

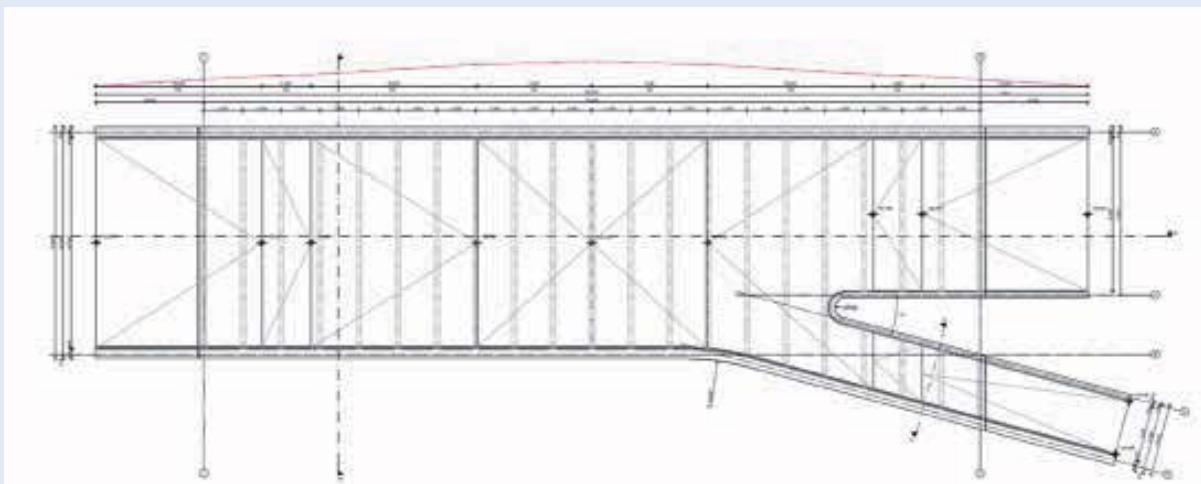
PODIUMBRUG, AANJAGER VAN EEN GEBIEDSTRANSFORMATIE

Edwin Thie | Senior Structural Engineer, Arup Nederland



Gebiedsontwikkeling voormalige industrieterrein Bocholt

Het oude industrieterrein in het centrum van de stad Bocholt (Duitsland) wordt ontwikkeld tot een nieuw gebied voor wonen en werken. SeARCH architecten, in samenwerking met landschapsarchitecten B+B, was verkozen om een concept te ontwikkelen voor de herontwikkeling van dit voormalige industrieterrein. Het gebied wordt gescheiden door de rivier de Aa en wordt omgetoverd tot een welkome openbare ruimte. Voor een goede ontsluiting zijn vier fiets+voetbruggen gepland om de beide delen van het gebied met elkaar te verbinden, maar dus ook om cohesie te creëren in de nieuwe stedelijke ontwikkeling. De verbidingsbruggen tonen de overgang van de historische industriële oorsprong naar het nieuwe culturele stadsdeel. Het ontwerp van de bruggen verbindt het heden met het verleden. Drie van de vier bruggen worden nieuw ontworpen en de bestaande voormalige spoorbrug wordt omgebouwd tot voetgangersbrug.



Bovenaanzicht

De Podiumbrücke met een overspanning van 47 m en een breedte van 14 m is de grootste van de vier. Het is niet alleen een voetgangersbrug die de twee zijden van de rivier met elkaar verbindt, maar ook een locatie voor evenementen. De Quartiersbrücke heeft dezelfde vormtaal, maar is iets kleiner in overspanning en smaller

van opzet. De Webereibrücke is een korte, gewapend betonbrug, terwijl de Eisenbahnbrücke een spoorwegbrug uit het begin van de 20e eeuw is die tot voetgangersbrug zal worden gerenoveerd. Arup was verantwoordelijk voor het constructieve ontwerp van de verschillende kunstwerken.

PODIUMBRÜCKE

Als eerste is de Podiumbrücke uitgewerkt en gerealiseerd. De feestelijke opening was in december 2018 en de brug dient als aanjager van de verdere gebiedsontwikkeling. De brug ligt nabij het Textielmuseum en bestaat uit twee dragende randliggers met een verlopende hoogte van 1,6 m tot 2,6 m in het midden, die tevens dienstdoen als leuning. Hiertussen liggen dwarsliggers waarop een kunststofdek rust.



