



Wanneer kiezen voor beton, staal of staal-beton in de infrastructuur?

Materiaalkeuze bruggen en viaducten

Bij de bouw van bruggen en viaducten kunnen verschillende bouwmethoden en materialen worden overwogen zoals beton, staal of staal-beton. De keuze wordt gebaseerd op een aantal afwegingen, zoals vormgeving, gebruiksdoel, geometrische randvoorwaarden, omstandigheden op de bouwplaats, de ervaring van opdrachtgever en opdrachtnemer en de economie. Ook de cultuur van het land kan een belangrijke rol spelen.

De materiaalkeuze voor bruggen en viaducten in de infrastructuur is feitelijk ruimer dan alleen beton, staal of staal-beton. Deze constructies zijn immers ook mogelijk in hout, steen en composieten (kunststof). Voorbeelden daarvan zijn de houten bruggen bij Sneek, diverse lichtgewicht composiet fiets- en voetgangersbruggen en ook de composiet beweegbare verkeersbrug in Oosterwolde. 'Echte' gemetselde stenen bruggen werden hier vroeger wel gebouwd, maar zijn inmiddels grotendeels vervangen door een betonnen brug met een stenen bekleding.

- 1 Tweede stadsbrug Nijmegen, boogbrug over de Waal
foto: Thea van den Heuvel / DAPh
- 2 Burgemeester Letschertbrug over Wilhelminakanaal, Tilburg
foto: Carel Kramer Fotografie

Bij betonnen bruggen is sprake van twee verschillende typen: de uit prefab liggers opgebouwde brug, en de brug van ter plaatse gestort beton. Beide zijn weliswaar van beton, maar verder zijn de verschillen groot.

Achtereenvolgens worden nu de diverse criteria besproken. Hierbij gaat het om de keuze tussen brugtype, bouwmethode en materiaal.

Vormgeving

Vormgeving is in de loop van de tijd een steeds belangrijkere rol gaan spelen bij het ontwerp van bruggen. Daarbij zijn de opdrachten gaandeweg verschoven van RAW-bestekoplossingen naar Design&Construct-oplossingen (D&C). Bij veel van deze D&C-projecten moet de vormgeving voldoen aan een ambitiedocument. Dit is een document dat in opdracht van de opdrachtgever is opgesteld door een architectenbureau waarin (strakke) richtlijnen worden gegeven waar de vormgeving aan moet voldoen.

De ontwerpvrijheid van de opdrachtnemer wordt hierdoor soms behoorlijk beperkt, waardoor economischere oplossingen niet kunnen worden aangeboden. Geen enkele potentiële



2



3

opdrachtnemer riskeert immers een ongeldige inschrijving door niet aan een ambitiesdocument te voldoen. De opdrachtnemer moet met zijn eigen architect dus weloverwogen keuzes maken om tot een winnende opdracht te komen.

Stalen bruggen of staal-betonbruggen vallen op deze wijze vaak op voorhand af, bijvoorbeeld omdat een min of meer 'betonui-terlijk' wordt gevraagd. Feitelijk ligt de keuze voor het materiaal dan al vast op basis van het ambitieniveau. Dit geldt ook voor

de keuze tussen ter plaatse gestort of prefab. Zo zijn de smalle naden tussen prefab liggers wel eens aanleiding om te kiezen voor een duurdere ter plaatse gestorte constructie.

Er zijn voorbeelden waarbij gunning feitelijk is bepaald door het architectonisch ontwerp van de opdrachtnemer, zoals de tweede stadsbrug Nijmegen over de Waal (foto 1) en de Burgemeester Letschertbrug bij Tilburg (foto 2). Daarbij moet een balans worden gevonden tussen enerzijds een economische oplossing en anderzijds het (virtuele) voordeel dat wordt toegekend op basis van de architectuur van het ontwerp.

Toch bestaat er in het aanbiedingsontwerp vaak wat grotere vrijheid in de materiaalkeuze, ook al is de vormgeving in het ambitiesdocument strak omlijnd. Door bijvoorbeeld een bekleding aan te brengen, kan het uiterlijk van de brug worden aangepast door het zicht op de eigenlijke draagconstructie te ontnemen. Bij de brug in de A50 over de Zuid-Willemsvaart bij Veghel verhult de roestvrijstalen huid bijvoorbeeld dat het hier gaat om een staal-betonbrug. En de kunststof schalen bij de Burgemeester Letschertbrug in Tilburg verhullen dat de verkeersbrug bestaat uit prefab betonnen liggers met verschillende constructiehoogten in hoofd- en eindveld.

