

SNELFIETSROUTE MAAS-WAALPAD

Alex van Ham | ingenieursbureau gemeente Rotterdam

Joop Hardeman | projectmanager gemeente Cuijk

Edwin Schepers | projectleider HSM

Remco Wiltink | projectleider Zublin-HSM

In en rondom de regio Arnhem-Nijmegen werken diverse overheden al ruim 10 jaar samen aan het uitrollen van een snelfietsroutenetwerk. Door de woon- en werklocaties in de regio met snelfietsroutes te verbinden, wordt er een reëel alternatief voor het gebruik van de auto gerealiseerd.

VOORBEREIDING

In eerste instantie onder aanvoering van de stadsregio Arnhem-Nijmegen, maar anno 2020 door de Provincie Gelderland, worden verkennings- en ontwerpprocessen georganiseerd met als doel om het snelfietsnetwerk verder uit te breiden. Wanneer het tracé-ontwerp uitgewerkt is en het benodigde budget is zeker gesteld, gaan de betreffende gemeenten aan de slag met de daadwerkelijke realisatie. De hiervoor benodigde middelen komen van alle bij die route betrokken gemeenten en provincies, al dan niet nog aangevuld met rijksbijdragen. Voor de verbinding van de Campus Heijendaal in Nijmegen (Gelderlands grootste werklocatie) met station Cuijk (in Brabant) betekent dit dat er een unieke samenwerking nodig is tussen de provincies Gelderland, Brabant en Limburg en de gemeenten Nijmegen, Heumen, Mook & Middelaar en Cuijk. Doel is een snelle en comfortabele fietsverbinding te realiseren waardoor de druk op het bestaande wegennet afneemt. De route wordt in een aantal onderdelen opgeknipt, waarbij het kruisen van de Maas en de spoorlijn Nijmegen-Venlo in een deeltracé wordt ondergebracht en verder gaat als het project fietsbrug Cuijk-Mook. De op dat moment recente ervaring van de

gemeente Nijmegen met het realiseren van een op zichzelf staande brug over een grote rivier (De Oversteek), wordt aangesproken. De gemeente Cuijk treedt namens de betrokken overheden op als opdrachtgever, en de voorbereidingen kunnen van start. In de periode 2015-2017 worden door het projectteam de voorbereidingen voor het starten van een aanbestedingsprocedure uitgevoerd. Bestemmingsplannen wordt geschreven, gronden aangekocht en werkafspraken met de betrokken weg- en waterbeheerders gemaakt. Bijzonder zijn de afspraken met ProRail over het ongelijkvloers kruisen van de spoorbaan en het integreren van de snelfietsroute met de hooggelegen spoorbaan. Gemeente Cuijk krijgt een ontheffing van de spoorwegwet inzake het realiseren van hoofdspoorweginfra, een activiteit die bij wet exclusief bij ProRail belegd is. De gemeenten Cuijk en Mook & Middelaar worden na realisatie eigenaar van de te realiseren brugconstructie. Met hen worden beheersinhoudelijke afspraken gemaakt over het beoogd gebruik en de gewenste onderhoudsvriendelijkheid. Als belangrijkste zekerheid voor de gemeenten op een brug met een kleine onderhoudsinspanning wordt besloten op het inkopen op basis van een ontwerp, bouw en onderhoudscontract (Design, Built en Maintenance).

Het projectteam regelt op basis hiervan een uitvraag in waarbij er hoge eisen aan onderhoudsvriendelijkheid worden gesteld, er 25 jaar onderhoud wordt ingekocht, de prijs vast staat en de gunningscriteria in hoofdzaak gaan over het kwalitatief inpassen van de snelfietsroute en het ontwerpen van benodigde constructies (ruimtelijke kwaliteit).

DE AANBESTEDING

Wanneer aanbesteden een wedstrijd is, dan ging het er bij de Fietsbrug Cuijk-Mook om wie het beste landschappelijke en architectonische ontwerp kon maken.

De ligging van de snelfietsroute was in hoofdlijn bepaald, maar de precieze inpassing, de landschappelijk te creëren kwaliteit, en de locatie en het type te realiseren constructies kon daarbinnen vrij worden ingevuld. Een samenwerking van ontwerpers, constructeurs, bouwers en ingenieurs was dus aan marktzijde nodig om tot een succesvolle aanbidding te komen.

