



# Materiaalkeuze van bruggen en viaducten

Hans Galjaard RO

Volker InfraDesign bv, Woerden

*Voor bruggen en viaducten kunnen verschillende bouwmethoden en materialen worden overwogen. Bekend zijn beton, staal of staal-beton. De keuze berust op afwegingen zoals vormgeving, gebruiksdoel en geometrische randvoorwaarden. Daarnaast spelen de omstandigheden op de bouwplaats en de ervaringen van opdrachtgever en opdrachtnemer een rol. Belangrijk zijn verder de economie alsmede de cultuur van het land waar wordt gebouwd.*

De keuze van het bouw materiaal voor bruggen en viaducten in de infrastructuur, is feitelijk ruimer dan beton, staal of staal-beton. Deze constructies zijn immers ook mogelijk in hout, steen en composieten (kunststof). Voorbeelden zijn de houten viaducten bij Sneek, diverse lichtgewicht composiet fiets-, voetgangers- en verkeersbruggen en de composiet beweegbare verkeersbrug in Oosterwolde. 'Echte' gemetselde stenen bruggen werden vroeger veel gebouwd, maar zijn inmiddels grotendeels vervangen door betonnen bruggen met een stenen bekleding. Feitelijk is de aanduiding betonnen brug te beperkt, omdat het eigenlijk gaat over twee hoofdtypen betonbruggen, namelijk constructies opgebouwd uit geprefabriceerde elementen en ter plaatse gestorte bruggen. Al is het materiaal voor beide hetzelfde, de verschillen zijn groot.

Achtereenvolgens worden criteria besproken die betrekking hebben op brugtype en gebruiksdoel, bouwmethode, constructiemateriaal en economie. Eerst iets over de rol van de vormgeving.

*Betonnen boogbrug uit de jaren '30 bij Goor over het Twenthekanaal*

## Vormgeving

De vormgeving is in de loop van de tijd een steeds belangrijkere rol gaan spelen bij het brugontwerp. Gaandeweg zijn de opdrachten daarbij bovendien verschoven van RAW-bestekken naar Design&Construct-oplossingen (D&C). Bij veel van die 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. Het document bevat (strakke) richtlijnen waaraan de vormgeving moet voldoen.

De ontwerpvrijheid van de opdrachtnemer kan hierdoor soms behoorlijk worden beperkt, met als gevolg dat meer economische oplossingen niet worden aangeboden. Geen enkele potentiële opdrachtnemer riskeert immers een ongeldige inschrijving door niet aan een ambitiedocument te voldoen. De opdrachtnemer moet met zijn eigen architect dus weloverwogen keuzes maken om een werk binnen te halen.

Stalen bruggen of staal-betonbruggen vallen gezien deze werkwijze vaak op voorhand af, bijvoorbeeld als een min of meer 'betonuitendlijk' wordt gevraagd. Feitelijk is de materiaalkeuze dan al bepaald op basis van het ambitiedocument. Dit geldt mede voor de keuze tussen ter plaatse gestort of prefab beton. Zo waren de smalle naden tussen prefab liggers ooit aanleiding om voor een bepaalde brug te kiezen voor een duurdere ter plaatse gestorte constructie.



2 Burgemeester Letschertbrug over het Wilhelminakanaal in Tilburg, bouw materiaal staal  
 inzet: 1. Tweede stadsbrug Nijmegen, stalen boogbrug over de Waal (De Oversteek) foto: Thea van den Heuvel / DAPh

Er zijn voorbeelden waarbij de 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). Daar moest een evenwicht worden gevonden tussen enerzijds een economische oplossing en anderzijds het (virtuele) voordeel dat wordt toegekend op basis van de architectuur van het ontwerp.

Niettemin bestaat er in het aanbestedingsontwerp vaak een grotere vrijheid in de materiaalkeuze, zelfs al is de vormgeving in het ambitiedocument strak omlind. Het aanbrengen van een bekleding kan het uiterlijk van een brug aanpassen, bijvoorbeeld als het zicht op de eigenlijke draagconstructie wordt ontnomen. Bij de brug in de A50 over de Zuid-Willemsvaart bij Veghel verhult

In Cement 2 van 2013 is een artikel geplaatst over de materiaalkeuze voor bruggen en viaducten. De zienswijze van de auteur, ir. J.C. Galjaard, register ontwerper (RO), is de moeite waard. Dit artikel is een bewerking van het oorspronkelijke artikel.

