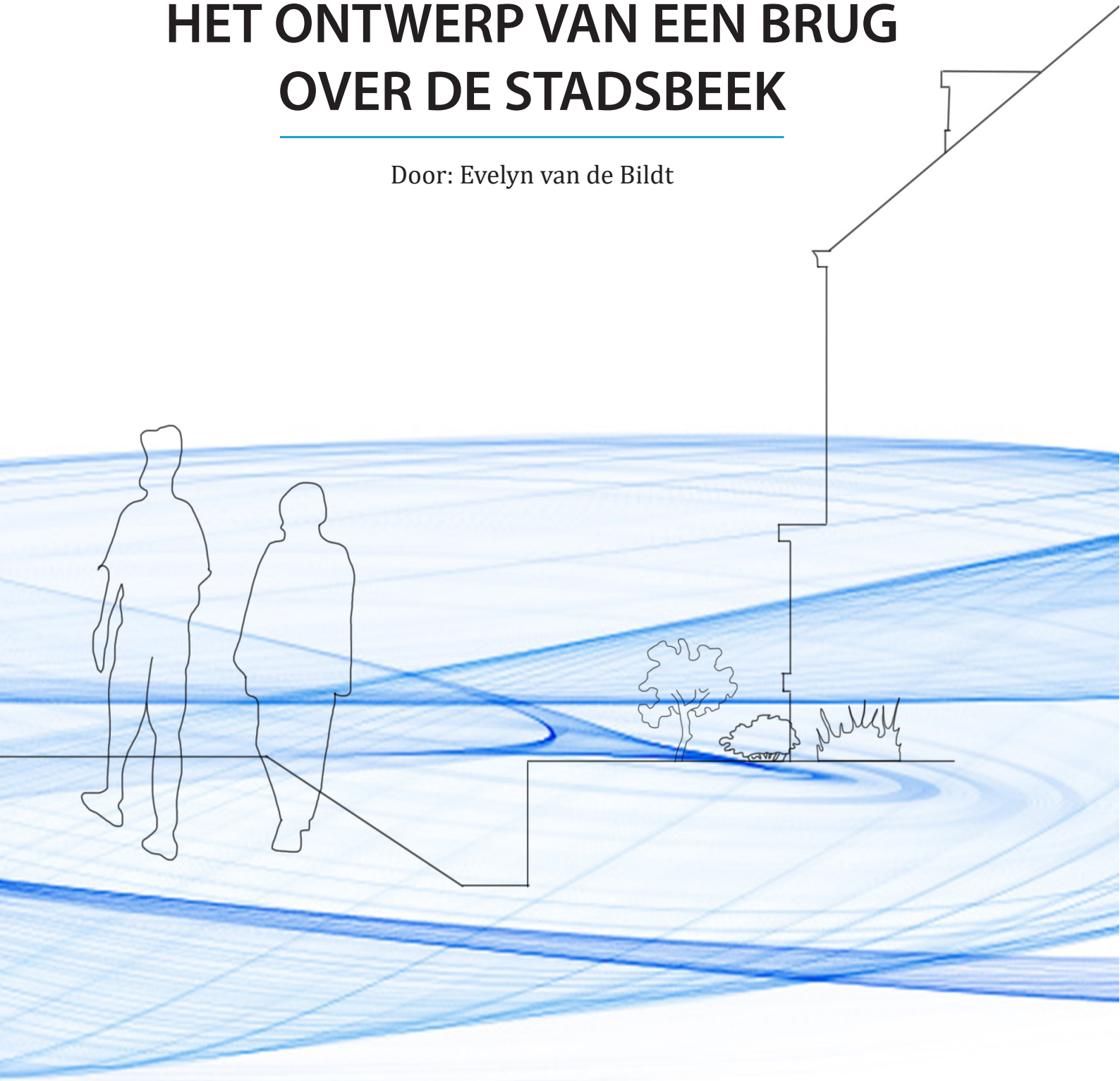


HET ONTWERP VAN EEN BRUG OVER DE STADSBEEK

Door: Evelyn van de Bildt



Bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen
2 mei 2016

HET ONTWERP VAN EEN BRUG OVER DE STADSBEЕК

Faculteit Construerende Technische Wetenschappen
Bachelor Industrieel Ontwerpen

Auteur

Evelyn van de Bildt
s1352849
e.m.vandebildt@student.utwente.nl

Onderwijsinstelling

Universiteit Twente
Drienerlolaan 5
7522 NB Enschede, Nederland

Opdrachtgever

H. Visscher
Gemeente Enschede
Hengelsestraat 51
7500 AA Enschede, Nederland

Examencommissie

Begeleider: Ir. M.P. Zwier
Tweede examinerator: Dr. Ir. D. Lutters

Datum: 2 mei 2016
Aantal pagina's: 54 (97 inclusief bijlagen)
Aantal bijlagen: 30
Oplage: 4

Voorwoord

Dit verslag dient als onderbouwing van de uitgevoerde bacheloropdracht in samenwerking met de Gemeente Enschede. Het beschrijft het ontwerpproces van een bruggetje binnen het project Stadsbeek. Dit project bestaat uit verschillende maatregelen om de waterproblemen in Stadsdeel West aan te pakken. Ik heb bij het uitvoeren van deze opdracht veel geleerd en wil alle werknemers van de afdeling Ontwerp bedanken voor de prettige werksfeer en de mogelijkheid voor het uitvoeren van deze opdracht.

Binnen de afdeling Ontwerp wordt aan diverse grootschalige projecten gewerkt. Daarnaast is er aandacht voor kleine initiatieven, die normaal geen aandacht zouden krijgen. Verschillende kleinschalige projecten zijn al gerealiseerd, zoals tijdelijke speelterreinen, door de buurt ingerichte parkachtige ontmoetingsplekken en pleinen. Hier wordt met professionaliteit, ambitie en enthousiasme aan gewerkt. Ik heb inzicht gekregen in verschillende vakgebieden en een waardevolle ervaring opgedaan over het werken in zo'n context.

In het bijzonder wil ik Henk Visscher bedanken voor de inspiratie en de begeleiding bij het uitvoeren van mijn opdracht, en in het vertrouwen en vrijheid die hij mij gegeven heeft. Daarnaast wil ik graag Marijn Zwier, mijn begeleider vanuit de Universiteit Twente, bedanken voor zijn ondersteuning en heldere feedback die me telkens weer op een andere manier naar het ontwerp deden kijken. Dit heeft veel geholpen bij het uitvoeren van deze opdracht.

Evelyn van de Bildt
24 maart 2016

Inhoudsopgave

Samenvatting
Summary

Hoofdstuk 1: Inleiding	8
1.1 Opdrachtkader	8
1.1.1 De opdrachtgever	8
1.1.2 Aanleiding	8
1.1.3 Doelstelling	9
1.2 Leeswijzer	9
Hoofdstuk 2: Analyse	10
2.1 Functies	10
2.2 Marktonderzoek	11
2.3 Contextanalyse	11
2.3.1 Historische analyse	11
2.3.2 Ontwikkeling van het gebied	13
2.3.3 Gebiedsidentiteit	14
2.4 Gebruikersanalyse	16
2.5 Materiaalstudie	17
2.5.1 Constructie	17
2.5.2 Beeldkwaliteit	18
2.5.3 Beheer en onderhoud	19
2.6 Projectgroep Stadsbeek	19
2.7 Ontwerpprincipes	20
2.8 Programma van eisen	21
Hoofdstuk 3: Ideegeneratie	22
3.1 Vormstudie	22
3.2 Ideeschetsen	23
3.2.1 Hekwerk	23
3.2.2 Brugdek	23
3.2.3 Taludbekleding	23
3.3 Gebruik ontwerpprincipes in ideegeneratie	24
3.4 Conclusie ideegeneratie	24
Hoofdstuk 4: Conceptontwikkeling	26
4.1 Conceptschetsen	26
4.1.1 Brugontwerp	26
4.1.2 Constructie	27
4.2 Ontwerpvoorstellen	28
4.2.1 Concept 1	29
4.2.2 Concept 2	30
4.2.3 Concept 3	31
4.3 Conceptafweging	32
4.3.1 Toetsing programma van eisen	32
4.3.2 Conceptkeuze	33
Hoofdstuk 5: Detaillering	34
5.1 Constructie	34
5.1.1 Sterkte berekeningen constructie deel I	34

5.1.2 Constructiemogelijkheden	35
5.1.3 Duurzaamheid	37
5.1.4 Voorlopige constructie	37
5.1.5 Aandachtspunten constructie	38
5.2 Vormgeving	39
5.2.1 Afmetingen	39
5.2.2 3D-model	39
5.3 Onderdelen en materiaalkeuze	40
5.3.1 Brugdek	40
5.3.2 Hekwerk	41
5.3.3 Taludbekleding	42
5.4 Beoordeling duurzaamheid	42
5.5 Kosten	44
Hoofdstuk 6: Productie	46
6.1 Conceptreview	46
6.1.1 Aanpassingen	46
6.2 Modulair ontwerp	47
6.3 Sterkte berekeningen constructie deel II	47
6.4 Vervolgprocessen	47
Hoofdstuk 7: Conclusie en aanbevelingen	50
7.1 Conclusie	50
7.2 Aanbevelingen	51
Referenties	52
Bijlagen	54

Samenvatting

In deze opdracht wordt een brug over de Stadsbeek ontworpen. De Gemeente Enschede gaat in uitvoering van het project Stadsbeek een beek door de bestaande stad aanleggen: De Stadsbeek. De aanleg van deze beek biedt een duurzame oplossing voor de bestaande problemen met regen- en grondwateroverlast in de stadswijken Pathmos en Stadsveld. Op deze wijze wil de Gemeente Enschede de gevolgen van de verwachte klimaatverandering aanpakken. Deze opdracht richt zich op een technisch haalbaar concept. De brug zal uiteindelijk op verschillende locaties over de lengte van de beek worden herhaald en gevarieerd in de benodigde bruglengte en breedte. De brug vormt een familie en wordt het aanzicht van de wijk.

Uit het vooronderzoek blijkt dat het van belang is, om bij het plaatsen van meerdere bruggen in korte afstand tot elkaar, in te spelen op transparantie. Zo kan de ruimtelijke kwaliteit worden behouden. Om deze reden wordt de brug slank en transparant uitgewerkt. De brug vormt een contrast met het groene talud aan de ene zijde en de betonnen wand aan de andere zijde. Om dat contrast te accentueren wordt de toogde vorm van de brug asymmetrisch uitgevoerd en neemt het brugdek in breedte toe richting de groene talud. Dit versterkt het vriendelijke en uitnodigende karakter van de brug. Daarnaast krijgt de brug een overwegend horizontaal karakter. De slankheid en horizontaliteit wordt bereikt door een gesloten walsprofiel van stalen platen toe te passen. Door een vereenvoudiging van de constructie kan uiteindelijk een dunne plaatdek worden gerealiseerd van maximaal 6 mm. De totale dikte van de brug is 162 mm.

De slankheid en transparantie wordt bereikt door dit ontwerpprincipe door te zetten in de materialisering. Alle onderdelen worden opgebouwd uit één materiaal en één vormtaal. Er is gekozen voor staalplaat omdat dit materiaal dun, sterk, goed bewerkbaar en herbruikbaar is. De verschillende elementen, het dek, de balusters en de horizontale belijning als hekwerkvulling zijn opgebouwd uit staalplaat. De balusters dragen de vloeiend doorlopende handregel en hebben een invulling van RVS kabels. Omdat de brug door de omwonenden gebruikt gaat worden, wordt de brug afgewerkt met een afgeronde handregel voor een warme uitstraling. Het hekwerk vormt een horizontale reeks geïnspireerd op de omliggende architectuur. Door de ruimte tussen de vulling wordt het stromende water zichtbaar en geeft zo een waterbeleving aan de brug. Voor een veilig en prettig gevoel, buigt de baluster op het hoogste punt recht naar binnen toe.

Het ontwerp past bij de identiteit van de omgeving, met name door het versterken van de samenhang. Samenhang ontstaat hierbij door enerzijds het versterken van de ruimtelijke contrasten tussen de stedelijke bouw en anderzijds door het creëren van continuïteit, zoals de stromende beek. Dit zorgt voor herkenbaarheid. Het unieke karakter van de brug passend in zijn omgeving verhoogt daardoor de belevingswaarde en toekomstwaarde van de wijk.

Summary

In this assignment, a bridge over the small brooklet, Stadsbeek, is designed. The municipality of Enschede is planning to create a brooklet through the city, called "The Stadsbeek". The brooklet provides a sustainable solution to water-related problems in the city's districts of Pathmos and Stadsveld. The project is one of the municipality's responses to the effects of climate change. This assignment will focus on a well-designed feasible concept. Along the length of the brooklet, the bridges will be based on one design, of which the elements may vary in length and width at various locations. The different bridges will be designed as members of the same family and will give character to the public space.

The research phase concluded that it is important to create transparency and an open view in case bridges are placed within short distance of each other. In this way, the quality of the public space can be retained. For this reason the bridge is slender and transparently designed. The bridge provides contrast between the green slope on one side and the concrete wall on the other side. To emphasize this contrast, the curved form of the bridge is asymmetric, and the width of the bridge deck increases in the direction of the green slope. This creates a friendly and inviting character. Besides this, the bridge has a primarily horizontal character. The slenderness and horizontal lines are attained through the application of a close profile rolling of steel plates. By means of simplification of the construction, a slender bridge deck can be created of maximum 6 mm. The total thickness of the bridge is 162 mm.

The design principles of slenderness and transparency define a detailed base for the materializing. All parts will be constructed from one material and one form of design. The final design is a steel construction, because this material is thin, strong, workable and re-usable. The different elements of the bridge deck, the fences and the horizontal railing are constructed out of steel plates. The fences carry the continuously flowing railing and have its filling consists of stainless steel wires. The residents will use the bridge frequently, hence the railing has a rounding for a warm look and feel. The fence is a horizontal line based on the surrounding architecture of the public space. The water flow will be visible through the space between the fence filling and adds a water experience to the bridge. On their highest point, the fences have an inwards bend for a safe feeling.

The design fits the character of the surroundings, developing an increasing cohesion. Cohesion derives from the environmental contrasts in the public space on the one hand and continuity on the other hand, for example the continuously flowing water. This results in familiarity. In addition, the unique character of the environmental design of the bridge improves the quality of the public space.

Inleiding

1.1 Opdrachtkader

1.1.1 Opdrachtgever

De opdrachtgever is de overheidsorganisatie Gemeente Enschede. Net als vele andere overheden houdt zij zich bezig met het onderwerp duurzaamheid en klimaatverandering. Momenteel werkt de Gemeente Enschede aan de bestaande problemen met regen- en grondwateroverlast en wil op een duurzame wijze de gevolgen van de verwachte klimaatverandering aanpakken [1]. In Stadsdeel Noord is begonnen met de aanpak van de wateroverlast door het aanleggen van een nieuwe beek [2]. Die aanpak is succesvol en deze methode zal ook worden toegepast in Stadsdeel West. Tegelijkertijd moet deze oplossing bijdragen aan de ruimtelijke kwaliteit en de uitstraling van Enschede.

Klimaatverandering

Door klimatologische veranderingen krijgen we in de toekomst steeds vaker te maken met extreme weersituaties, zoals hete zomers en hevige regenbuien [3]. De bebouwde omgeving zal opwarmen en er zal vaker water op straat blijven staan na zware buien. Het is noodzakelijk hierop te anticiperen.

Watervisie

In oktober 2002 is de “Watervisie Enschede- de blauwe aders terug in de stad” [4] door de gemeenteraad van Enschede vastgesteld. De visie bestaat uit richtlijnen die de rijksoverheid heeft vastgesteld voor het waterbeheer in Nederland. Aan de watervisie wordt een waterprogramma ‘Water Verbindt’ [5] gekoppeld, waarin de doelstellingen en knelpunten zijn opgenomen. Een belangrijke ambitie is om de beleving van de groene en blauwe kwaliteit in Enschede te versterken door water zichtbaar te maken.

1.1.2. Aanleiding

De wijken Pathmos en Stadsveld liggen aan de voet van een stuwwal, aan de rand van het centrum van Enschede. De bewoners ervaren veel wateroverlast, na harde regenbuien lopen straten onder water. Daarnaast staat het grondwater hoog met natte kruipruimtes en optrekkend vocht tot gevolg. Het (grond)watersysteem is uitgebreid geanalyseerd en in 2013 is er een enquête gehouden onder bewoners. Dit leidde tot een masterplan voor de afvoer van hemel- en grondwater [6]. Het aanleggen van een beek, de Stadsbeek, gaat de wateroverlast aanpakken.

Met het project Stadsbeek gaat de gemeente de problemen aanpakken en de ambities van Watervisie Enschede waarmaken. De Gemeente Enschede werkt in dit project samen met Waterschap Vechtstromen, Provincie Overijssel, woningcorporaties en bewoners. Bewoners kunnen meepraten over het ontwerp van de Stadsbeek en werken zo aan het verbeteren van de eigen leefomgeving. Het totale project zal in fases worden uitgevoerd en ongeveer vijf jaar in beslag nemen.

De Gemeente Enschede heeft als middelgrote Nederlandse stad haar eigen ontwerp team binnen het programma Stedelijke Ontwikkeling. In het project Stadsbeek leveren ontwerpers uit het vakgebied water, landschap en verkeer een bijdrage. Vanuit de landschapsontwerper kwam dan ook de volgende bacheloropdracht:

“Ontwerp een bruggetje over de Stadsbeek”

Deze opdracht leidt tot vragen als ‘Welke uitstraling moet de brug hebben?’ en ‘Wat betekent de materiaalkeuze voor de vormgeving en het uiterlijk van de brug?’. Daarnaast zijn technische vragen als ‘Welk constructieprincipe leent zich voor deze situatie?’ en ‘Kan de brug de beoogde belasting aan?’ essentieel. Een combinatie van technische kennis, ontwerpvaardigheden en de juiste keuzes levert uiteindelijk een definitief ontwerp op.

1.1.3. Doelstelling

Het doel van deze opdracht is het ontwerpen van een brug over de Stadsbeek. De brug zal uiteindelijk op verschillende locaties worden geplaatst. Het is de bedoeling de bruggen zoveel mogelijk te standaardiseren. Hierdoor kunnen de bruggen met verschillende lengte en breedte worden gerealiseerd. De productie wordt geraamd op 100 stuks.

De beek komt aan de noordzijde van de straten te liggen tussen het voetpad en de parkeerplaats en op sommige locaties tussen de tuin en het voetpad. Als verbinding tussen de twee punten moet een brug worden ontworpen voor de bewoners. De bruggetjes zullen het gezicht worden van de straat. Het ontwerp moet passen bij de visie van het project Stadsbeek. Vanaf de beginfase ligt de nadruk op de interactie tussen de gewenste beeldkwaliteit, omgeving, programma van eisen en technische uitwerking. Vormgeving staat hierbij uiteraard centraal. Het eindresultaat is een technisch haalbaar concept. Deze bacheloropdracht levert een bijdrage aan het ontwerp van de bruggetjes.

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de analysefase waarin bruggen op de huidige markt en de bijhorende omgevingskenmerken in een marktonderzoek zijn bestudeerd. Ook worden de conclusies uit de contextanalyse, gebruikersanalyse en materiaalstudie vertaald naar uitgangspunten voor het ontwerp. De uitgangspunten zijn omschreven en gevisualiseerd door een mindmap en collages. Het hoofdstuk sluit af met het programma van eisen. In hoofdstuk 3 worden de eerste ideeën gepresenteerd. Hierna worden de ideeën ontwikkeld tot concepten in hoofdstuk 4. Het hoofdstuk sluit af met een onderbouwing van het gekozen concept. Hoofdstuk 5 beschrijft de constructie, vormgeving, materiaalkeuze en onderdelen van het eindconcept. In hoofdstuk 6 wordt het concept geëvalueerd aan de hand van een gesprek met de opdrachtgever en een expert. Tot slot wordt er een conclusie getrokken en zijn een aantal aanbevelingen gedaan voor verdere ontwikkeling van de brug in hoofdstuk 7.

Analyse

In dit hoofdstuk worden de functies, onderdelen en verschillende typen van een brug beschreven in vergelijking met bestaande projecten. Vervolgens wordt een contextanalyse, gebruikersanalyse en materiaalstudie uitgevoerd. Deze informatie worden vertaald naar uitgangspunten voor het ontwerp. Het hoofdstuk sluit af met het programma van eisen.

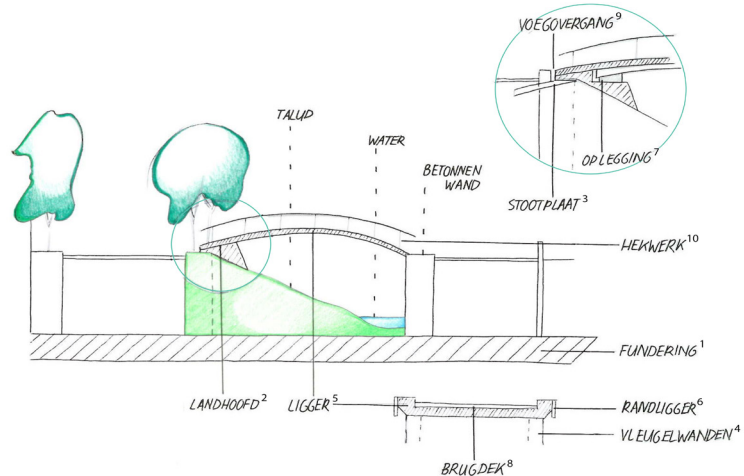
2.1 Functies

De brug over de Stadsbeek vormt een nieuwe verbinding, zie bijlage A.1, en vervult de onderstaande functies:

- De brug geeft toegang tot een huis.
- De brug zorgt voor een verbinding tussen voetpad en parkeerplaats.
- De brug vormt een herkenningspunt in de omgeving.
- De brug draagt bij aan de ruimtelijke kwaliteit.
- De brug maakt het water in de beek zichtbaar.

Het ontwerp kan deze functies benadrukken en versterken, wat doorgaans ook het karakter van de omgeving ten goede komt. Een brug in de meest elementaire vorm is een plank of balk om daarmee over een obstakel te komen. De eenvoudigste manier om de beek te overbruggen. Sommige fiets- en voetgangersbruggen zijn niet meer dan dat, andere hebben een heel spectaculaire constructie. Een brug kan worden opgebouwd uit verschillende onderdelen, elk met een eigen functie. Aan de hand van figuur 1 worden de verschillende onderdelen kort beschreven.

1. **Fundering:** brengt de krachten uit de brugconstructie over naar de draagkrachtige grondlagen.
2. **Landhoofden:** ondersteunen de constructie aan de uiteinden van een brug. Ook wel bruggenhoofden genoemd.
3. **Stootplaten:** verzorgen de overgang tussen het grondlichaam naar de landhoofd balk.
4. **Vleugelwanden:** verzorgen de aansluiting van de landhoofdbalk op het talud.
5. **Liggers:** dragen op de brug werkende krachten af naar de opleggingen. Balken in de lengterichting lopen doorgaans van oever tot oever of van oever tot steunpunt, maar kunnen ook over meerdere steunpunten doorlopen.
6. **Randliggers:** verzorgen een dragende functie, maar hebben soms ook een esthetische functie, bijvoorbeeld het afdekken van de onderliggende draagconstructie. Bij smalle bruggen kunnen de randliggers de gehele draagconstructie vormen.
7. **Oplegging:** draagt de belastingen uit de brugconstructie over op de funderingen en zorgt ervoor dat de brug voldoende bewegingsvrijheid heeft om uit te zetten en te krimpen.
8. **Brugdek:** het wegdek van een brug. De dekdikte is afhankelijk van de overspanning en belasting.



Figuur 1: Functionele onderdelen van een brug

9. *Voegovergang*: opengelaten voeg tussen het brugdek en het landhoofd, omdat een brug uitzet en krimpt, moet deze minimaal aan één zijde kunnen bewegen.
10. *Hekwerk*: reling aan weerszijden van het brugdek om te voorkomen dat mensen van de brug vallen.

2.2 Marktonderzoek

Bruggen zijn onder te verdelen in diverse typen, naar de manier waarop ze zijn geconstrueerd, naar hun gebruik en naar de manier waarop ze eventueel open kunnen. In het kader van deze opdracht worden fiets- en voetgangersbruggen met een kleine overspanning tot circa 10 meter bestudeerd. Bij fiets- en voetgangersbruggen wordt de toegestane belasting uitgedrukt in de waarde van de toegestane veranderlijke belasting per vierkante meter, aldus 5 kN/m^2 [7].

In de vorm van collages is beeldmateriaal verzameld van vergelijkbare ontwerpprojecten, zie bijlagen B.1. Dit zijn bestaande fiets- en voetgangersbruggen in Nederland. Er is gekeken naar de vormgeving en uitstraling van een ontwerp en wat voor kenmerken het gebruikte materiaal met zich mee brengt. De verschillende ontwerpen laten een samenhang in brugonderdelen en omgeving zien. Naast vormgevings- en uitstralingsaspecten, wordt bij enkele projecten ook een opvallende identiteit met kernwoorden benoemd.

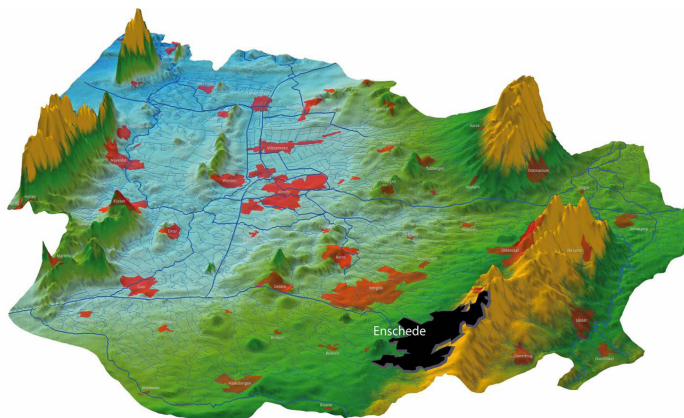
Een aandachtspunt is dat er meerdere bruggen in korte afstand tot elkaar komen te liggen. Door de korte afstand van de bruggen kan in de vormgeving en materiaalkeuze worden ingespeeld op transparantie om zo min mogelijk het uitzicht te verstoren. Dit komt de identiteit en het karakter van de bruggetjes ten goede.

2.3 Contextanalyse

De brug kan een meerwaarde krijgen door een herkenbare uitstraling binnen de omgeving. Bewust omgaan met dergelijke aspecten zorgt ervoor dat de brug optimaal in haar omgeving past. De bruggetjes komen in een bestaande omgeving, maar in een nieuw aan te leggen situatie, zie bijlage A.2. Deze directe omgeving stelt eisen en wensen aan het ontwerp. Voor een goed resultaat is creativiteit en kennis nodig: inzicht in hoe het huidige landschap en het watersysteem in elkaar zitten. Een historische analyse biedt inzicht in de ontwikkeling van het gebied en in de gebiedsidentiteit. Welke als inspiratiebron gebruikt kan worden voor het ontwerp.

2.3.1 Historische analyse

Enschede ligt op een stuwwal, zie figuur 2. Een plek waar vroeger bronnen ontsprongen. Enschede is dus een bronstad en ligt daarmee aan het begin van het watersysteem. De stad Enschede is over de bronnen gebouwd en heeft een verhard oppervlak van 1400 hectare [1]. Door deze verharding is de bronwerking verstoord. Met zijn ligging op de stuwwal ligt Enschede relatief hoog. Binnen Enschede is het hoogteverschil ongeveer 44 meter, zie bijlage B.2.



Figuur 2: Hoogteverschillen in Twente
(Bron: Waterschap Vechtstromen)

Voor 1850

Voordat mensen de waterhuishouding beïnvloedden volgde het water haar natuurlijke weg. Daarnaast was het verhard oppervlak beperkt waardoor het water grotendeels infiltreerde in de grond. Het grondwater werd afgevoerd via een netwerk van beken. De stad kende toen nog een stadsgracht en twee toegangspoorten, de Veldpoort en de Espoort [8]. In 1860 telde Enschede 4.000 inwoners.

Rond 1900

Door de opkomst van de textielindustrie in de vroege 19e eeuw groeide het aantal fabrieken en inwoners explosief. De stad breidde zich uit buiten de grachten. Er werden grote hoeveelheden grondwater onttrokken ten behoeve van bedrijfsprocessen. Hierdoor daalde de grondwaterstand in het gebied.

Rond 1930

De textielindustrie breidde verder uit en ging meer en meer water oppompen, waardoor het grondwater verder zakte en de bronnen van de beken opdroogden. Met de groei van de industrie waren ook arbeiderswijken nodig. Een bekende wijk uit deze tijd is Pathmos. Zo breidde Enschede zich verder uit, de heuvel af. Om de textielindustrie beter te kunnen ontsluiten en water af te voeren is in 1930 het Twentekanaal gegraven. Door de aanleg van het kanaal en het zakken van het grondwater, verloren de beken hun functie. Daarnaast werden sommige beken gebruikt als afvoer voor de fabrieken. Diverse beken zijn in 1938 omgebouwd naar een riool of verdwenen, zie figuur 3.



Figuur 3: Het bekensysteem rond 1880 (links) en na 1930 (rechts).

Rond 1970

In de Tweede Wereldoorlog is een groot deel van de stad verwoest. Na de oorlog werd begonnen met de wederopbouw van de stad. Er was behoefte aan nieuwe woningen, zodoende is de woonwijk Stadsveld ontwikkeld.

Vanaf de jaren zestig volgde de ineenstorting van de textielindustrie. Enschede veranderde van een nijvere industriestad in een plaats vol werkloze arbeiders en leegstaande fabrieken. Deze werden door de gemeente opgekocht en later ontwikkeld tot bijvoorbeeld een ziekenhuis, een muziekcentrum of huisvesting voor jongeren en ouderen. Door het verdwijnen van de textielindustrie stopte ook het oppompen van grondwater. Met als gevolg een stijging van de grondwaterstand waardoor (grond)wateroverlast in lagere gelegen delen van de stad toe nam. Tevens is het verharde oppervlakte toegenomen.

Rond 2010

Door de vuurwerkramp op 13 mei 2000 werd een oudere stadswijk volledig weggevaagd. De herbouw van deze wijk, Roombeek, wordt qua stedenbouw en architectuur breed gewaardeerd en sluit aan op de binnenstad. Enschede is een echte arbeidersstad, maar is daarnaast de afgelopen 15 jaar flink veranderd. Zo moet Enschede in het jaar 2020 bekend staan als de ondernemende kennisstad, studentenstad, muziekstad, winkelstad en als leefstad. Anno nu telt de stad 160.000 inwoners.

In Enschede is water een belangrijk aandachtspunt. Door steeds minder grondwateronttrekking ontstaat er steeds meer wateroverlast. Daarnaast komen onder invloed van klimaatverandering extreme weersituaties, zoals hevige buien, vaker voor. Een hevige bui kan resulteren in ondergelopen verdiepte viaducten en omhoogkomende putdeksels. Bij overbelasting van het rioolstelsel loopt rioolwater dan soms huizen en winkels binnen.

Niet alleen de verwerking, maar ook het zichtbaar maken van water in de leefomgeving is van belang (zie bijlage B.3). Daarbij wordt rekening gehouden met de duurzaamheidsdoelstelling om schoon water niet te vermengen met afvalwater. Dat levert efficiënte zuivering op en bespaart bovendien energie.