Bouwen in de uiterwaarde van de Maas was vanwege de te overbruggen lengte (ca. 360 m) waarschijnlijk. Hiervoor was door aanbesteder een specifieke bilaterale gespreksronde ingericht. De bij inschrijvers betrokken hydraulische ingenieurs konden zodoende ten behoeve van het



1 3D-aanzicht van de brug in de omgeving

aanbiedingsontwerp al in gesprek met de uitwerking van het hydraulische beleid van de waterbeheerders in het aanbiedingsontwerp.

Landschappelijk samenwerkende overheden hebben ervoor gekozen om de route te koppelen aan de bestaande spoorlijn Nijmegen-Venlo. Technisch inhoudelijk betekende dit dat er tevens ruimschootse kennis van het ontwerpen en bouwen van hoofdspoorweginfra (HSWI) benodigd was om het ontwerp aan alle gestelde eisen te kunnen laten doen. De oude bestaande spoorbrug (met steunpunten van voor 1900) en aansluitende hooggelegen spoorbanen dienden door de realisatie dusdanig beperkt beïnvloed te worden dat treinverkeer tijdens realisatie doorgang kon blijven vinden.

Aan opdrachtgeverszijde was er een andere uitdaging. Want hoe ruimtelijke kwaliteit te beoordelen wanneer je met twee

welstandscommissie te maken hebt? En hoe de welstandscommissies van Mook & Middelaar en Cuijk van kennis te voorzien die dusdanig is dat er tot ruimtelijke kwaliteitscriteria en navolgende beoordelingen gekomen kan worden?

De oplossing is gevonden in het inrichten van een kwaliteitsteam. Hierin hebben beide gemeenten (incl. afvaardiging van de welstandscommissies) zitting genomen, en onder aanvoering van een onafhankelijk voorzitter is gekomen tot het ruimtelijk kwaliteitsdocument. Dit maakte deel uit van het aanbestedingsdossier, was daarmee voor inschrijvers beschikbaar en diende als toetskader op de aanbiedingen. De winnende aanbieder zelf diende vervolgens als toetskader voor de omgevingsvergunningen. Het kwaliteitsteam adviseerde daarin de beide welstandscommissies. In de praktijk betekende dit dat de bevindingen van het kwaliteitsteam gelijk zijn aan de bevindingen

van de welstandscommissies. En was daarmee de belangrijke betrouwbaarheid van het in stand kunnen houden van het aanbiedingsontwerp ten behoeve van de omgevingsvergunningen geborgd.

INSCHRIJVINGSASPECTEN

DE INSCHRIJVER

De Combinatie Züblin-HSM heeft samen met de ingenieursbureaus ABT, Gemeentewerken Rotterdam en Geonius ingeschreven op het project Fietsbrug Cuijk – Mook. Het team had de opgave om een architectonische en landschappelijke ontwerp op te stellen, wat enerzijds voldeed aan alle gestelde eisen en wat anderzijds, beoordeeld tegen het ruimtelijk kwaliteitsdocument, van voldoende onderscheidende kwaliteit was om de aanbesteding te kunnen 'winnen'.

Door de woon- en werklocaties in de regio met snelfietsroutes te verbinden, is er een reëel alternatief voor het gebruik van de auto gerealiseerd.

Het fietspad van dit deel van de snelfietsroute loopt over de gehele lengte parallel aan de bestaande spoorverbinding tussen Nijmegen en Venlo. Aan de Cuijkse zijde loopt het eerste deel van het fietspad op maaiveldniveau en heeft twee gelijkvloerse kruisingen met lokaal verkeer. Daarna volgt een geleidelijke stijging op een uitbreiding van de bestaande spoordijk. Aan de Mookse zijde passeert het fietspad middels een viaduct de provinciale weg en loopt dan geleidelijk weer naar het maaiveldniveau, waar het vervolgens aansluit op een eerder gerealiseerd deel van de snelfietsroute.