Podiumbrücke over de Aa

MATERIAALOPTIMALISATIE

Het ontwerp van de brug is gebaseerd op de Eurocode 3: DIN EN 1993-2: stalen bruggen. Het ontwerp en de beoordeling zijn geanalyseerd met een platenmodel in Sofistik, een eindig elementenprogramma dat gespecialiseerd is in het ontwerp van driedimensionale constructies. De brug is volledig in 3D gemodelleerd om zo exact mogelijk de plaatdiktes te optimaliseren en op kosten te besparen. Vanwege de uiteindelijke slankheid van de platen was instabiliteit grotendeels maatgevend boven de sterkte van de onderdelen.

De stabiliteitscontroles worden uitgevoerd als onderdeel van de FEM-analyse. De plaatdiktes zijn geoptimaliseerd op basis van het voorkomen van instabiliteiten zoals plooi van de platen, knik van de verticale stijlen, knik van de bovenregel en kip van de geknikte randligger.

Als eerste stap is een lokale knikvormanalyse van de staalconstructie uitgevoerd om de

kritische gebieden van de randliggers in termen van stabiliteit te identificeren. Tevens zijn de lokale knikmodulussen bepaald. Deze stap is belangrijk om te begrijpen hoe de knikmodulussen eruit zien om zo de noodzakelijke imperfecties toe te passen in de volgende stap.

Als tweede stap worden deze kritische gebieden nader onderzocht. De eenvoudige details van de constructie (bijvoorbeeld rechthoekige platen) zijn ontworpen volgens DIN EN 1993-1-5, hoofdstuk 10, door gebruik te maken van de gereduceerde spanningsmethode. Deze methode kan worden toegepast om de spanningsgrenswaarde te bepalen. Het wordt gebruikt om de elastische toelaatbare spanningen in elk deel van het profiel te reduceren op basis van de lokale knik- en plooiweerstand.

Details met complexere geometrie worden als FEM-model gemodelleerd en een eerste imperfectie volgens DIN EN 1993-1-5 wordt toegepast. Dit lokale model wordt geanalyseerd middels een geometrische niet-

lineaire analyse. De resulterende spanning wordt getoetst aan de ontwerpgrenswaarde en de plaatdiktes worden geoptimaliseerd. Ten slotte wordt in een laatste stap een geometrische niet-lineaire analyse van de gehele constructie uitgevoerd. Vanwege de knik in één van de randliggers is deze gevoelig voor kip bij belastingen. Dit is een berekening die in toenemende belastingstappen rekening houdt met de werkelijke vervorming van de constructie. Voor deze analyse wordt geen rekening gehouden met initiële imperfectie, aangezien het systeem al vervormt door de toegepaste belastingen.

WEERFASTSTAAL

De hoofdliggers zijn gemaakt van weervaststaal, in de volksmond CorTenstaal® genoemd. Het duidelijke verschil tussen weervaststaal en normaal bouwstaal is dat weervaststaal onbeschermd, oftewel zonder conservering, wordt gebruikt. Een directe blootstelling aan de weersomstandigheden

Vanwege de knik in één van de randliggers is deze gevoelig voor kip bij belastingen.

tast het staal aan en vormt langzaam een beschermende laag. Dit betekent dat het corrosieproces na een paar jaar stopt en resulteert in een natuurlijke, roestkleur en een bijzonder aantrekkelijke esthetiek, passend bij oude industriële bakstenen gebouwen.

Hoewel de initiële materiaalkosten voor weervaststaal iets hoger zijn dan voor normaal bouwstaal, heeft het gebruik ervan voor bruggen economische voordelen voor de levensduur. Er is gedurende het gebruik van de brug geen hinder en evenmin zijn er kosten voor meerdere keren conserveren en alle bijbehorende werkzaamheden gedurende de levensduur van de constructie, die 100 jaar bedraagt. Een bijkomend positief effect is het milieuvoordeel: vervuiling van lucht en water, die het gevolg is van het conserveringsproces en het verwijderen van oude conserveringslagen, kan worden vermeden. Bovendien kan het staal zonder conservering aan het einde van de levensduur gemakkelijker worden gerecycled, waardoor de hoeveelheid afval minder groot wordt en een kringloopeconomie bevordert. Om ervoor te zorgen dat het corrosieproces stagneert tot het bijna tot stilstand komt, moeten de constructiedetails zo worden ontworpen dat de constructie niet permanent nat is en dat regenwater kan wegvloeien. Bovendien moet men in de detaillering ermee rekening houden dat in de eerste paar jaar roestig water andere onderdelen kan bevleken.

In het ontwerp is rekening gehouden met de materiaalafname door het corrosieproces, van één mm op de buitenzijdes van de platen. Bij de landhoofden is er bovendien rekening mee gehouden dat de beheerder over de levensduur van de constructie een aantal keer mogelijke graffiti van de constructie zal verwijderen, waardoor de materiaalafname daar nog iets groter kan zijn.