Wanneer er wordt gesproken van composiet of kunststof, wordt vezelversterkt kunststof (vfk) bedoeld, een met glasvezel, koolstof of aramide gewapende, uitgeharde epoxyhars. Hiervoor wordt momenteel een CUR-Aanbeveling geschreven, op Eurocode leest geschoeid.

Namens de Redactie BRUGGEN is aan deze bewerking meegewerkt door Pieter Spits.



de roestvaststalen huid dat het hier gaat om een staalbetonbrug. En de kunststof schalen bij de Burgemeester Letschertbrug in Tilburg verhullen dat de verkeersbrug bestaat uit prefab betonliggers met verschillende constructiehoogten in hoofd- en eindveld.

### Brugtype en gebruiksdoel

Er bestaan tal van typen bruggen, zoals 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 in de A44 liggen), maar is dit wel een succesvol brugtype voor spoorverkeer. Een nieuwe ontwikkeling betreft de trogvormige bruggen in ultra-hogesterktebeton voor langzaam verkeerbruggen, zoals de Pont du Diable in Villa Navarra/Le Muy in Frankrijk, of de uit standaard modules opgebouwde brug aan de Hoekersingel in Rotterdam (foto 3). Bruggen voor langzaam verkeer worden daar





3. Modulaire brug aan de Hoekersingel, Rotterdam, foto: Peter Buitelaar

naast regelmatig ook in hout en/of kunststof gebouwd. Vooral spoorverkeer stelt een aantal specifieke eisen aan bruggen, zoals een vrij grote stijfheid en een kleine constructiehoogte. Daarom zijn tuibruggen als spoorbrug alleen geschikt als er een stijve ligger wordt toegepast (Øresundbrug tussen Denemarken en Zweden). Boogbruggen daarentegen zijn zeer geschikt als spoorbrug dankzij de grote stijfheid en de kleine constructiehoogte (de afstand van onderzijde brug tot bovenzijde rijdek).

### Randvoorwaarden

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

Bepaalde overspanningslengten lenen zich het beste voor uitvoering in een aantal typen constructies. Zo genieten betonnen prefab liggers de voorkeur bij overspanningen tot circa 65 m en worden tuibruggen in het algemeen pas ingezet bij overspanningen groter dan circa 120 m.

Verder spelen de benodigde breedte en de hoogte van de constructie een rol. Voor een breed wegviaduct met een niet al te grote overspanning is een (prefab) plaatviaduct een geschikte oplossing, omdat een vlak brugdek wordt gekoppeld aan een beperkte constructiehoogte. Bij een spoorviaduct komt regelmatig een trogbrug in beeld, omdat treinen voldoende hebben aan een krap profiel van vrije ruimte. Treinen hebben meer moeite met het overwinnen van hoogteverschillen en zodoende is een geringe constructiehoogte in het voordeel. Massieve plaatvormige bruggen worden altijd in beton uitgevoerd. De meeste zijn echter niet 'massief' en kunnen dus even-

eens in andere materialen zoals kunststof, staal of staal-beton, worden uitgevoerd. Hierbij kan een huidelement (bekleding) voor een gesloten onderkant zorgen.

Een brede verkeersbrug met grote overspanning kan worden gebouwd als kokerbrug waarbij de overstekken worden ondersteund door drukschoren zoals bij de Jan Blankenbrug in de A2 bij Vianen (foto 4). De drukschoren zijn echter alleen effectief boven een bepaalde helling en daartoe moet de koker voldoende hoogte hebben. Hier zijn breedte en constructiehoogte in zekere mate van elkaar afhankelijk. Kokerbruggen kunnen in principe worden ontworpen in beton, staal en staal-beton, evenals in kunststof en aluminium.

Tui- en boogbruggen lenen zich voor een uitvoering in verschillende materialen, al wordt de boog van een boogbrug tegenwoordig meestal in staal uitgevoerd. In de loop van de tijd treden echter verschuivingen op, zo is naast de stalen tuibrug bij Ewijk een nieuwe betonnen tuibrug gebouwd.

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

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





4 .Jan Blankenbrug bij Vianen in de A2, betonnen kokers met schoren

### Bouwmethode

De omstandigheden op de bouwplaats hebben grote invloed op de te kiezen bouwmethode en daarmee op het type brug. Bepalend voor de (economische) haalbaarheid van ter plaatse 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 storten en verharderen geen zetting zal ondergaan. In die gevallen kan worden volstaan met een relatief eenvoudige steigerconstructie.

Naast bouwen in ter plaatse gestort beton bestaat er een groot scala 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 een complete constructie. Vrijwel alle bouwmethoden zijn in de afgelopen 50 jaar in Nederland toegepast.