De door de Combinatie Züblin-HSM ingeschakelde landschapsarchitect Karres en Brands heeft er bij de landschappelijke inpassing voor gekozen om aan te sluiten op de bestaande omgeving. Dit om op deze wijze de snelfietsroute natuurlijk in het landschap op te laten gaan. Aan de Cuijkse zijde betekent dit dat het open karakter van het landschap zo goed mogelijk wordt behouden: de fietser houdt een weids uitzicht over de jonge rivierkleipolders, tegelijk blijft de spoorbaan een natuurlijke groenzone. Het maakt onder andere deel uit van het habitat van een das. Aan de Mookse zijde is besloten om de bosrijke inrichting zoveel mogelijk te behouden, door gebiedseigen soorten begroeiing (eik, haagbeuk, veldsdoorn) in een onregelmatig verband terug te plaatsen. Als inschrijvende partij lag de grootste uitdaging in het ontwerp van de fietsvoetbrug. In het contract was alleen de breedte van de brug, te weten 6 m, gegeven. Voor het overige was er een grote ontwerpvrijheid. Bij het opstellen van de ontwerputgangspunten is ook nadrukkelijk rekening gehouden met de kostprijs, de onderhoudbaarheid van de constructie en de bouwmethode. Dit laatste aspect werd mede ingegeven door de nabij gelegen spoorbrug.

Deze bestaande spoorbrug heeft een rivierpijler in het midden van de vaargeul. Dit is binnen de huidige wetgeving niet meer toegestaan, waardoor de overspanning van de fietsbrug dubbel zo groot is geworden, zo'n 145 meter. Om de maatverhouding met de spoorbrug in balans te krijgen, heeft Quist Wintermans Architecten in het ontwerp van de fietsbrug voor een zo laag mogelijk vakwerk gekozen, zodat deze onder de hoogte van de spoorbrug blijft. Omdat de fietsbrug veel lichter is dan de spoorbrug, kan dit. We doen hiermee recht aan het hiërarchische verschil tussen spoor en fiets.

2 Doorsnede van de constructie in het midden van de overspanning

Meerdere vormen van vakwerken zijn in de tenderfase de revue gepasseerd. Van rechthoekig tot gebogen vormen. Onder andere eenvoudige detaillering, geringere massa en transporteerbaarheid hebben geleid tot het huidige ontwerp. Het eindresultaat is een stalen hoofdoerspanning van ca. 145 meter en aanbruggen met een totaallengte van ca. 215 meter (360 m brug). De visuele afstand tot de bestaande spoorbrug en de fietsbrug is ca. 20 meter. Tussen de fundaties van beide bruggen onder het maaiveld is deze echter maar 3,0 m.

TREINEN MOETEN BLIJVEN RIJDEN

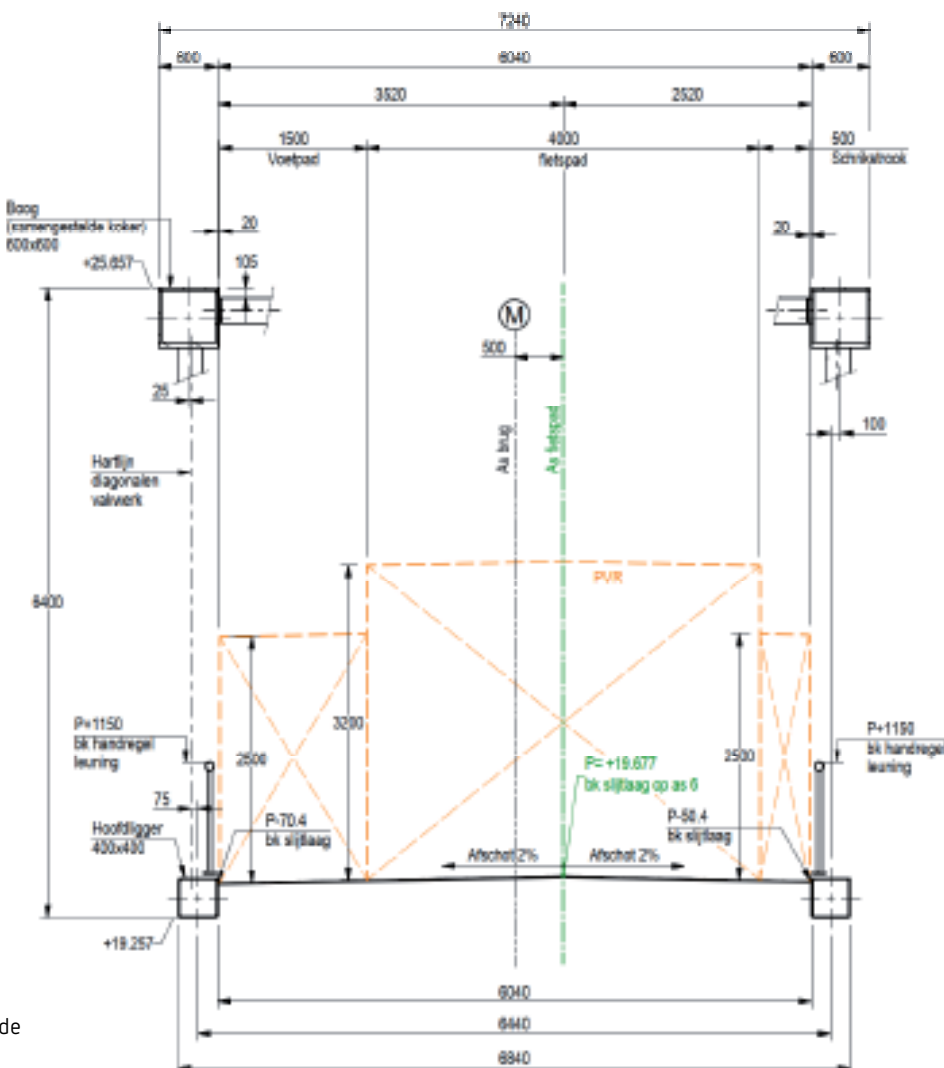
Gelet op de aanwezigheid van een vaste spoorstaafbevestiging op de spoorbrug in combinatie met een houten paalfundering waarvan de paallengte onbekend was, is voor de nieuwe brug gekozen voor trillingsvrije bouwmethodes om zetting van de bestaande brug te voorkomen.