Bij het toepassen van boutverbindingen dient men bij weervaststaal gebruik te maken van weervaststalen bouten, omdat er bij het gebruik van verzinkte bouten bi-corrosie tussen de onderdelen ontstaat. Men kan in de detaillering ook kiezen voor het isoleren van de verzinkte bouten om dit te beheersen. Om de constructie egaal te laten verkleuren is het aan te raden na fabricage de gehele constructie te stralen. Dan wordt de walshuid verwijderd en zal de constructie verder gelijkmatig verkleuren.

KUNSTSTOFDEK

Glasvezelversterkte kunststof (GVVK) is een composietmateriaal dat bestaat uit twee componenten: glasvezels en polyester of epoxyhars. Beide componenten alleen zijn niet bruikbaar voor de bouw, maar samen zorgen ze voor een ideaal materiaalgedrag. Het fundamentele voordeel van een composietmateriaal is de vermindering van het gewicht in vergelijking met staal of aluminium. Het basismateriaal is licht en kan worden geoptimaliseerd door de

materiaalcombinatie en de richting van de vezel te kiezen. Om deze reden is het toegepast bij de Podiumbrug, zodat de staalconstructie niet zwaarder wordt belast dan nodig. Bovendien hebben vezelversterkte kunststoffen in vergelijking met beton of staal voordelen op het gebied van corrosie, chemische resistentie en elektrische en thermische isolatie.

In de afgelopen decennia zijn composietmaterialen steeds populairder geworden en hun voordelen worden zeer gewaardeerd. Onderzoek en productontwikkeling hebben de materiaaleigenschappen voortdurend verbeterd. Verbeterde FEM-gereedschappen maken nu modellering met realistisch materiaalgedrag en ontwerpveiligheid mogelijk.

Voor het ontwerp van het brugdek worden geëxtrudeerde VVK-profielen (FBD 300) gebruikt. Het profiel bestaat uit een prismatische holle sectie van 333 mm breed en 80 mm hoog. De segmenten worden naast elkaar geplaatst om een continu gesloten gebied over de brug te vormen. Op het bovenvlak wordt een VVK-plaat met een dikte van 10 mm op de elementen gelijmd. Deze dient als beschermlaag, omdat er bovenop het dek een 50 mm dikke asfaltlaag wordt aangebracht. Door het later verwijderen van het asfalt zou mechanische schade aan de toplaag kunnen ontstaan. Het wordt dus niet als constructief element gebruikt, maar dient slechts als beschermlaag en verbinding van de FBD 300 elementen.

Aangezien het VVK-profiel FBD 300 in Duitsland nog niet onder codes of technische goedkeuringen valt, wordt het ontwerp uitgevoerd volgens een aanbeveling van de BÜV, een technische werkgroep van controleurs.

Om het bouwproces te vereenvoudigen, wordt het VVK-profiel FBD 300 met een epoxy mortel Sikadur 30 volledig verlijmd op de stalen dwarsliggers in plaats van het toepassen van bouten. Omdat nog niet aangetoond kan worden dat de lijmverbinding een levensduur van 100 jaar heeft, is van twee scenario's uitgegaan.