2.3.2 Ontwikkeling van het gebied

Het onderzoeksgebied bevindt zich in de stadswijken Pathmos en Stadsveld, welke onderdeel zijn van Stadsdeel West. De stadswijken Pathmos en Stadsveld zijn in de periode van de stadsuitbreidingen tussen 1900 en 1950 gerealiseerd. Het verschil tussen deze wijken is dat Pathmos in de periode tot de Tweede Wereldoorlog is ontwikkeld. Stadsveld stampt van de wederopbouw en stadsuitbreiding van na de Tweede Wereldoorlog. Dit verschil in bouwjaar is momenteel nog zichtbaar aan de huidige stedelijke bouw.

Pathmos

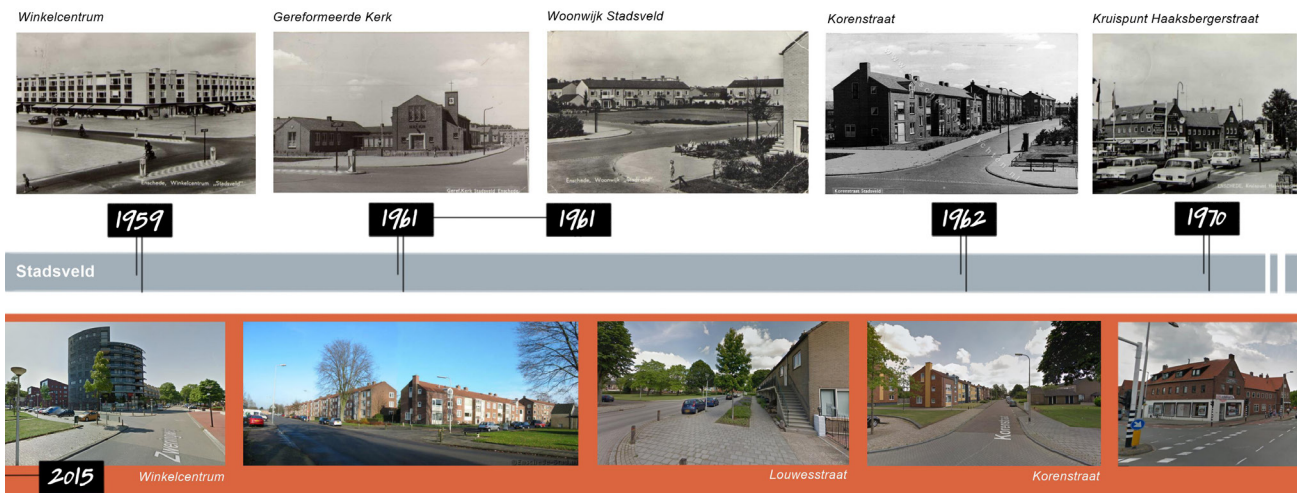
De wijk is gebouwd tussen 1914 en 1922. Er staan zo'n 1.200 karakteristieke woningen in de wijk en ook 30 gemeentelijke monumenten. De structuur van de wijk is zo'n 100 jaar na dato nog nagenoeg intact. De wijk heeft een grote ruimtelijke kwaliteit en heeft een besloten karakter ondanks de ruime opzet. Er zijn negen basistypen woningen gebouwd in 89 varianten. Het betreft een apart stukje Enschede met woningen die op elkaar lijken, maar de ene woning is recht gebouwd en de andere rond, in rijtjes van 3 of in rijtjes van 4. Er bestaat een enorme samenhang tussen die verschillende woningen. Er zijn kromme straatjes en hofjes te vinden. Het geeft intimiteit en contact.

In 1927 is de wijk uitgebreid met 226 woningen van de 'Drentse buurt'. De bewoners zijn voornamelijk arbeiders uit de veenkoloniën geweest. Dit deel van de wijk is veel soberder en goedkoper van opzet, dit is tevens de reden dat dit deel recentelijk is gesloopt en zal worden vervangen door nieuwe woningen. Vanaf 2016 krijgt de arbeiderswijk Pathmos een beschermde status [9]. De cultuurhistorie van de wijk wordt geborgd in een bestemmingsplan. De bescherming geldt voor de gevels en zijkanten van de woningen.

Stadsveld

In de jaren '50 en '60, tijdens de wederopbouw en uitbreiding van de stad, werd er een grote wijk tegen Pathmos aangeplakt. Voor de oorlog waren er al enige complexen met grondgebonden erkerwoningen verzeid, na de oorlog werd deze ontwikkeling grootschalig voortgezet. Eerst met eengezinswoningen en daarna, in de zestiger jaren, werden er vooral portiekflats en duplexwoningen gebouwd. Het stratenplan van de bestaande stad werd eigenlijk gewoon

De straten lopen in elkaar over en de ruimtelijke kwaliteit van de verschillende aangrenzende straten, pleinen, evenals groenvoorzieningen en beeldbepalende panden komen in de nieuwe inrichting beter tot hun recht. De ruimtelijkheid wordt vergroot; de stroom van de beek wordt geaccentueerd en op de pleinen en groenvoorzieningen zal het water tijdelijk worden opvangen in een bergingsvijver. Het opgeslagen water in de beekjes en bergingsvijvers zal voor verkoeling zorgen in de zomer. Het extra groen in de straat geeft een aangename leefomgeving.



Het water op straat kan direct weg stromen in de beek. Drainage water kan ook wegstromen via de beek zoals het systeem al eeuwen geleden goed heeft gewerkt. Door drainage wordt het grondwaterspiegel naar beneden getrokken. Huiseigenaren zijn verantwoordelijk voor hun eigen perceel. Zij worden aangespoord om in plaats van een bestraten tuin voor minder verharding te kiezen, zoals groen of een vijvertje.

Toekomstig straatbeeld

Het samenhangende totaalbeeld is een rustig en groen straatbeeld. De identieke bruggetjes op verschillende plekken geven een speciaal karakter aan de omgeving. De bruggetjes zijn in de vormgeving hetzelfde. Het uitgangspunt is om het straatbeeld zo rustig mogelijk te houden. Er komen meerdere bruggen vlak bij elkaar te liggen. Om de soberheid te hanteren en een het rustige beeld te behouden, speelt de slankheid en de transparantie van het ontwerp een rol. Dit zal uiteindelijk het beeld bepalen.



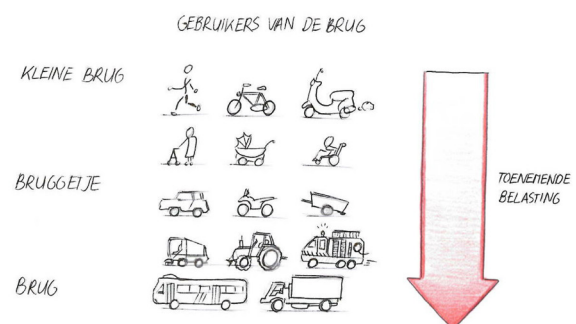
2.4 Gebruikersanalyse

Bij de nieuwe bruggetjes is er sprake van omwonenden in de directe omgeving. Zij zullen met de grootste regelmaat gebruikmaken van de brug. Deze reguliere gebruikers kunnen de komst van de bruggetjes zowel positief als negatief ervaren. Vroegtijdig in het project Stadsbeek zijn de wensen, eisen en voorkeuren van omwonenden geïnterviewd. Mensen die aan het water wonen, vinden dit vaak heel erg leuk. Maar het idee dat er straks water voor de deur loopt was voor sommige bewoners wennen. Bewoners zijn betrokken bij het ontwerp van de beek. Zij hebben inspraak op de inpasbaarheid van de beek en het groen langs de beek. De gemeente heeft de ideeën van bewoners op informatieavonden uitgewerkt tot een ontwerp en dit is inmiddels gepresenteerd aan de bewoners die hebben meegeholpen. De besluitvorming van het brugontwerp ligt bij de opdrachtgever. De opdrachtgever kiest er bewust voor omwonenden geen invloed te laten hebben op het ontwerp.

Gebruikers

Behalve van omwonenden zijn er ook nog andere gebruikers, incidentiele gebruikers. Daarnaast moet ook rekening worden gehouden met onbedoeld gebruik. In figuur 6 worden mogelijke gebruikers van de brug geïllustreerd. De brug is toegankelijk voor:

- Voetgangers
- Fietsers
- Karretjes



Figuur 6: Gebruikers van de brug

Deze gebruikers leiden vervolgens met hun kenmerken tot eisen en wensen: een profiel van vrije ruimte, belastingsgevallen die invloed hebben op de een fysieke belasting van de brug en andere specifieke kenmerken. Er kunnen verschillende scenario's optreden, zie bijlagen B.5. Naast eisen en wensen van de gebruikers, dient er in het ontwerp rekening gehouden te worden met verschillende aspecten die in de directe omgeving kunnen optreden door de nieuwe situatie.

Geluidshinder

De nieuwe brug kan tot geluidshinder voor omwonenden leiden. Dit zal zo veel mogelijk worden beperkt, bijvoorbeeld door de keuze voor het brugdek. Aan de andere kant kan het de omwonenden bijvoorbeeld afschermen van de weg of het lawaaierige schoolplein.

(Uit)zicht

De nieuwe brug verandert het uitzicht van omwonenden. De bewoners kijken vanuit hun huis uit op het groene talud van de beek. De komst van de brug kan ook een bijdrage leveren aan deze verbetering van het uitzicht. Doordat er meer levendigheid is, er een nieuwe zichtlijn ontstaat of door de verharde bestraten weg uit het zicht te nemen.

Privacy

De nieuwe brug in het bebouwde gebied heeft soms gevolgen voor de privacy van omwonenden, met name wanneer gebruikers zicht op de achtertuin van omwonenden of in woningen kunnen kijken. Voor omwonenden is dit onwenselijk.

Planschade

Met planschade wordt over het algemeen waardevermindering van onroerende zaken of inkomstenderving bedoeld. De komst van een nieuwe brug kan tot planschade leiden, bijvoorbeeld

als omwonenden van mening zijn dat hun huis er minder waard door wordt. Van tevoren is niet per definitie te overzien of er sprake zal zijn van planschade.

Een uitgangspunt van het ontwerp is dat de nieuwe brug de uitstraling van de wijk aanzienlijk zal verbeteren. Daarnaast kan in het ontwerp worden ingespeeld op de interactie tussen gebruiker en omgeving. De gebruikersinteractie is niet intensief. Er is namelijk geen bepaalde handeling vereist. De interactie met de omgeving heeft een subtiele invloed op de sfeer. Het ontwerp kan bijvoorbeeld een prettige beleving meegeven. Als er een interactie plaats vindt maakt het de gebruiker blij of verrast het. Het ontwerp is uitnodigend en toegankelijk. Door dit op te nemen in de ontwerpprincipes zal dit de bovengenoemde aspecten ten goede komen.

2.5 Materiaalstudie

Bij de materiaalkeuze spelen beeldkwaliteit, constructieve aspecten en eisen en wensen vanuit beheer en onderhoud een rol. De mogelijke materialen voor fiets- en voetgangersbruggen zijn beton, metaal, hout en kunststof. Hieronder volgt aan de hand van algemene aandachtspunten een omschrijving van waar het beeld van de brug bij moet aansluiten en welke materialen echt niet gewenst zijn.

2.5.1 Constructie

De constructieve eigenschappen van een materiaal bepalen de toepassingsmogelijkheden ervan. Belangrijke constructieve eigenschappen zijn gewicht, sterkte, vervorming, krimp en uitzetting, en vermoeiing. De materiaalkeuze hangt nauw samen met de keuze voor brugtype en is afhankelijk van onder meer de overspanning en belastingsklasse.

Er zijn bruggen in allerlei soorten en maten. De meest gangbare onderverdeling is gebaseerd op het constructieprincipe en de optimale overspanning.

1. Plaatbrug, liggerbrug en lensliggerbrug (tot 200 meter)
2. Boogbrug, vakwerkbrug en vierendeelliggerbrug (vanaf 500 meter)
3. Tuibrug, duikerbrug en drijvende brug (tot 800 meter)

De constructieprincipes die worden toegepast bij een overspanning van meer dan 200 meter is niet relevant voor de brug over de Stadsbeek. De beek heeft een breedte van maximaal 4 meter en een overspanning van maximaal 8 meter. De brugtypen voor kleine overspanningen zullen verder worden toegelicht.

- *Plaatbrug*: De hoofddraagconstructie bestaat uit een vlakke plaat. De constructie is geschikt voor kleine overspanning tot circa 8 meter. Meestal uitgevoerd in beton, ook mogelijk in gelamineerd hout.
- *Liggerbrug*: De hoofddraagconstructie bestaat uit een of meer liggers. Dit constructieprincipe wordt vaak toegepast bij eenvoudige bruggen tot een overspanning van 200 meter. Mogelijke materialen zijn staal, beton, kunststof en hout.
- *Lensliggerbrug*: Een bijzondere variant van de liggerbrug. De hoofddraagconstructie bestaat uit een of meer liggers die in hoogte het momentenverloop volgen: ze zijn in het midden hoger dan aan de uiteinden en meestal uitgevoerd in staal.

Op een brug werken diverse krachten: druk- en trekkrachten (horizontale en verticale krachten). Dit leidt tot diverse typen spanningen: druk, trek, buig, torsie en afschuiving. Deze krachten en optredende spanningen spelen een rol bij de uitwerking van het ontwerp en de constructie. Hierbij kan gedacht worden aan de belastingen op het brugdek, belastingen op de leuning, belastingen door weer en klimaat en aanrijdbelastingen.

De belastingsklasse geeft aan welke belasting een brug kan dragen en beïnvloedt de keuze van constructiemateriaal en -principe. Bij fiets- en voetgangersbruggen wordt de toegestane belasting van 5 kN/m² gebruikt. Voor verkeersbruggen wordt doorgaans de term verkeersklasse gebruikt, waarvan in Nederland verkeersklasse 300, 450 en 600 het meest gangbaar zijn [7]. Verkeersklasse 300 is geschikt voor autoverkeer en licht vrachtverkeer, verkeersklasse 450 voor de combinatie auto- en vrachtverkeer en verkeersklasse 600 is geschikt voor zeer zwaar vrachtverkeer.

In de opdracht kader steunt de brug aan een zijde op een betonnen wand en aan de andere zijde op een talud. In het verdere ontwerpproces wordt verondersteld dat de funderingen aan beide zijde van de brug sterk genoeg zijn om de gekozen oplegging te kunnen dragen.

Constructieve eigenschappen	
Gewicht	Het gewicht van de brugconstructie is met name bepalend voor de uitvoering van fundering en landhoofden. Daarnaast kan het een rol spelen bij trillingen.
Sterkte	De sterkte bepaalt onder welke belasting constructies zullen bezwijken.
Vervorming	De vervorming kan ontstaan door krachtswerking of door temperatuurverschillen. De vervormingen van balken moet zo veel mogelijk worden beperkt.
Krimp en uitzetting	Veranderingen in omgevingstemperatuur veroorzaken bij vrijwel alle materialen krimp (temperatuurverlaging) of uitzetting (temperatuurverhoging). Ook de gekozen kleur van de brug kan hierop invloed hebben.
	Om lengte verschillen in de brugconstructie door uitzet of krimp te kunnen opvangen, heeft de brug voegovergangen. Dit geeft de brug de ruimte geven om uit te zetten en te krimpen.
Vermoeiing	Vermoeiing van materialen treedt op bij dynamische belasting. Dit speelt vooral bij beweegbare bruggen en tui- en hangbruggen.

Daarnaast spelen materiaaleigenschappen als brandtraagheid en duurzaamheid een rol.

2.5.2 Esthetiek

Een materiaal moet bijvoorbeeld passen bij materialen in de directe omgeving of aansluiten bij vergelijkbare kunstwerken in de omgeving. Ook een visie op beheer en onderhoud kan bepaalde materialen dicteren. Hierbij is het van belang de beeldkwaliteit van het materiaal gedurende de levensduur te omschrijven.

Beeldkwaliteit	Het beeld van de brug moet aansluiten bij het karakter en de sfeer van de context. Gewenst zijn heldere, transparante, duurzame en pure materialen.
----------------	---

	De materialen die niet gewenst zijn robuuste en zwaargewichte.
--	--

2.5.3 Beheer en onderhoud

De materiaalkeuze heeft grote invloed op het benodigde beheer en onderhoud. Een goede afweging tussen de uitvoeringskosten en het benodigde budget voor toekomstig beheer en onderhoud is essentieel.

Beheer en Onderhoud	De onderdelen dienen bereikbaar en toegankelijk te zijn voor onderhoud met gebruikelijke middelen en technieken.
	Geen reparaties zijn noodzakelijk gedurende een levensduur van 50 jaar.

Aan de hand van deze richtlijnen worden eisen opgesteld die kunnen worden opgenomen in het programma van eisen.

2.6 Projectgroep Stadsbeek

Het ontwerp is in grote lijnen gepresenteerd tijdens de inloopavonden in juni van 2015. Er wordt nu gewerkt aan 'de puntjes op de i'. Hiervoor is een vergaderreeks gepland voor het overleggen van openstaande punten en de voortgang. Het puntjes-op-de-i overleg is eenmaal per twee weken, gedurende anderhalf uur, in het Stadskantoor. Met als doel het elkaar stellen van vragen of bijpraten over acties en onderzoeken die nog lopen.

Het blijkt dat sommige dingen net even anders moeten. Zo is het in de Bruggertstraat veel praktischer om de beek een stukje op te schuiven richting het Bonhoeffer College. Daarover zijn een aantal leden van de vergadering met de school in gesprek. Het Bonhoeffer College werkt mee in het zoeken naar de beste oplossing. In de Rembrandtlaan wordt onderzocht of de wortels van de bomen niet te veel hinder zullen ondervinden van de beek. Om het risico voor de bomen te verkleinen, zal de groenstrook daar misschien iets breder moeten worden. De beek krijgt dan wat meer ruimte en de groene uitstraling blijft behouden. Het laatste stukje beek aan de Tweede Emmastraat kan wat smaller worden, omdat daar minder water door hoeft.

Overige punten die naar voren kwamen en werden besproken:

- Het ontwerp van de beek voor de school met betrekking tot de aan te kopen grond
- Een overeenstemming met de school over de aankoop
- Een brug naar school en sportveld
- De vormgeving van de beekbodem
- De oeverbeplanting
- De relatie met de inrichting van groene ruimtes tussen flats
- De inrichting kruising Rembrandtlaan en Bruggertstraat

De focus ligt hier op de Bruggertstraat en Rembrandtlaan. Eind 2016 wordt de eerste fase van de beek aangelegd. Er wordt op het laagste punt bij de Bruggertstraat begonnen en dan geleidelijk de wijk in. Door op dat punt te starten worden meteen de regenwaterproblemen in de omgeving van de Bruggertstraat en de Rembrandtlaan aangepakt.

Naast het uitwerken van de details van de eerste fase moet er een keuze worden gemaakt in ontwerp van de beek in de Elferinksweg, variant 1 of variant 2, zie bijlagen A.2 en A.3. Dit heeft met name te maken met het inpassen van de kabels en leidingen. Er wordt geïnventariseerd welke invloed de aanleg van de beek heeft op de aangrenzende woningen. De resultaten en rapporten worden tijdens het overleg besproken:

- Gespreksverslag Waterschap Vechtstromen: oplossingen voor kabels en leidingen onder de beek en de bodembekleding n.a.v. hun ervaring bij de BerflobEEK in Hengelo. Het doel is om zoveel mogelijk water vast te houden in de beek en verdamping te voorkomen.
- Advies Wareco Ingenieurs: de invloed van het grondwater, de grondwaterstroming onder de huizen door en over de invloed van de beek op de aangrenzende woningen.
- Voor-en nadelenoverzicht over de twee varianten.

Tot nu toe is er nog geen keuze gemaakt tussen de twee varianten.

2.7 Ontwerpprincipes

Uit het genoemde marktonderzoek bleek dat elk ontwerp uniek is in materiaalgebruik, vormgeving of de wijze waarop wordt ingespeeld op de omgeving. Of het nu gaat om bruggen van metaal, beton of een combinatie daarvan. Bij het ontwerp van de afzonderlijke bruggen voor het project Stadsbeek is het idee om een modulaire brug te ontwikkelen die op verschillende locaties kan worden ingezet. Eén familie van bruggen die bijdragen aan de identiteit en karakter van de Stadsbeek. Om de zichtbaarheid en beleefbaarheid naar het water te versterken worden de constructies van de bruggen zo slank, smal en transparant mogelijk gedimensioneerd. Er wordt zoveel mogelijk rust in het ruimtelijk beeld beoogd.

Uit een verdere analyse van de variatie in stedelijke bouw is gebleken dat er toch veel overeenkomsten zijn. Het ontwerp kan deze overeenkomsten versterken in de nieuwe situatie. De zuidoever, zie bijlagen A.2, heeft een continu dynamisch karakter met een doorgaande verbinding voor auto's, fietsers en voetgangers. Deze oever kenmerkt zich door een groene talud met een begeleidende beplanting. Deze groene sfeer is zichtbaar vanaf de noordoever. Deze oever ligt in de nieuwe situatie aan de voortuin of het voetpad en kenmerkt zich door een betonnen wand. Eenheid in verscheidenheid ontstaat hierbij door enerzijds het versterken van de ruimtelijke contrasten tussen de noordzijde en zuidzijde en anderzijds door het creëren van continuïteit.

Kenmerkend is een integraal ontwerp waarin de constructieve hoofdvorm de architectuur bepaalt en de architectuur de constructie bepaalt. Deze wisselwerking draagt bij aan een logisch en rustig beeld. Het zoeken naar een materiaal met het nastreven van transparantie en een zo groot mogelijke duurzaamheid kan in verschillende ontwerprichtingen leiden. Een eerlijk en eenvoudig materiaalgebruik versterken de rust in het ruimtelijk beeld. Door het toepassen van materialen die toegankelijkheid bieden voor onderhoud met gebruikelijke middelen en technieken kunnen de beheer en onderhoudskosten positief worden beïnvloed. Hierdoor is er sprake van een optimaal en duurzaam materiaalgebruik. Dit geldt voor alle onderdelen van de brug, zoals de hoofdconstructie, landhoofd, brugdek en leuningen.

Eenduidig kleurgebruik zorgt voor onderlinge samenhang tussen de afzonderlijke bruggen. Kleuren, niet contrasterend, maar passend bij de stedelijke omgeving zijn een voorwaarde in de beeldkwaliteit. Het ontwerp van de brug past bij de kleur- en vorm kenmerken van het straatbeeld.

Hiermee is de basis gelegd voor een goede gebruikswaarde, belevingswaarde en toekomstwaarde voor de Stadsbeek, met een rustige groene sfeer aan de noordzijde en een stedelijke, levendige sfeer aan de zuidzijde. Dit wordt bereikt door tijdens het ontwerpen principes te gebruiken.

De ontwerpprincipes worden in figuur 7 toegelicht:

1. Eén verzameling van bruggen
2. Beleving van water versterken
3. Samenhang met omgeving
4. Toekomstgericht

Deze ontwerpprincipes dienen als uitgangspunten en vormen de basis voor de idee generatie.



Figuur 7: Overzicht uitgangspunten vertaald naar ontwerpprincipes

2.8 Programma van eisen

Met de gegevens verzameld in de analyses kan het programma van eisen (PvE) worden opgesteld. Zowel de eisen gesteld door de Gemeente Enschede als door bewoners zijn verwerkt. In de tabel, zie bijlagen B.6, zijn de eisen geformuleerd, eventueel met bijbehorende specificatie. Doorgaans bestaat de specificatie van de te realiseren brug uit een verzameling van uiteenlopende eisen op verschillende detailniveaus. Er kunnen een aantal soorten eisen worden geformuleerd:

- *Functionele eisen*: dit zijn eisen gesteld aan het te realiseren ontwerp.
- *Aspecteisen*: dit zijn ondersteunende eisen van het te realiseren ontwerp.
- *Bedrijfseisen*: dit zijn eisen aan activiteiten die nog zijn om het ontwerp te realiseren.

De belangrijkste eisen zijn:

- De constructie van de brug dient te voldoen aan een belasting van 5 kN/m².
- Het brugdek dient zo dun mogelijk uitgevoerd te worden.
- De onderdelen moeten vervaardigd kunnen worden met behulp van de al aanwezige machines bij de fabrikant.

Ideegeneratie

De ideegeneratie is een belangrijke fase in dit project. De informatie verzameld in de analyse en de geformuleerde ontwerpprincipes zijn vertaald naar zoveel en gevarieerd mogelijke ideeën, zowel qua vormgeving als constructieprincipe. Ter inspiratie worden de collages nog eens goed bestudeerd. Hieruit worden elementen van de omgeving gehaald en bestaande (constructie-) oplossingen van vergelijkbare projecten onderzocht. Uit de ideeën worden vervolgens concepten ontwikkeld. Dit wordt beschreven in het hoofdstuk hierna: Conceptontwikkeling.

3.1 Vormstudie

In de ideegeneratie zijn verschillende vormstudies gedaan om de hoofdvorm van de brug te bepalen, zie figuur 8. Uit de tot op heden gerealiseerde bruggen, zie bijlagen B.1, blijkt een grote diversiteit in vorm. Vanaf de eerste schetsen vormt de gewenste rustige en levendige uitstraling het belangrijkste uitgangspunt. Aan de hand van bouw- en situatietekeningen in bijlagen A, is er gekeken naar de aansluiting op de omgeving. Patronen worden zichtbaar. Het gebied bestond eerst uit kromme straatjes en hofjes, maar na uitbreiding van het gebied, zijn de straten meer recht geworden. Kenmerken en structuurelementen uit deze patronen vormen een inspiratiebron. Echter in samenhang en evenwicht met de nieuwe en ‘vernatuurlijkte’ situatie.

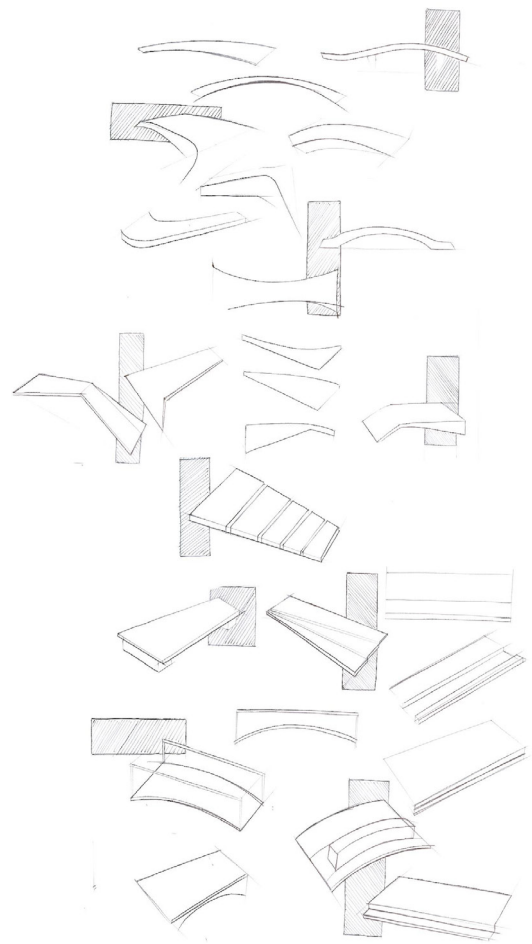
Kenmerken gebiedsidentiteit:

- Beslotenheid, maar open en ruime opzet
- Straatjes en hofjes: intimiteit en contact
- Rechte straten en regelmaat: modern

Structuurelementen:

- Padenverloop
 - Kronkelende paden, op regelmatige afstand beplant met bomen
 - Resten van rechte lanen, met overzicht en ritmiek
- Gebouwen
 - Boogvormen, restanten van poorten uit de werkdistrict Pathmos
 - Horizontale belijning
 - Grote bouwblokken met volumes in gelijke grootte
- Groenvoorzieningen
 - Grote open hofjes en parken
 - Zicht op objecten buiten het park
 - Variatie en speels
 - Solitaire bomen en boomgroepen
 - De vorm van de waterpartijen

Deze kenmerken en structuurelementen worden toegepast in de hoofdvorm van brug. Het is terug te vinden in de eerste schetsen met dynamische, rechte en gekromde lijnen.



Figuur 8: Schetsen uit de vormstudie

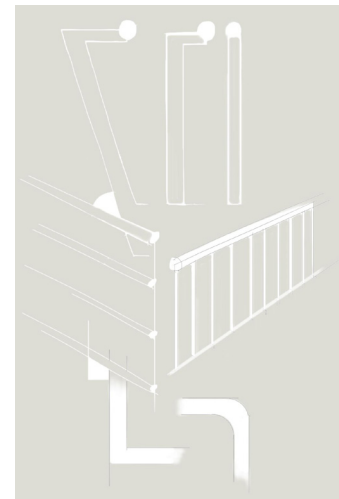
3.2 Ideeschetsen

Vanuit de vormstudie wordt een 'lijn' door getrokken naar ideeschetsen. De vormstudie is de basis voor de aansluiting op de omgeving. In de ideeschetsen wordt gevarieerd in oplossingen voor de elementen van de brug, zoals het hekwerk (figuur 9) en brugdek (figuur 10). De elementen geven identiteit aan de bruggen en leiden tot oplossingen voor het totaalbeeld. De schetsen zullen per element kort worden toegelicht.

3.2.1 Hekwerk

Een hekwerk is vanuit veiligheidsredenen vereist. Dit randelement bemiddelt tussen de lager gelegen beek en de levendige sfeer daarboven. Om te zorgen dat de brug als een geheel wordt ontworpen moet gezocht worden naar een geïntegreerde oplossing voor de balustrade rondom de brugrand en eventuele paden langs de oevers. Er zijn verschillende mogelijkheden in de vormgeving van het hekwerk. In de ideeschetsen wordt gevarieerd in balustertypen en hekvulling.

- *Balustertypen:* Rechte balusters geven een eenvoudig en krachtig beeld. Naar binnen gebogen balusters geven een geborgen en veilig beeld. Balusters die naar buiten gebogen zijn, geven een vriendelijk en gastvrij beeld.
- *Hekvulling:* Horizontale afvulling geeft een helder en open beeld. Verticale spijlen geven een meer gesloten vlak, hetgeen het hekwerk een robuust uiterlijk geeft. Horizontale spankabels geven het meest open en transparante beeld. Daar waar het hekwerk meer 'body' nodig heeft, wordt stafmateriaal toegepast.
- *Doorlopend hekwerk:* Vloeiend doorlopend hekwerk naar de paden langs de oevers geeft een rustig en organisch beeld. Een onderbroken en recht hekwerk geven een strak en statisch beeld. Een hekwerk wat in hoogte toeneemt naar de ene oever zorgt voor een speels en dynamisch beeld. Een boog in het hekwerk met verticale spijlen doet denken aan een spoorbrug.

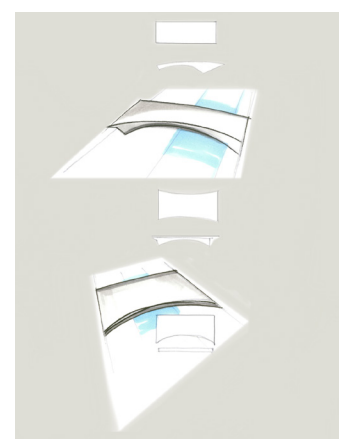


Figuur 9: Typen hekwerk

3.2.2 Brugdek

Naast de diversiteit in vormgeving van de bestaande bruggen geeft het een bepaalde uitstraling. Sierlijke, romantische, vriendelijke en chique bruggen zijn merendeel boogbruggen. Sterke, subtiele, moderne en eenvoudige bruggen zijn vaak liggerbruggen of plaatbruggen. In een later stadia zal een afweging moeten worden gemaakt tussen verschillende constructieprincipes. In de vormstudie werden diverse hoofdvormen op papier gezet. In de ideeschetsen worden bepaalde vormen verder uitgetekend als brugdek.