Het trillingsvrij aanbrengen van de palen en de bouwkuip hebben het gewenste resultaat opgeleverd: geen meetbare zetting van de bestaande spoorbug.

Ook de schuin gepositioneerde rivierpijlers is een opvallend aspect in het ontwerp. Deze schuine loopt door in de staalconstructie van de hoofdoerspanning en geeft de brug een unieke vormgeving. De hooggelegen landhoofden zijn gepositioneerd op 'gewapende grond' dat onderdeel uitmaakt van de aangrenzende zandophoging.

EIGENTIJD

Zoals eerder aangegeven, is gekozen voor een brugontwerp dat past bij de vakwerkconstructie van de bestaande spoorbrug, maar die van deze tijd is en uitdrukking geeft aan de landschappelijke context. Een lange, dunne snelle beweging over het gehele stroomgebied van de rivier, inclusief de uiterwaarden. Om dit te bereiken heeft Züblin-HSM in samenwerking met Quist

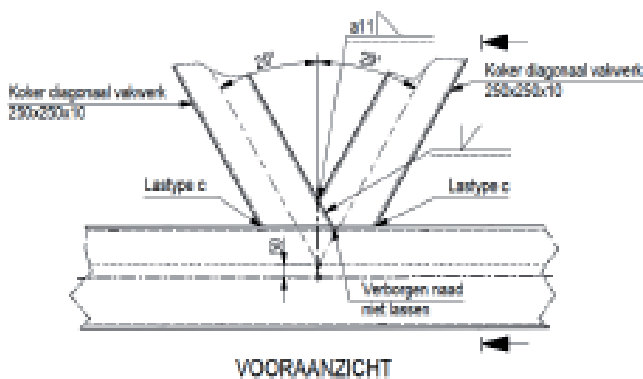


Wintermans Architecten gekozen voor geleidelijk verlagen van het vakwerk naar de rivierpijlers toe. Hierdoor ontstaat er een soepele overgang tussen de aanbruggen en de hoofdoerspanning. We versterken dit nog door de zijvlakken van de aanbruggen en de bovenregel van het vakwerk dezelfde lichte kleur te geven: deze reflecteert het daglicht en wordt daarmee duidelijk zichtbaar. De diagonaalverbanden en het brugdek dat als onderregel van het vakwerk functioneert, maken we daarentegen donker van kleur. Een lange lichte lijn is daarmee ontstaan.