Duidelijk zal zijn dat voor het bouwen boven een drukke verkeersweg of spoorweg, de voorkeur in veel gevallen uitgaat naar prefab beton. Voor een viaduct over een diep dal in Frankrijk (foto 5), met grote afstanden tussen de (hulp)steunpunten (tot 180 m), is logischerwijs gekozen voor de schuifmethode. Het spreekt vanzelf dat soortgelijke afwegingen eveneens boven water gelden; al zal men daar tegenwoordig bij voorkeur kiezen voor een methode die tijdens de bouw zo min mogelijk ondersteuning in het water nodig heeft. Hetzelfde geldt bij bouwen boven slappe grond. Wanneer hier de bekisting op het maaiveld wordt geplaatst, zal deze tijdens het storten en verharderen van het beton gaan zakken, waar-



5. Viaduc de Verrières in staal-beton over een 180 m diep dal, foto: Jaques Mossot ([www.structurae.com](http://www.structurae.com))

door schade kan ontstaan aan het verhardende beton. De bekisting moet in zo'n situatie dus worden opgelegd op onderheide steunpunten, of er moet een andere bouwmethode worden gekozen, zoals prefab beton of staal.

Bij voldoende repetitie in een bouwwerk kan men ervoor kiezen een ondersteuningsconstructie voor de bekisting te maken die met het werk meebeweegt. Zodoende kan toch in ter plaatse gestort beton worden gebouwd. 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 vroeger werd gedaan bij de Zee-landbrug en onlangs bij het viaduct in de Westrandweg (foto 6) boven de Basisweg in Amsterdam.

### Constructiemateriaal

De ervaring van de opdrachtnemer en wensen van de opdrachtgever, spelen een rol bij de keuze voor het type brug en het te gebruiken constructiemateriaal. Van materialen waarmee minder bekendheid (ervaring) bestaat, zullen de risico's vaak iets hoger worden ingeschat. Dan ligt de keuze voor die materialen automatisch minder voor de hand. Een ander aspect betreft de beschikbaarheid van normen en regelgeving voor brugconstructies in een bepaald materiaal. Het ontbreken van regelgeving voor grote kunststof verkeersbruggen vormt bijvoorbeeld een handicap voor het breder toepassen daarvan. De beschikbaarheid/verkrijgbaarheid van hulpmaterieel, benodigd voor de bouw van een bepaald brugtype, kan (ook economisch) een rol spelen in de overweging bij een opdrachtnemer.



6. Monteren betonnen liggers Westrandweg boven Basisweg met lanceerligger Hercules, Amsterdam  
foto: Rinze Heida / Van Hattum en Blankevoort

Dat staal-betonbruggen (foto 7) minder vaak worden toegepast, lijkt, naast vormgeving, verband te houden met het gebrek aan ervaring bij marktpartijen. Aannemers zijn veelal uitsluitend betonbouwer ofwel uitsluitend staalbouwer, zodat het nodige equipment, om zo'n staal-betonbrug snel en economisch te bouwen, ontbreekt. Soms heeft een opdrachtgever specifieke wensen voor een brug, verband houdend met duurzaamheid, onderhoud of innovatie. Het bewust vooraf kiezen voor een constructie in kunststof of hogesterktebeton, zijn hier voorbeelden van.

Hoewel de ontwerpnormen in de Europese Unie inmiddels grotendeels zijn gelijkgetrokken, blijven er grote verschillen bestaan tussen de diverse landen omtrent de keuze voor bepaalde bouwmethoden dan wel constructietypen. Nederland onderscheidt zich vooral door de prefab-liggersystemen voor viaducten in de infrastructuur, die de ons omringende landen niet in die mate kennen. Toen bij Venlo de A74 werd aangelegd, de weg 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 alle viaducten als staal-betonconstructies 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 zelfs constructies met een gebogen onderrand.

## Economie

De keuzes voor constructietype en -materiaal zullen primair worden gebaseerd op de economisch meest voordelige inschrijving (EMVI): 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 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 voegovergangen achterwege gelaten, zodat hier geen onderhoud nodig is. De totale lengte van integraalbruggen is echter beperkt tot omstreeks 90 m. Bovendien leent niet elk brugtype zich even goed om als integraalbrug te worden uitgevoerd. Staal en staal-betonbruggen kunnen door aluminiseren langdurig worden verduurzaamd; zonder verdere coating zijn ze 30 tot 50 jaar beschermd. Toch lijken deze bruggen op dit punt nog steeds minder goed te scoren dan betonconstructies, die echter in toenemende mate niet ontkomen aan onderhoud.