- *Plat brugdek:* Het brugdek bestaat uit een plaatdek en geeft de brug een slank en smal karakter.
- *Plat brugdek met een bocht:* Het geeft de brug een uitnodigend karakter.
- *Getogen brugdek:* Het geeft de brug een rustig en vriendelijk karakter.



Figuur 10: Diverse hoofdvormen brugdek

3.2.3 Taludbekleding

Het talud wordt met een helling van 1:1,5 aangelegd. De taludbekleding van speciale beplanting zal zichzelf ontwikkelen en zo ontstaat er een natuurlijke oever aan de zuidkant. De beek zal vanzelf wat gaan meanderen. De erosiebestendigheid van het talud komt hiermee in gevaar [10].

Daarom worden de taluds onder de bruggetjes verstevigd met een verharding om te voorkomen dat de beek verder uitslijt. Hierdoor moet worden voorkomen dat de stabiliteit van het talud wordt aangetast door:

1. Ontbreken van begroeiing op het talud. Bij een onbegroeid talud neemt de kans op erosie toe.
2. De taludbekleding kan minder goed groeien door schaduwwerking. Hierdoor neemt de dichtheid van de bekleding van het talud af, wat de kans op erosie vergroot.
3. Belastingtoename op talud. De brug oefent een zekere druk uit op de ondergrond. Door deze belastingtoename kan het gebeuren dat het talud instabiel wordt en vervolgens gaat afschuiven of dat de beschoeiing bezwijkt.

De taludverharding bestaat meestal uit meerdere lagen: een erosiebestendige top laag, inclusief de onderliggende lagen waaronder bijvoorbeeld een filter- en kleilaag. Daarnaast zijn er andere mogelijkheden zowel in type bekleding als de manier waarop deze aansluit op de brug, zie bijlage C.1. De keuze van de taludbekleding wordt vaak gemaakt door een architect als onderdeel van de totale vormgeving van het kunstwerk [10]. Binnen het project Stadsbeek is er de voorwaarde dat de talud dient afgewerkt te worden met een duurzame dichte bekleding. Deze vergt weinig of geen onderhoud, dient groei van onkruid te belemmeren en bestendig te zijn tegen uitspoeling.

3.3 Gebruik ontwerpprincipes in ideegeneratie

Naast kenmerken en structuurelementen uit de omgeving en inspiratie uit de collages worden ook de ontwerpprincipes uit Hoofdstuk 2.7 gebruikt om tot verschillende ideeën te komen. Op basis van de mindmap in figuur 7, waarin de ontwerpprincipes in kernwoorden worden toegesplitst, zijn gevarieerde ideeën ontstaan.

In dit stadium vonden veel gesprekken plaats waarin de uitgangspunten voor het ontwerp met de opdrachtgever, begeleider en betrokkenen bij het project Stadsbeek zijn besproken. Tijdens het gesprek met Henk Lansink van Waterschap Vechtstromen was het doel om te ‘sparren’. Lansink levert met zijn ervaring een bijdrage aan de ideeën in deze fase en brengt de nodige kennis over constructie bij. De punten die verder naar voren kwamen zijn beschreven in bijlage D.1.

3.4 Conclusie ideegeneratie

De meest interessante vormen en ideeën zullen verder worden uitgewerkt tot concepten. Een concept kan natuurlijk ook een combinatie van ideeën zijn. Hieronder worden de keuzes die in deze fase zijn gemaakt beargumenteerd. Daarin zijn de ontwerpprincipes bepalend.

- Het gebruiken van omgevingselementen: Dit zorgt voor aansluiting met de omgeving. Het verwerken van subtiele detaillering uit de omliggende architectuur, bijvoorbeeld een horizontale belijning voor het benadrukken van de erkers of een gebogen vorm afgeleid uit de werkwijk Pathmos.
- Het hekwerk is naar buiten toe gebogen: Dit geeft zoals eerder aangetoond een vriendelijk en gastvrij beeld. Het geeft daarnaast meer ruimte op het brugdek en sluit daarmee aan op het behouden van de beoogde ruimtelijke kwaliteit.
- Het hekwerk vloeiend laten doorlopen: Dit geeft een rustig beeld en op deze manier kan parkeren op of voor het brugdek worden voorkomen.
- Het brugdek heeft een gebogen vorm: Dit is uitnodigend en versterkt het zicht op het water en dus de waterbeleving.
- Het brugdek heeft geen toeg: Een toeg doet ouderwets aan en door de bolling niet toe te passen wordt het zicht zo min mogelijk verstoord. Er is wel vrijheid in het verder uitwerken van een asymmetrische vorm naar de zuidoever toe, waardoor de brug ‘landt’ op de groene talud.

Aandachtspunten

1. *Constructie:* Het brugdek wordt zo slank en smal mogelijk gedimensioneerd en uitgevoerd om de zichtbaarheid en beleefbaarheid naar het water te versterken. Hierin zijn de constructieprincipes van zowel boogbruggen en liggerbruggen mogelijk. Een overspanning van maximaal 5 meter zal hierin geen problemen opleveren, maar als het een bredere brug wordt, is het een ander geval. Er zal een afweging moeten worden gemaakt in een constructieprincipe en het toepassen van een enkele ligger of twee liggers.
2. *Materiaal:* Naast de vormgeving van de brug is ook de materialisering van belang voor een samenhangend beeld. De toenemende verstedelijking, de verdichting en de verharding van het grondoppervlak hebben niet alleen gevolgen voor het watersysteem, maar leiden ook tot een toenemende verhoging van de temperaturen in de stad [11]. Op dit aspect kan worden ingespeeld door gebruik te maken van het GroeneBlauwe netwerk als ontwerptool, aldus Lansink, zie bijlage D.1.

Op basis van het gesprek met Lansink is er gekozen voor een eenvoudige constructie met transparante hekwerken om de rust in het ruimtelijke beeld te behouden. Deze visie wordt positief ontvangen bij de opdrachtgever. Uiteindelijk zal dit de meeste potentie hebben om goed aan te sluiten bij de omgeving en het PvE.

Conceptontwikkeling

De ideegeneratie vormt de basis voor de conceptontwikkeling. De ideeschetsen leidde tot verschillende oplossingen in de vormgeving van de elementen. In dit hoofdstuk worden de meest veelbelovende ideeën verder uitgewerkt en gecombineerd. De focus ligt op het integrale ontwerp van de brug. Er worden keuzes gemaakt en het uiteindelijke ontwerp wordt gekozen.

4.1 Conceptschetsen

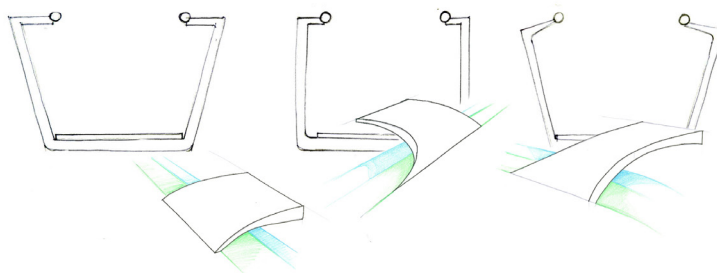
In de conceptschetsen, zie figuur 11, ligt de nadruk op het schetsen van een integraal ontwerp. Alle elementen dienen uiteindelijk te resulteren in een eenheid in vormgeving en een samenhang in het geheel. De bruggen geven een identiteit per plek, maar ook in het totaal. Niet alleen de bruggen, maar ook de andere inrichtingselementen, zoals paden, oevers, doorzichten, etc. spelen een rol. Het betreft een onderling relatie tussen de brug en de aansluitende inrichtingselementen.

4.1.1 Brugontwerp

Bij het hekwerk is vooral ingespeeld op de omgevingselementen. Zo zijn er schetsen ontstaan met gevarieerde balusters, zie bijlage C.2. Rechthoekige vormen voor het benadrukken van de erkers door horizontale belijning en afgeronde vormen gebaseerd op de bogen en ambachtelijke detaillering van de omliggende architectuur. Voor een terughoudende moderne verfijning bestaat het hekwerkvulling voornamelijk uit transparante spankabels voor het open en ruimtelijke beeld. Daarnaast is er gevarieerd in de mate waarin het hekwerk eindigt en hoe het terrein van de brug zich onderscheidt van de weg. Door een uitspringende handregel, een eindbaluster of een brugdek dat gedeeltelijk doorloopt in de weg. Hierin moet rekening worden gehouden met vriendelijke karakter van het naar buiten gebogen hekwerk.

Het brugdek bestaat uit een plaatdek met gebogen vorm richting het talud. Het gebogen brugdek geeft door een lichte kromming of 'landend' op de talud een vriendelijk en rustig beeld. Ook sluit het aan bij de eigenschappen van het water in de beek. Denk bijvoorbeeld aan een kronkelende waterloop, de stroming of het vormen van golven. Daarnaast is ook het idee van een leuning als draagvlak uitgetekend, zie bijlage. Het geeft een robuust beeld. Dit sluit niet aan bij de ontwerpprincipes.

Uit de conceptschetsen blijkt dat voor het samenhangende beeld een transparant hekwerk in combinatie met een gebogen vorm in het brugdek de meeste potentie heeft. Dit geldt ook voor de combinatie voor een meer 'body' hekwerk met een plat dek in plaats van een gebogen dek. Het integrale ontwerp van de brug levert een bijdrage aan een open en vriendelijk straatbeeld waarin typische kenmerken van de wijk terug komen.



Figuur 11: Schetsen uit de conceptontwikkeling

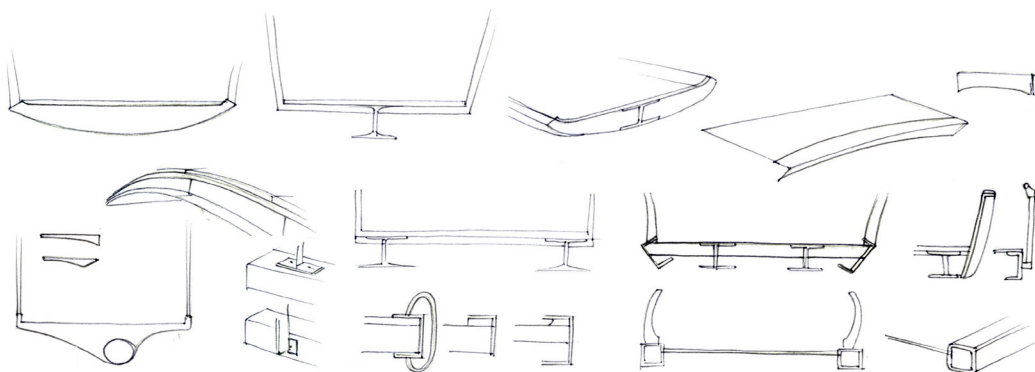
4.1.2 Constructie

Zoals gezegd is technische kennis vereist bij het ontwerp van een brug. Veel technische aspecten hebben weinig gevolgen voor de vormgeving, maar zorgen er voor dat de brug goed functioneert en dat zich geen problemen voordoen. Een aantal technische aspecten heeft wel een duidelijk verband met het uiterlijk van de brug.

- *Landhoofden:* De constructie aan het de uiteinden van de brug kunnen zichtbaar zijn en het aanzicht beïnvloeden. Bij de ruimtelijke inpassing van dit ontwerp landt de brug aan op een betonnen wand en het talud. Een licht belaste voetgangersbrug die aanlandt op een zeer stabiel talud, kan ook direct steunen op de funderingspalen en aanlanden op het talud, zonder landhoofden [12]. Stootplaten en vleugelwanden zijn dan uiteraard ook niet nodig. Omdat de talud als een 'nieuwe' situatie zal worden aangelegd, bestaat het talud uit 'los' zand met beplanting. Zeker in de beginfase zal het talud nog niet stabiel genoeg zijn. De brug zal dus moeten worden ondersteund met een landhoofd.
- *Tussensteunpunten:* Vanwege een overspanning van maximaal 5 meter is een tussensteunpunt overbodig en zal de constructie alleen ondersteund worden aan de uiteinden van de brug.
- *Opleggingen:* De brug zal aan de noordoever scharnierend worden opgenomen in de betonnen wand. Aan de zuidoever zal de brug rollend worden opgelegd om de brug voldoende bewegingsvrijheid te geven. In de sterkteberekeningen zal hiervan uit worden gegaan. Dit zal in de realiteit waarschijnlijk ook het geval zal zijn. De brug zal niet worden ingeklemd in de betonnen wand, omdat er in dat geval geen bewegingsvrijheid of speling mogelijk is.

Het brugdek wordt zo slank en smal mogelijk gedimensioneerd en uitgevoerd hierbij speelt de keuze in verschillende constructieprincipes een rol, zie figuur 12.

- *Constructieprincipe:* De plaatdek en het gebogen brugdek lenen zich beiden voor een boogbrug- of liggerbrugconstructie gewalst in de gewenste vorm. Daarnaast kan in plaats van een I-profiel een buisligger worden gebruikt. De variant op de liggerbrug, de lensligger, heeft een robuuste uitstraling, doordat de constructiehoogte het grootst is in het midden. Dit is niet gewenst.
- *Randliggers:* Door een randligger wordt het zicht op de hoofd draagconstructie afgedekt en zal daardoor het zicht niet verstoren. De randligger zal dan geen dragende functie hebben, maar een esthetische functie.
- *Afdekken draagconstructie:* De brug kan massief of met een open constructie aan de onderkant worden uitgevoerd. De materialisering is hierin bepalend voor het gewicht en zal de kracht die wordt overgebracht op de fundering beïnvloeden. Hierin zal rekening moeten worden gehouden met schuil- en broedplaatsen voor dieren.
- *Bevestiging hekwerk:* Het hekwerk kan op verschillende manier op de brug worden bevestigd. Op het brugdek, tegen het brugdek of als onderdeel van het brugdek.

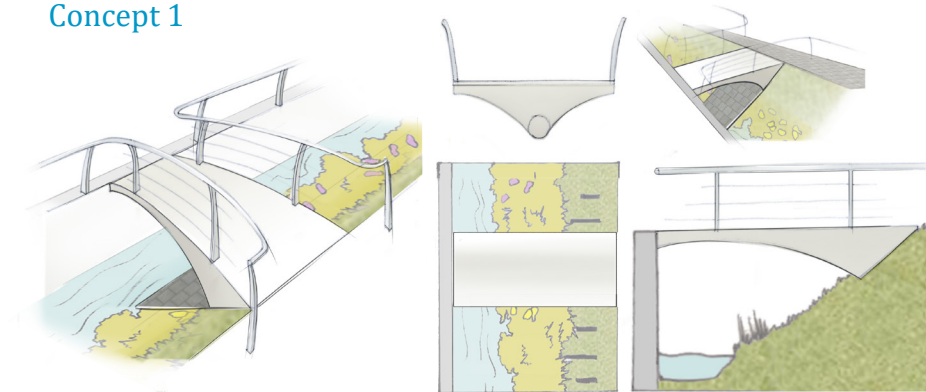


Figuur 12: Schetsen van verschillende constructieprincipes

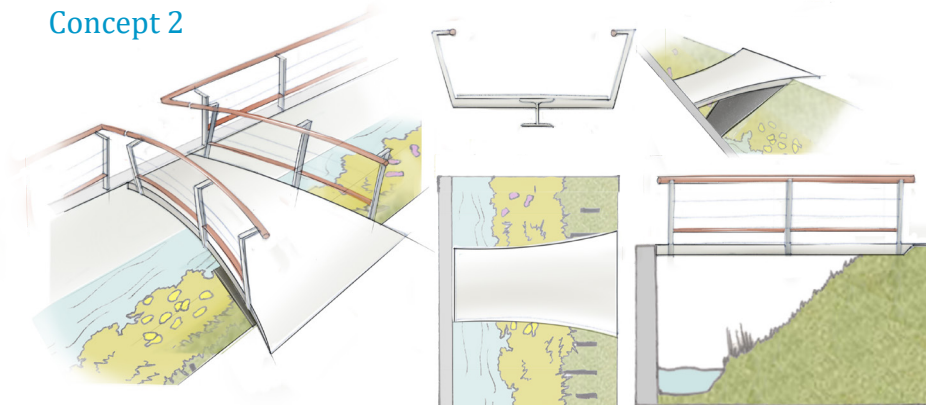
4.2 Ontwerpvoorstellen

In de conceptschetsen is naar zowel het brugontwerp als naar de constructie gekeken om tot een hoogwaardig integraal ontwerp te komen en een optimaal uitvoeringsontwerp voor de bruggen. In de ontwerpvoorstellen leidt de combinatie van vormgeving en constructie tot drie verschillende concepten, zie figuur 13. Van ieder concept is een nette presentatietekening gemaakt met een 3D, boven-, zij- en vooraanzicht en bijhorende materiaalstudie. Per concept zijn de voor- en nadelen beknopt beschreven voor een zo duidelijk mogelijk overzicht van de concepten. Vervolgens worden alternatieven bedacht voor de nadelen en worden conceptvariaties verder uitgetekend.

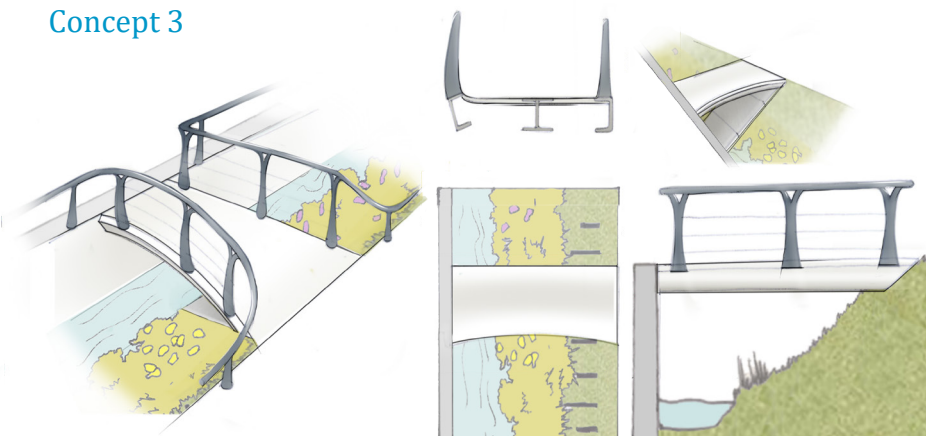
Concept 1



Concept 2



Concept 3



Figuur 13: Ontwerpvoorstellen

4.2.1 Concept 1

Concept 1	De bruggetjes in Concept 1 zijn allen identiek en hebben een royale uitstraling. Belangrijke kenmerken van het ontwerp: • De brug is opgebouwd uit een stalen buisligger met daarop uit plaatstaal gesneden dwarsspanen. De constructie landt met een toenemende boog op de talud. • Een minimale kromming in de brug van 2% op 100 cm is noch zichtbaar. • Het vloeiend doorlopende stalen hekwerk met spankabels is organisch en transparant. • Een schuin naar buiten hellend hekwerk biedt ruimte, is open en uitnodigend. • Het hekwerk is op de vloer bevestigd. • Een walbekleding van tegels, klinkers e.d. onder de brug.
VOORDELEN	NADELEN
Het doorlopende hekwerk voorkomt parkeren op de brug of ervoor.	De walbekleding aan de taludzijde kan een opvallende factor hebben.
De kromming draagt bij aan de afvoer van het water.	De constructie heeft van binnen lege ruimtes, wat aantrekkelijk is voor vuil en beestjes.
De walbekleding zorgt voor samenhang met de bestrating.	
Er kunnen eenvoudig twee gestandaardiseerde ontwerpen worden gerealiseerd.	
ALTERNATIEVEN	• Een standaard prefab betonligger gecombineerd met speciaal ontworpen prefab randliggers. • De randliggers kunnen gemengd worden met kleurstoffen (voor een bijv. meer wittere kleur wat refereert naar de erkers in het huidige straatbeeld). • De walbekleding komt overeen met de bestrating van het voetpad dat bestaat uit grijze tegels. • Identificatie met huis (nr/brievenbus) verwerkt in het hekwerk: is afhankelijk van variant 1 of variant 2.

4.2.2 Concept 2

Concept 2	De bruggetjes in Concept 2 zijn klokvormig in plattegrond, zodat de brug een uitnodigend gebaar maakt richting de gebruikers. Belangrijke kenmerken van het ontwerp: • Een eenvoudige en vlakke betonnen plaatbrug uitgevoerd met een verbrede inrit. • Het brugdek loopt aan de taludzijde over in het voetpad (variant 1) of in de parkeerplaats (variant 2). • De strakke belijning aan de rand van het brugdek en het hekwerk verwijst naar de omliggende architectuur. • Het wisselende hekwerkvulling met platte balken en spankabels is transparant en speels. • Het naar binnen gekeerde hekwerk zorgt voor een gevoel van veiligheid en is niet of moeilijk te beklimmen. • Het hekwerk is tegen de vloerrand bevestigd. • De walbekleding is een plaat van natuursteen in dezelfde klokvorm van het bruggetje.
VOORDELEN	NADELEN
Opgebouwd uit slechts enkele geprefabriceerde betonnen elementen, dus in een handomdraai gelegd.	Op vlakke plaatbrug kan mogelijk water blijven liggen.
Het doorlopende brugdek voorkomt parkeren op de brug of ervoor.	Geen railing aan de taludzijde biedt wellicht onvoldoende veiligheid.
Er kunnen eenvoudig twee gestandaardiseerde ontwerpen worden gerealiseerd.	Het uiteinde van de railing is in dit concept hinderlijk en heeft een risico bij het er tegen op botsen.
	Voor het overlopen van het brugdek in de bestrating moet de klokvorm worden uit 'gesneden' in de bestrating.
ALTERNATIEVEN	• Een betonnen bruggetje met een standaard prefab betonligger gecombineerd met een prefab randliggers van zelfverdichtend beton. • Toepassing van composietbeton zorgt voor een uiterst slank ontwerp en is licht van gewicht. Tot 6 m lengte is de brug 250 mm dik [10]. • Een helling in het bruggetje van 2% op 100 cm voor het benodigde afschot van water. • De handregel is rond afgewerkt. • Een betonnen plaat als walbekleding onder de brug. De betonnen walbekleding is onderhoudsvrij en duurzaam.

4.2.3 Concept 3

Concept 3	De bruggetjes in Concept 3 zijn aan de westzijde in een bocht gewalst, zodat gedetailleerde bruggetjes ontstaan die de nadruk leggen op het water. De bocht is met de stroomrichting mee. Belangrijke kenmerken van het ontwerp: • Eenvoudige stalen type brug die is opgebouwd uit stalen liggers en een brugdek. • De in toog gebogen profielzijde is toegepast met een gekantelde randligger. • Het rechtop staande hekwerk neemt in hoogte af aan de taludzijde. • De vorm van de balusters refereert aan de ambachtelijke detaillering gevuld met spankabels • Het hekwerk is onderdeel van de randligger. • Een (RVS-) stalen walbekleding onder de brug.
VOORDELEN	NADELEN
De doorlopende railing voorkomt parkeren op de brug of ervoor en de verlaging biedt voldoende veiligheid.	De balusters zijn mogelijk te robuust en dragen niet bij aan de transparantie.
De helling van het bruggetje, het doorgetrokken dwarsprofiel, draagt bij aan de water afvoer van het water.	De (RVS-) stalen walbekleding zal worden aan getast door het water. Het water bevat oer (ijzer) en zal uiteindelijk in een rode aanslag resulteren.
Er kunnen eenvoudig twee gestandaardiseerde ontwerpen worden gerealiseerd.	
ALTERNATIEVEN	• Een betonnen bruggetje met een standaard prefab betonligger gecombineerd met een prefab randliggers van zelfverdichtend beton. • Een helling in het bruggetje van 2% op 100 cm voor het benodigde afschot van water. • Een cortenstaal plaat als walbekleding. Dit materiaal heeft van zichzelf al een roodoranje kleur, maar is wel kostbaar.

4.3 Conceptafweging

De verschillende concepten zijn met de opdrachtgever besproken. De feedback is vastgelegd en is te vinden in bijlage D.2. Voor het toetsen van de concepten aan het PvE is er gebruik gemaakt van een methode met weegfactoren [13]. Aan de eisen wordt een weegfactor toegekend. De schaal loopt van 1 tot 3. De belangrijkste eisen krijgen de hoogste weegfactor. Per concept wordt gekeken in welke mate aan de betreffende eis is voldaan. Dit wordt ook met punten aangegeven, van 0 tot 3. Een 0 voor in het geheel niet en een 3 voor volledig voldaan. De score van een concept op een eis volgt uit het product van de beoordeling en de weegfactor. Door de scores van bij elkaar op te tellen, kunnen de concepten worden vergeleken. De hoogste totaalscore zal niet direct de conceptkeuze bepalen. Uiteindelijk zal de opdrachtgever beslissen welk concept gekozen zal worden. Deze methode geeft een goede indicatie op welke aspecten de concepten aan het PvE voldoen. Dit geeft meer onderbouwing om uiteindelijk de conceptkeuze te kunnen maken.

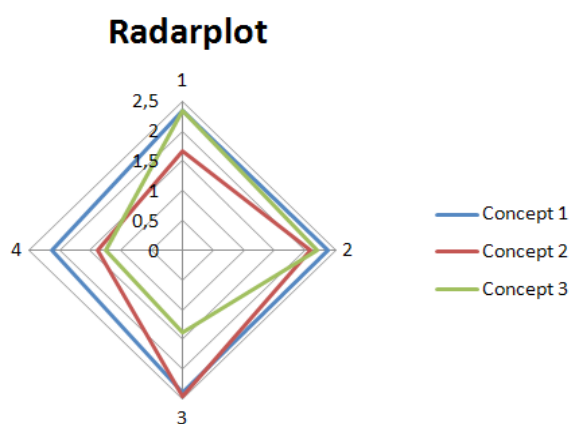
4.3.1 Toetsing PvE

De conceptafweging aan de hand van de methode met weegfactoren is in bijlage B.6.1 terug te vinden. Het PvE waaraan de concepten worden getoetst, komt niet overeen met het PvE uit Hoofdstuk 2.8. Het PvE is geselecteerd op eisen waaraan het concept op dit moment met de beschikbare gegevens op kan worden beoordeeld. Over de overige eisen is nog geen informatie en kan dus nog niet worden beoordeeld. Zo zijn de bedrijfseisen achterwegen gelaten en ook enkele van de functionele eisen en aspecteisen. Het PvE is opgedeeld in verschillende categorieën:

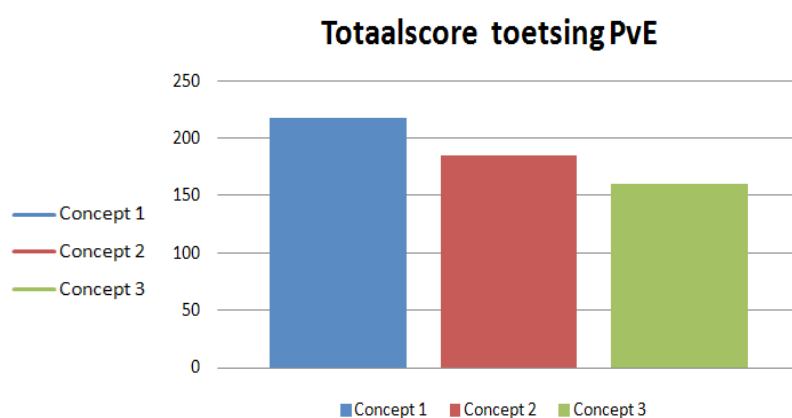
1. Functionele eisen
2. Gebruiksvriendelijkheid en Veiligheid
3. Omgeving en Vormgeving
4. Materiaal, Onderhoud en Reparatie

Radarplot en totaalscore toetsing PvE

Van alleen de beoordelingen, niet de scores, is een gemiddelde genomen die vervolgens in een radarplot is weergegeven, zie figuur 14. Figuur 15 suggereert dat Concept 1 het beste ontwerp is vanwege de hoogste totaalscore. Uit figuur 14 is direct te zien dat Concept 1 op bijna alle categorieën het beste scoort. Concept 3 scoort matig op categorie 3 en 4, maar goed op categorie 1 en 2. Concept 2 scoort voldoende op categorie 1, maar matig op categorie 4. Daartegen scoort Concept 2 wel ruim voldoende bij categorie 2 en 3. Op categorie 3 zelfs nog beter dan Concept 1.



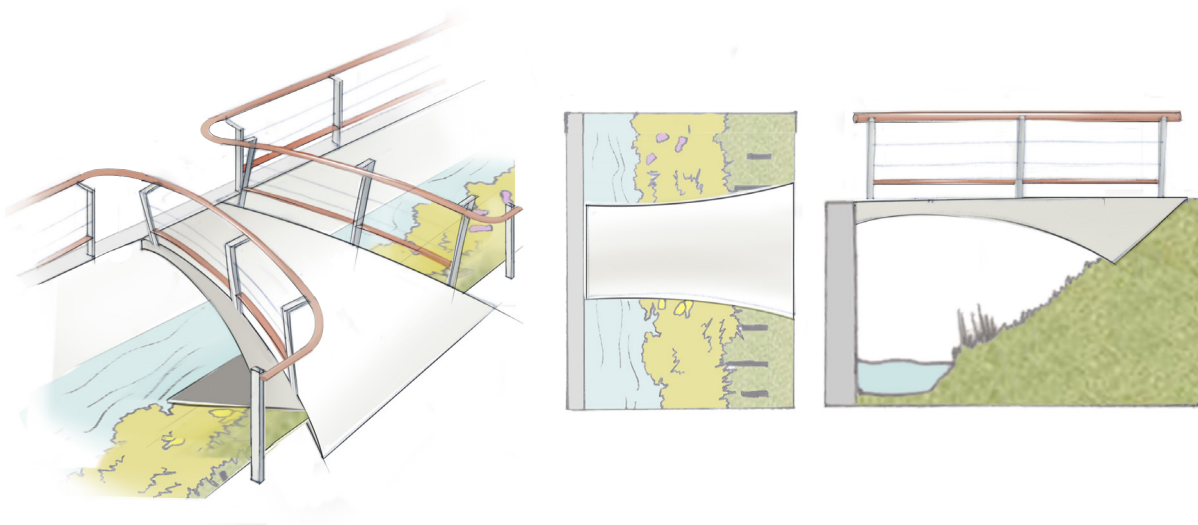
Figuur 14: Radarplot



Figuur 15: Totaalscore toetsing PvE

4.3.2 Conceptkeuze

De concepten zijn voorgelegd bij de opdrachtgever, naast het PvE gelegd en de aspecten per concept zijn besproken, zie bijlage D.2. De opdrachtgever geeft aan een combinatie te willen zien van Concept 1 en Concept 2, zie figuur 16. De vorm van de brug in Concept 1 is aantrekkelijk, aldus de opdrachtgever. In Concept 1 oogt het doorlopende hekwerk vriendelijk. Echter past het hekwerk van Concept 2 beter binnen de omliggende architectuur. Dit komt ook overeen met de toetsing op het PvE. Concept 2 scoort ruim voldoende op het aspect van Omgeving & Vormgeving. Er is gekozen om het hekwerk langs de rand van zowel de brug als de oevers te plaatsen voor een subtiele verfijning. Dit wordt in Concept 3 als positief ervaren. Het geeft duidelijk aan hoe de handregel door loopt langs de oevers. Er zal een bepaalde samenhang in het integreren van het hekwerk in Concept 1 moeten worden gevonden. Daarnaast geeft het open beeld richting het water van Concept 3 een positieve beleving. Dit komt deels ook terug in de klokvorm van het plaatdek in Concept 2. Ook dit zal in het brugontwerp van het uiteindelijke concept worden geïntegreerd. Voor de walbekleding zal een alternatief moeten worden gevonden voor een duurzame en onderhoudsvrije optie. In de Detaillering, hoofdstuk 5, zal bestudeerd worden hoe de vormgeving optimaal is te integreren met de constructie. Ook zal vervolgens de vormgeving van het hekwerk en het brugdek worden geïntegreerd tot een hoogwaardig integraal ontwerp.