Om de opstuwing van het rivierwater niet te verhogen, zijn de brugpijlers in de stroomschaduw van de spoorbrugpijlers geplaatst. De tussenpijlers in de uiterwaarden zijn van beton en terughoudend vormgegeven om zo min mogelijk op te vallen. De rivierpijlers, ook van beton, zijn zwaarder vanwege de grote overspanning van het vakwerk maar ook om de mogelijk aanvaring van de scheepvaart te kunnen weerstaan. Deze pijlers hebben een meer expressieve vorm door deze onder een hoek van ca. 70 graden te plaatsen. Deze schuinite wordt doorgezet in de bovenliggende staalconstructie en brengen daarmee de sprong over de vaargeul meer tot uitdrukking en geven de gehele constructie de eigentijdse vormgeving.

DE FIETSBRUG

De uitkomst van dit ontwerpproces is een 360 m lange brugconstructie geworden met een symmetrisch profiel. De aanbruggen zijn van beton, de hoofdoerspanning van staal. Door op de aanbruggen een stalen rondprofiel te ontwerpen van dezelfde maat en kleur als de bovenregel van de hoofdoerspanning, ervaar je de brug als de gewenste lange lichte lijn. Een lange lijn die goed aansluit bij de aanwezige lange landschappelijke lijnen als de spoorlijn en de Maas en haar waterkeringen. Maar tegelijk in sterk contrast tot de zware, puur functionele verschijning van de bestaande spoorbrug. Op deze wijze is het gelukt om een eigentijds en uniek ontwerp uit te werken dat voldoet aan de gestelde eisen en passend is voor deze functie en locatie.



3 Detail van de knoop met overlapverbinding ($\lambda_{ov} \approx 40\%$)

CONSTRUCTIEVE ASPECTEN

HOOFDOERSPANNING

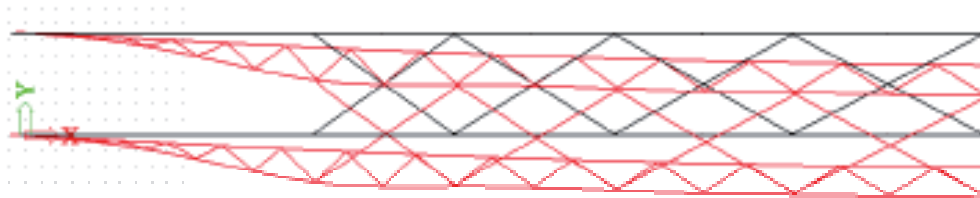
De belangrijkste uitdaging in het ontwerp van de grote hoofdoerspanning was het beperken van de constructiehoogte in combinatie met het geleidelijk verlagen van het vakwerk. Alternatieven, zoals boog- en tuibruggen, zijn door de beperkte constructiehoogte al direct uitgesloten en er is gekozen voor een vakwerkbrug. De brug heeft een gebogen bovenrand maar is qua constructief gedrag een vakwerkbrug. De boogwerking is zeer beperkt.

ONTWERPKEUZES

De eerste ontwerpkeuze welke is gemaakt, is om de buis-buisverbindingen uit te voeren met een overlap van circa 40%.

Door overlapverbindingen toe te passen, wordt de capaciteit van de verbinding van de diagonaal voor normaalkrachten nauwelijks beïnvloed door de wanddikte van de randstaaf. Daarmee is het mogelijk om de randstaven te optimaliseren en deze enkel te ontwerpen op de globale krachtwerving. Het voordeel is dat de randstaven niet (onnodig) zwaarder hoeven te worden uitgevoerd voor de lokale krachtwerving en dat het verbindingsonwerp niet kan leiden tot een wijziging in het hoofdontwerp en daarmee in de krachtwerving.

In de verkennende fase is onderzocht of de constructie zonder windverband kan worden uitgevoerd. Daarmee zou de stabiliteit van de bovenregel enkel worden verzorgd door de diagonalen en troggen. De stijfheid van deze



4 Eerste knikvorm van de brug (bovenaanzicht van de brug met bovenwindverband)

steungevende onderdelen is echter ruimschoots onvoldoende waarmee een windverband over de grote lengte noodzakelijk is of de bovenregel zeer zwaar moet worden gedimensioneerd wat zowel visueel als financieel geen optie is. Qua ontwerp van het windverband is gekozen door de architect voor X-verbanden welke qua geometrie aansluiten bij de diagonalen. De eindzones zijn niet voorzien van een

windverband omdat deze in het profiel van vrije ruimte zouden komen door de beperkte constructiehoogte. Opvallend is dat de gebruikelijke dwarsligger aan het eind van het windverband als onderdeel van het eindportaal ontbreekt wat ook terug te zien is in de knikvormen. Om de stalen hoofdoerspanning te optimaliseren, is overwogen om deze te koppelen aan de betonnen aanbruggen