Brugtype en gebruiksdoel

Bij bruggen worden vele typen onderscheiden, zoals een beweegbare brug, plaatbrug, liggerbrug, kokerbrug, tuibrug, boogbrug of trogbrug. Elk brugtype heeft zowel qua constructievorm als constructiemateriaal zijn eigen mogelijkheden en beperkingen.

De keuze voor het type brug is mede afhankelijk van het soort verkeer op die brug. Zo bouwt men tegenwoordig geen trogbruggen meer voor wegverkeer (zoals die nog wel in de A44 liggen), maar is dit wel een succesvol brugtype voor spoorverkeer. Een vermeldenswaardige nieuwe ontwikkeling zijn hier de



4

3 Modulaire brug aan de Hoekersingel in UHSB, Rotterdam

foto: Peter Buitelaar

4 Viaduc de Verrières in staal-beton over een 180 m diep dal

foto: Jaques Mossot
(www.structurae.com)

5 Monteren liggers Westrandweg boven Basisweg met launching girder Hercules, Amsterdam

foto: Rinze Heida / Van Hattum en Blankevoort



5

trogvormige bruggen in ultra-hogesterktebeton voor bruggen voor langzaam verkeer, zoals de Pont du Diable in Villa Navarra/Le Muy in Frankrijk, of de modulaire brug aan de Hoekersingel in Rotterdam [2] (foto 3). Voor dit type bruggen worden ook regelmatig houten en kunststof bruggen toegepast.

Met name spoorverkeer stelt een aantal specifieke eisen aan bruggen, zoals een vrij grote stijfheid en een kleine constructiehoogte. Daarom zijn tuibruggen alleen geschikt als spoorbrug als er een stijve ligger wordt toegepast (Øresund brug tussen Denemarken en Zweden). Boogbruggen daarentegen zijn zeer geschikt als spoorbrug door de grote stijfheid en kleine constructiehoogte (constructiehoogte is hierbij de afstand van onderzijde brug tot bovenzijde rijdek).

Geometrische randvoorwaarden

De geometrische randvoorwaarden bepalen de hoofdafmetingen van de constructie. Naast (gewenste) overspanningen en de benodigde breedte zijn ook het verticaal en horizontaal alignement, alsmede de maximaal mogelijke constructiehoogte, van belang.

Elke range aan overspanningen kent een aantal typen constructies die zich hier het beste voor lenen. Zo genieten betonnen prefab liggers bij overspanningen tot circa 65 m de voorkeur en worden tuibruggen in het algemeen pas ingezet bij overspanningen boven de circa 120 m.

Ook de benodigde breedte en de constructiehoogte van de constructie spelen een rol. Voor een breed wegviaduct met een niet al te grote overspanning is een (prefab) plaatviaduct een geschikte oplossing, omdat hierbij een vlak brugdek wordt gekoppeld aan een beperkte constructiehoogte. Bij een spoorviaduct zal regelmatig een trogbrug worden overwogen, omdat treinen voldoende hebben aan een krap profiel van vrije ruimte, maar meer moeite hebben met het overwinnen van

hoogteverschillen en zodoende belang hebben bij een geringe constructiehoogte.

Echt massieve plaatvormige bruggen, zoals de bruggen over de nieuwe Zuid-Willemsvaart rond 's-Hertogenbosch, worden altijd in beton uitgevoerd. De meeste plaatvormige bruggen zijn echter niet massief en kunnen dus ook goed in andere materialen, zoals kunststof, staal of staal-beton, worden uitgevoerd. Hierbij kan een huidelement voor een gesloten onderkant zorgen.

Een brede verkeersbrug met grote overspanning kan worden uitgevoerd als kokerbrug waarbij de overstekken worden ondersteund door drukschoren (brug in A2 bij Vianen). De drukschoren zijn echter alleen effectief boven een bepaalde helling, waarvoor de koker voldoende hoog moet zijn. Hier zijn breedte en constructiehoogte dus ook in zekere mate van elkaar afhankelijk. Kokerbruggen kunnen in principe worden ontworpen in beton, staal en staal-beton. Ze zijn ook in kunststof en aluminium mogelijk.

Ook tui- en boogbruggen lenen zich voor uitvoering in veel materialen, al wordt de boog van een boogbrug meestal in staal uitgevoerd. In de loop van de tijd treden echter verschuivingen op. Zo wordt naast de stalen tuibrug bij Ewijk nu een nieuwe tuibrug gebouwd in beton.