Figuur 16: Het uiteindelijke ontwerp

Detaillering

In de detaileringsfase wordt het gekozen concept verder uitgewerkt op het gebied van vormgeving en constructie. Ten eerste wordt de voorlopige constructie bepaald. Daarna wordt de materialisering en kleurstelling van de elementen in het eindconcept toegelicht en kan de detailering worden uitgevoerd.

5.1 Constructie

Er zijn verschillende oplossingen mogelijk om de vormgeving optimaal te integreren met de constructie. Dit kan worden gerealiseerd met verschillende bouwmaterialen. De eigenschappen en de dikte van van het materiaal worden bestudeerd aan de hand van sterkteberekeningen. Hieruit volgt een materiaalkeuze en een voorlopige constructie.

5.1.1 Sterkteberekeningen constructie deel I

Het doel is om de constructie van de brug zo slank en smal mogelijk te dimensioneren. Daarvoor zijn de eerste sterkteberekeningen uitgevoerd voor een grove afschatting van de dikte van het materiaal, zie bijlage E.1. Deze berekening is uitgevoerd voor beton, constructiestaal, hout en composiet. Uit deze berekening blijkt dat een stalen brug het smalst kan worden uitgevoerd. De berekening is als volgt:

De materiaaleigenschappen van constructiestaal (ASTM A36) volgens NEN-EN 10025 zijn:

$$E = 200 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{allow}} = 250 \text{ MPa} = 25 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 \text{ (voor druksterkte)}$$

De doorbuigingsformule wordt gebruikt om I te herleiden:

$$\frac{5qL^4}{384EI} = 0,0044$$

$$\frac{5 \cdot (7,5 \cdot 10^3) \cdot 2,2^4}{384 \cdot (200 \cdot 10^9) \cdot I} = 0,0044$$

$$\frac{878460}{(7,68 \cdot 10^{13}) \cdot I} = 0,0044$$

$$\rightarrow 878460 = 3,379 \cdot 10^{11} \cdot I$$

$$I = 2,600 \cdot (10)^{-6} \text{ m}^4$$

Vervolgens kan uit de hoogte worden afgeleid uit de formule voor I met $b = 1,5 \text{ m}$:

$$\frac{1}{12} b h^3 = 2,600 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{1}{12} \cdot 1,5 \cdot h^3 = 2,600 \cdot 10^{-6}$$

$$0,125 \cdot h^3 = 2,600 \cdot 10^{-6}$$

$$h^3 = 2,080 \cdot 10^{-5}$$

$$h = 0,0275 \text{ m}$$

De dikte van een stalen plaat is dus 27,5 mm. Deze waarde beïnvloed de waarde S. De optredende spanning wordt gecontroleerd aan de maximaal toelaatbare spanning:

$$S = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{\frac{1}{2}h}$$

$$S = \frac{2,600 \cdot 10^{-6}}{\frac{1}{2} \cdot 0,0275}$$

$$S = 1,891 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{S}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{4,5375 \cdot 10^3}{1,891 \cdot 10^{-4}}$$

$$\sigma_{\max} = 24 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

Er geldt $\sigma_{\max} < \sigma_{\text{allow}}$, omdat $24 \cdot 10^6 < 25 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$. Dus de stalen plaat voldoet aan de maximaal toelaatbare spanning en bezwijkt niet onder een belasting van 5 kN/m^2 .

Na de stalen brug heeft een composiet constructie de meeste potentie voor een smalle brug. Uiteindelijk worden composiet en houten bruggen niet meegenomen in de bestudering van de constructiemogelijkheden. Een houten brug heeft een hoge materiaaldikte vanwege constructieve aspecten. Hierdoor krijgt een houten brug een robuuste uitstraling en dit beeldkwaliteit is niet gewenst. Daarnaast is hout gevoelig voor weersomstandigheden en zullen voorzorgsmaatregelen moeten worden toegepast en regelmatig onderhoud. Een composiet brug heeft hogere materiaalkosten en vergt kapitaalintensieve productiemiddelen. Ondanks deze nadelen heeft composiet vrijwel geen onderhoud nodig en een langere levensduur. Een brugontwerp van composiet vergt specifieke composieten kennis vanwege afwijkend materiaalgedrag ten op zichte van metaal.

5.1.2 Constructiemogelijkheden

Zoals gezegd is de keuze in het constructieprincipe bepalend is voor de vormgevingsaspecten. Om de uitstraling van het gekozen concept optimaal te realiseren, zijn van verschillende opties in constructie bestudeerd. Dit leidt tot de twee meest potentiële mogelijkheden:

1. Een betonnen constructie
2. Een stalen constructie

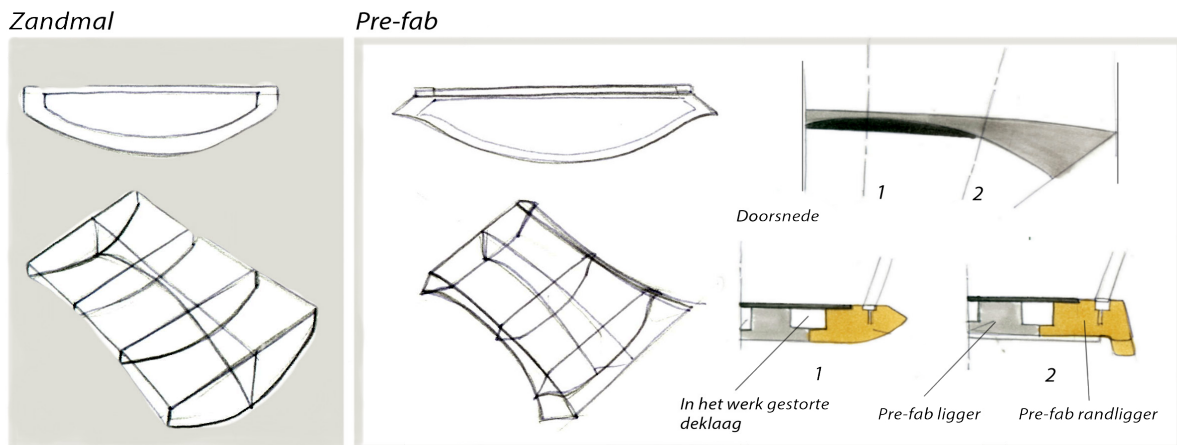
Deze constructies zullen hieronder worden toegelicht en gespecificeerd.

Constructie 1

Bij het maken van betonnen bruggen zijn er twee mogelijke fabricagemethoden: geprefabriceerd (prefab) en in het werk gestort. Beide hebben hun voor- en nadelen. Prefab beton kenmerkt zich bijvoorbeeld door een rondom glad oppervlak, een hoger afwerkingsniveau en betere kwaliteitsborging. Vanwege veel herhaling van de brug in dit project kunnen de hoge kosten voor het maken van een mal en de relatief lage prijs per kubieke meter aanzienlijk goedkoper worden. In het werk gestort beton heeft als voordeel dat je ook bruggen met allerlei hoeken en niet-standaardoplossingen kunt realiseren, maar levert een wat ruwere stortzijde op.

Prefab beton ligger en prefab randligger

In de brug kan een standaard prefab beton ligger worden gecombineerd met speciaal ontworpen prefab randliggers van zelfverdichtend beton, zie figuur 17. Met zelfverdichtend beton kunnen complexe vormen gerealiseerd worden en het betonoppervlak is van hogere kwaliteit dan bij normaal beton. De randliggers zijn geprefabriceerd, omdat op die manier de strakke belijning het mooist gerealiseerd wordt.



Figuur 17: Constructie 1

- + De betonnen constructie is onderhoudsvrij en een duurzame oplossing.
- + Relatief lage prijs door veel herhaling in de brug.
- + Eigenschappen van beton zijn weerstaan tegen grote drukkrachten, maar zijn niet goed bestand tegen trekkracht.
- Massieve constructie en dus een relatief hoog gewicht.
- Onder invloed van het weer ziet beton er snel grijs uit en vormt zich groene aanslag op het oppervlak. Het aanbrengen van een oppervlaktetextuur is vereist, zodat de vervuiling wegvalt in het spel van licht en schaduw.
- Over beton is te weinig kennis en zal de doorberekening weg moeten worden gelaten.

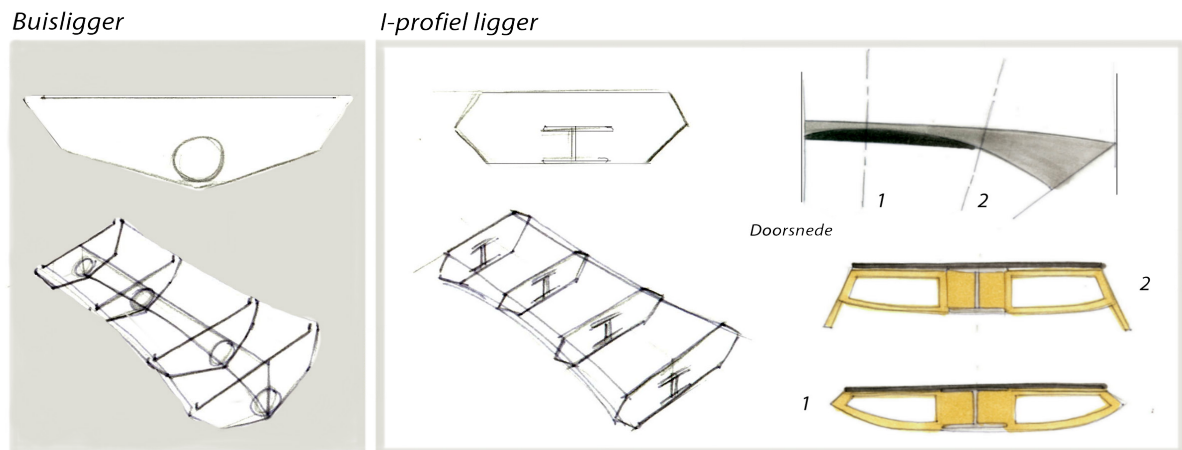
Constructie 2

Bij gebruik van staal is onderscheid te maken in bruggen van gewalste profielen (zoals I- en H-liggers), kokerprofielen (veel toegepast in vakwerkbruggen) en bruggen waarbij wals- en kokerprofielen worden gecombineerd (bijvoorbeeld een buisligger met spanten). Gewalste profielen zijn relatief goedkoop per kilo, kokerprofielen relatief duur. Kokerprofielen hebben echter een kleiner oppervlak dat gecoat moet worden en dus lagere conserveringskosten. Hierdoor zijn kokerprofielen voor bepaalde constructies toch aantrekkelijk.

Stalen ligger met dwarsspanen

De brug kan worden opgebouwd uit een stalen ligger met daarop uit plaatstaal gesneden dwarsspanen, afdekkingsmateriaal en een brugdek, zie figuur 18. Bij een dergelijke combinatie van een ligger en dwarsspanen is er veel vrijheid in de vorm van de spanen. De constructie kan worden uitgevoerd met een buisligger, een I- of ander profiel. De voorkeur heeft het I-profiel omdat deze meer stijfheid heeft. Een buisligger zal extra op buiging worden belast door de gekromde vorm. Het I-profiel is in een toog gewalst en onder een hoekverdraaiing geplaatst, zodat gedetailleerde en getoogde bruggen ontstaan. De dwarsspanen leveren een bijdrage in het opnemen van de belastingen. De stalen platen als afdekking van de brug hebben geen dragende functie.

- + Veel vrijheid in vorm
- + Een stalen constructie is de meest eenvoudige constructie en heeft dus een snelle bouw tijd.
- + Relatief laag gewicht door de holle constructie vanwege een kleine overspanning is te volstaan met een lichtere fundering.
- + Mogelijkheden om een kleur aan te brengen tijdens de conservering.



Figuur 18: Constructie 2

- Staal gaat roesten dus vereist het relatief veel conservering.
- De holle constructie kan een schuil- of broedplaats zijn voor dieren.

5.1.3 Duurzaamheid

Waar de één met een duurzaam brugontwerp een brug bedoelt die lang meegaat en lang mooi blijft, gebruikt de ander de term duurzaamheid om aan te geven dat een brug zo min mogelijk milieubelastend of zo veel mogelijk toekomstbestendig is, zowel tijdens de uitvoering als in gebruik. Voor een geslaagd brugontwerp zijn alle drie de interpretaties van belang.

Staal is de meest duurzame materiaalkeuze voor een verkeersbrug. Dat blijkt uit een studie in opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland [14]. Staal scoort in bruggen beter dan beton en is twee keer zo duurzaam als composiet. Bij de fietsbruggen scoort hout het best. Daar behaalt staal de tweede plaats, gevolgd door beton en ten slotte composiet.

Daarnaast kan een afweging worden gemaakt of de uitstraling en beeldkwaliteit belangrijker is dan het nastreven van een zo volledig mogelijk duurzaam ontwerp.

5.1.4 Voorlopige constructie

De staalconstructie wordt gekozen boven de betonconstructie. De stalen ligger met dwarsspanen constructie is daarmee voorlopig het beste alternatief. Deze keuze berust op de volgende afwegingen:

- *Staal is sterk:* Doordat staal sterker is dan beton, kan een stalen ligger in potentie slanker zijn dan een betonnen ligger. Beton kan weliswaar prima het moment opnemen, maar door het ontbreken van drukkrachten is er wapening nodig om de stijfheid van de ligger te verhogen. Wel blijven vervormingen door kruip een rol spelen in het beton.
- *Staal is gemakkelijk te vormen:* Staal heeft als positieve eigenschap dat het makkelijker aan te passen is. Zelfs nog wanneer het al is geplaatst. Beton is daarentegen minder 'flexibel' in het achteraf aanpassen. Dankzij de hoge flexibiliteit heb je met een staalconstructie meer mogelijkheden tot uitbreiding.
- *Staal is snel geconstrueerd en relatief eenvoudig om te herstellen:* De bouwtijd bij het gebruik van staal is aanzienlijk sneller. Waarbij voor beton vaak constructies gebouwd moeten worden om het beton in te gieten, kan staal direct worden toegepast. In de meeste gevallen zijn onderdelen dus ook eenvoudiger om te vervangen.
- *Staal is eenvoudig te recycleren:* Staalconstructies zijn beter en makkelijker af te breken dan

betonconstructies. Dat biedt ook meer mogelijkheden op het gebied van recycling. Wanneer naar de gehele levenscyclus van het materiaal wordt gekeken, kan worden gezegd dat staal een duurzamer materiaal is dan beton [15].

Het gekozen concept is voldoende bepaald. Eventueel is de constructie van Concept 2 iets om op terug te vallen. Deze constructie bestaat uit de meest eenvoudige type stalen brug opgebouwd uit stalen liggers en een brugdek. Dit type zou het beste kunnen worden uitgevoerd met twee stalen liggers in plaats van een enkele ligger in het midden. Hierdoor wordt de belasting beter over het brugdek verdeeld.

5.1.5 Aandachtspunten constructie

Tijdens het ontwerp van de constructie is er rekening gehouden met een aantal belangrijke aspecten.

Waterafvoer

De wijze van opvangen en afvoeren van hemelwater verschilt per situatie en er zijn verschillende mogelijkheden om het water af te voeren. Het uitgangspunt is om het water zo af te voeren dat er geen waterhinder ontstaat.

Het aansluitende straatprofiel is voorzien van een verkanting in de lengterichting naar één zijde. Dit zorgt ervoor dat het regenwater van de straat in de beek stroomt. Het voetpad is hierbij de maatgevende factor. Ook op de brug is is deze verkanting in de lengte van 2 procent toegepast. Het afschot is 2 cm per meter. Een afschot van 1 procent is voldoende om de waterafvoer te garanderen. In welke richting de verkanting ligt is afhankelijk van de keuze van variant 1 of variant 2. Het brugdek bestaat uit een doorlopend dek, zonder onderbrekingen of spleten. Doordat de afwatering van het doorlopende brugdek naar één kant loopt, zijn geen waterafvoeren nodig die onderhoud vragen.

Er is niet voor gekozen om een verkanting in het dwarsprofiel toe te passen. Meestal wordt een dakvormig dek tussen de hoofdliggers toegepast, met op de laagste punten een goot voor afwatering of een schamrand om er voor te zorgen dat het water niet over de brugrand stroomt, maar in de lengterichting. Daar komt altijd vuil in, waardoor de afwatering verstopt raakt. Kortom, dit element vergt altijd onderhoud. Om het wegstromen van het regenwater op het brugdek beter te reguleren zal er wel een afvoerpunt worden aangebracht in de richting van de verkanting.

In de berekeningen en in het 3D-model is deze verkanting buiten beschouwing gelaten, omdat dit vrijwel niet zichtbaar is en een minimale invloed heeft op de sterkte van de constructie en uitstraling.

Geluidshinder

De stalen constructie is een lichte constructie en werkt meer als klankkast dan de betonnen constructie. Om dit te voorkomen, kan het brugdek helemaal worden afgedicht door een goede voegovergang. Het volledig afdichten van de brug voorkomt ook het mogelijk optreden van schuil- of broedplaatsen voor dieren in de holle ruimtes tussen de ribben en dwarsspanen. Daarnaast kan een dikkere dekplaat of extra dwarsspanen het optreden van geluidshinder verminderen.

Conservering

Staal is slechter bestand tegen brand dan beton. Uiteraard zijn ook daar oplossingen voor. Zo kan een staalconstructie behandeld worden met brandwerende middelen, zoals bijvoorbeeld brandwerende verf of bekleding. Daarnaast is een staalconstructie lichter dan een betonconstructie, maar zorgt er wel voor dat het slechter warmte accumulerend is. Het staal laat slecht warmte op. Hier kan ook in de conservering rekening mee worden gehouden, bijvoorbeeld in kleurgebruik.

5.2 Vormgeving

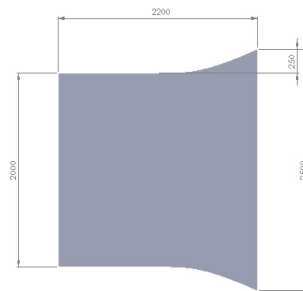
De vormgeving is vastgelegd en de voorlopige constructie is bepaald. Het uiteindelijke concept is hiermee voldoende vastgelegd en kan verder worden gedetailleerd in de computer.

5.2.1 Afmetingen

De afmetingen van de brug zijn geraamd op een minimale breedte van 1,5 m. Dit komt overeen met de breedtemaat van een voetpad. Een belangrijke randvoorwaarde afkomstig van een bewoner is dat er over het bruggetje zagezegd een 'karretje' moet kunnen. Dit karretje kan worden vergeleken met een *Boedelbak* uit figuur 19. De buitenmaten (l x b x h) van zo'n karretje zijn: 250 x 180 x 215 in cm. Hieruit blijkt dat de breedte van 1,5 m niet voldoende is.



Figuur 19: Boedelbak ofwel karretje

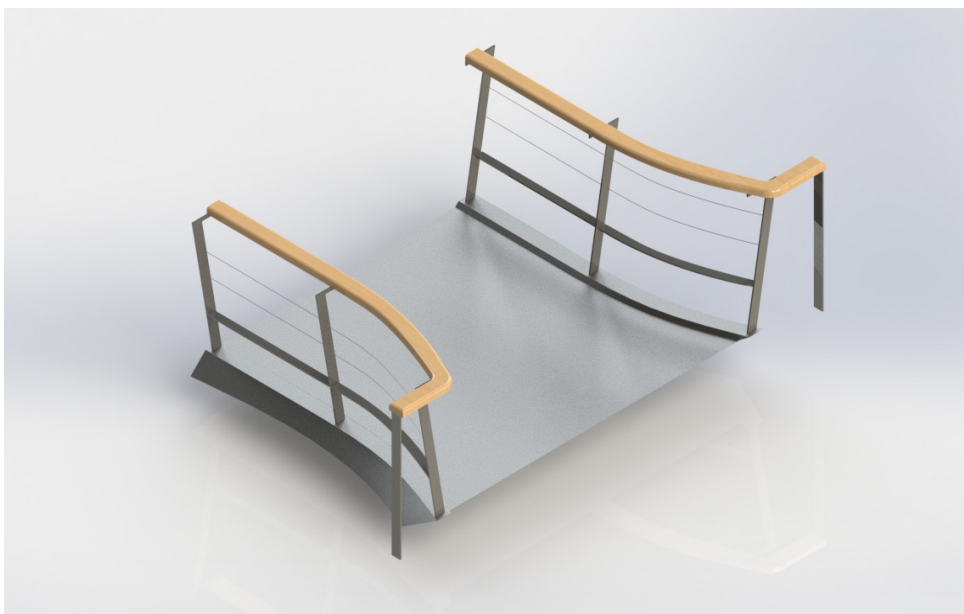


Figuur 20: Afmetingen brugdek

De breedte van de brug wordt aangepast naar 2,0 m en de tapstoelopende vorm naar de straat toe wordt 2,5 m, zie figuur 20. In dit geval is het bruggetje direct ook toegankelijk voor auto's. Dit blijkt uit een proefopstelling in AutoCAD. Voor de ruimtelijke inpassing van een gemiddelde personenauto wordt voor de toegankelijkheid een minimale breedte van 2,00 m aangehouden. Oorspronkelijk is een personenauto gemiddeld 1,77 m breed, maar deze maat is exclusief vrije ruimte. De minimale breedte van 2,0 m in het ontwerp staat gelijk aan de breedtemaat tussen de leuningen rekening gehouden met de vrije ruimte.

5.2.2 3D-model

Het concept is voldoende bepaald en kan verder worden gedetailleerd in de computer. In figuur 21 is het uiteindelijke concept weergegeven. In de volgende paragraaf wordt het ontwerp per onderdeel verder toegelicht.



Figuur 21: 3D-model

De hoofddraagconstructie bestaat uit een gedetailleerde en getoogde stalen ligger waarop dwarsspanen zijn bevestigd die het brugdek dragen. De afdekking van de constructie is gemaakt van gezet staal over de volle lengte van de brug. Het brugdek bestaat uit een dun plaatdek. Hierdoor is de constructie relatief licht uitgevoerd.

Het hekwerk is gemaakt uit plaatstaal gesneden balusters met daartussen een vulling van stalen spankabels, strippenstaal en een afgeronde handregel. De handregel buigt aan de uiteinden af langs de zijde van de beek. De balusters met hekwervulling zijn direct op de stalen constructie gelast en zijn onderdeel van de gehele brugconstructie.

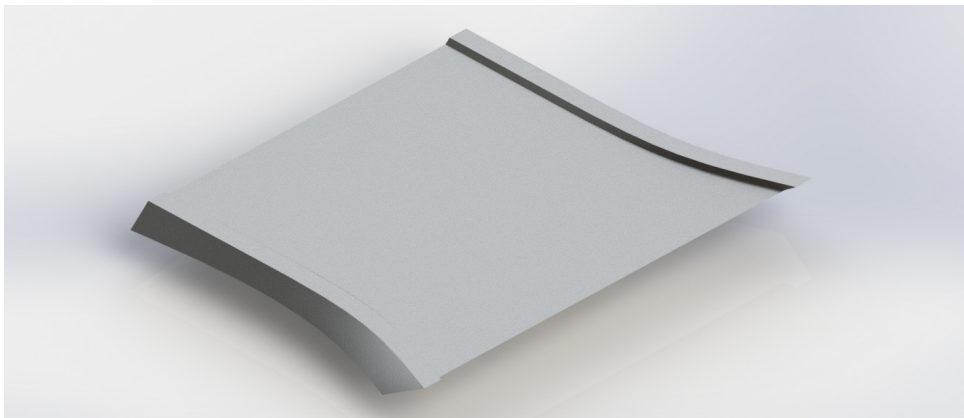
Het brugdek sluit aan bij de kenmerken van het stromende water. Het is enigszins eenvoudig gehouden. In het hekwerk worden omgevingselementen en terugkerende kenmerken van de omliggende architectuur verwerkt.

5.3 Onderdelen en materiaalkeuze

De onderdelen met hun afmetingen zijn vastgelegd in het 3D-model. De materialen zijn toegekend en geven uiteindelijk het totaalbeeld de gewenste uitstraling. De onderdelen en materiaalkeuze worden hieronder toegelicht aan de hand van renders en werktekeningen (bijlage F.1).

5.3.1 Brugdek

De stalen ligger kan met een stalen, betonnen, houten of composiet dek worden uitgevoerd. De verschillende materialen zijn bestudeerd en er is voor gekozen om het brugdek uit hetzelfde staal uit te voeren, zie figuur 22. Het loopvlak zal worden afgewerkt met een kunststof slijtlaag. In slijtlaag op kunststofbasis is een toepassing van kleur mogelijk. Het stalen dek en kunststof slijtlaag draag bij een relatief licht uitgevoerde constructie.



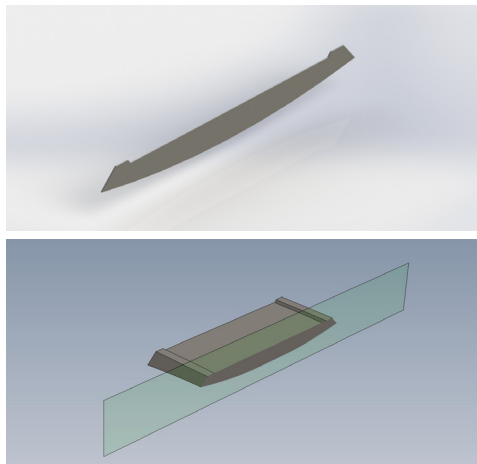
Figuur 22: Render brugdek

Dwarsspanen

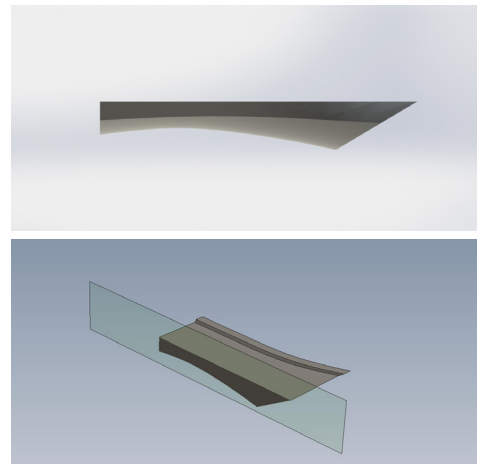
De uit plaatstaal gesneden dwarsspanen, zie figuur 23, leveren een bijdrage in het opnemen van de belastingen in het brugdek. Door het vinden van het juiste aantal dwarsspanen en afstand tussen de dwarsspanen zal de belasting optimaal over het brugdek worden verdeeld.

Afdekking

De afdekking is gemaakt van gezet staal en is in de juiste vorm gebogen waardoor de brug over de volle lengte volledig wordt afgedekt, zie figuur 24. Dit onderdeel heeft geen dragende functie, maar is vanuit esthetisch belang. De afdekking dient als stalen kap die de rand van de bruggen afdekt. Hierdoor is de hoofddraagconstructie niet meer zichtbaar.



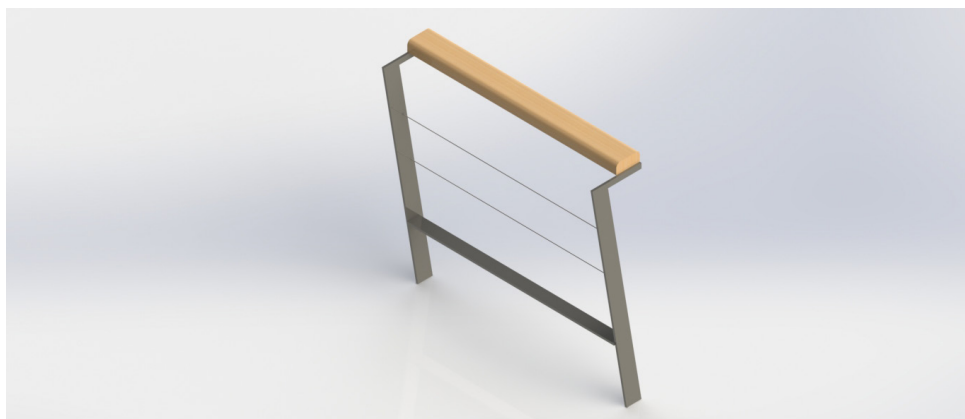
Figuur 23: Dwarsdoorsnede en dwarsspan (bovenste)



Figuur 24: Langsdoorsnede en afdekking (bovenste)

5.3.2 Hekwerk

Het hekwerk, zie figuur 25, heeft een hoogte van 110 cm en biedt daarmee voldoende veiligheid voor de gebruikers. Het type balusters ondersteunt de architectonische hekvulling. Het hekwerk loopt vloeiend door richting het voetpad, de parkeerplaats of langs het voetpad op de noordoever. Dit geeft een vriendelijke uitstraling en draag bij aan familiekenmerken. Het hekwerk wordt eenduidig langs de rand gemonteerd voor een subtiële verfijning. De horizontale hekvulking benadrukt de lengterichting van de brug.



Figuur 25: Render hekwerk

Balusters

Het hekwerk bestaat uit twee typen balusters, zie bijlage F.1.2. Op het brugdek staan de balusters onder hoek naar buiten toe en buigen op het hoogste punt recht naar binnen toe. Dit behoudt het gevoel van ruimte en bewegingsvrijheid op het brugdek, maar komt ook het gevoel van veiligheid op deze manier tegemoet. Op de kades langs de oevers worden rechte balusters geplaatst, krachtig en eenvoudig. De balusters worden beide uit thermisch verzinkt staal gesneden.

Hekwervulling

Het ontwerp en zijn afmetingen van het hekwervulling is geïnspireerd op de erkers van de omliggende architectuur. Hierdoor komen omgevingselementen terug in het ontwerp en zorgt

ervoor dat de brug samenhangt met de omgeving. Het geeft een herkenbaar karakter aan het ontwerp. Het hekwerkvvulling bestaat uit RVS kabels en gecoat strippenstaal. Een RVS spankabel als hekwerkvvulling zorgt voor een open en luchtig beeld. De spankabels passen goed bij een transparante brug. De meest gebruikte toepassing in het hekwerk van bruggen is spankabels met een diameter van 3 mm. De horizontale stalen strip van 10 mm refereert naar de strakke belijning van de erkerwoningen. Het hekwerk is in zijn geheel moeilijk beklimbaar voor kinderen door de specifieke vormgeving van het hekwerkvvulling en de balustertypen.

Handregel

De handregel is gebaseerd op een rechthoekige vorm waarvan de randen aan de bovenzijde zijn afgerond met een diameter van 20 mm voor een comfortabele handgreep. Ook biedt het comfort als armleuning om zo over het water heen te kunnen kijken. Er kan worden gekozen voor hout, RVS of gecoat staal. Een handregel uit FSC hardhout geeft een warme uitstraling tegenover het open en luchtige hekwerkvvulling. De handregel loopt vloeiend door waardoor een uitvoering in hout complex kan worden. Als oplossing kan ook voor een houtcomposiet worden gekozen als dit kosten technisch gunstiger is. Hierdoor kan de handregel eenvoudiger de bochten volgen met de gewenste uitstraling.

5.3.3 Taludbekleding

Voor de walbekleding wordt een duurzame en onderhoudsvrije betonnen plaat gekozen. In principe wordt een buitentalud twee keer per jaar gemaaid en jaarlijks wordt de onderbegroeiing of opschot van de taluds verwijderd en wordt een bezichtiging uitgevoerd op de bedekking van de walbekleding en eventuele holen van dieren. In dit project wordt het groene talud uitgevoerd met een speciale beplanting. Het onderhouds- en beheerplan wordt naar aanleiding van dit plan opgesteld.