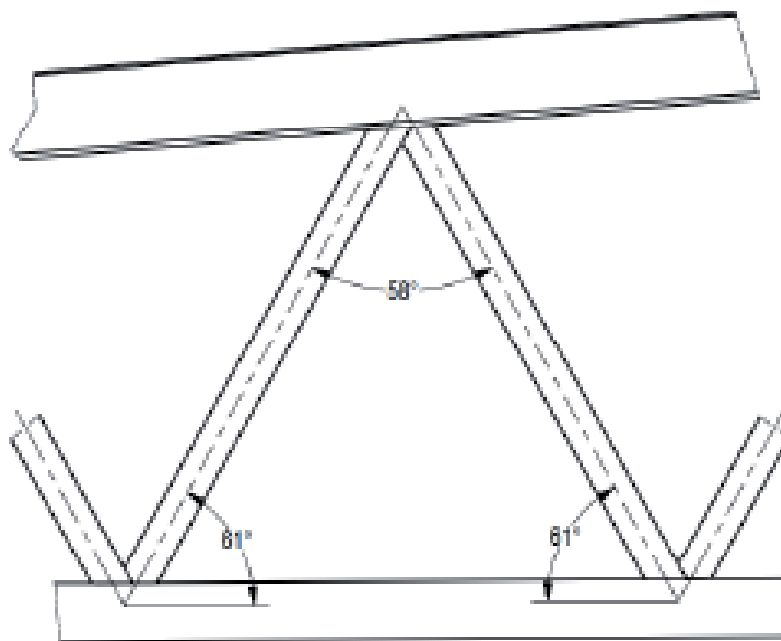
Landschappelijk is er door de opdrachtgever voor gekozen om de route te koppelen aan de bestaande spoorlijn Nijmegen-Venlo.

waarmee een doorgaande ligger wordt gecreëerd. Dit is gunstig voor de stijfheid voor trillingen t.g.v. het passeren van voetgangers en reduceert het veldmoment van de hoofdoverspanning welke qua stabiliteit van de bovenregel maatgevend is. Echter, aangezien de constructiehoogte nabij de opleggingen klein is (circa 2,4 m) ten opzichte van de constructiehoogte in het hart van de overspanning (circa 6,4 m) kan maar een zeer beperkt steunpuntsmoment worden geïntroduceerd bij de opleggingen. De constructiehoogte heeft een kwadratische invloed op de stijfheid waarmee de stijfheid dus ook beperkt kon worden verhoogd. De nadelige effecten zoals de benodigde nauwe afstemming bij het integraal ontwerpen van een statische onbepaalde ligger tussen de ontwerppartijen, alsmede de bijkomende uitvoeringswerkzaamheden van de zware inkleemverbinding tussen staal en beton, wegen zwaarder dan de voordelen van de doorgaande ligger. Om die redenen is gekozen voor een statisch bepaalde hoofdoverspanning.

In het begin van het project is ook het concept van de hemelwaterafvoer bepaald. De hoogte en de toog van de hoofdoverspanning is begrensd aan de onderkant door het profiel van vrije ruimte van de vaarweg en aan de bovenkant door de keuze om niet boven de spoorbrug uit te komen. Als gevolg van de benodigde constructiehoogte is er maar een zeer beperkte toog mogelijk in de brug. Door de toog zoveel mogelijk te beperken, is ook de stijghoogte voor fietsers zo klein mogelijk wat het comfort van de gebruikers vergroot. Echter, het gevolg van deze randvoorwaarden en keuzes is dat de langshelling onvoldoende is voor een goede afvoer van hemelwater in langsrichting van de brug. Om die reden zijn spuwers toegepast om het water direct te lozen.