Beweegbare bruggen worden zo licht mogelijk geconstrueerd en worden daarom vaak uitgevoerd in staal. Naast staal behoren ook aluminium (Westerdoksbrug in Amsterdam) en kunststof (Hoofdbrug in Oosterwolde) tot de lichtgewicht mogelijkheden.

Ten slotte is ook de horizontale en verticale boogstraal van het kunstwerk van belang. Hier is bij ter plaatse gestorte constructies nog net iets meer mogelijk dan bijvoorbeeld bij prefab. Bij het dubbelgekromde viaduct in de Schokkerringweg bij Ens over de N50 zijn om die reden bijvoorbeeld geen prefab liggers toegepast.

De omstandigheden op de bouwplaats (bouwmethode)

De omstandigheden op de bouwplaats hebben grote invloed op de te kiezen bouwmethode en daarmee vaak ook op het type brug. Bepalend voor de (economische) haalbaarheid voor ter plaatse (in situ) gestort beton zijn de kosten van de ondersteuningsconstructie van de bekisting. Deze zullen bij een slappe ondergrond, boven water of op grote hoogte veel hoger zijn dan bij een voldoende draagkrachtige bodem die tijdens het verharderen geen zetting zal ondergaan en waarbij kan worden volstaan met een relatief eenvoudige steigerconstructie.

Naast in situ bouwen bestaat er een groot scala aan alternatieve bouwmethoden, variërend van het in prefab onderdelen monteren van de constructie, het vanuit een steunpunt uitbouwen (vrije voorbouwmethode), vooruitschuiven tijdens de bouw (schuifmethode), tot aan het in één keer op zijn plaats brengen van de complete constructie. Vrijwel alle bouwmethoden zijn in de afgelopen 50 jaar wel eens in Nederland toegepast. Nationale gewoonten spelen daar echter ook een rol bij; daar wordt later in dit artikel op ingegaan.

Duidelijk zal zijn dat de voorkeur bij een viaduct over een drukke verkeersweg of spoorweg in veel gevallen uitgaat naar

prefab beton. Voor een viaduct over een diep dal in Frankrijk (foto 4), met grote afstanden tussen de (hulp)steunpunten (tot 180 m), wordt logischerwijs gekozen voor de schuifmethode. Het is vanzelfsprekend dat soortgelijke afwegingen ook boven water gelden; ook daar zal men tegenwoordig meestal een methode kiezen waarvoor tijdens de bouw zo min mogelijk ondersteuning in het water nodig zijn. Een dergelijke afweging geldt echter ook bij bouwen boven slappe grond. Wanneer hier immers de bekisting op maaiveld wordt geplaatst, dan zal deze tijdens het storten en verharderen van het beton gaan zakken, waardoor schade aan het verhardende beton kan ontstaan. De bekisting moet in zo'n situatie dus worden opgelegd op onderheide punten, of anders moet worden gekozen voor een andere bouwmethode, zoals prefab beton of staal.

Bij voldoende repetitie in het bouwwerk kan men ervoor kiezen een ondersteuningsconstructie voor de bekisting te maken die met het werk meebeweegt, zodat men toch in situ kan bouwen. Voorbeelden hiervan zijn het HSL-viaduct bij Bleiswijk, de Utrechtboog en de fly-over Kerensheide. Ook bij prefab kunnen hulpconstructies worden ingezet om de montage te vereenvoudigen, zoals bij de Zeelandbrug en het viaduct in de Westrandweg (foto 5) boven de Basisweg in Amsterdam.



6



Ervaring

De ervaring van opdrachtnemer, en wensen van de opdrachtgever, spelen ook een rol bij de keuze voor een bepaald type brug en het te gebruiken constructiemateriaal. Van materialen waarmee minder bekendheid bestaat, zullen de risico's vaak wat hoger worden geschat, waardoor dit automatisch een wat minder voor de hand liggende keuze wordt. Bij ervaring is het ook van belang in hoeverre normen en regelgeving ten aanzien van brugconstructies in een bepaald materiaal aanwezig zijn. Het ontbreken van regelgeving voor grote kunststof verkeersbruggen vormt bijvoorbeeld een handicap voor het breder toepassen ervan. Ook de beschikbaarheid/verkrijgbaarheid van hulpmaterieel, benodigd voor de bouw van een bepaald brugtype, kan (ook economisch) een rol in spelen in de wenselijkheid bij een opdrachtnemer.