Voor het buitentalud is een goede bekleding essentieel, met name als gekozen wordt voor een zanddijk. De ligging van het groene talud op de zuidoever biedt omstandigheden waardoor beplanting makkelijk verdroogt en hierdoor na de zomer niet voldoende hersteld. Oplossing kan zijn het aanbrengen van een deklaag van circa 0,5 meter erosiebestendige klei zodat zich een diep gewortelde gesloten beplanting kan ontwikkelen. Opgemerkt moet worden dat bij piekafvoeren van de beek onder dagelijkse omstandigheden het water tegen de kade aan kan staan en de stroomsnelheid snel kan zijn. Daarnaast zal de brug onder deze omstandigheden een bepaalde druk uit oefenen op het water waardoor het groene talud kan worden aangetast.

Het is noodzakelijk dat de taludbekleding onder de brug der mate stevig is voor het zorgen van voldoende bescherming. Vanuit Waterbeheer zal een juiste aansluiting van de betonnen plaat op het landhoofd en het groene talud moeten worden overwogen.

5.4 Beoordeling duurzaamheid

De ideale duurzame brug combineert de volgende kenmerken:

- minimaal materiaalgebruik
- materiaal met een zo'n min mogelijke milieubelasting
- detaillering, ontwerp en materiaalgebruik garanderen een optimale levensduur
- onderhoudsarm
- afgestemd op te verwachten gebruik
- afgestemd op te verwachten gebruiksduur
- herbruikbare materialen
- eenvoudig te verwijderen na einde gebruik

De ideale duurzame brug zoals hierboven omschreven is meestal niet haalbaar. Het meest duurzame resultaat ontstaat door het waarborgen van de hoofdaspecten van duurzaamheid en het ontwerp op die punten te optimaliseren. De drie hoofdaspecten zijn:

1. *Toekomstbestendigheid*: In een toekomstgericht ontwerp wordt rekening gehouden met de context, gebruikers en de kruisende infrastructuur. Bijvoorbeeld de aanpasbaarheid van een brug, nog aan te leggen kabels en leidingen, wijzigingen in de zwaarte van voertuigen of verkeersintensiteit.
2. *Klimaat- en slijtagebestendigheid*: Een klimaat- en slijtagebestendige brug behoudt zijn technische, functionele en visuele kwaliteit gedurende de beoogde levensduur. Bepalend voor de klimaat- en slijtagebestendigheid van een brug zijn de materiaalkeuze, onderhoudbaarheid en detailtering.
3. *Milieubelasting*: Over het algemeen geldt voor een de milieubelasting dat een brug met een efficiënte constructie ook een relatief lage milieubelasting heeft. Uitgangspunt is de schade van het kunstwerk op mens en milieu te beperken, een lage levenscyclusanalyse (LCA) score.

Het ontwerp wordt op duurzaamheid beoordeeld aan de hand van de bovengenoemde drie hoofdaspecten vertaald naar drie beoordelingsvragen.

1. *Welke toekomstbestendige oplossingen zijn er mogelijk binnen de eisen?*
 - Flexibiliteit
De brug is onderdeel van een bruggenfamilie bestaande uit gestandaardiseerde varianten. Hierdoor kan bij het verder aanleggen van de beek richting het centrum eventueel ook deze bruggen worden gebruikt. Het ontwerp is afgestemd op het te verwachten gebruik, maar er is geen rekening gehouden met een grotere belasting door het in de toekomst vergroten van de overspanning of verbreden van het brugdek. Dit vergroot de flexibiliteit van het ontwerp.
 - Aanpasbaarheid
Veranderingen tijdens ontwerp of uitvoering zijn op een kostenefficiënte manier uit te voeren na 20 of 30 jaar gebruik. Staalconstructies zijn namelijk door middel van las- of boutverbindingen nog eenvoudig aan te passen. De brug is aanpasbaar zonder diepgaande investeringen waardoor de economische levensduur van de brug wordt verlengd.
2. *Welke klimaat- en slijtagebestendige oplossingen kunnen het brugontwerp optimaliseren?*
 - Levensduur
De te verwachten levensduur van de draagconstructie is meer dan 60 jaar. Dit geldt ook voor het stalen hekwerk. Een FSC hardhouten handregel is ontworpen voor een levensduur van circa 25 jaar met daarentegen een composiet leuning van meer dan 60 jaar. Het materiaal van de draagconstructie heeft geen invloed op de levensduur [14], maar een composiet handregel biedt een meer klimaat- en slijtagebestendige oplossing.
 - Onderhoud
Staal vergt in buitenluchtsituaties regelmatig onderhoud om roestvorming tegen te gaan. Het onderhouden van roestvast staal is vooral afhankelijk van de vervuiling. Horizontale vlakken en ruwe oppervlakken dienen daarom zoveel mogelijk vermeden te worden. Hoe gladder de afwerking van het oppervlak, hoe minder vuil zich aan het oppervlak zal hechten.
3. *Wat is de waarde van de LCA-score als beoordeling op de milieubelasting?*
 - LCA-score
De lage milieuvoetafdruk van staal is met name te danken aan het lage gewicht en de

uitstekende recyclingeigenschappen. De milieubelasting is voor een relatief groot deel afhankelijk van de coating. Dit komt doordat het elke 25 jaar opnieuw aangebracht moet worden [15]. Ook heeft het aanbrengen en vervangen van de slijtlaag een grote impact. De reductie van het gebruik van coating, zonder de constructie te schaden, lijkt dus de belangrijkste mogelijkheid om de milieu-impact verlagen.

– Hergebruik

Het staal is geheel te recyclen. Staal is zeer goed te herbruikbaar. Dit gebeurt op verschillende niveaus: 50% van de profielen wordt hergebruikt, voordat het als schroot wordt gerecycled. Al het staal is recyclebaar, ook wanneer het verzinkt of gecoat is [16].

Uit de bovengenoemde aspecten blijkt dat het brugontwerp verschillende kenmerken van een duurzame brug toekent, maar soms wordt de beeldkwaliteit van de detaillering, ontwerp en materiaalgebruik boven het garanderen van een optimale duurzaamheid gekozen.

5.5 Kosten

De kosten van een brug zijn afhankelijk van allerlei aspecten. Het budget en de realisatiekosten zijn in het ontwerpproces buiten beschouwing gelaten. Hierdoor is de vrijheid in vormstudie en ideegeneratie niet beperkt. Daarnaast is er bewust voor gekozen om voor- en nadelen van constructies niet uit te drukken in meer of mindere mate van geld. De kosten zijn niet doorslaggevend in deze opdracht. Wel is het mogelijk een afweging te maken aan de hand van een aantal vuistregels om kosten te besparen.

De eenvoudige constructie van standaard stalen liggers brengt vaak lage kosten met zich mee. Door een simpel brugdek te combineren met een bijzonder hekwerk ontstaat een uniek ontwerp. Door dit uit te werken in een aantal gelijke modules is de brug economischer te produceren dan bruggen met allemaal unieke onderdelen. Het gebruik van zoveel mogelijk dezelfde onderdelen kan tot op zekere hoogte leiden tot kostenbesparing. Ook de seriegrootte kan leiden tot lagere kosten per brug. Het project wordt op grote schaal uitgevoerd met veel herhaling. De verhouding tussen herhalingsfactor en projectgrootte speelt een grote rol.

In de Detaillering zijn de materialen gekozen, maar deze zullen echter pas definitief bepaald worden bij de uiteindelijke productie van de bruggetjes. De exacte kosten hangen ook af van de producent waarmee de Gemeente Enschede in samenwerking gaat. Deze zal meer kennis en inzicht hebben in de mogelijkheden en de kosten. Dit geldt ook voor de transportkosten. Voor een optimaal ontwerp kunnen de elementen worden getoetst op maakbaar, transporteerbaar en het eenvoudig monteerbaar zijn.

Significant is ook dat de kosten voor beheer en onderhoud fors kunnen oplopen. De kosten van de bruggen bedraagt over de levensduur van de brug een veelvoud van de investeringskosten. Daarnaast worden al deze kosten door de gemeente gedragen. Civiel ingenieurs hebben de verantwoordelijkheid om constructies te ontwerpen die in financiële zin 'volhoudbaar' zijn. Dit gaat verder dan het analyseren van de fabricage, transport en montage. De kosten over de gehele levensduur moeten worden beschouwd, zoals de inspectie, reiniging, regulier en groot onderhoud. Regulier onderhoud betreft bijvoorbeeld het vuil verwijderen en groot onderhoud het vervangen van de conservering en onderdelen zoals de slijtlaag, voegen of opleggingen. Ook de kosten van het energieverbruik in de gebruiksfase, afschrijving van inspectie- en onderhoudsmaterieel, personeelskosten, uitbreiding of upgradering van de constructie en de restwaarde van onderdelen die worden vervangen, maken de analyse compleet. Ten slotte is een belangrijk discussiepunt of de sloopkosten aan het einde van de levensduur horen of juist bij het begin van een volgende object.

Productie

Na een positieve reactie van de opdrachtgever op het ontwerp is er contact gezocht met een bedrijf om het eindconcept te bespreken. Uiteindelijk is er voor gekozen om de benodigde aanpassingen aan het ontwerp uit te voeren, zodat het technisch haalbare concept wordt geoptimaliseerd en resulteert in een modulair ontwerp. Dit hoofdstuk beschrijft de aanpassingen aan het ontwerp om het geschikt te maken voor productie.

6.1 Conceptreview

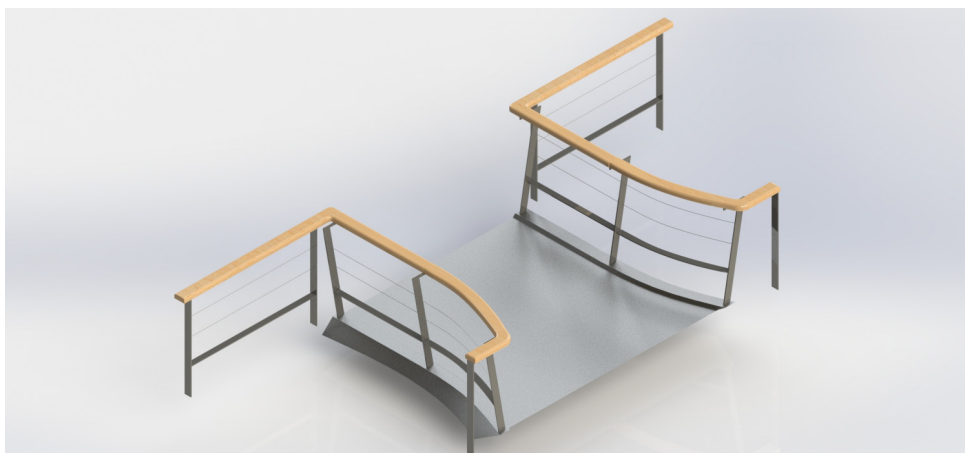
Het eindconcept is met de opdrachtgever besproken en het brugontwerp is positief ontvangen. In de afrondingsfase van deze opdracht is het ontwerp samen met een potentiële aannemer en producent besproken. De aanleiding van dit gesprek was om het uiteindelijke ontwerp te beoordelen op de technische haalbaarheid en het mogelijk realiseren van het ontwerp. Dit resulteerde in een duidelijke feedback op het ontwerp en de nodige aanpassingen. Deze feedback is in bijlage D.3 vastgelegd.

6.1.1 Aanpassingen

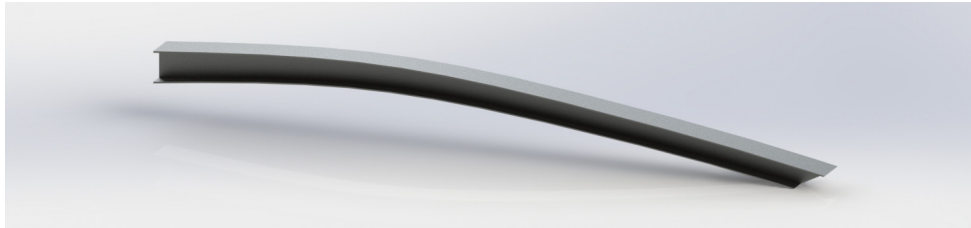
De hoofddraagconstructie zal worden aangepast. De aanzichten van de brug blijven hetzelfde waardoor de vormgeving na geheel intact blijft. Echter biedt een modulaire constructie meer potentie. Er is nu gekozen voor een twee stalen liggers en een brugdek. De grootste constructieve veranderingen worden aan de hand van figuur 26 toegelicht.

De hoofddraagconstructie bestaat uit twee stalen liggers met daarop een brugdek bevestigd, zie figuur 28. Met eenvoudige walsprofielen wordt een standaard I-profiel in een toog gewalst (figuur 27), zodat getailleerde en getoogde bruggen ontstaan. Het brugdek bestaat uit een dunne dekplaat. Dit resulteert in een smalle en slanke constructie.

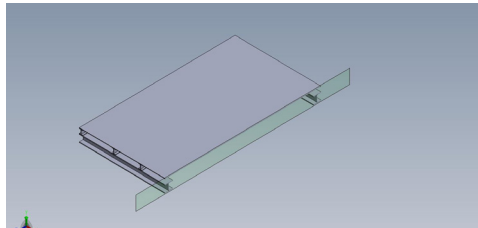
Uit esthetisch oogpunt krijgt de brug een stalen rand. Hier is een hoekprofiel als randprofiel gebruikt waardoor de hoek vanaf het brugdek naar buiten toe nog steeds kan worden gerealiseerd. De stalen balken onder het brugdek, zie figuur 29, houden het hoekprofiel op zijn plaats en ondersteunen het brugdek. De constructie is niet geheel afgedekt en is open aan de onderkant. Het een lichtgewicht en efficiënte constructie.



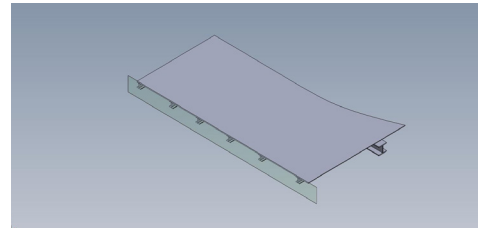
Figuur 26: Aangepast 3D-model



Figuur 27: Een in toog gewalst I-profiel



Figuur 28: Dwarsdoorsnede constructie



Figuur 29: Langsdoorsnede constructie

6.2 Modulair ontwerp

De modulaire constructie van de brug wordt ook toegepast in het hekwerk. Het hekwerk wordt als los element geconstrueerd en is geen vast onderdeel meer van het brugdek. Dit heeft een positieve invloed op het transport. Het element wordt over een bepaalde afstand herhaalt, zodat het hekwerk over de verschillende locaties hetzelfde is. Dit versterkt het herkenbare karakter van de bruggetjes.

De brug bestaat uit twee delen: een plaat deel en een hekwerk deel. Omdat er slechts twee onderdelen zijn kan de nodige bruglengte en breedte eenvoudig variëren. De gestandaardiseerde varianten kunnen hierdoor eenvoudig worden gerealiseerd. Vanwege het geprefabriceerde principe bespaart men enorme ontwerp- en bouwkosten voor de bruggenbouw. Ook het volledig onderhoudsvrij zijn en herbruikbaarheid van de elementen vanwege het kunnen loskoppelen van de brug in de toekomst zijn economische voordelen. De omwonenden krijgen minder hinder tijdens de bouwtijd vanwege het snel kunnen opbouwen met dit gestandaardiseerde systeem.

6.3 Sterkte berekeningen constructie deel II

Mede door de uitvoering van een dunne plaatdek kan de brug zo slank en smal mogelijk worden gedimensioneerd. Er is een grove afschatting gemaakt van de dikte van de aangepaste constructie met een tweede sterkteberekening, zie bijlage E.2. Uit deze berekening blijkt dat de stalen brug bestaat uit een plaatdek met een materiaal dikte van 5,11 mm, ondersteunende balken van 60 mm en twee liggers van 96 mm. Dit levert een totale dikte van 161,11 mm.

6.4 Vervolgprocessen

Voordat de brug daadwerkelijk kan worden geproduceerd, moeten er nog een aantal aspecten verder worden uitgewerkt.

Conservering en afwerking

Het brugdek kan bestaan uit een stalen plaat, bijvoorbeeld traanplaat. Dit kan in de getoogde vorm worden gesneden. Het brugdek zal worden nabewerkt met een poedercoating, voor grip en

voorkomen van gladheid. Dit kan bijvoorbeeld door het aanbrengen van een kunststof epoxy laag. Er zal moeten worden gekeken naar de duurzaamheid wat betreft onderhoud. De conservering van het brugdek en de overige plaatstaal brugonderdelen gebeuren tijdens het fabricageproces al en meestal in meerdere lagen. Eerst een zinklaag, door stalen spantmiddel van thermisch verzinken of schoperen, en daarna een coating, poedercoaten of natlakken. Uiteindelijk wordt een bepaalde oppervlaktestructuur vereist. De keuze voor een conserveringsmethode hangt onder meer af van de grootte van de brugdelen en de dikte van de staalwand.

Proefbelasten brug

Naast een controle van de gehanteerde berekeningswijze voor het ontwerpen van de brug zal de brug worden proefbelast. Dit kan door 1,2 keer de gelijkmatig verdeelde belasting van 5 kN/m^2 (maatgevende belasting) over het volledige dek van de brug. Metingen aan de doorbuiging van de brug in onbelaste en belaste situatie moeten worden uitgevoerd en de brug zal gecontroleerd worden op scheuren. De resultaten van de proefbelasting zullen overeen moeten komen met de berekende waarden voor het afgeven van de definitieve bouwvergunning.

Taludbekleding

Voor de groene talud is een goede bekleding essentieel, met name onder de brug om de oplegging van het landhoofd te kunnen beschermen tegen uitspoeling. Het water in de beek kan bij piekafvoeren tegen de kade aan staan en de stroomsnelheid kan snel zijn. De brug zal onder deze omstandigheden een bepaalde druk uit oefenen op het water waardoor de groene talud kan worden aangetast. Zoals eerder genoemd is het noodzakelijk dat de taludbekleding onder de brug der mate stevig is voor voldoende bescherming. Vanuit Waterbeheer zal een juiste aansluiting van de betonnen plaat op het landhoofd en de groene talud moeten worden overwogen.

Landhoofd

Uit de sterkteberekeningen blijkt dat er een kracht van 4,125 kN op de beide oevers wordt overgedragen door de twee liggers. De krachten moeten worden opgenomen in de oplegging en het landhoofd. Deze onderdelen moeten zo worden ontworpen dat de brug met enige speling stabiel blijft op zijn plaats.

Kostenschatting

Er zal een afschatting moet worden gemaakt van de kosten voor het realiseren van de bruggetjes en worden vergeleken met het budget.

Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden conclusies getrokken aan de hand van het eindresultaat. Daarnaast worden er aanbevelingen gedaan waar aandacht aan besteed moet worden, voordat het ontwerp geproduceerd kan worden.

7.1 Conclusie

Het doel van de opdracht was “Ontwerp een bruggetje over de Stadsbeek”. Dit ontwerp diende een technisch haalbaar concept te zijn dat te gebruiken is in de uitvoering van het project Stadsbeek. Hierbij moest het ontwerp identiteit geven aan de omgeving, met name door het versterken van de samenhang. Dit zou de herkenbaarheid en het unieke karakter van de brug vergroten en dus een aanvulling zijn op de belevingswaarde en toekomstwaarde van de wijk.

Het ontwerp is een slank vormgegeven brug met een vriendelijk en uitnodigend karakter. De vorm van de brug sluit aan bij de kenmerken van het stromende water. Het hekwerk is transparant en open waardoor het water zichtbaar wordt. De vormgeving is gebaseerd op de erkers van de omliggende architectuur. De handregel buigt aan de uiteinden vloeiend af langs de zijde van de beek. Het integrale ontwerp van het brug- en hekwerk deel vertonen door hun onderlinge relatie een zekere ruimtelijke samenhang. Dankzij deze ruimtelijke samenhang zijn de bruggetjes herkenbaar en hebben ze een toegevoegend karakter voor de wijk.

Op basis van sterkteberekeningen is de dikte van de constructiematerialen bepaald. Hieruit blijkt dat met staal een slank ontwerp kan worden gerealiseerd. Daarnaast is staal de meest duurzame materiaalkeuze. Met deze informatie is uiteindelijk de staalconstructie boven de betonconstructie gekozen. De gedetailleerde en getoogde stalen ligger wordt met een dwarsspanen en ribben constructie uitgewerkt.

Om het ontwerp eenvoudiger te maken voor productie en assemblage is er gekozen om de constructie te vereenvoudigen. De enkele stalen ligger met dwarsspanen en ribben wordt vervangen door een hoofdtraagconstructie bestaande uit twee stalen liggers met daarop een brugdek bevestigd. Met eenvoudige walsprofielen wordt een standaard I-profiel in een toegewalst. Het brugdek bestaat uit een dun gedetailleerde dekplaat. Dit resulteert in een smalle en slanke constructie.

De afdekking over de gehele lengte van de brug in het conceptontwerp is overbodig. Het toepassen van een randligger zorgt voor dezelfde beeldkwaliteit. De constructie is hierdoor niet geheel afgedekt en is open aan de onderkant. Het is een lichtgewicht en efficiënte constructie.

Het hekwerk wordt als los element geconstrueerd en is geen vast onderdeel van het brugdek. Dit heeft een positieve invloed op het transport. Het element wordt over een bepaalde afstand herhaald, zodat het hekwerk over de verschillende locaties hetzelfde is. Dit versterkt het herkenbare karakter van de bruggetjes.

De brug bestaat uit twee delen: een plaat deel en een hekwerk deel. Omdat er slechts twee onderdelen zijn kan de nodige bruglengte en breedte eenvoudig worden gevarieerd. Vanwege het geprefabriceerde principe bespaart men enorme ontwerp- en bouwkosten voor de bouw van de gestandaardiseerde varianten. Ook het volledig onderhoudsvrij zijn en herbruikbaarheid van de elementen vanwege het kunnen loskoppelen van de brug in de toekomst zijn economische

voordelen en draagt bij aan de kenmerken van een duurzame brug. De omwonenden krijgen minder hinder tijdens de bouwtijd vanwege het snel kunnen opbouwen met dit gestandaardiseerde systeem.

De herhaling en eenvoudige assemblage biedt een groot economisch voordeel waardoor de investering voor de Gemeente Enschede meer potentie biedt.

7.2 Aanbevelingen

De doelstelling die aan het begin van dit ontwerpproces werd gesteld is behaald. Echter dienen een aantal aspecten te worden behandeld voordat dit brugontwerp geproduceerd kan worden.

- Het huidige ontwerp is toegankelijk voor voetgangers, fietsers en karretjes of personenauto's. Een gebruikstest met betrekking tot comfort zou uitgebreid kunnen worden met proefbelasting en afwatering van de brug aan de hand van verschillende scenario's. Naast een controle van de berekeningen kan door het uitvoeren van een belastingssimulatie de gestandaardiseerde varianten worden bepaald. Dit biedt de zekerheid dat de brug variërend in benodigde bruglengte en breedte de toegekende belasting kan ondersteunen.
- Het is mogelijk dat er mensen tegen het hekwerk aanlopen en zich kunnen bezeren. De hoek in de handregel lijkt rond genoeg om ernstige verwondingen te voorkomen. Ook dit kan worden getest in de gebruikstest. Daarnaast is er geen onderzoek gedaan naar het plaatsen van fietsen tegen het hekwerk. Dit dient voorkomen te worden met aanwijzingen indien dit noodzakelijk blijkt.
- Voor de stalen brug is een conservering vereist. De conserveringsmethode dient te worden bepaald voor het optimaliseren van een onderhoudsvriendelijk ontwerp. Ook zou er een herziende keuze voor het materiaal van het loopvlak voor optimale grip- en gladheidsmaatregelen en de handregel voor het versimpelen van het productie proces gemaakt kunnen worden.
- De taludbekleding bestaande uit een betonnen wand dient vooraf getest te worden of deze voldoende bescherming biedt tegen het mogelijk optreden van uitspoeling onder en rondom de brug. Daarnaast zal dit moeten leiden tot een precieze aansluiting op het groen talud en landhoofd. Het landhoofd zal door civiel ingenieurs worden ontworpen die 'volhoudbaar' is.
- De kostprijs per brug ten opzichte van de seriegrootte kan worden berekend. Er moet gekeken worden of dit bedrag haalbaar is en waar eventueel nog op kan worden bespaard. Ook dient dan bekeken te worden of het vooraf opgestelde budget van project Stadsbeek realistisch is.
- De brug heeft een geschatte levensduur van 50 jaar. Hierbij wordt aangenomen dat de stalen onderdelen met de corrosie bestendigheid deze periode kunnen doorstaan. Wanneer een element van de brug het eerder begeeft zal deze vervangen moeten worden. Het is dan ook aanbevolen om hiermee rekening te houden in het Beheer- en Onderhoudsplan.

Referenties

1. Gemeente Enschede. (2012). *Water in Enschede: feiten, cijfers en trends*. Enschede: Gemeente Enschede.
2. Rijkswaterstaat. (2010). Verkregen op 24 maart 2016, <http://www.helpdeskwater.nl/nieuwsbrieven/nieuwsbrief-teksten/berichten-2010/nieuwsbrief-16/room-beek-stroomt>
3. KNMI. (2014). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland, Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. De Bilt: KNMI.
4. Gemeente Enschede. (2010). *Watervisie Enschede- de blauwe aders terug in de stad*. Enschede: Gemeente Enschede.
5. Gemeente Enschede. (2013). *Watervisie Enschede 2013-2025, Water verbindt*. Enschede: Gemeente Enschede.
6. Wareco Ingenieurs. (2015). *Masterplan Water Enschede pakt (grond)wateroverlast aan*. Land+Water, 2015(nr. 10 - oktober), 28-29.
7. Van den Berg, C., Nijenhuis, G. (2006). *Overbruggen*. Amsterdam: ipv Delft en BIS Publishers .
8. Enschede: Stedenbouw, architectuur, geschiedenis en actueel. (2000-2015). Verkregen op 12 januari 2016, <http://www.enschede-stad.nl/index.php>
9. TV Enschede. (2016) Reportage: Arbeiderswijk Pathmos krijgt beschermde status. Verkregen op 9 januari 2016, <http://www.tvenschedefm.nl/arbeiderswijk-pathmos-krijgt-beschermde-status/nieuws/item?799098>
10. Rijkswaterstaat. (2007). *Leidraad rivieren. Bijlage 7*. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
11. Atelier GROENBLAUW. (2014). *Hitte*. Verkregen op 4 februari 2016, <http://www.groenblauwenetwerken.com/heat/>
12. Ontwerpwijzer bruggen voor langzaam verkeer. (2014). *CROW- publicatie 342*. Ede: CROW.
13. Eger, A., Bonnema, M., Lutters, E., van der Voort, M. (2010, vierde druk). *Productontwerpen*. Selectiemethoden (p. 129-131). Den Haag: Boom Lemma Uitgevers.
14. Agentschap NL/RVO. (2013). *Vergelijkende LCA-studie bruggen*. Vaststellen van de duurzaamheidscore van bruggen uitgevoerd in staal, beton, composiet en hout. Rotterdam: Beco.
15. Haasnoot Bruggen. (2012). *Onderhoud bruggen*. Verkregen op 8 maart 2016, <http://www.haasnootbruggen.nl/getFile.php?id=9&type=brochures>
16. Bouwen met staal. (2012). *Duurzaamheid en Staal*. Verkregen op http://www.bouwen-metstaal.nl/uploads/editor/BmS_Duurzaamheid_en_Staal_A4_lowres.pdf
17. Richtlijn toegankelijkheid. (2014). *CROW-publicatie 337*. Ede: CROW.
18. Passieve veiligheid van constructies voor weguitrusting - Eisen en beproevingsmethoden. (2013). NEN-EN 12767. Delft: NEN.
19. Aanbevelingen voor verkeersvoorzieningen binnen de bebouwde kom. (2012). *CROW-publicatie 723*. Ede: CROW.
20. Ontwerpwijzer fietsverkeer. (2006). *CROW-publicatie 230*. Ede: CROW.
21. Bouwbesluit. (2012). Verkregen op 10 februari 2016, www.wetten.overheid.nl
22. Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 2: Verkeersbelasting op bruggen. (2011). NEN-EN 1991-2. Delft: NEN.
23. Nationale bijlage bij NEN-EN-1991-2. (2011). Delft: NEN.
24. Beproeving van steenachtige materialen - Stroefheidsmeter volgens Leroux en bepaling van de stroefheid van oppervlakken. (1982). NEN 2873. Delft: NEN.
25. NEN 6706 artikel 8.2.2.1.1

26. Gladheidsbestrijding voor fietsers en voetgangers - Beleid, organisatie en uitvoering (2013) *CROW-publicatie 334*. Ede: CROW.
27. De basis voor effectieve gladheidsbestrijding voor fietsers. (2013). *Gladheidsbestrijdingsplan*. Utrecht: Fietsberaad.
28. Dined tabellen. Verkregen op 10 februari 2016, <http://dined.io.tudelft.nl/ergonomics/>
29. Provincie Overijssel. (2012). *De Doorbraak*. Verkregen op 2 februari 2016, <http://www.overijssel.nl/thema's/ruimtelijke/ruimtelijke/voorbeeldenbank/voorbeelden/doorbraak/>
30. Kleine, R. (2014). *Sluizen zijn plus voor recreatievaart*. Algemeen Dagblad: Hardenberg.
31. Cement. (2014). *Standaard voetgangersbrug van composietbeton*. Verkregen op 8 februari 2016, <http://www.cementonline.nl/nieuws/nieuws/standaard-voetgangersbrug-van-composietbeton.395007.lynkx>
32. NEN-EN 13706-3 (en) 'reinforced plastic composites – Specifications for pultruded profiles'
33. CUR aanbeveling 96 'Vezelversterkte kunststoffen in civiele draagconstructies'

Toepassingen van de overige referenties:

- | | |
|---|-------|
| • Programma van eisen: | 17-28 |
| • Gespreksverslag Waterschap Vechtstromen: | 29-30 |
| • Materiaaleigenschappen sterkteberekeningen: | 31-33 |

Afbeelding figuur 19:

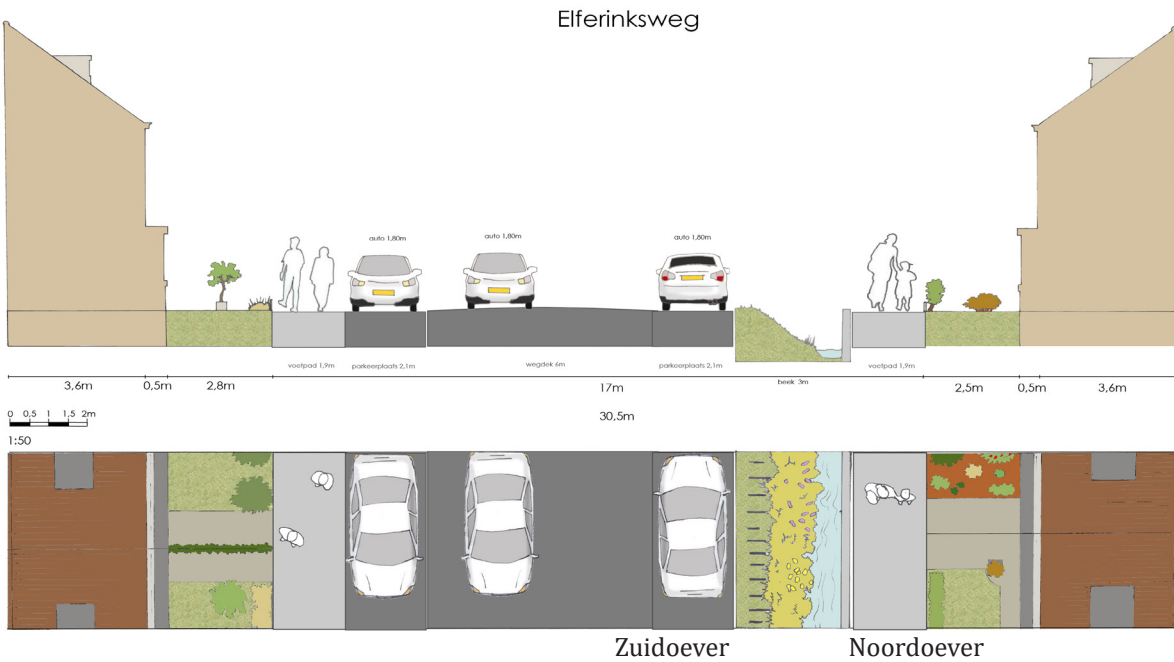
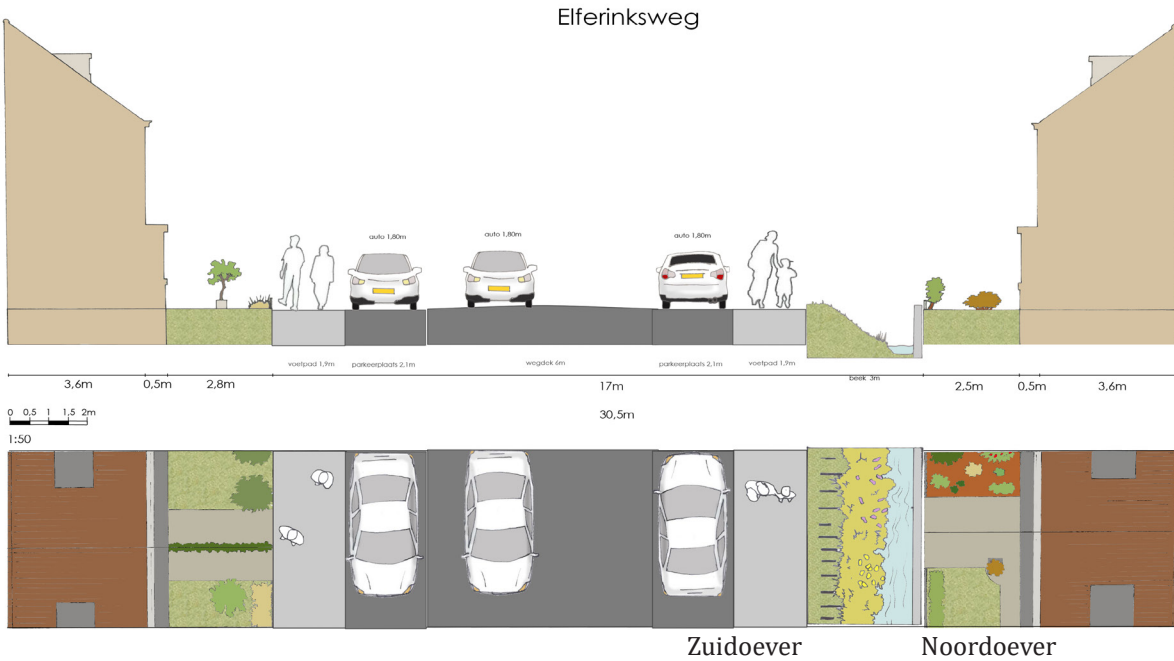
<https://www.boedelbak.nl/typen-en-prijzen/aanhangwagen-typeCH#>
 Verkregen op 13 april 2016

Bijlagen

Bijlage A: Ruimtelijke inpassing	55
A.1 Tracé Stadsbeek	55
A.2 Bouwtekening doorsneden	56
A.2.1 Variant 1	57
A.2.2 Variant 2	57
A.3 Situatietekening	58
A.3.1 Variant 1	58
A.3.2 Variant 2	59
 Bijlage B: Resultaten uit de Analyse	 60
B.1 Collages marktonderzoek	60
B.1.1 Bestaande bruggen I	60
B.1.2 Bestaande bruggen II	61
B.1.3 Brugelementen I	62
B.1.4 Brugelementen II	63
B.2 Hoogtekaart	64
B.3 Collage Watervisie Enschede	65
B.4 Collages straatbeeld	66
B.4.1 Huidig en toekomstig straatbeeld	66
B.4.2 Kleuren- en materiaalschema	67
B.5 Collage gebruiksscenario's	68
B.6 Programma van eisen	69
B.6.1 Toetsing programma van eisen	74
 Bijlage C: Schetsen	 78
C.1 Taludbekleding	78
C.2 Conceptschetsen	79
C.2.1 Hekwerk	79
C.2.2 Integrale ontwerp	80
C.2.3 Constructie	81
 Bijlage D: Gespreksverslag	 82
D.1 Gesprek Waterschap Vechstromen	82
D.2 Gesprek opdrachtgever	83
D.3 Gesprek bruggenbouwer	84
 Bijlage E: Sterkteberekeningen	 86
E.1 Sterkteberekeningen constructie deel I	86
E.2 Sterkteberekeningen constructie deel II	90
 Bijlage F: Ontwerp	 94
F.1 Werktekeningen	94
F.1.1 Doorsneden brugdek	94
F.1.2 Hekwerk	95
F.1.3 Variant 1	96
F.1.4 Variant 2	97







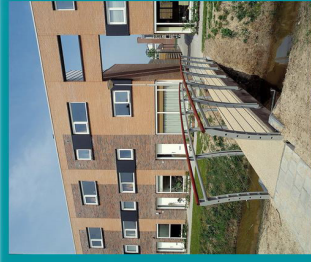




Eenvoudig en uitnodigend karakter

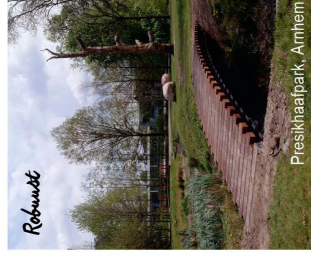


Vriendelijk en zorgvuldig vormgegeven bruggen



Het Jeurlink, Deventer

Robuust



Pieskhaaspark, Arnhem

Engelse landschapsstijl

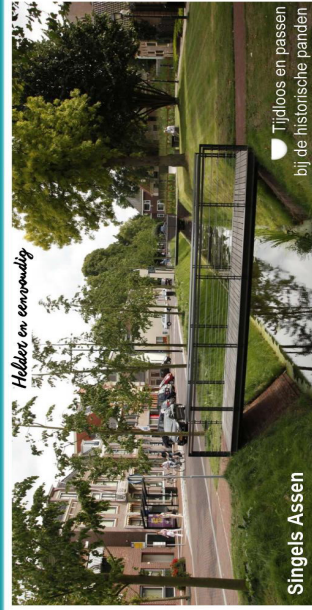
Toegankelijk en identiek karakter



Rietlanden, Pijnacker



Eigen en herkenbare vormgegeven bruggen



Singels Assen

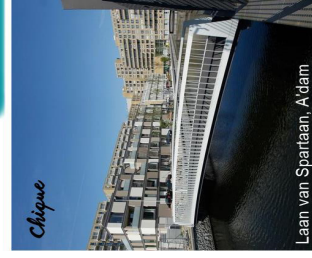
Helder en eenvoudig

Tijdsloos en passen bij de historische panden



Spijkwoorde, Deventer

Chique



Laan van Spartaan, A'dam



Overstroombare brug

Fortmond



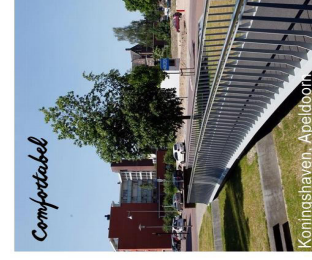
Geïnspireerd op het boek 'Fascinatio'



Fascinatio, Capelle a/d IJssel



Comfortabel



Koningshaven, Apeldoorn



Meerlanden, Amstelveen

Jaren 30 stijl



Smallingerland, Drachten

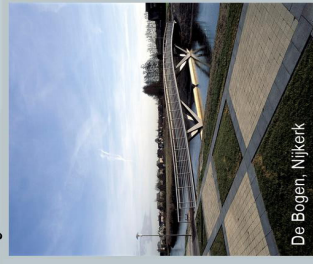


Strakke belijning

B: Resultaten uit de Analyse

B.1.1 Collages marktonderzoek - Bestaande bruggen II

Eigen en herkenbare identiteit



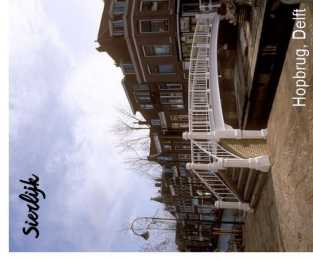
De Bogen, Nijkerk



Waterland, Alblassterdam

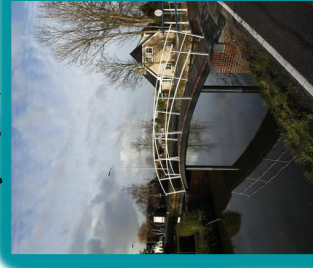


Buijtewech-Oost, Nieuwkoop

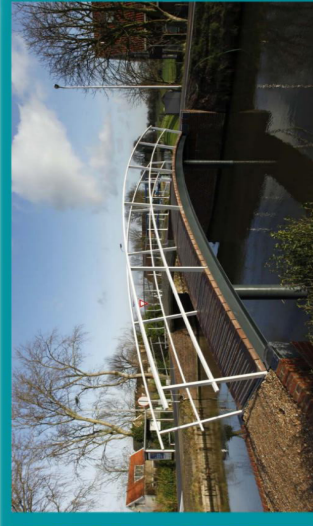


Hopbrug, Delft

Eenvoudig en kijkt op de oude



Middelwatering, Midden-Delfland



De toeg van de brug beïnvloedt de toegankelijkheid

Helios



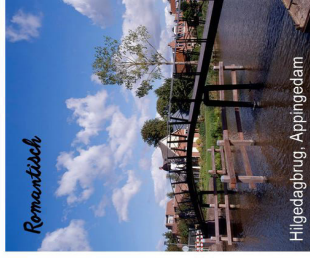
Rietveldpark, Rotterdam



Apeldoorn



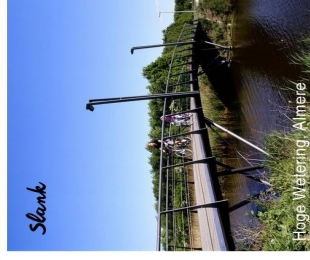
Looijersgracht, Steenwijk



Hilgedagbrug, Appingedam



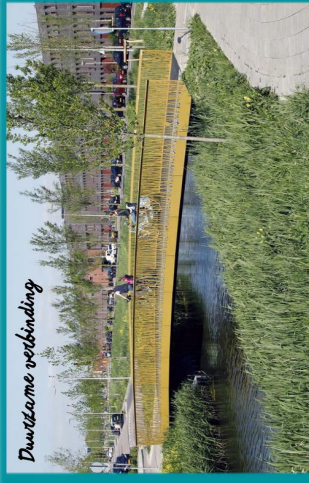
Eizenhoekpark, Oss



Hoge Watering, Amersfoort



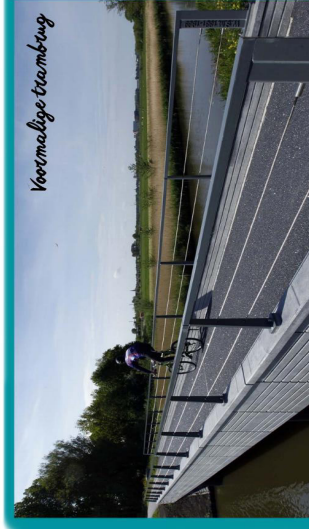
UHSB, Pijnacker



Amerikalaan, Alphen ald Rijn



Ouden Tempel, Beuningen



Kraalingepad, Maasland

Sober en rustig



Transparante hekwerken



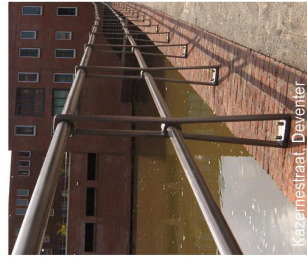
Het Jeurlink, Deventer

Subtiliteit



Bultengracht, Deventer

Sterk

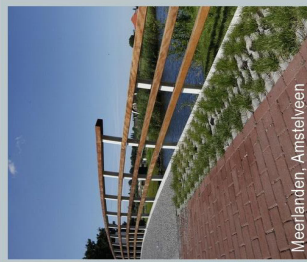


Kazernestraat, Deventer



HES-ROC, Amsterdam

Bijzondere toegangsbrug



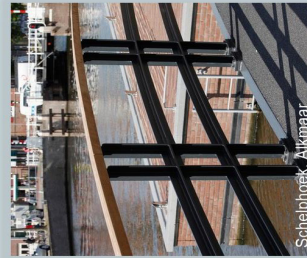
Meerlanden, Amstelveen



Watertuinen, Den Bosch



Presikhaarpark, Arnhem



Schalphoek, Alkmaar

De houtkleur komt goed tot zijn recht



Moden

Rietveldpark, Rotterdam



Limos, Nijmegen

Stalen werken



Werkdonken, Breda



Ooslinde, Leek



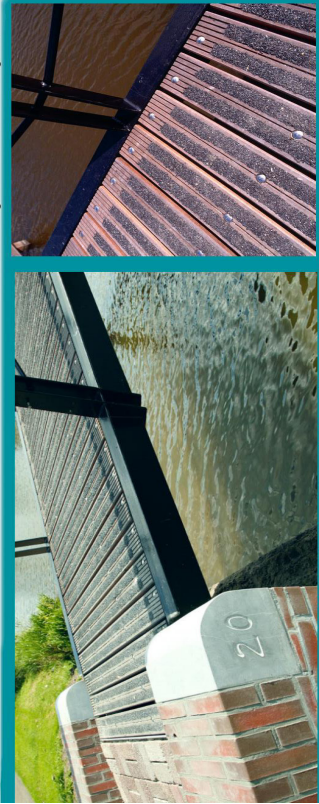
De Bogen, Nijkerk



De kleurstelling is geïnspireerd door die van de traditionele Zeeuwse schuur

Mannee, Goes

Regenwater kan weg lopen



Stalen constructie met een houten dek en sifflaag

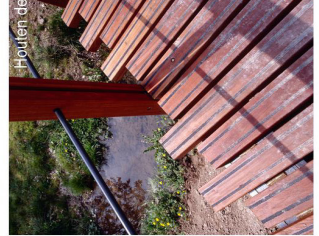
Strakke belijning in langterichting



Het Jeurlink, Deventer

Transparante hekwerken

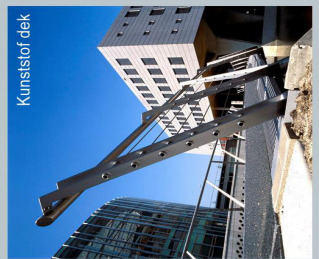
Licht in gewicht



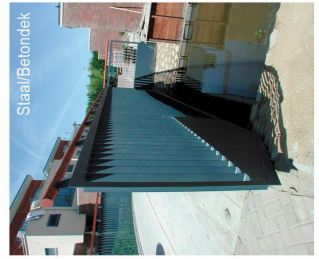
Houten dek



Stalen constructie



Kunststof dek

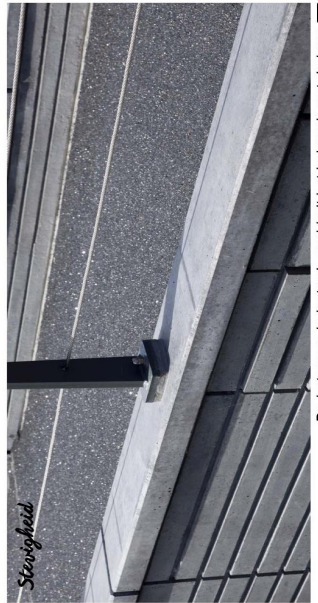


Staal/Belondek

Een gemetselde brug past goed in een historische omgeving

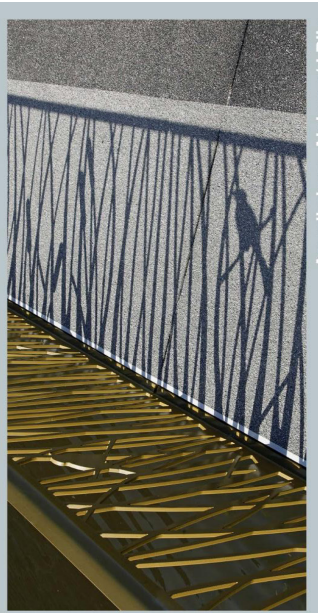


Stevigheid

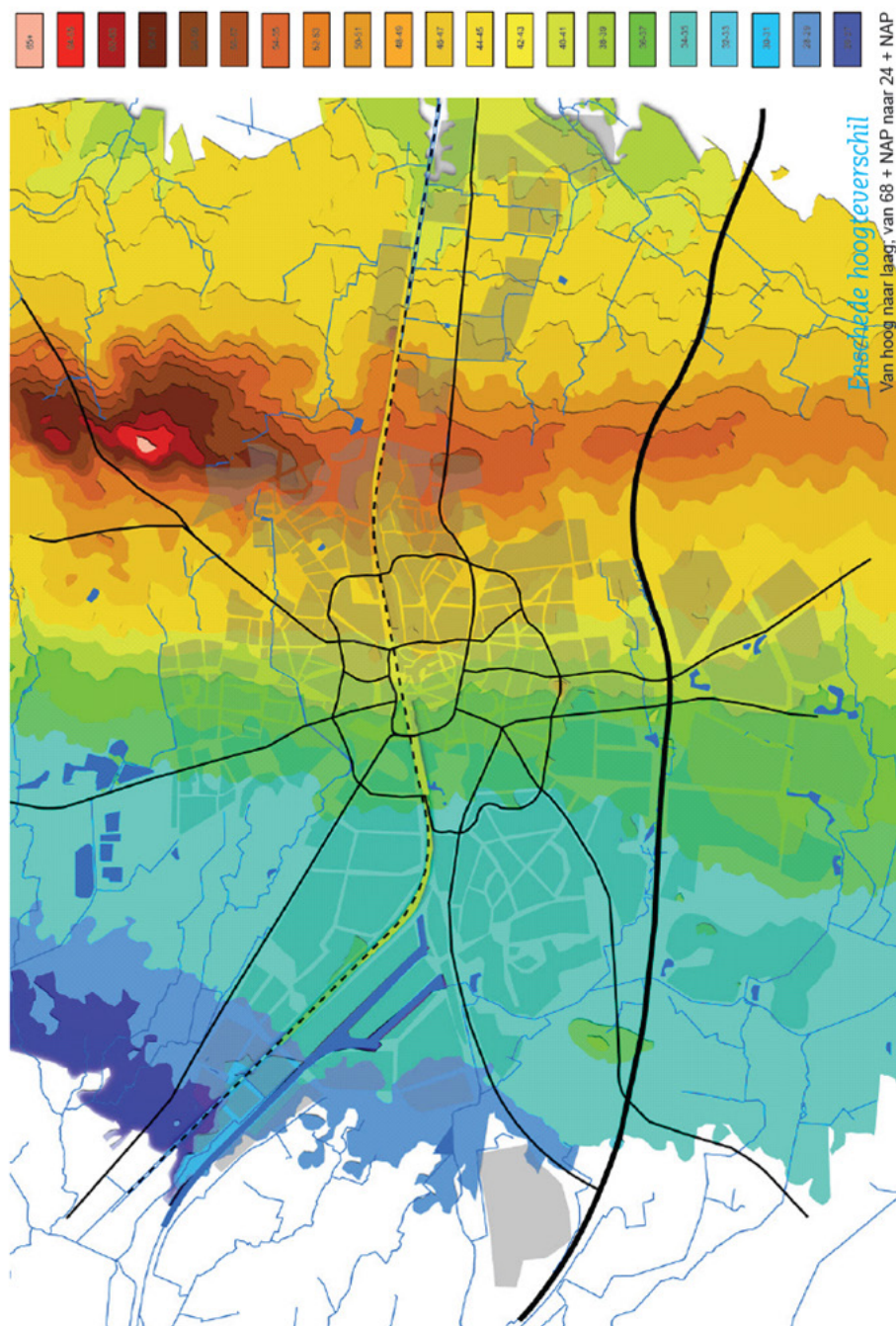


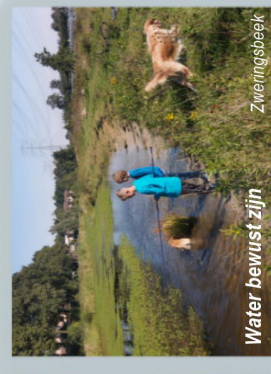
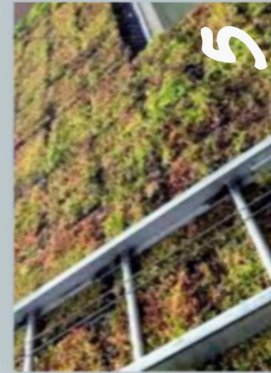
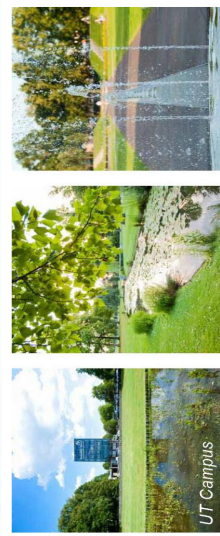
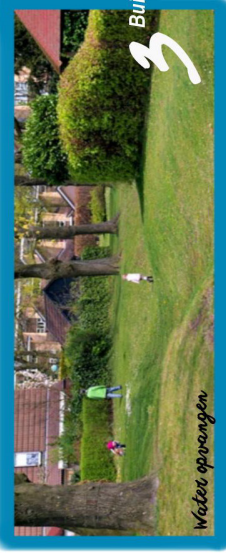
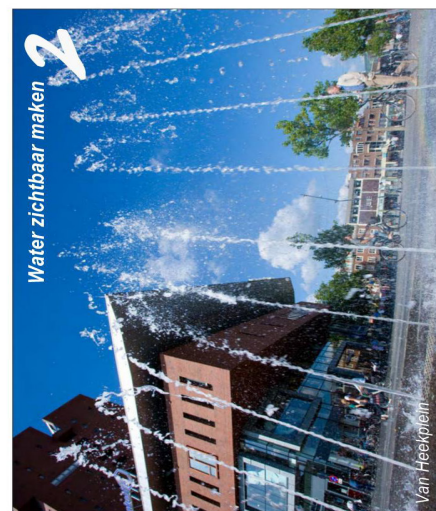
De betonnen balustrade verbindt het hekwerk met de brug

Decoratief



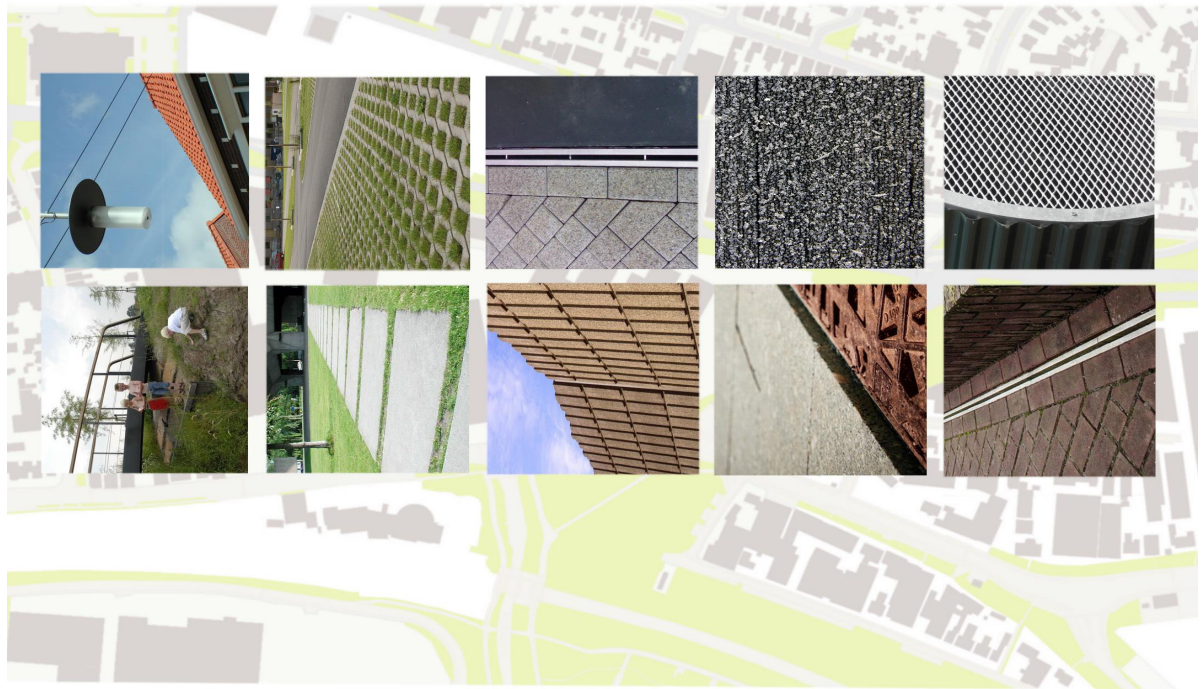
Amerikalaan, Alphen ald Rijn





Groene daken dragen bij aan levendige wijken







Soort eis	Geformuleerde eis	Specificatie	Afkomstig van
Functionele eisen	De brug is voetgangers-, fiets- en rolstoeltoegankelijk.		Project Stadsbeek
	De brug dient een minimale breedte van 1,50 m aan te houden.		CROW-publicatie 337
	De bruggenfamilie bestaat uit 2 gestandaardiseerde varianten van de brug.	1. tussen tuin en voetpad 2. tussen voetpad en parkeerplaats	Project Stadsbeek
	De gestandaardiseerde varianten bestaan uit 2 verschillende overspanningen over de beek.	1. 2,20 m 2. 4,10 m	Project Stadsbeek
	De hoogte vanaf de af- of aanrit van de brug tov de bodem van de beek is 1,20 m.		Project Stadsbeek
	Het is een vaste brug die de noordoever met de zuidoever verbindt.		Project Stadsbeek
	De brug wordt aan de noordoever ingeklemd in de betonnen wand van de beek en aan de zuidoever rust de constructie op een talud.		Project Stadsbeek
	De constructie van de brug dient te voldoen aan een belasting van 5kN/m ² .		Bouwbesluit
	De bruggetjes hebben een goede afwatering en het afgevoerde water komt uiteindelijk in de beek terecht.		Project Stadsbeek
	Het brugdek heeft een hellingspercentage voor het afvoeren van hemelwater, zo ontstaat er geen waterhinder.	Het hellingspercentage is 2% op 100 cm voor aansluiting op het waterafschot van het straatprofiel.	CROW-publicatie 334 en Project Stadsbeek
	De continuïteit van het watersysteem dient in stand gehouden te worden.		Project Stadsbeek
Aspecteisen			
Gebruiks-vriendelijkheid	De brug met al zijn onderdelen dient zodanig ontworpen en ingericht te worden dat gebruikers er comfortabel gebruik van kunnen maken.		Project Stadsbeek en bewoners
	De brug dient vloeiend aangesloten en ingepast te worden op de nieuwe situatie, op een dusdanige wijze dat de gebruiker de voegovergang vrijwel niet ervaart en niet voor geluidshinder zorgt.		Gemeente Enschede en bewoners
	Greep van de leuning moet geschikt zijn voor 5-95% van de vrouwen en mannen.	Dit is een diameter van 63-82 mm.	Dined tabellen
	De leuning moet goed vast te pakken zijn en niet glad zijn.		Gemeente Enschede en bewoners

	De helling dient voor voetgangers overbrugbaar te zijn.	De helling mag niet steiler zijn dan 1:50.	CROW-publicatie 337
	De afstand tussen twee huizen is bepalend voor het bruggetje. Dit biedt toegankelijkheid aan een kar, otto's, motoren, etc.		Bewoners
	De (privé) in- en uitritten dienen gehandhaafd te blijven zodat de percelen bereikbaar blijven.		Gemeente Enschede en bewoners
Veiligheid	De brug dient dusdanig ingericht te zijn dat deze bereikbaar en beschikbaar is voor hulpdiensten.		CROW-publicatie 723
	De brug dient de verkeersveiligheid te waarborgen met een beschikbare ruimte voor de gebruikers.		CROW-publicatie 723
	De onderdelen op en rondom brug dienen zover als technisch mogelijk rekening te zijn gehouden met 'botsvriendelijkheid', worden de gevolgen van een eventuele botsing minder ernstig.		NEN-EN-12767
	De bruggetjes hebben een leuning met een minimale hoogte van 1 meter.	Hekwerk is verplicht als het brugdek meer dan 1 meter hoger ligt tov het aansluitende water.	Bouwbesluit
	Een afscheiding heeft geen opening waardoor een bol kan passeren met een doorsnede groter dan 0,5 meter.		Bouwbesluit
	Het hekwerk is moeilijk te bekluieren door kinderen.	Er zijn geen opstapmogelijkheden boven de aangrenzende vloer.	Gemeente Enschede en bewoners
	De bovenregel van de afscheiding heeft geen onderbreking meer dan 0,1 meter.		Bouwbesluit
	Een vlak loopoppervlak met maximaal 5 mm onregelmatigheden.		CROW-publicatie 337
	Spleten of gaten in het brugoppervlak niet meer dan 20mm breedte.		CROW-publicatie 337
	Ijs en sneeuw hechten zich niet aan de bruggetjes of kunnen zeer eenvoudig worden verwijderd.		Gemeente Enschede
	Geen risico met betrekking tot snijwonden.		Gemeente Enschede
	De bruggetjes zijn vandalisme proof, zo uitgevoerd dat graffiti niet aan de bruggetjes hechten en/of makkelijk verwijderd kunnen worden.		Gemeente Enschede
	De brug biedt weerstand tegen het in trilling komen.	Elke eigenfrequentie onder de 5 Hz ligt in het kritisch gebied.	CROW-publicatie 342

	De bruggetjes moet de gebruiker een voldoende veilig gevoel geven wanneer een auto of bus passeert.		Gemeente Enschede en bewoners
Omgeving	De brug dient, net als de bestaande omgeving, een eenduidige uitstraling te hebben en dient vloeiend aan te sluiten op en kwalitatief te passen in de bestaande omgeving.		Project Stadsbeek
	De bruggetjes moet passen binnen het straatbeeld.	Zie bijlage B.4.2.	Gemeente Enschede
	De bruggetjes moet passen in de woonwijk Pathmos en Stadsveld.	Zie bijlage B.4.1.	Gemeente Enschede
	De inpassing van de bruggetjes dient de identiteit van de beek in de stad hoogwaardig te versterken in de omgeving.		Project Stadsbeek
	Het brugdek reduceert het geluidshinder naar de omgeving toe.		CROW-publicatie 342
Vormgeving	De bruggetjes stralen rust in het ruimtelijke beeld uit. De bruggetjes dragen bij aan de representatieve uitstraling van de beek. Die uitstraling kan ook worden verkregen door de zichtbaarheid en leefbaarheid naar het water te versterken.		Project Stadsbeek
	De gestandaardiseerde bruggen zijn ruimtelijk logisch en gelijkmatig uitgelijnd, gebundeld, gecombineerd en zoveel mogelijk geïntegreerd ontworpen, met een rustig en overzichtelijk straatbeeld tot gevolg.		Project Stadsbeek
	De brug moet integraal ontworpen worden in eenheid met de overige elementen, zoals de hekwerken.		Project Stadsbeek
	De bruggetjes zijn herkenbaar en geeft een positieve emotie. Hierbij kan ook de belevingswaarde een rol spelen.		Project Stadsbeek
	Het aanzicht van meerdere bruggetjes in korte afstand tot elkaar verstoort de uitstraling van het ontwerp niet. De bruggetjes zijn transparant en open.		Project Stadsbeek
	Het brugdek dient zo dun mogelijk uitgevoerd te worden.		Project Stadsbeek
	Het wateroppervlak dient zo veel mogelijk zichtbaar te blijven.		Project Stadsbeek