CONSTRUCTIEOPBOUW

De dekconstructie bestaat uit een dekplaat met gezette troggen. De troggen staan dwars op de rijrichting en zijn gezet in het dakprofiel van de brug waardoor in het hart van de brug geen stuiknaad hoeft te worden gelast. Het dakprofiel is gekozen boven een enkelzijdige verkanting om te zorgen dat beide vakwerken op gelijke hoogte konden worden geplaatst



5 Aanzicht van de brug met diagonalen van het vakwerk

hetgeen de voorkeur heeft van de architect. De hoofdconstructie is een vakwerk met verlopende hoogte waarmee de momentcapaciteit toeneemt vanaf de oplegging naar het hart van de overspanning. De hoeken van de diagonalen zijn gelijk gehouden waarmee de verbinding van alle diagonalen aan de regels vrijwel gelijk zijn. De lengte van de diagonalen zijn door de verlopende hoogte van de constructie wel allemaal verschillend. De profielen zijn geoptimaliseerd over de lengte van de constructie afhankelijk van de benodigde capaciteit per locatie. Dit is voornamelijk voor de gelaste bovenregel van het vakwerk gedaan. De bovenregel heeft een verzwaarde onderflens waarmee de verbindingcapaciteit van de diagonalen toeneemt aangezien dit een randstaaf onder druk is. Voor de overige profielen zijn walsprofielen toegepast waarmee laswerk wordt gereduceerd. De onderregel is een randstaaf op trek waarmee de verbindingcapaciteit van de diagonalen niet afneemt als de randstaaf zwaar belast is vanuit de globale krachtwerving.

CONSTRUCTIEMODEL EN STABILITEIT BOVENREGEL

Als eerste zijn detailmodellen met plaalementen gemaakt van de typische knoopverbindingen. Op deze knopen zijn eenheidslasten geplaatst voor momenten uit het vlak van het vakwerk om de rotatiestijfheid van de knoop te bepalen, aangezien buis-buisverbindingen géén volledige inklemmingen zijn. Deze rotatiestijfheid is gebruikt in het hoofdmodel welke, behoudens de dekplaat, volledig is opgebouwd uit staafelementen. Deze rotatiestijfheid is noodzakelijk voor een juiste bijdrage aan de stabiliteitsberekening. De momenten in het vlak zijn minder van belang en zijn als volledige inklemmingen meegenomen.

Er is wel een controleberekening uitgevoerd waarbij in het vlak zuivere scharnieren zijn aangebracht. Dit is gedaan omdat in de verbindingen géén secundaire buigende momenten in het vlak van het vakwerk zijn meegenomen. Daarmee dienen de staven de aanvullende krachten wel te kunnen dragen.



6 Plaatmodel van één knoop ten behoeve van bepaling van de rotatiestijfheid

Om de stalen hoofdoverspanning te optimaliseren, is overwogen om deze te koppelen aan de betonnen aanbruggen

Het verschil, zowel in krachtswerking als in stabiliteitsvormen blijkt verwaarloosbaar (<1%) waaruit volgt dat de normaalkrachtstijfheid veel groter is dan de momentstijfheid zoals ook werd verwacht. In het hoofdmodel zijn wel de geometrische excentriciteiten van de staven die elkaar niet in de hartlijnen kruisen, in de modellering meegenomen zodat de juiste primaire kopmomenten in de diagonalen en randstaven worden geïntroduceerd. Dit zijn immers geen secundaire buigende momenten en mogen ook niet worden verwaarloosd in vakwerkconstructies.

Het berekenen en aantonen van de stabiliteit van de bovenregel is één van de belangrijkste uitdagingen van deze brug. De stabiliteit wordt verzorgd door drie steungevende elementen, namelijk het bovenwindverband in X-vorm, de eindwarsdrager als inklemming en de U-vorm van troggen en diagonalen. Uit de stabiliteitscombinatie is een eigenwaarde bepaald op basis waarvan de knikkracht en kniklengte is berekend. Deze is gebruikt in de eerste-ordetoetsing als reductie op de drukcapaciteit van de bovenregel. Aangezien de brug zich gedraagt als vakwerkbrug (en niet als boogbrug) heeft de bovenregel een sterk verlopende normaalkracht waarmee het in combinatie met de drie verschillende steungevende elementen complex is om de kniklengte nauwkeurig te controleren met een eerste-orde knikberekening. Om die reden is ook een geometrisch niet-lineaire berekening gemaakt van de maatgevende belastingcombinaties waarbij de tweede-orde effecten direct worden meegenomen. Ook de tweede-ordekrachten op de steungevende onderdelen worden daarin correct bepaald. De eerste-ordetoetsing bleek licht conservatief te zijn.

