-Almere, vergelijkbaar met de Golden Gatebridge in San Francisco of 'De Zwaan' in Rotterdam. Het zou een dubbeldeksbrug kunnen worden, op de benedenverdieping een hoofdspoorbaan met vier sporen en op de bovenverdieping een zesstrooks autoweg. Ondanks dat dit project bijna 3 miljard euro - inclusief aansluitende wegverbindingen ruim 7 miljard - zal gaan kosten, is dit alternatief toch goedkoper dan het alternatief verbreding van de A 1, A 9 en A 6. Voor voetgangers en fietsers zal er een snelle veerbootverbinding moeten komen. Op het hoogste punt zou de brug een doorvaarthoogte krijgen van 30 m, zodat schepen met een staande mast ongehinderd van en naar de Muidense haven kunnen varen. Het onderzochte plan gaat uit van een hoge tuibrug met twee pylonen van 150 m hoogte en het trace ten zuiden van Pampus verdient volgens de plannenmakers de voorkeur, omdat wegen en

spoorwegen dan met flauwe bogen kunnen worden aangesloten op de bestaande infrastructuur in Almere. Over de Gooiboog, een stukje spoorlijn van 1500 meter tussen Naarden-Bussum en Almere, is ruim twintig jaar gesteggeld. Hopelijk is de realisering van deze noodzakelijke

verbinding binnenkort te verwachten. (bron: Goudse Courant)

H.K.

Architectuur en design in Nederland

Van toeristen wordt in 2004 verwacht dat zij letten op architectuur en design, hét thema voor dit jaar. De Nbs tracht samen met de TU Delft en het Techniek Museum Delft hierop in te spelen door het organiseren van een tentoonstelling over bruggen. Volgens de organisatie 'Toerisme Recreatie Nederland' (TRN) hebben buitenlanders veel interesse voor onze architectuur en design, Nederland staat er vol mee. De nieuwe wijken Java-eiland, KNSM-eiland en IJburg in Amsterdam en de stationswijk in Den Haag, de Erasmusbrug in Rotterdam en vele indrukwekkende projecten in de rest van Nederland zijn die aandacht meer dan waard. De TRN verwacht dat de plaatselijke VVV's op het thema zullen inspelen.

H.K.

Bouwen met Staal

Per 1 januari van dit jaar zijn bij de Stichting Bouwen met Staal (BmS) enige veranderingen doorgevoerd. Vanaf 2000 liet de vereniging Bouwen met Staal al hun activiteiten uitvoeren door de Stichting BmS. Met ingang van 1 januari 2004 laat nu ook de Vereniging Samenwerkende Nederlandse Staalbouw (SNS) haar activiteiten ook uitvoeren door de Stichting BmS. De Stichting BmS wordt samen met de SNS in het voorjaar 2004 gehuisvest in een gebouw in Zoetermeer, vlak bij het NS Station. Ir. J. Naessens MBA is benoemd tot voorzitter van de Stichting BmS. Ing. R. Lutke Schipholt is aangesteld als algemeen directeur van de Stichting BmS en ing. A.G. Brunt MBA komt de Stichting BmS versterken als adjunct-directeur.

H.K.

BOEKBESPREKING

SPOOR & TREIN Editie 14
Hardcover | 160 Pagina's | Uitgeverij
De Alk | 2003 | € 32,50 | ISBN: 90
6013 247 5



Onder redactie van de heren Carel van Gestel, Jurgen Houben en Peter van der Meer is er in de serie 'SPOOR & TREIN' eind vorig jaar (2003) editie 14 uitgekomen. In deze serie boeken wordt door uitgebreide artikelen in woord en beeld aandacht geschonken aan de vele facetten van het materieel, de infrastructuur en de spoorweghistorie van Nederland en is het tevens een kennismaking met het railvervoer in het buitenland.

Door Jurgen Houben is een mooie bijdrage geschreven over spoorbruggen in Nederland. Het betreft deel 2: Beweegbare bruggen. In editie 13 heeft hij een beschouwing gegeven over vaste spoorbruggen in Nederland.

In het uitgebreide artikel van 45 bladzijden, wordt een heldere uitleg gegeven over beweegbare (spoor)-bruggen op basis van de verschillende bekende bewegingsrichtingen. Per brugtype wordt een stukje geschiedenis, de werking en uitvoeringsvormen van het specifieke type beschreven en zijn vele fraaie verhelderende foto's en tekeningen weergegeven. Hierbij is ruime aandacht voor de bewegingswerken en de bijzondere aspecten die bij de toepassing van beweegbare

spoorbruggen noodzakelijk zijn. De auteur is er mijns inziens in geslaagd in zijn hoofdstuk van dit prachtige boek een compleet beeld van de verscheidenheid aan (spoor)brugtypes weer te geven. De treinliefhebbers krijgen hierdoor een goed beeld van de technische kant van de spoorbruggen in Nederland. Dit boek is niet alleen voor treinliefhebbers, maar ook voor liefhebbers van "gewone" bruggen een aanrader.

door: ing. B. Spaargaren
Grontmij Advies & Techniek bv

Foto pagina 1 van het boek: De laatste ophaalbrug met panamawiel aandrijving in het Nederlands spoorweginet bevindt zich in de museumspoorlijn tussen Hoorn en Medemblik. Het spoor en de brug zijn gelegen over het bovenhoofd van de schutsluis naar het toegangskanaal van de drooggelegde Wieringermeerpolder.

BEGUNSTIGER

De gelegenheid bestaat om begunstiger van de Nederlandse Bruggen Stichting te worden. Dit houdt in dat men viermaal per jaar het door de NBS uitgegeven blad "BRUGGEN" zal ontvangen. Voorts zal de stichting bevorderen dat bij evenementen, die de Nederlandse brugbouw betreffen, begunstigers voordeel genieten. Dit geldt met name voor publicaties van de NBS. De begunstigersbijdrage is minimaal € 17,50 per jaar voor particulieren en € 70,- per jaar voor instellingen en bedrijven. Voor aanmelding is het voldoende om een bedrag te storten op de postbankrekening van de stichting (postrekening 58975) ten name van de penningmeester van de NBS te Delft. U kunt zich ook via de website aanmelden:

www.bruggenstichting.nl



*In aanbouw zijnde pijlers
voor de brug bij Millau*