	Onderdelen die herhalend in de brug worden aangebracht dienen tot één samenhangende vormfamilie te behoren en zowel qua profilering, kleur en materialen consequent te worden vormgegeven, tenzij specifiek anders is voorgeschreven.		Project Stadsbeek
	Kleurenschema moet passen bij het huidige straatbeeld.	Zie Bijlage B.4.2.	Project Stadsbeek
Materiaal-keuze	Het materiaal straalt duurzaamheid en transparantie uit.	Zie Bijlage B.4.2.	Project Stadsbeek
	Schade door erosie dient voorkomen te worden.		Gemeente Enschede
	De gebruikte materialen dienen bestand te zijn tegen de normale gladheidbestrijdingsmiddelen.		CROW-publicatie 334
	Het wegdek op de bruggetjes dienen een vlakheid en stroefheid te hebben.		NEN 2873
Duurzaamheid	Het ontwerp gaat uit van een minimale levensduur van 50 jaar.		Gemeente Enschede
	Bij de constructie aandacht voor duurzaamheid en hergebruik.		Gemeente Enschede
Onderhoud en reparatie	De bruggetjes zijn onderhoudsarm.		Gemeente Enschede
	Het talud onder de bruggetjes dient afgewerkt te worden met een duurzame dichte bekleding.		Waterschap Vechtstromen en Gemeente Enschede
	De onderdelen moeten relatief eenvoudig zijn te vervangen.		Gemeente Enschede
	De constructie en onderdelen dienen bereikbaar te zijn en toegankelijk te zijn voor onderhoud met gebruikelijke middelen en technieken.		Gemeente Enschede
	Geen reparaties noodzakelijk tijdens de levensduur.		Gemeente Enschede
Bedrijfs-eisen			
Fabricage	De productiehoeveelheden wordt geraamd op 100 stuks.		Project Stadsbeek
	Onderdelen moeten vervaardigd kunnen worden met behulp van de al aanwezige machines bij de fabrikant.		Gemeente Enschede
	Kritische onderdelen ten aanzien van functioneren van de bruggetjes dan wel beschikbaarheid van de bruggetjes gedurende de levensduur dienen inspecteerbaar te zijn met gangbare middelen en methoden, binnen de eisen van beschikbaarheid van de weg voor verkeer.		Gemeente Enschede

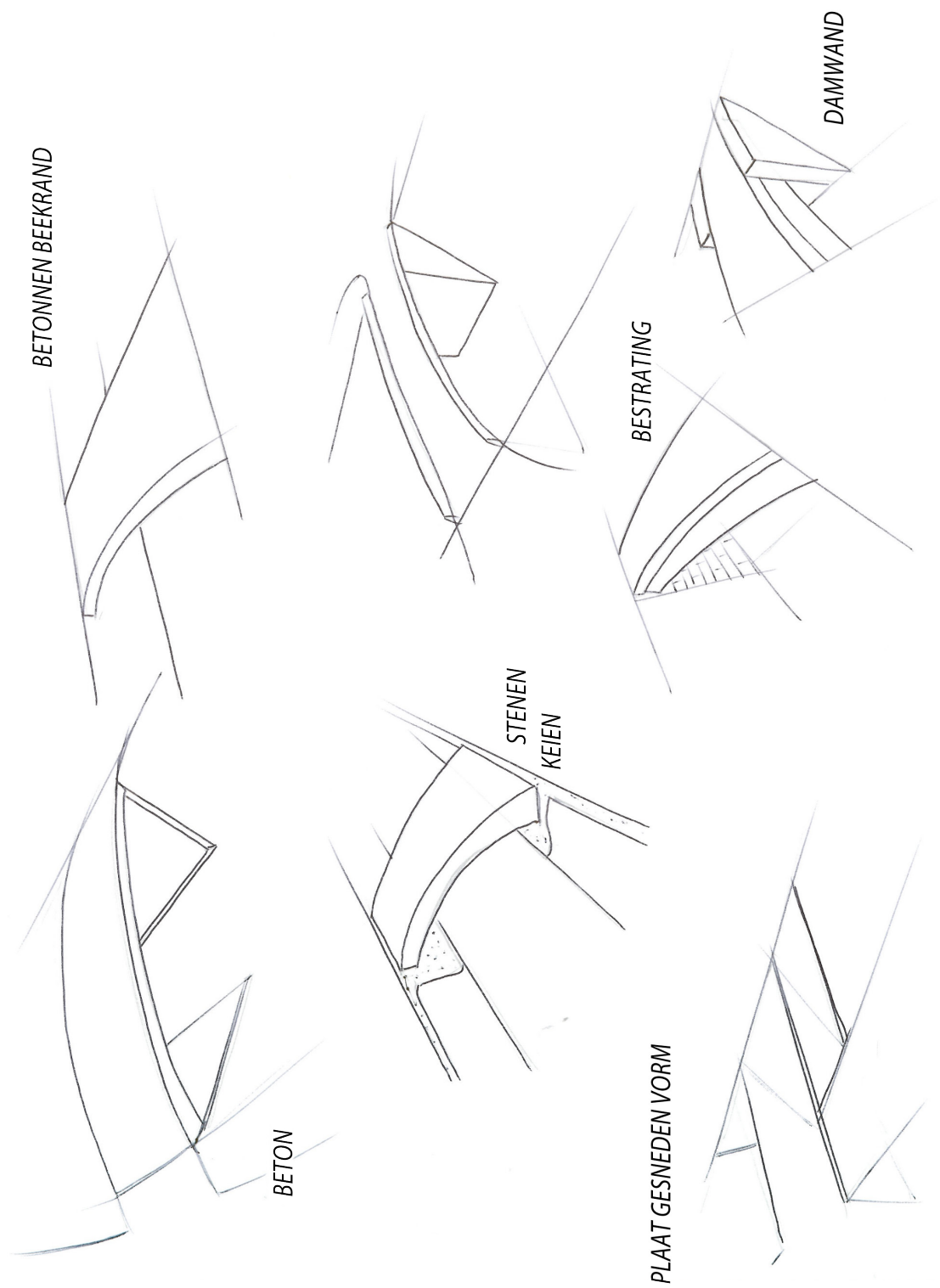
Overheid en diensten	Alle conflicten met bestaande infra elimineren, dan wel beheersbaar maken, dit betreft bijv. K&L; infra; Toekomstige verlegging van het afvoerriool; Invloed op de spoorbaan, spoorinfra.		Gemeente Enschede
	Voor zover nog niet vermeld, moet worden voldaan aan richtlijnen met betrekking tot comfort en veiligheid zoals opgenomen in het ASW 2012 (CROW), de Ontwerpwijzer Fietsverkeer (CROW) en de Ontwerpwijzer bruggen voor langzaam verkeer (CROW).		Gemeente Enschede

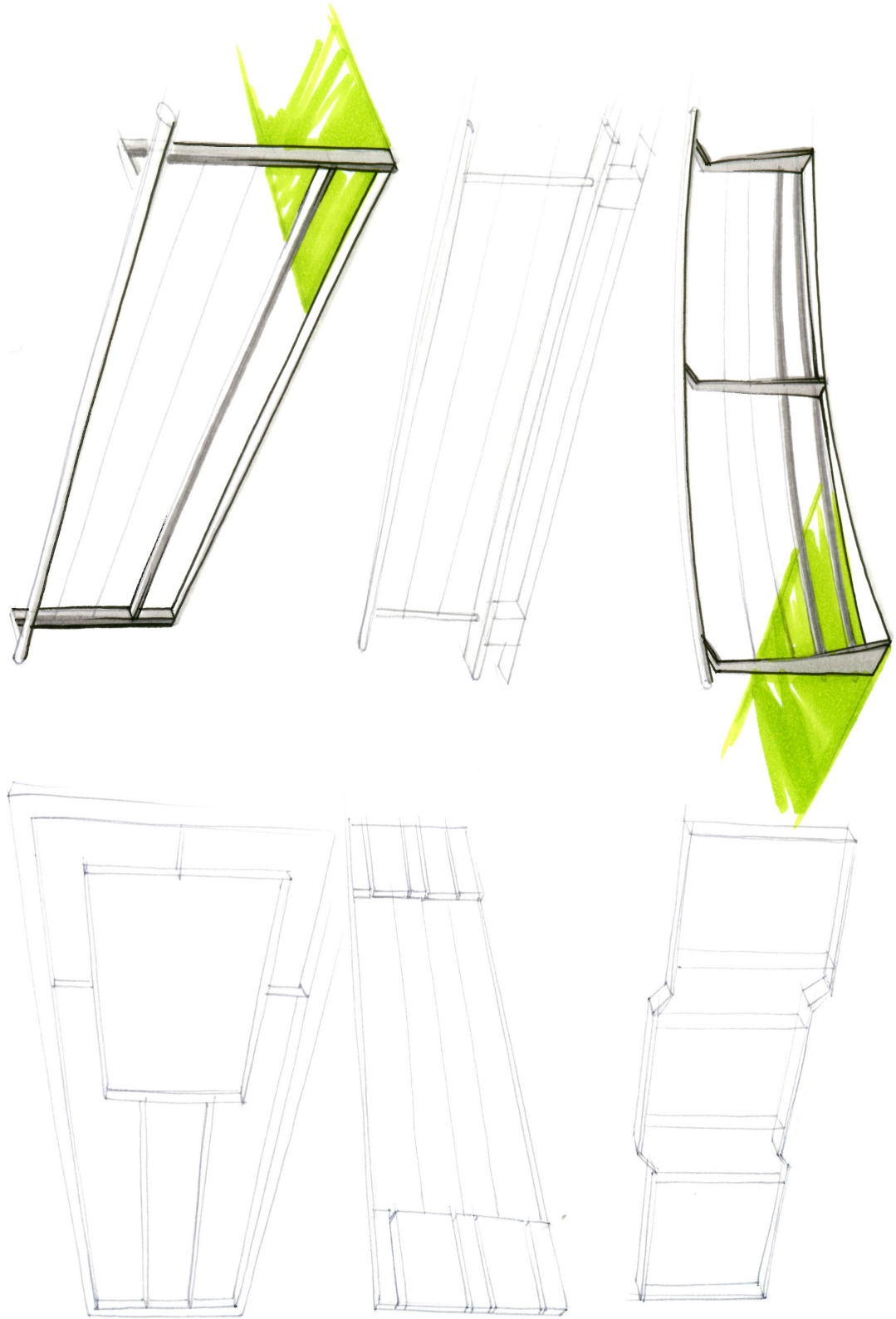
Soort eis	Geformuleerde eis	Weeg-factor	Concept 1		Concept 2		Concept 3	
			Beoorde-ling	Score	Beoorde-ling	Score	Beoorde-ling	Score
Func-tionele eisen	De brug is voetgangers-, fiets- en rolstoeltoegankelijk.	3	3	9	3	9	3	9
	De bruggenfamilie bestaat uit 2 gestandaardiseerde varianten van de brug.	3	3	9	3	9	3	9
	De gestandaardiseerde varianten bestaan uit 2 verschillende overspanningen over de beek.	3	2	6	2	6	2	6
	De bruggetjes hebben een goede afwatering en het afgevoerde water komt uiteindelijk in de beek terecht.	3	3	9	1	3	3	9
	Het brugdek heeft een hellingspercentage voor het afvoeren van hemelwater, zo ontstaat er geen waterhinder.	1	3	3	1	1	3	3
Subtotaal				36		28		36
Gem.			2,33		1,67		2,33	
Gebruiks-vriende-lijkheid	De brug met al zijn onderdelen dient zodanig ontworpen en ingericht te worden dat gebruikers er comfortabel gebruik van kunnen maken.	3	3	9	3	9	2	6
	De brug dient vloeiend aangesloten en ingepast te worden op de nieuwe situatie, op een dusdanige wijze dat de gebruiker de voegovergang vrijwel niet ervaart en niet voor geluidshinder zorgt.	2	3	6	2	4	3	6
	De helling dient voor voetgangers overbrugbaar te zijn.	2	3	6	3	6	3	6
	De (privé) in- en uitritten dienen gehandhaafd te blijven zodat de percelen bereikbaar blijven.	3	3	9	1	3	2	6

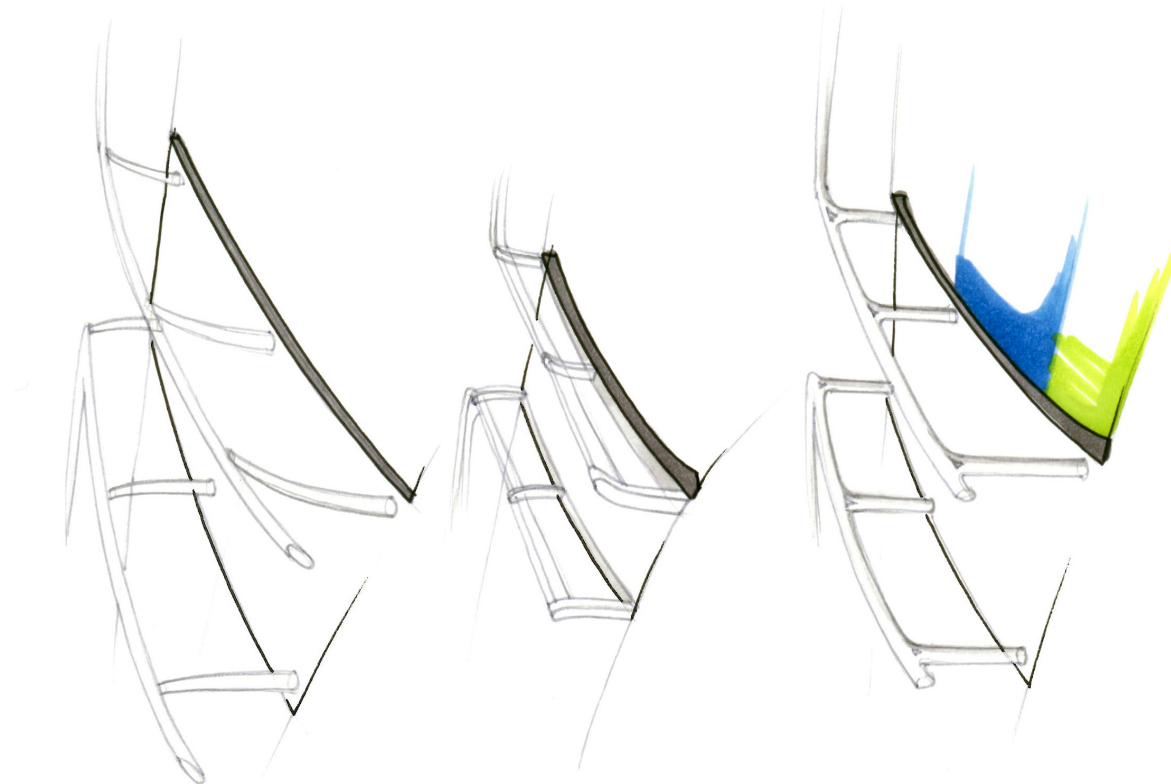
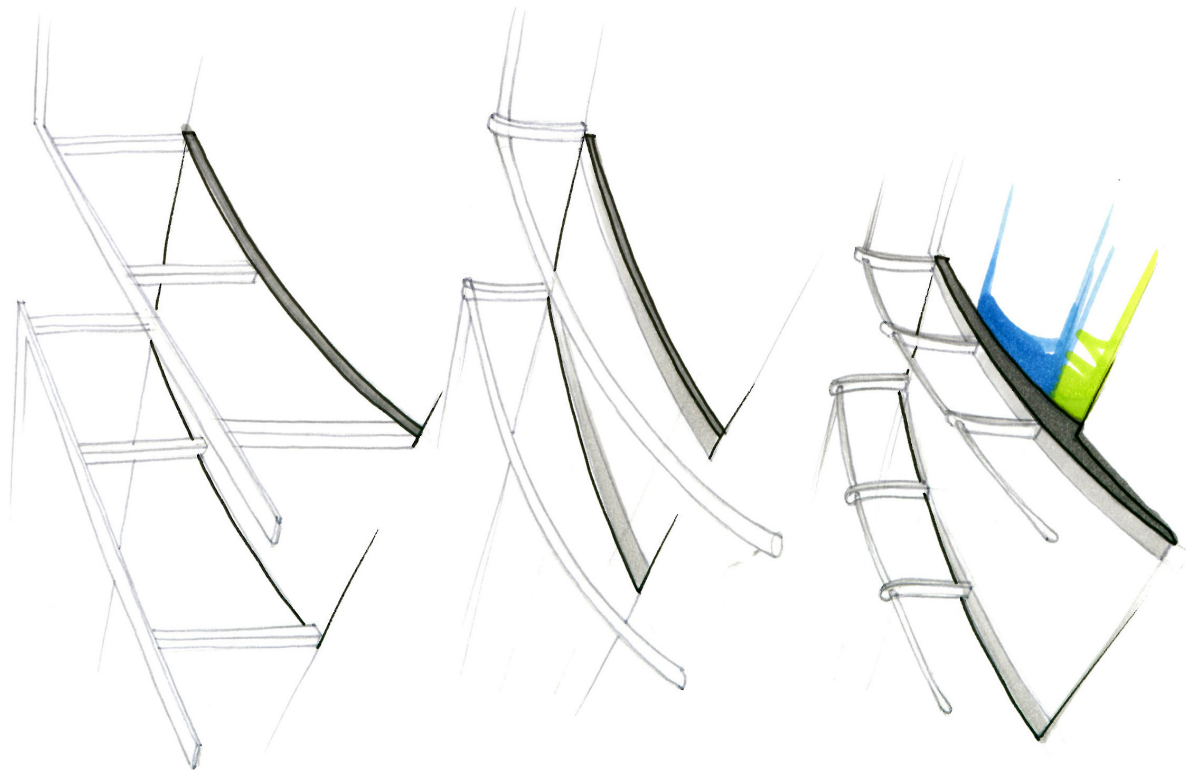
Veiligheid	De brug dient dusdanig ingericht te zijn dat deze bereikbaar en beschikbaar is voor hulpdiensten.	3	3	9	2	6	3	9
	De onderdelen op en rondom brug dienen zover als technisch mogelijk rekening te zijn gehouden met 'botsvriendelijkheid', worden de gevolgen van een eventuele botsing minder ernstig.	2	2	4	1	2	3	6
	De bruggetjes hebben een leuning met een minimale hoogte van 1 meter.	3	3	9	3	9	3	9
	Een afscheiding heeft geen opening waardoor een bol kan passeren met een doorsnede groter dan 0,5 meter.	3	3	9	2	6	3	9
	Het hekwerk is moeilijk te beklimmen door kinderen.	1	1	1	3	3	1	1
	De bruggetjes moet de gebruiker een voldoende veilig gevoel geven wanneer een auto of bus passeert.	1	2	2	3	3	1	1
Subtotaal				64		51		59
Gem.			2,36		2,09		2,18	
Omgeving	De brug dient, net als de bestaande omgeving, een eenduidige uitstraling te hebben en dient vloeiend aan te sluiten op en kwalitatief te passen in de bestaande omgeving.	3	3	9	3	9	2	6
	De bruggetjes moet passen binnen het straatbeeld.	3	2	6	3	9	1	3
	De bruggetjes moet passen in de woonwijk Pathmos en Stadsveld.	3	2	6	3	9	1	3
	De inpassing van de bruggetjes dient de identiteit van de beek in de stad hoogwaardig te versterken in de omgeving.	2	2	4	2	4	2	4

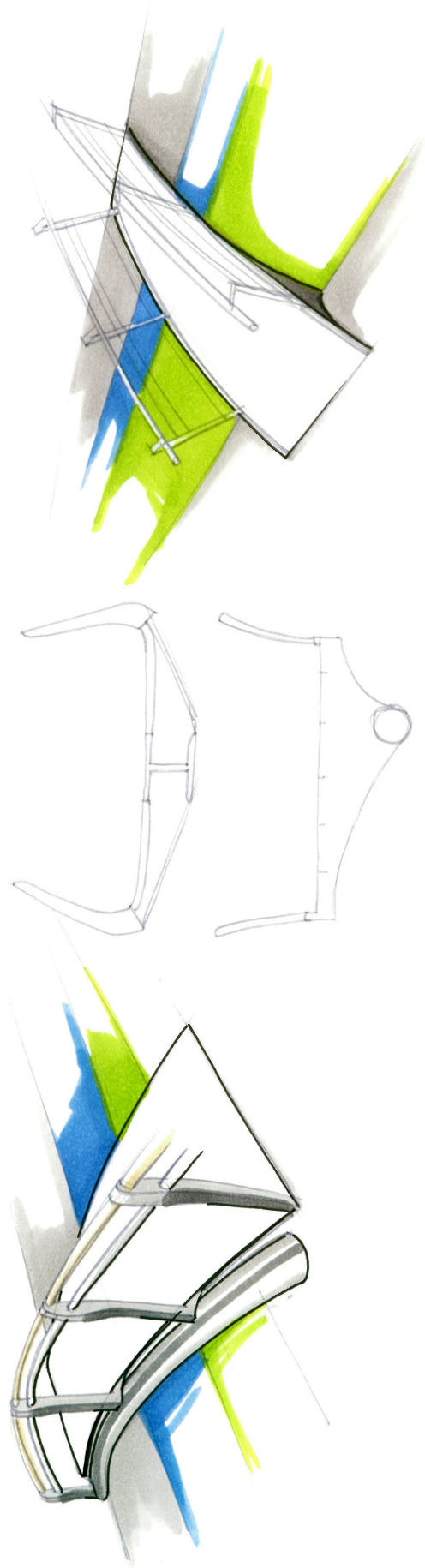
Vormgeving	De bruggetjes stralen rust in het ruimtelijke beeld uit. De bruggetjes dragen bij aan de representatieve uitstraling van de beek. Die uitstraling kan ook worden verkregen door de zichtbaarheid en leefbaarheid naar het water te versterken.	3	3	9	3	9	1	3
	De brug moet integraal ontworpen worden in eenheid met de overige elementen, zoals de hekwerken.	3	3	9	2	6	2	6
	De bruggetjes zijn herkenbaar en geeft een positieve emotie. Hierbij kan ook de belevingswaarde een rol spelen.	2	3	6	3	6	3	6
	Het aanzicht van meerdere bruggetjes in korte afstand tot elkaar verstoort de uitstraling van het ontwerp niet. De bruggetjes zijn transparant en open.	3	3	9	2	6	0	0
	Het brugdek dient zo dun mogelijk uitgevoerd te worden.	1	2	2	3	3	1	1
	Het wateroppervlak dient zo veel mogelijk zichtbaar te blijven.	1	3	3	2	2	2	2
	Onderdelen die herhalend in de brug worden aangebracht dienen tot één samenhangende vormfamilie te behoren en zowel qua profilering, kleur en materialen consequent te worden vormgegeven, tenzij specifiek anders is voorgeschreven.	2	3	6	3	6	1	2
	Kleurenschema moet passen bij het huidige straatbeeld.	3	2	6	3	9	2	6
Subtotaal				75		78		42
Gem.			2,38		2,46		1,38	
Materiaalkeuze	Het materiaal straalt duurzaamheid en transparantie uit.	3	3	9	2	6	1	3

	Schade door erosie dient voorkomen te worden.	2	3	6	2	4	2	4
	De gebruikte materialen dienen bestand te zijn tegen de normale gladheid-bestrijdingsmiddelen.	2	2	4	1	2	1	2
Onderhoud en reparatie	De bruggetjes zijn onderhoudsarm.	3	2	6	1	3	1	3
	Het talud onder de bruggetjes dient afgewerkt te worden met een duurzame dichte bekleding.	3	2	6	2	6	2	6
	De onderdelen moeten relatief eenvoudig zijn te vervangen.	1	2	2	1	1	2	2
	De constructie en onderdelen dienen bereikbaar te zijn en toegankelijk te zijn voor onderhoud met gebruikelijke middelen en technieken.	3	3	9	2	6	1	3
Subtotaal				42		28		23
Gem.			2,13		1,38		1,25	
Totaal				217		185		160









Gesprek Waterschap Vechtstromen

Op donderdag 4 februari vond er in kader van deze opdracht een overleg plaats met Henk Lansink van Waterschap Vechtstromen. Lansink was onder meer projectmanager van de 13 kilometer lange nieuwe beek én ecologische verbinding, De Doorbraak, in Almelo [29] en projectleider bij de aanleg van twee nieuwe sluizen in de Vecht bij de stuwen in Junne en Diffelen [30]. Lansink heeft ervaring in het ontwerpen van kunstwerken, vooral bruggen, tunnels en onderleiders. Met zijn achtergrond is Lansink betrokken bij eerdere projecten met de Gemeente Enschede. Het doel van het gesprek is om te 'sparren' over ideeën naar aanleiding van de uitgangspunten en de eerste schetsen. Uit dit gesprek kwamen de volgende punten met betrekking tot zijn ervaring en advies:

Brugdek

- Vormen uit de eerste schetsen zijn goed mogelijk in beton
- Aan beton kan een kleur worden meegegeven
- Geen bolling: ouderwets
- Qua materialen inspelen op water en warmte: Groenblauwe netwerken [11]. Groenblauwe netwerken maken steden duurzaam, veerkrachtig en klimaatbestendig. Deze website en de ontwerptool helpen om passende maatregelen te vinden en inspireert door aantrekkelijke voorbeelden.
- Glas, rooster gevuld met een coating, etc.
- Aandachtspunt: voorkom dat mensen gaan parkeren op de brug of ervoor

Hekwerk

- Brug laten dragen door leuning (robuust) is mogelijk door inklemming aan de ene kant
- Leuning naar buiten toe geeft meer ruimte
- Reling vloeiend door laten lopen (organisch)

Taludbekleding

- Beschermwand talud van beton is onderhoudsvrij en duurzaam

Constructie

- Meestal doorsnee plaatbrug met 2 liggers, maar met 1 ligger is een uitdaging qua vormgeving en qua constructie goed mogelijk gezien de overspanning
- Brugdek onderdeel van ligger
- Een overspanning van maximaal 5 meter is niet spannend, maar als het een bredere brug wordt wel opletten

Lansink wil meegeven dat het belangrijk is om in dit stadium nog 'out of the box' te denken. Zo kwamen er tijdens dit gesprek ideeën naar voren als een huisnummer verwerken in de reling of door bewegingssensoren de brug 's avonds te verlichten als een soort van waakhond. Uiteindelijk geeft Lansink als advies om het brugdek simpel te houden. Een basismodel en juist 'iets' met de leuning doen zorgt er voor dat het ontwerp uiteindelijk binnen het vastgestelde budget past. Een glazen brugdek is uniek, maar bij een productie van ongeveer 100 stuks kosten technisch niet haalbaar.

Gesprek opdrachtgever

Het bespreken van de ontwerpvoorstellen. De ontwerpvoorstellen worden als drie verschillende concepten gepresenteerd en toegelicht. Feedback gegeven door Henk Visscher:

- De vorm van de brug in Concept 1 is aantrekkelijk. De constructie bestaande uit een stalen buisligger met daarop uit plaatstaal gesneden dwarsspanen brengt nadelen met zich mee. Bijvoorbeeld zouden de lege ruimtes tussen de platen een schuil- of broedplaats voor dieren kunnen zijn. Dit moet verder worden uitgezocht om dit te voorkomen. De alternatieve constructie van beton is wellicht te complex (of te duur), dan zal deze moeten afvallen. Het doorlopende hekwerk oogt vriendelijk. Er moet verder worden bestudeert of dit vloeiend kan, welke bocht moet er worden gemaakt? De doorlopende bestrating in de walbekleding zorgt voor samenhang, maar is eentonig door de (vele) grijze tegels.
- De plaatbrug constructie met klokvorm van Concept 2 is eenvoudig en technisch goed haalbaar. Daarnaast sluit de vormgeving van het hekwerk goed aan bij de omliggende architectuur. Hier kan nog meer worden aan gesloten bij de bestaande erkers van de woningen in de omgeving. Een stukje vakmanschap zal hierdoor terug komen in het hekwerk en zal herkenbaar zijn voor de straat. De walbekleding met een donkere natuursteen is vergt regelmatig onderhoud.
- De enkelzijdig in toog gewalst brugdek van Concept 3 geeft een sprekend beeld richting het water. Het biedt een extra functie in de beleving van de aanwezigheid van water. Het hekwerk past niet binnen de context van het straatbeeld. De ambachtelijke detaillering is mogelijk op een andere manier toe te passen. Wel houdt het hekwerk zich aan het randje van de brug en de straat. Dit is een subtiele verfijning en is sympathiek. De (RVS-) stalen walbekleding zal door het water worden aangetast en vergt dus regelmatig onderhoud.

Afhankelijk van de constructie mogelijkheden van de vorm van Concept 1 zal het uiteindelijke concept worden gekozen. De voorkeur gaat naar de vorm van Concept 1 en het hekwerk van Concept 2. Wanneer de constructie te complex wordt om de vorm te realiseren, zal gekozen worden voor Concept 2. In Concept 1 en 2 is het niet duidelijk hoe de railing van het hekwerk door loopt langs het voetpad en/of parkeerplaats. Dit zal verder uitgewerkt moeten worden. Er is gekozen om het hekwerk vlak langs de het randje te plaatsen voor een subtiele verfijning. Het gebruik van cortenstaal in het hekwerk wordt door de hoge materiaalkosten uitgesloten. Voor de walbekleding zal een alternatief moeten worden gekozen. Een duurzame en onderhoudsvrije optie zou een betonnen plaat zijn. Dit wordt veel toegepast en werd daarom eerst achter wege gelaten. Mogelijk zou een ontwerp met een printje erop een vernieuwde uitstraling geven. Ook dit zal verder moeten worden uitgewerkt. Daarnaast zullen toepassingen van overige materialen, zoals kunststof meer worden bestudeerd en verschillende alternatieven zullen moeten worden overwogen.

Gesprek bruggenbouwer

Ontwerp

De toog in het brugdek is luxe. Meest voorkomende bruggetjes zijn recht en simpel. Dit ontwerp onderscheidt zich hiervan. De buurt verdient dit ook, omdat het straatbeeld momenteel niet erg aantrekkelijk is en veel hebben te verduren met de wateroverlast. Hier en daar moet wat worden gesneden aan het ontwerp. De rand onder een hoek naar buiten toe en een gekromde vorm (bolling) aan de onderkant kan niet gezamenlijk (en massief) worden gerealiseerd. Om het ontwerp zoveel mogelijk tot zijn recht te laten wordt de volgende constructie aan de hand van verschillende materialen overwogen.

Constructie

De constructie is momenteel zo dat het bijna handmatig zou moeten worden gemaakt, zowel uit plaatstaal als uit beton. Het ontwerp moet worden geconstrueerd naar een modulaire constructie. Dat kan als volgt; 2 liggers ipv 1, in een getoogde vorm richting de talud, afgedekt met staal en een aparte dekplaat. Deze dekplaat zal heel dun zijn. De constructie is hierdoor niet massief en is open aan de onderkant. Het is een lichtgewicht constructie.

Ook de leuning moet worden aangepast naar een modulaire constructie. Het wordt een los geconstrueerd en is geen onderdeel van het brugdek. Het wordt op locatie op het brugdek bevestigd (bovenop of aan de zijkant). In de brugconstructie kunnen de gaten worden geboord voor de bevestiging. Dit maakt het plaatsen van het hekwerk eenvoudig. Het hekwerk als een los onderdeel van het bruggetje, maakt het vervoeren makkelijker.