Dat staal-betonbruggen minder vaak worden toegepast, lijkt, naast vormgeving, te worden veroorzaakt door het gebrek aan ervaring bij marktpartijen. Aannemers zijn veelal uitsluitend betonbouwer ofwel uitsluitend staalbouwer, zodat het equipment, om zo'n staal-betonbrug snel en economisch te bouwen, ontbreekt.

Soms heeft een opdrachtgever specifieke wensen ten aanzien van de brug. Redenen kunnen zijn: duurzaamheid, onderhoud of innovatie. Bewust vooraf kiezen voor een constructie in kunststof of hogesterktebeton zijn hier voorbeelden van. Hoewel de ontwerpnormen in de Europese Unie nu grotendeels zijn gelijkgetrokken, blijven er grote verschillen bestaan tussen de verschillende landen ten aanzien van de keuze voor bepaalde bouwmethoden, dan wel constructietypen. Nederland onderscheidt zich vooral door de prefab-liggersystemen voor viaducten in infrastructuur die de ons omringende landen niet in die mate kennen. Toen bij Venlo de A74 werd aangelegd, die aansluit aan de deels verlegde Duitse A61, zijn de viaducten in Nederland in prefab uitgevoerd en die in Duitsland in ter

plaatse gestort beton. Wellicht was er in hetzelfde geval in Frankrijk voor gekozen de viaducten als staal-betonconstructie uit te voeren en deze over de weg te schuiven.

In Frankrijk is schuiven sowieso een populaire bouwmethode voor staal-betonbruggen; men schuift er bijvoorbeeld ook constructies met een gebogen onderrand.

Economie

De keuzes voor constructietype en materiaal zullen primair worden gebaseerd op de economisch meest voordelige inschrijving: de laagste prijs, rekening houdend met een eventuele bonus voor bijvoorbeeld architectuur of tijd benodigd voor de realisatie. Het hoeft dus niet noodzakelijkerwijs de goedkoopste oplossing te zijn die wordt gekozen; vrij veel projecten worden momenteel op de EMVI-score verworven.

Bij de keuze spelen ook de lifecycle-kosten een steeds belangrijkere rol. Hierdoor zijn niet alleen de initiële stichtingskosten van belang, maar ook de kosten die gedurende de levensduur worden gemaakt aan beheer en onderhoud. Daarbij zijn twee kosten dominant: de kosten voor onderhoud aan voegovergangen en de kosten voor het verduurzamen.

Bij integraalbruggen worden de voegovergangen achterwege gelaten, zodat hier geen onderhoud meer nodig is. De totale lengte van integraalbruggen is echter beperkt tot circa 90 m. Bovendien leent niet elk brugtype zich evenveel om als integraalbrug te worden uitgevoerd.

Staal en staal-betonbruggen kunnen door aluminiseren langdurig worden verduurzaamd, waarbij deze zonder verdere coating 30 tot 50 jaar worden beschermd [1]. Toch lijken deze op dit punt nog steeds minder goed te scoren dan betonconstructies, die in toenemende mate niet vrij blijken te zijn van onderhoud.

8 Hoogbareden staal-beton vakwerkbrug over de uiterwaarden van de Rijn, Oosterbeek

bron: Movares

9 Nesciobrug, hangbrug voor langzaam verkeer over het Amsterdam-Rijnkanaal, Amsterdam

Bij het bepalen van de uiteindelijke prijs zijn niet alle constructietypen of materialen gelijkwaardig. Een aannemer zal zijn aanbieding afstemmen op zijn ervaring, en gebrek daaraan als een risico met hogere prijs zien. Wanneer wordt gebouwd in twee materialen (staal-betonconstructies) en voor het staaldeel een aparte onderaannemer moet worden ingeschakeld, kan de prijs van deze variant nog verder worden opgedreven door het stapelen van winst en risico. De hoofdaannemer zal vaak algemene kosten en winst en risico rekenen over de prijs van de onderaannemer, die daarover zelf al zijn winst en risico en algemene kosten heeft gerekend. Dat maakt de kans groter dat die variant als te duur afvalt.

Toepassingen Nederland

Samenvattend gelden er in Nederland door de verschillende afwegingen voorkeuren voor bepaalde toepassingen. Globaal zijn deze:

- *Prefab liggers* lenen zich vooral voor overspanningen tot zo'n 65 m; daarboven begint het transport een bottleneck te vormen. Prefab liggers blijken niet alleen concurrerend te kunnen zijn bij plaatsing over een weg, spoorlijn, water of slappe grond, maar ook in gebieden met voldoende draagkrachtige grond waar ook in situ zou kunnen worden gebouwd. Prefab liggers kennen, behoudens dubbelgekromde dekken, weinig beperkingen. Door de pijlerbalk te integreren in het prefabdek kan ook het bij architecten minder gewenste stapeffect (dek – pijlerbalk – kolom) worden vermeden. Dekken met prefab liggers zijn geschikt voor spoor- en wegverkeer, al zijn de maximale overspanningen bij spoorverkeer kleiner. Voor spoorverkeer is het in 's-Hertogenbosch ook weer mogelijk gebleken een trogbrug op te bouwen uit prefab liggers.