VERBINDINGEN

Buis-buisverbindingen dienen te worden berekend conform hoofdstuk 7 van eurocode 1993-1-8. De typische gevallen vanuit de Eurocode komen niet exact overeen met het ontworpen detail omdat de aansluiting van de wandstaaf op de randstaaf excentrisch is. Om toch het normdetail te kunnen gebruiken, is voor de bepaling van de verbindingcapaciteit een aangepaste schematisering gehanteerd. De randstaaf is

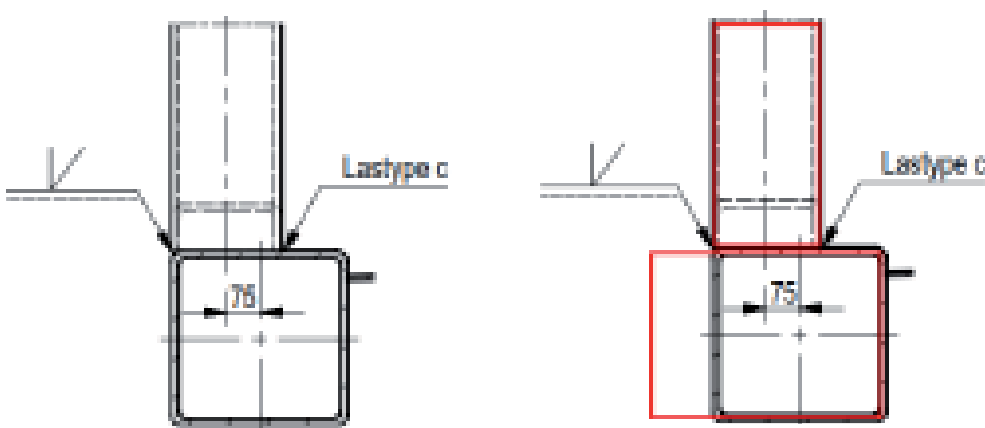
fictioneel aangepast zodat de buigingscapaciteit van de flens van de randstaaf conservatief wordt ingeschat. De waarde van $\beta (= b/b_0)$ is zodanig gekozen dat deze conservatief klein is. In de figuren is dit nader weergegeven.

Essentieel is dat de buis-buisverbindingen met volledige sterkte zijn aangelast. De

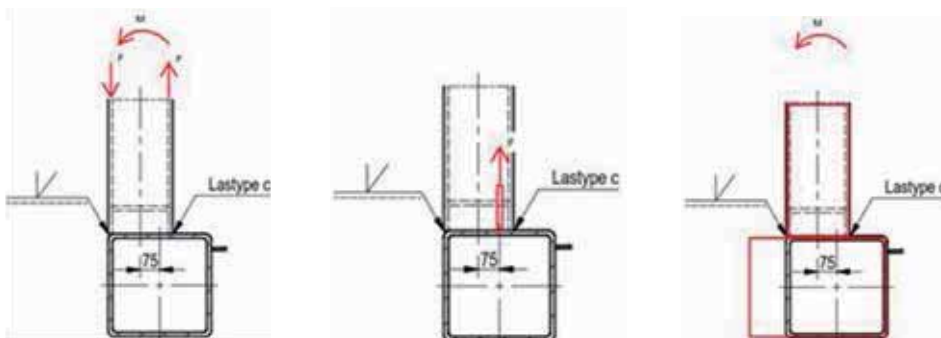
aangenomen krachtswerking is namelijk een scharnierend vakwerkmodel waarbij de secundaire buigende momenten zijn verwaarloosd. De lasverbindingen moeten daarmee wel sterker zijn dan de aansluitende staven zodat de rotaties worden opgenomen door de diagonalen en de randstaven en de lassen deze vervormingen kunnen ondergaan.

PROJECTGEGEVENS

Fietsbrug Cuijk-Mook in Maas-Waalpad (2020)	
opdrachtgevers	Gemeente Mook en Middelaar Gemeente Cuijk
vormgever	Quist Wintermans Architecten
landschapsarchitect	Karres en Brands, Hilversum
Constructeur hoofdoverspanning	Alex van Ham, Ingenieursbureau Rotterdam Geonius
Hoofdconstructeur constructies	ABT, Velp
Uitvoering staal	HSM-Züblin



7 Geometrie (links) en aangenomen geometrie (rechts) voor toetsing op normaalkrachten



8 Geometrie (links) en aangenomen geometrie (midden) voor toetsing methodiek 1 en methodiek 2 (rechts) op buiging uit het vlak