Het hekwerk langs het voetpad wordt op de betonnen wand gemonteerd en is ook als een modulaire constructie. Door het bepalen van de afstand waar de bruggetjes komen te liggen, kan er een vaste maat worden onderverdeeld een bepaald aantal stuks hekwerk. Door de modulairiteit is het hekwerk overal in de wijk hetzelfde en versterkt het herkenbare beeld. Aan de B.W. Ter Kuilestraat is variant 1 geen optie meer, dus variant 2 (met extra hekwerk). In de Elferinksweg is beide nog een optie.

Brugdek

Het brugdek kan bestaan uit alleen een staal plaat, bijv. traanplaat. Dit kan ook in de getoogde vorm worden gesneden. Het brugdek wordt nabewerkt dmv poedercoaten, voor het grip en voorkomen van gladheid. Dit kan bijvoorbeeld door het aanbrengen van een kunststof epoxy laag. Dit gebeurt in meerdere lagen (3 stuks). Hierin moet ook worden gekeken naar de duurzaamheid wat betreft onderhoud.

Inpassing

Een verankering in het L-profiel betonnen wand en ruimte voor een oplegging bij de in stort gegoten betonnen bekleding op de talud. Het bruggetje wordt uiteindelijk aan de beton wandzijde ingelegd en vraagt om enige speling aan de oplegging aan de taludzijde. De inpassing aan de betonnen wand is niet zo spannend, maar aan de taludzijde wel. Daarnaast ook rekening houden met trillingen en geluid.

Deze constructie blijft het dichtst bij het huidige ontwerp en snijdt er het minste in. Het zijaanzicht blijft het zelfde, maar recht. De toog naar het wegdek komt terug in de dekplaat en kan zo op de juiste manier worden aangesloten op het straatprofiel.

Productie

De modulaire constructie van de brug en het hekwerk levert een bijdrage aan het versimpelen van het brugdek en bespaart hierdoor kosten in dit proces.

Proefmodel

Om een idee te krijgen of het kan en of het ontwerp tot zijn recht komt kan een proefmodel worden gemaakt van zowel de dekplaat, constructie en hekwerk. Dit kan intern in de hal en wellicht ook extern door ergens op een verlaten terrein een beekje te leggen.

Bouw

Tijdens de bouw kan een rekening worden gehouden met het plaatsen van de bruggetjes door de silhouet van de brug in de betonnen wand kan worden gelegd. Dit zorgt voor de juist uitsnede waar het bruggetje straks in de betonnen wand wordt opgelegd.

Sterkte berekeningen constructie

Deel I: Berekening van plaatdikte met verschillende materialen

Bij het ontwerpen van een brug welke gebruik maakt van een constructie balk dient rekening gehouden te worden met een mate van doorbuiging. De doorbuiging van de balk kan berekend worden door middel van eenvoudige balkdoorbuigingsformules. De mate van doorbuiging is afhankelijk van een aantal factoren, namelijk de belasting op de brug, de methode van ondersteuning van de balk en de afstand die de balk overbrugt. Uiteindelijk kan met deze gegevens de dikte van een constructie balk worden berekend. Dit wordt berekend voor de volgende materialen:

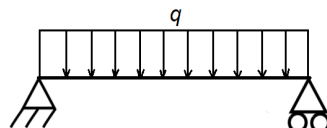
1. Beton
2. Constructiestaal
3. Hout
4. Composiet

De brug heeft een overspanning van 2200 mm welke ondersteund wordt aan de uiteinden. De homogene plaat is uitgerust met een scharnier oplegging en een roller zoals hieronder getoond. Voor de berekening van de verschillende belastingsgevallen, scenario 1 en 2 wordt uitgegaan van een rechthoekige doorsnede $b \times h$.

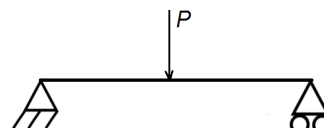
Opmerking: In alle berekeningen zijn de lengtes in m en krachten in N (newtons) gehanteerd.

De externe belasting op de brug:

- Scenario 1: gelijkmatig verdeelde belasting van 5 kN/m^2 . Volgens de NEN 6706 artikel 8.2.2.1.1 [18] is de belasting op een brugdek vol met mensen 5 kN/m^2 . Voor de belasting uit een mensenmenigte wordt $200 \text{ kg/m}^2 = 1.962 \text{ kN/m}^2$ aangehouden. Dit is ruim binnen de marges. In de gelijkmatig verdeelde belasting van 5 kN/m^2 is een veiligheids factor gerekend van minimaal $S = 2,5$.
- Scenario 2: een puntlast van 10 kN . Een personenauto weegt 1000 kg en er is een externe belasting van $10\,000 \text{ N}$.



Scenario 1



Scenario 2

In de berekening van de brug is 5 kN/m^2 volgens scenario 1 de maatgevende belasting.

$$L = 2,2 \text{ m}$$

$$1/2L = 1,1 \text{ m}$$

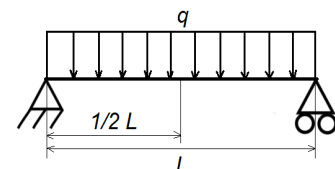
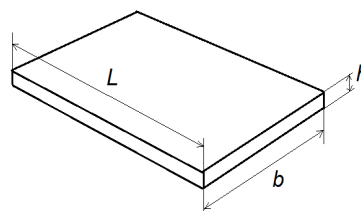
$$b = 1,5 \text{ m}$$

$$q = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$A = 2,20 \cdot 1,5 = 3,3 \text{ m}^2$$

$$P = A \cdot q = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 3,3 \text{ m}^2 = 16,5 \text{ kN}$$

$$q = P/L = (16,5 \text{ kN}) / (2,2 \text{ m}) = 7,5 \text{ kN/m}$$



VLS

De reactiekrachten ten gevolge van q -last:

$$\sum F_x (\rightarrow^+) = 0$$

$$R_{a,x} = 0$$

$$\sum F_y (\uparrow^+) = 0$$

$$R_{a,y} + R_{b,y} - q \cdot L = 0$$

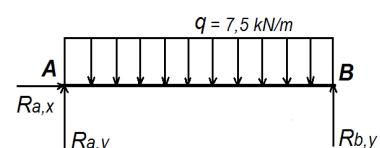
$$R_{a,y} + R_{b,y} - 7,5 \cdot 2,2 = 0$$

$$R_{a,y} + R_{b,y} - 16,5 = 0$$

$$\sum M_a (\curvearrowright^+) = 0$$

$$-q \cdot L \cdot 1/2L + R_{b,y} \cdot L = 0$$

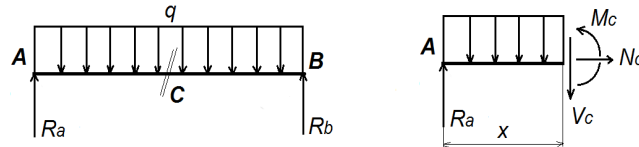
$$-16,5 \cdot 1,1 + R_{b,y} \cdot 2,2 = 0$$



Reactiekrachten

$$\begin{aligned}
 2,2 R_{b,y} &= 18,15 \\
 R_{b,y} &= 8,25 = 81/4 \text{ kN } (= 1/2 \text{ } qL) \\
 R_{a,y} &= 16,5 - R_{b,y} = 8,25 \text{ kN } (= 1/2 \text{ } qL)
 \end{aligned}$$

De reactiekrachten op de ondersteuning aan de uiteinden is aan beide kanten 8,25 kN.
De momentenlijn schetsen ten gevolge van q-last en de daarbijhorende maximaal moment berekenen:

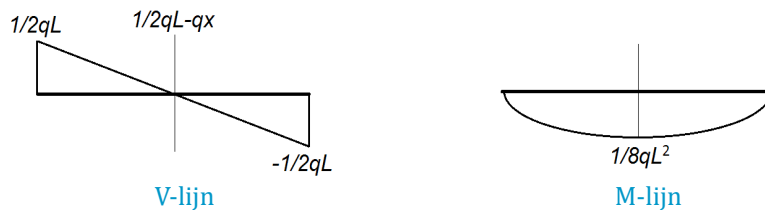


$$\begin{aligned}
 \sum F_x (\rightarrow^+) &= 0 & N_c &= 0 \\
 \sum F_y (\uparrow^+) &= 0 & R_a - q \cdot x - V_c &= 0 \\
 & & V_c &= R_a - q \cdot x && \text{met } R_a = 1/2 \text{ } qL \\
 & & V_c &= 1/2 \text{ } qL - q \cdot x \\
 \sum M_c (\curvearrow^+) &= 0 & - 1/2 \text{ } qL \cdot x + q \cdot x \cdot 1/2 x + M_c &= 0 && \text{met } - 1/2 \text{ } qL \cdot x = R_a \cdot x \\
 & & M_c &= 1/2 \text{ } qLx - 1/2 qx^2 \\
 & & M_c &= 1/2 \text{ } qL (1/2 L) - 1/2 q (1/2 L)^2 && \text{met } x = 1/2 L \\
 & & M_c &= 1/4 \text{ } qL^2 - 1/8 \text{ } qL^2 \\
 & & M_{\max} &= 1/8 \text{ } qL^2
 \end{aligned}$$

$$V_c = 8,25 - 7,5 \cdot 1,1 = 0$$

$$M_c = 1/8 \cdot 7,5 \cdot 2,2^2 = 4,5375 \text{ kNm}$$

Het maximaal moment is **4,5375 kNm**.



De hoeveelheid doorbuiging wordt volgens de norm EN 1991-2 [16] op basis van een doorbuigingseis van $L/500$ vastgelegd. Met een overspanning van 2,2 m mag de doorbuiging van de brug niet meer zijn dan: $2200/500 = 4,4 \text{ mm}$.

$$\delta_{\max} = 4,4 \text{ mm}$$

De dikte van de brug kan worden berekend aan de hand van de maximale doorbuiging welke aanwezig zal zijn op het midden van de balk ten gevolge van de q-last. Hiervoor kunnen de volgende formules worden gebruikt:

$$\begin{aligned}
 \delta_{\max} &= (5qL^4)/384EI \\
 I &= 1/12 bh^3 \\
 \sigma_{\max} &= (M_{\max})/S \\
 S = I/c &= (1/12 bh^3)/(1/2 h) = 1/6 bh^2 \\
 S &= M_{\max}/(\sigma_{\text{allow}})
 \end{aligned}$$

Er moet gelden: $\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{allow}}$.

De benodigde gegevens:

$$L = 2,2 \text{ m}$$

$$b = 1,5 \text{ m}$$

$$q = 7,5 \text{ kN/m}$$

$$\delta_{\max} = 4,4 \text{ mm}$$

$$M_{\max} = 4,5375 \text{ kNm}$$

Gevraagd: h

1. Beton

De materiaaleigenschappen van lage sterkte beton C12/15 volgens NEN 6720 zijn:

$$E = 26 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{allow}} = 25 \text{ N/mm}^2 = 2,5 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2 \text{ (voor druksterkte)}$$

Beton kan grote drukkrachten weerstaan, maar is niet goed bestand tegen trekkracht. Daarom wordt hier gerekend met een bepaalde druksterkte σ_{allow} .

De doorbuigingsformule wordt gebruikt om I te herleiden:

$$(5qL^4)/384EI = 0,0044$$

$$(5 \cdot (7,5 \cdot 10^3) \cdot (2,2^4))/(384 \cdot (26 \cdot 10^9) \cdot I) = 0,0044$$

$$878460/((9,98 \cdot 10^{12} \cdot I)) = 0,0044$$

$$\rightarrow 878460 = 4,39 \cdot 10^{10} \cdot I$$

$$I = 1,9997 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Vervolgens kan uit de hoogte worden afgeleid uit de formule voor I met $b = 1,5 \text{ m}$:

$$1/12 bh^3 = 1,9997 \cdot 10^{-5}$$

$$1/12 \cdot 1,5 \cdot h^3 = 1,9997 \cdot 10^{-5}$$

$$0,125 \cdot h^3 = 1,9997 \cdot 10^{-5}$$

$$h^3 = 1,5997 \cdot 10^{-4}$$

$$h = 0,054 \text{ m}$$

De dikte van een betonnen plaat is dus **54 mm**. Deze waarde beïnvloedt de waarde S. De optredende spanning wordt gecontroleerd aan de maximaal toelaatbare spanning:

$$S = (1/12 bh^3)/(1/2 h)$$

$$S = (1,9997 \cdot 10^{-5})/(1/2 \cdot 0,054)$$

$$S = 7,367 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\text{max}} = (M_{\text{max}})/S$$

$$\sigma_{\text{max}} = (4,5375 \cdot 10^3)/(7,367 \cdot 10^{-4})$$

$$\sigma_{\text{max}} = 6,159 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

Er geldt $\sigma_{\text{max}} < \sigma_{\text{allow}}$, omdat $6,159 \cdot 10^6 < 2,5 \cdot 10^7$. Dus de betonnen plaat **voldoet** aan de maximaal toelaatbare spanning.

2. Constructiestaal

Zie hoofdstuk 5.1.1.

3. Hout

De materiaaleigenschappen van hout volgens NEN 6760 zijn:

$$E = 9 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{allow}} = 12 \text{ N/mm}^2 = 1,2 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

De doorbuigingsformule wordt gebruikt om I te herleiden:

$$(5qL^4)/384EI = 0,0044$$

$$(5 \cdot (7,5 \cdot 10^3) \cdot (2,2^4))/(384 \cdot (9 \cdot 10^9) \cdot I) = 0,0044$$

$$878460/((3,456 \cdot 10^{12}) \cdot I) = 0,0044$$

$$\rightarrow 878460 = 15206,4 \cdot 10^6 \cdot I$$

$$I = 5,777 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Vervolgens kan uit de hoogte worden afgeleid uit de formule voor I met $b = 1,5 \text{ m}$:

$$1/12 bh^3 = 5,777 \cdot 10^{-5}$$

$$1/12 \cdot 1,5 \cdot h^3 = 5,777 \cdot 10^{-5}$$

$$0,125 \cdot h^3 = 5,777 \cdot 10^{-5}$$

$$h^3 = 4,622 \cdot 10^{-4}$$

$$h = 0,077 \text{ m}$$

De dikte van een stalen plaat is dus **77 mm**. Deze waarde beïnvloedt de waarde S. De optredende spanning wordt gecontroleerd aan de maximaal toelaatbare spanning:

$$S = (1/12 bh^3)/(1/2 h)$$

$$S = (5,777 \cdot 10^{-5})/(1/2 \cdot 0,077)$$

$$S = 1,494 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = (M_{\max})/S$$

$$\sigma_{\max} = (4,5375 \cdot 10^3)/(1,494 \cdot 10^{-3})$$

$$\sigma_{\max} = 3,036 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

Er geldt $\sigma_{\max} < \sigma_{\text{allow}}$, omdat $3,036 \cdot 10^6 < 1,2 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$. Dus de houten plaat **voldoet** aan de maximaal toelaatbare spanning.

4. Composiet

De materiaaleigenschappen van glasvezelversterkt polyester volgens NEN-EN 13706-3 [28] en CUR aanbeveling 96 [29] zijn:

$$E = 29550 \text{ N/mm}^2 = 29,55 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{allow}} = 203 \text{ N/mm}^2 = 203 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

De doorbuigingsformule wordt gebruikt om I te herleiden:

$$(5qL^4)/384EI = 0,0044$$

$$(5 \cdot (7,5 \cdot 10^3) \cdot (2,2^4))/(384 \cdot (29,55 \cdot 10^9) \cdot I) = 0,0044$$

$$878460/((1,135 \cdot 10^{13}) \cdot I) = 0,0044$$

$$\rightarrow 878460 = 4,993 \cdot 10^{10} \cdot I$$

$$I = 1,759 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

Vervolgens kan uit de hoogte worden afgeleid uit de formule voor I met $b = 1,5 \text{ m}$:

$$1/12 bh^3 = 1,759 \cdot 10^{-5}$$

$$1/12 \cdot 1,5 \cdot h^3 = 1,759 \cdot 10^{-5}$$

$$0,125 \cdot h^3 = 1,759 \cdot 10^{-5}$$

$$h^3 = 1,408 \cdot 10^{-4}$$

$$h = 0,052 \text{ m}$$

De dikte van een stalen plaat is dus **52 mm**. Deze waarde beïnvloedt de waarde S. De optredende spanning wordt gecontroleerd aan de maximaal toelaatbare spanning:

$$S = (1/12 bh^3)/(1/2 h)$$

$$S = (1,759 \cdot 10^{-5})/(1/2 \cdot 0,052)$$

$$S = 6,763 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{\max} = (M_{\max})/S$$

$$\sigma_{\max} = (4,5375 \cdot 10^3)/(6,763 \cdot 10^{-4})$$

$$\sigma_{\max} = 6,712 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

Er geldt $\sigma_{\max} < \sigma_{\text{allow}}$, omdat $6,712 \cdot 10^6 < 203 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Dus de composiet plaat **voldoet** aan de maximaal toelaatbare spanning.

Sterkte berekeningen constructie

Deel II: Berekening van materiaaldikte van de brugconstructie

Bij het ontwerpen van de brug is de constructie steeds meer vast gelegd. Er wordt gebruik gemaakt van de materiaaleigenschappen van staal en de doorbuigingseis om de sterkte van de constructie te bepalen. De doorbuiging van de balk kan berekend worden door het opstellen van doorbuigingsformules. Uiteindelijk kan met deze gegevens de dikte van een onderdeel worden berekend. Op deze manier kan er een afschatting worden gemaakt van de materiaaldikte en sterkte van de gehele constructie. Dit wordt berekend voor de volgende constructie onderdelen:

1. Plaatdek
2. Balk
3. Ligger

De brug heeft een overspanning van 2200 mm welke ondersteund wordt aan de uiteinden. Het brugdek wordt ondersteund door dwarsliggende balken. De hoofddraagconstructie bestaat uit twee liggers. De gehele constructie bestaat uit staal. Voor het gemak wordt er bij deze berekening uitgegaan van een rol oplegging aan beide kanten, zoals hieronder getoond. Voor de berekening wordt het belastingsgeval van scenario 1 aangenomen, zoals toegelicht in Sterkte berekeningen constructie Deel I. Er wordt uitgegaan van een one-way slab. Dit betekent dat het brugdek enkel is ondersteund.

Opmerking: In alle berekeningen zijn de lengtes in m en krachten in N (newtons) gehanteerd.

Voor een one-way slab geldt voor de ligger: $L/B \geq 2$

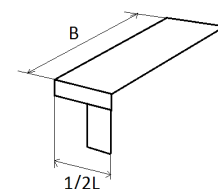
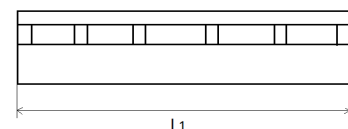
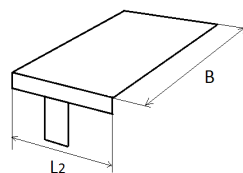
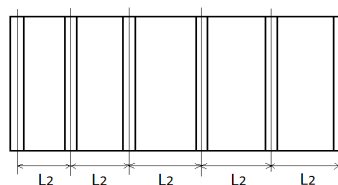
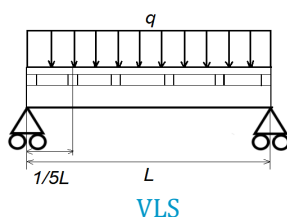
$1,5/B \geq 2$ met $L = 1,5$ m als $1,5/B = 2$ dan $B = 0,75$ m
 maar voor een betere verdeling van de belasting, B groter.
 dus bijv. $B = 0,44$ m. Dit geeft $1,5/0,44 = 3,4$.
 Dit voldoet aan de voorwaarde $L/B \geq 2$.

De balken hebben dus een gelijk verdeelde afstand van 0,44 m tot elkaar. Hierdoor wordt de plaatdek ondersteund door 5 balken. De balken verdelen het brugdek in kleinere stukjes. Van een stukje brugdek wordt de belasting uitgerekend. Allereerst wordt de verdeelde belasting q herleidt naar puntbelastingen.

$$L = 0,44 \text{ m}$$

$$b = 1,5 \text{ m}$$

$$q = 5 \text{ kN/m}^2$$



$$A = 0,44 \cdot 1,5 = 0,66 \text{ m}^2$$

$$P_{\text{dubbel}} = A \cdot q = 0,66 \text{ m}^2 \cdot 5 \text{ kN/m}^2 = 3,3 \text{ kN}$$

Het bovendek en de ligger bestaat uit een symmetrische constructie, dus de ligger draagt de helft.

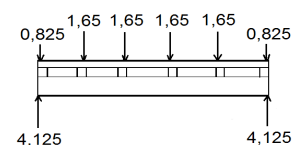
$$P_{\text{enkel}} = P/2 = (3,3 \text{ kN})/2 = 1,65 \text{ kN}$$

Ook voor het uiteinden van plaatdek wordt de belasting op de balken en de ligger uitgedrukt in een P-last.

$$0,22 \times 5 = 1,1 \text{ kN/m}$$

$$1,1 \times 1,5 = 1,65 \text{ kN}$$

$$P_{\text{enkel, uiteinden}} = P/2 = (1,65 \text{ kN})/2 = 0,825 \text{ kN}$$



Reactiekrachten

De reactiekrachten ten gevolge van de P-last:

$$\sum P = 0,825 + 1,65 + 1,65 + 1,65 + 1,65 + 0,825 = 8,25 \text{ kN}$$

Dit komt overeen met de berekeningen van de reactiekrachten in Sterkte berekeningen constructie Deel I (bijlage E.1). De twee liggers verdelen deze krachten door de symmetrische constructie, dus $(8,25 \text{ kN})/2 = 4,125 \text{ kN}$

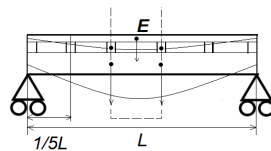
De dikte van het materiaal wordt berekend aan de hand van de maximale doorbuiging. De constructie gaat op drie plekken doorbuigen. In het midden van het brugdek en de twee liggers. Het dek is door de balken opgedeeld in stukjes. De doorbuiging berekenen:

$$\delta_{\text{ligger}} + \delta_{\text{balk}} + \delta_{\text{dek}}$$

Zoals eerder genoemd in Sterkte berekeningen constructie Deel I is de doorbuigingseis:

$\delta_{\text{max}} = 4,4 \text{ mm}$. Dit mag het in totaal dus zijn:

$$\delta_{\text{ligger}} + \delta_{\text{balk}} + \delta_{\text{dek}} = 0.0044 \text{ m}$$



Deze maximale doorbuiging wordt verdeeld over de onderdelen van de constructie. De ligger zal uiteindelijk de hoofddraagconstructie zijn en bestaat uit twee liggers, dus mag in verhouding meer doorbuigen.

$$\delta_{\text{dek}} = 0.0011 \text{ m}$$

$$\delta_{\text{balk}} = 0.0011 \text{ m}$$

$$\delta_{\text{ligger}} = 0.0022 \text{ m}$$

Voor de bovenstaande doorbuigingen wordt een doorbuigingsformule opgesteld voor elk constructie onderdeel met verschillende belastingen. Hieruit is uiteindelijk de dikte van het materiaal af te leiden en volgt:

$$(h_{\text{constructie}}) = h_{\text{dek}} + h_{\text{balk}} + h_{\text{ligger}}$$

1. δ_{dek}

$$\delta_{\text{dek}} = (5qL^4)/384EI = 0,0011$$

De eigenschappen van dit constructie onderdeel zijn:

$$L = 0,44 \text{ m}$$

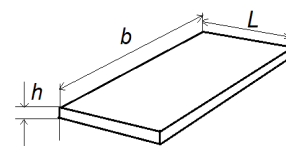
$$b = 1,5 \text{ m}$$

$$A = 0,44 \cdot 1,5 = 0,66 \text{ m}^2$$

$$P = A \cdot q = 0,66 \text{ m}^2 \cdot 5 \text{ kN/m}^2 = 3,3 \text{ kN}$$

$$q = P/L = (3,3 \text{ kN})/(0,44 \text{ m}) = 7,5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Eetaal} = 200 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$



De doorbuigingsformule wordt gebruikt om I te herleiden:

$$(5qL^4)/384EI = 0,0011$$

$$(5 \cdot (7,5 \cdot 10^3) \cdot (0,44^4)) / (384 \cdot (200 \cdot 10^9) \cdot I) = 0,0011$$

$$1405,536 / ((7,68 \cdot 10^{13}) \cdot I) = 0,0011$$

$$\rightarrow 1405,536 = 8,448 \cdot 10^{10} \cdot I$$

$$I = 1,664 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

Vervolgens kan de hoogte worden afgeleid uit de formule voor $I = 1/12 bh^3$ met $b = 1,5 \text{ m}$:

$$1/12 bh^3 = 1,664 \cdot 10^{-8}$$

$$1/12 \cdot 1,5 \cdot h^3 = 1,664 \cdot 10^{-8}$$

$$0,125 \cdot h^3 = 1,664 \cdot 10^{-8}$$

$$h^3 = 1,331 \cdot 10^{-7}$$

$$h = 0,005106 \text{ m}$$

De dikte van de stalen plaatdek, h_{dek} , is dus **5,106 mm**.

2. δ_{balk}

$$\delta_{\text{balk}} = (5qL^4)/384EI = 0,0011$$

De eigenschappen van dit constructie onderdeel zijn:

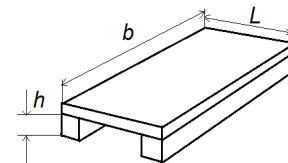
$$L = 1,5 \text{ m}$$

$$B = 0,44 \text{ m}$$

De krachten op het oppervlakte: $A = 0,44 \cdot 1,5 = 0,66 \text{ m}^2$, komt als verdeelde belasting op de balk:

$$q = 1,5 \cdot 5 \text{ kN/m}^2 = 2,2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Eestaal} = 200 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$



De doorbuigingsformule wordt gebruikt om I te herleiden:

$$(5qL^4)/384EI = 0,0011$$

$$(5 \cdot (2,2 \cdot 10^3) \cdot (1,5^4)) / (384 \cdot (200 \cdot 10^9) \cdot I) = 0,0011$$

$$55687,5 / ((7,68 \cdot 10^{13}) \cdot I) = 0,0011$$

$$\rightarrow 55687,5 = 8,448 \cdot 10^{10} \cdot I$$

$$I = 6,592 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

Vervolgens kan de hoogte worden afgeleid uit de formule voor $I = 1/12 bh^3$. De balk zal uiteindelijk worden uitgevoerd als een I-profiel balk. Volgens $1/12 bh^3 = 6,592 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$ is het ontwerp van de I profiel balk:

$$b = 37 \text{ mm}$$

$$h = 60 \text{ mm}$$

De dikte van de stalen balk, h_{balk} , is dus **60 mm**.

3. δ_{ligger}

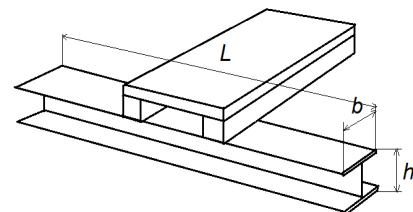
$$\delta_{\text{ligger}} = (23PL^3)/600EI = 0,0022$$

De eigenschappen van dit constructie onderdeel zijn:

$$L = 2,2 \text{ m}$$

$$P_{\text{totaal}} = 8,25 \text{ kN}$$

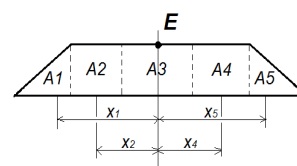
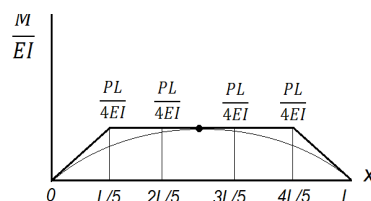
$$\text{Eestaal} = 200 \cdot 10^9 \text{ Pa}$$



De doorbuigingsformule is opgesteld volgens de Second Moment-Area Theorem. Er geldt:

$$\int_A^B \frac{M}{EI} \cdot x \cdot dx$$

Hiervoor is aan de hand van de doorbuiging van de ligger een momentenlijn geschetst. De doorbuiging in punt E is gelijk aan het eerste moment van de M/EI diagram met betrekking tot punt E. De lijn wordt abstract benaderd waardoor het oppervlakte onder de momentlijn kan worden berekend.



M/EI diagram en benadering M/EI lijn in oppervlakten

$$A1 = A5 \text{ en } A2 = A3 = A4$$

$$A1 = 1/2 \cdot (L/5) \cdot (PL/4EI) = (PL^2)/40EI = A5$$

$$A2 = (L/5) \cdot (PL/4EI) = (PL^2)/20EI = A3 = A4$$

x_3 ligt in het punt E, dus $x_3 = 0$; A_3 vervalt, want $M_{A3} = 0$.

$\delta E = A1 \cdot x1 + A2 \cdot x2 + A4 \cdot x4 + A5 \cdot x5$ (1) waarin $x1, x2, x4$ en $x5$ de afstanden zijn van punt E tot het zwaartepunt van de desbetreffende oppervlakte. Deze afstanden zijn:

$$x1 = 1/3 \cdot (L/5) + (L/5) + (1/2 (L/5)) = 11L/30, \quad x2 = L/5, \quad x4 = L/5,$$

$$x5 = 1/3 \cdot (L/5) + (L/5) + (1/2 (L/5)) = 11L/30$$

Substitutie in Equation (1):

$$\delta E = (PL^2)/40EI \cdot (11L/30) + (PL^2)/20EI \cdot (L/5) + (PL^2)/20EI \cdot (L/5) + (PL^2)/40EI \cdot (11L/30)$$

$$\delta E = 2 \cdot ((11PL^3)/1200EI) + 2 \cdot ((PL^3)/100EI)$$

$$\delta E = (22PL^3)/1200EI + (2PL^3)/100EI$$

$$\delta E = (22PL^3)/1200EI + (24PL^3)/1200EI$$

$$\delta E = (46PL^3)/1200EI$$

$$\delta E = (23PL^3)/600EI = \delta_{ligger}$$

De doorbuigingsformule wordt ingevuld met de gegeven en wordt gebruikt om I te herleiden:

$$(23PL^3)/600EI = 0,0022$$

$$(23 \cdot (8,25 \cdot 10^3) \cdot (2,2^3))/(600 \cdot (200 \cdot 10^9) \cdot I) = 0,0022$$

$$2020458 / ((1,2 \cdot 10^{14}) \cdot I) = 0,0022$$

$$\rightarrow 2020458 = 2,64 \cdot 10^{11} \cdot I$$

$$I = 7,653 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Vervolgens kan de het I-profiel van de stalen ligger worden afgeleid uit de formule:

$$1/12 bh^3 = 6,592 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^4$$

Er wordt aangenomen dat de ligger een wide-flange beam section with equal flanges (b) is, met de voorraad, levert dit de volgende mogelijkheden op:

$$\text{HEA 100, } h=96, b=100 \rightarrow I = 7,373 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^4$$

$$\text{HEB 100, } h=100, b=100 \rightarrow I = 8,333 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^4$$

$$\text{IPE 120, } h=120, b=64 \rightarrow I = 9,216 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^4$$

$$\text{INP 120, } h=120, b=58 \rightarrow I = 8,352 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^4$$

Er wordt gekozen voor een HEA 100 profiel, dus de dikte van de stalen ligger, h_{ligger} , is **96 mm**.

De totale dikte van de constructie is:

$$h_{dek} + h_{balk} + h_{ligger} = 5,106 + 60 + 96 = \mathbf{161,106 \text{ mm}}.$$