- *In situ* is met name interessant bij overspanningen groter dan 60 m, of bij dubbelgekromde dekken. Voor de bekisting is een goede ondergrond noodzakelijk, of anders moet gebruik worden gemaakt van een onderheide bekisting of een op vaste steunpunten opgelegde hulpconstructie die de bekisting draagt. Vooral bij werken met een behoorlijke mate van repetitie kan zo'n hulpconstructie zijn geld meer dan waard zijn. Ook is het mogelijk bepaalde onderdelen van zo'n constructie te prefabriëren om het werk op de bouwplaats te vereenvoudigen. In-situbridgen komen in Nederland in veel vormen voor: plaatbruggen (tot 90 m), (geschoven) (koker)bruggen tot 100 m, vrije voorbouwbruggen tot 190 m (Dintelhavenbrug (foto 6)) en tuibruggen tot circa 260 m (Tiel, Zaltbommel en Ewijk).
- *Staal-betonconstructies* zijn vooral geschikt voor situaties waarin een beperkt gewicht is gewenst, bijvoorbeeld omdat de constructie moet worden geschoven. De staalconstructie is eventueel zonder betonnen dek op zijn plaats te brengen, waarna het betonnen dek ter plaatse kan worden aangebracht. Staal-betonconstructies blijken in Frankrijk veel te worden toegepast voor viaducten met overspanningen tussen de 40 en 80 m. Voor overspanningen tot 65 m is prefab in Nederland dominant, zodat slechts een gebied tussen de 65 en 80 m resteert. Bovendien moet het ambitiedocument (vormgeving) het dan nog toelaten. Staal-betonconstructies worden in Nederland wel met enige regelmaat toegepast voor een aantal andere brugtypen, zoals tuibruggen met beperkte overspanning (Prins Clausbrug bij Utrecht (foto 7) en de tuibrug in de N50 bij Kampen). Verder wordt de rijvloer bij boogbruggen regelmatig uitgevoerd als staal-betonconstructie (Werkspoorbrug bij Utrecht, tweede stadsbrug bij Nijmegen). Een belangrijke afweging bij met

9





8

● LITERATUUR

- 1 Uittenbroek, E.J.D., Aluminiseren beschermt langdurig en effectief. *Bouwen met staal* 167, 2002.
- 2 Tirimanna, D., Buitelaar, P., Modulaire UHSB brug beproefd. *Cement* 2012/6.

name spoorbruggen is hierbij dat een staal-betonbrug veel minder lawaai produceert dan een stalen brug. Dit is bijvoorbeeld ook de reden geweest dat de extra overspanningen van de spoorbrug bij Oosterbeek zijn uitgevoerd als hoogberekende stalen vakwerken met een betonnen rijdek (foto 8).

- Het belangrijkste toepassingsgebied voor *staal* zijn beweegbare bruggen. Ook bij voet- en fietsbruggen met grotere overspanningen is een staalconstructie interessant (brug Ceramique/ Hoeg Brøgk Maastricht, Nesciobrug Amsterdam (foto 9)). Ook de bijzonder gevormde Melkwegbrug in Purmerend is met name vanwege zijn vorm in staal uitgevoerd.

- *Kunststof* wordt met name toegepast voor kleinere voet- en fietsbruggen, maar is, gelet de brug in Oosterwolde, zeker ook interessant voor beweegbare bruggen. Een barrière voor verdere toepassing is het gebrek aan normen en regelgeving voor dit type bruggen.

Buitenland

In de ons omringende landen gelden andere uitgangspunten. Het is, mede door de invloed van de Eurocodes en de toegenomen mogelijkheden voor buitenlandse partijen om in Nederland aanbiedingen te doen, niet uit te sluiten dat hier in de loop van de tijd verschuivingen in gaan optreden. Hetzelfde geldt natuurlijk ook in omgekeerde richting: Waarom zouden in de ons omringende landen de in Nederland gangbare prefab systemen voor viaducten niet verder te vermarkten zijn? ☒