7. Prins Clausbrug, staal-beton tuibrug over het Amsterdam-Rijnkanaal, Utrecht, foto: Jan Carel van Eijk

8. Dintelhavenbrug voor wegverkeer, gebouwd als vrije voorbouwbrug

9. Hoogbereden staal-beton vakwerkbrug over de uiterwaarden van de Rijn, Oosterbeek



Bij het bepalen van de uiteindelijke prijs zijn niet alle constructietypen of materialen gelijkwaardig. Een aannemer zal zijn aanbieding baseren op zijn ervaring, en gebrek daaraan als een risico zien met een hogere prijs als gevolg. 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 berekend. Dat maakt de kans groter dat die variant als te duur afvalt.

### Toepassingen Nederland

Samenvattend gelden er in Nederland - door verschillende afwegingen - voorkeuren voor bepaalde toepassingen. Een globaal beeld per brugtype.

- *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 in situ zou kunnen worden gebouwd. Prefab liggers kennen, behoudens dubbelgekromde dekken, weinig beperkingen. Door de pijlerbalk te integreren in het prefab dek kan 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 het spoorverkeer is het in 's-Hertogenbosch mogelijk gebleken een trogbrug op te bouwen uit prefab liggers.

- *Ter plaatse gestort beton* is met name interessant bij overspanningen groter dan 60 m, of bij dubbelgekromde dekken. Voor de bekisting is een goede ondergrond noodzakelijk, of er 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. Bepaalde onderdelen van zo'n constructie kunnen geprefabriceerd worden om het werk op de bouwplaats te vereenvoudigen. In situ bruggen komen in Nederland in veel vormen voor: plaatbruggen (tot 90 m), (geschoven) (koker)bruggen tot 100 m, vrije voorbouwbruggen tot 190 m zoals de Dintelhavenbrug (foto 8) 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 zonder betonnen dek op zijn plaats te brengen, waarna het 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



10. Nesciobrug, stalen hangbrug voor langzaam verkeer over het Amsterdam-Rijnkanaal, Amsterdam

80 m resteert. Bovendien moet het ambitiedocument (vormgeving) het dan nog toelaten.

Staal-betonconstructies worden in Nederland wel met enige regelmaat toegepast voor andere brugtypen, zoals tuibruggen met beperkte overspanning, de Prins Clausbrug bij Utrecht en de tuibrug in de N50 bij Kampen. Verder wordt de rijvloer bij boogbruggen regelmatig uitgevoerd als staal-betonconstructie, zoals de Werkspoorbrug bij Utrecht en 'De Oversteek' (tweede stadsbrug bij Nijmegen). Een belangrijke afweging bij spoorbruggen is dat een staal-betonbrug veel minder lawaai produceert dan een stalen brug. Daarom zijn de extra overspanningen van de spoorbrug bij Oosterbeek uitgevoerd als hoogbereden stalen vakwerken met een betonnen rijdek (foto 9).

- Het belangrijkste toepassingsgebied voor *staal* zijn beweegbare bruggen. Ook bij voet- en fietsbruggen met grotere overspanningen is een staalconstructie interessant, brug Ceramique/Hoeg Brögk Maastricht en de Nesciobrug Amsterdam, uitgevoerd als hangbrug (foto 10).

Bij grote boogbruggen is de hoofdconstructie bijna altijd een staalconstructie. De bijzonder gevormde Melkwegbrug in Purmerend is vanwege zijn vorm in staal uitgevoerd.

- *Kunststof* wordt vooral toegepast voor kleinere voet- en fietsbruggen, maar is, gelet op de brug in Oosterwolde, zeker interessant voor beweegbare bruggen. De brug over de A27 bij Amelisweerd is een recent voorbeeld van een verkeersbrug met een composiet rijdek. Een barrière voor verdere toepassing is het gebrek aan normen en regelgeving voor dit type bruggen.

#### Tot slot

Als gevolg van nieuwe aanbestedingsvormen en nieuwe materialen worden de keuzemogelijkheden voor civiele constructies vergroot. Noodzakelijk blijft een verantwoorde afweging voor elke constructie afzonderlijk, zoals in dit artikel in hoofdlijnen is uitgewerkt.

#### Literatuur

- Uittenbroek, E.J.D., Aluminiseren beschermt langdurig en effectief. *Bouwen met staal* 167, 2002.
- Tirimanna, D., Buitelaar, P., Modulaire UHSB brug beproefd. *Cement* 2012/6.
- De Nederlandse BRUG – 40 markante voorbeelden, uitgeverij THOTH in samenwerking met de Nederlandse Bruggen Stichting.