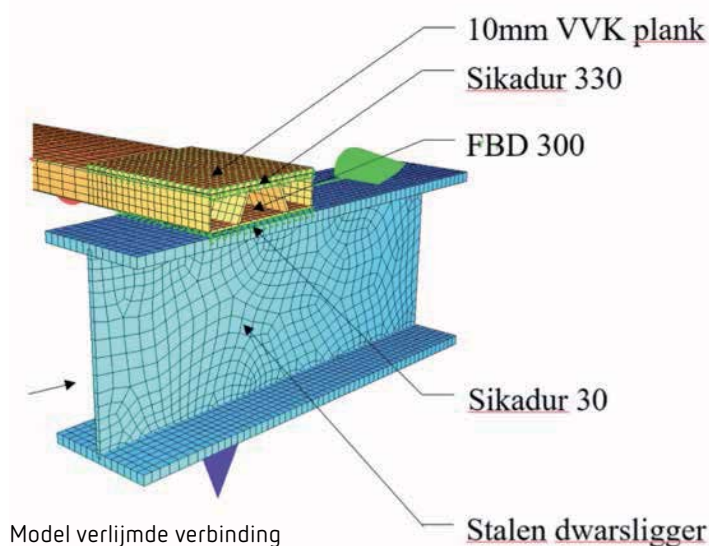
Randligger van weervaststaal

Allereerst het scenario waarbij de verbinding constructief werkt, waardoor het dek en de dwarsliggers dus samenwerken. Daarnaast is een scenario uitgewerkt waarbij de lijmverbinding niet constructief is en het dek dus niet constructief meewerkt. In dit scenario zorgt het dek niet voor horizontale schijfwerking en moet er onder de brug een windverband worden aangebracht. Het VVK-dek zal door de verbinding onderhevig zijn aan krachten vanuit het globale constructiesysteem. Deze krachten worden bijvoorbeeld veroorzaakt door de verschillende thermische uitzetting van staal en VVK en ook door het feit dat het VVK-dek zich niet in de neutrale as van de totale doorsnede bevindt. Gegarandeerd moet worden dat de lijm laag tussen staal en dek de geïnduceerde afschuifkrachten kan opnemen. Om het composietgedrag tussen de VVK en de staalconstructie te modelleren, wordt het dek als plaatelement in het globale 3D-model geïmplementeerd. Om het gedrag van de lijmverbinding af te dekken, worden deze als veerelementen gemodelleerd en aangepast aan de stijfheid van de gekozen lijm, de epoxymortel Sikadur 30. Aangezien de epoxymortel elastisch gedrag vertoont, moet de lijm laag worden ontworpen voor de hoogste spanningspieken. De doorslaggevende waarden treden op in de buurt van de hoofdligger: merk op dat het VVK-dek alleen op de vloerbalken wordt verlijmd, niet direct op de hoofdliggers. Vanwege de verschillende

uitzettingscoëfficiënten van staal en VVK ontstaan er schuifspanningen onder temperatuurveranderingen.

TRILLINGEN

Trillingen zijn de laatste jaren een belangrijk thema geworden in het ontwerp van fiets+voetbruggen. Ontwikkelingen en innovaties op het gebied van materiaaleigenschappen, architectonisch ontwerp, ontwerpmethoden en bouwtechnieken, hebben geleid tot bruggen die lichter en slanker zijn. Deze bruggen zijn over het algemeen gevoeliger voor dynamische belasting en kunnen maatgevend zijn in het ontwerp van de brug. Voetgangers zorgen voor een dynamische belasting en dit kan ervoor zorgen dat bruggen in een oncomfortabele trilling komen. Daarom is het belangrijk dat voetbruggen niet alleen ontworpen zijn voor statische belastingen, maar ook voor deze bewegende dynamische belastingen. Het tempo van de voetganger beïnvloedt het trillingsgedrag van de brug aanzienlijk. In sommige gevallen, wanneer de loopfrequentie de eigen frequentie van de brug nadert, kunnen deze trillingen tot hoge acceleraties leiden. In dat geval kan de voetganger zich ongemakkelijk of zelfs onveilig voelen. De loopfrequentie varieert tussen de 1,25 - 2,30 Hz en de grenswaarde in de norm voor oncomfortabele acceleraties is $0,7 \text{ m/s}^2$. Analyses van de Podiumbrug gaven een eigenfrequentie van de brug van 1,6 Hz,



Trillingen zijn de laatste jaren een belangrijk thema geworden in het ontwerp van Fiets+Voetbruggen

Plaats demper

dus binnen de loopfrequentie. Dynamische analyse resulteerde in te hoge acceleraties en daarom is besloten om in het ontwerp rekening te houden met dempers in de brug om dit te beheersen.

Vanwege kleine onzekerheden in de dynamische modellering is het gedrag van de brug na oplevering gemeten. De resultaten kwamen goed overeen met de aannamen. Op basis van deze meetresultaten zijn de uiteindelijke dempers afgestemd en toegepast tussen de dwarsdragers in het midden van de overspanning.

CONCLUSIE

De Podiumbrug is gerealiseerd als aanjager van de nieuwe gebiedsontwikkeling te Bocholt. Enerzijds als noodzakelijke



verbinding tussen de gebieden gescheiden door de rivier de Aa, en anderzijds ook als toegangspoort voor een extra evenementenruimte in het gebied. De brug is ontworpen met onderhoudsvriendelijke materialen als weervaststaal voor de hoofdliggers en kunststof voor het dek. Met behulp van verfijnde analyses zijn de materialen geoptimaliseerd met als resultaat een economisch ontwerp. Door deze verfijnde analyses konden de plaatdiktes worden gereduceerd zonder dat lokale instabiliteiten een gevaar zijn. En bovendien konden daarmee de trillingen van de brug worden beheerst met toepassing van externe dempers in de brug.



Verlichte brug