Constructief ontwerp en uitwerkingen

Afstudeeropdracht van: Nicolien Stokman

Hogeschool Van Hall Larenstein
Afstudeerrichting planuitwerking en realisatie

Opdrachtgever: Mourik Groot-Ammers B.V.

Datum: januari 2009

MOURIK

Nicolien Stokman

Constructief ontwerp en uitwerkingen

Mourik Groot-Ammers B.V.
Culemborg, januari 2009

Begeleiders:
Jan van Steenis
Willem van Briemen

Afstudeeropdracht

Colofon

Auteur:

Nicolien Stokman

Zuider Parallelweg 42
6882 AG Velp
Nederland

Begeleider vanuit Hogeschool Van Hall Larenstein:

Willem van Briemen

Hogeschool Larenstein
Pb. 9001
6880 GB Velp
Nederland

Opdrachtgever:

Mourik Groot-Ammers B.V.

Bezoekadres:
Voorstraat 67
2964 AJ Groot-Ammers
Nederland

Postadres:
Postbus 2
2964 ZG Groot-Ammers
Nederland

T: +31 184 667200
F: +31 184 662316
E: mga@mourik.com
W: www.mourik.com

Begeleider vanuit Mourik Groot-Ammers B.V.:

Jan van Steenis

Bezoekadres:
Voorstraat 67
2964 AJ Groot-Ammers
Nederland

Postadres:
Postbus 2
2964 ZG Groot-Ammers
Nederland

Constructief Ontwerp en uitwerkingen Nicolien Stokman, opdrachtgever Mourik Groot-Ammers B.V.

Samenvatting

Tegenwoordig vormen het stedelijk gebied en water een twee-eenheid. Er is een groeiende belangstelling voor wonen aan het water. Op steeds meer nieuwbouwlocaties wordt water toegepast. Water speelt een belangrijke rol in de structuur en het beeld van de openbare ruimte. In dit constructief onderzoek wordt een brug ontworpen voor wijk Parijsch te Culemborg.

West 8 Urban Design & Landscape Architecture heeft in een stedenbouwkundig plan een visie geschreven voor wijk Parijsch te Culemborg. Volgens deze visie krijgt de brug een eenvoudig karakter. Uiteraard zijn er technische eisen voor deze brug omschreven in het Technisch Programma Van Eisen. In het tweede hoofdstuk van dit onderzoek zal de visie was West 8 omschreven worden, worden de technische eisen genoemd en wordt duidelijk welke afmeting en welke plaats de brug krijgt.

Vervolgens wordt een keus gemaakt voor het type brug. Er wordt in dit geval gekozen voor een vaste brug, de minimale doorvaarhoogte is met een vaste brug haalbaar. De brug krijgt een eenvoudig karakter.

Na het kiezen van het soort brug moet er een keus gemaakt worden over de te gebruiken materialen. Er is een onderzoek gedaan naar 4 soorten materialen, hout, kunststof, staal en beton. Uit de vergelijking van deze materialen wordt duidelijk dat voor de brug in wijk Parijsch hout en staal de beste materialen.

Nu de materialen en het soort brug, evenals het karakter van de brug duidelijk is, kan deze worden ontworpen. De brug krijgt een “simpel” ontwerp. Het dek van de brug zal worden uitgevoerd in hout, Azobe. Ook de leuningen worden in hout uitgevoerd. De liggers van de brug worden in staal uitgevoerd. Voor de bevestiging van de dekdelen op de liggers worden 2 manieren van uitwerken getoond. Een traditionele uitwerking en een nieuwe manier. De opdrachtgever zal uiteindelijk een keus maken tussen deze twee manieren van uitwerken.

Tot slot worden beide manieren van uitwerken gedimensioneerd. Aan de hand van een rekenmodel worden de afmetingen van de dekdelen bepaald en ook het benodigde staalprofiel voor de liggers.

Inhoudsopgave

Hoofdstuk 1 Inleiding pag 6

Hoofdstuk 2 Ontwerpopgave pag 7
- 2.1 Visie pag 8
- 2.2 Ontwerp pag 10
- 2.3 Constructie pag 11
- 2.4 technische eisen pag 12
- 2.5 Wat is een brug? pag 14
- 2.6 Keuze brug pag 24

Hoofdstuk 3 Materiaalvergelijkend onderzoek pag 25
- 3.1 Hout pag 26
- 3.2 Kunststoffen pag 28
- 3.3 Staal pag 29
- 3.4 Beton pag 30
- 3.5 Vergelijking en keuze pag 33

Hoofdstuk 4 Definitief ontwerp pag 35
- 4.1 Ontwerp pag 36
- 4.2 Alternatief 1 pag 37
- 4.3 Alternatief 2 pag 38
- 4.4 Keuze pag 39
- 4.5 Details brug pag 40

Hoofdstuk 5 Dimensionering pag 41
- 5.1 Rekenmodel pag 42
- 5.2 Berekening alternatieven pag 47

Literatuurlijst pag 51

Bijlagen pag 52
- Bijlage 1 pag 53
- Bijlage 2 pag 55

Hoofdstuk 1

Inleiding

Tegenwoordig vormen het stedelijk gebied en water een twee-eenheid. Er is een groeiende belangstelling voor wonen aan het water. Op steeds meer nieuwbouwlocaties wordt water toegepast. Water speelt een belangrijke rol in de structuur en het beeld van de openbare ruimte. Ooit was water de belangrijkste reden om je ergens te vestigen, water was van levensbelang. Later is het aspect schoonheid, de verfraaiing van het stadsbeeld een rol gaan spelen. Ook is berging van neerslagwater een hot item, zeker nu er wordt gesproken over een mogelijke klimaatverandering. Ook gemeente Culemborg ontwikkeld wonen aan het water in wijk Parijsch.

De gemeente wil met het ontwikkelen van wijk Parijsch voorzien in de huisvestingsmogelijkheden voor de lokale en regionale bevolking, afgestemd op de behoeften.

De gemeente wil het woningtekort oplossen, met name in de goedkopere sector. De druk op de woningmarkt verlichten. Een woonwijk ten westen van de bestaande stad realiseren, die zelfstandig kan functioneren in samenhang met reeds gerealiseerde wijk Goilberdingen.

De komende jaren worden in wijk Parijsch ongeveer 1400 woningen en een aantal voorzieningen zoals een brede school, een woonwelzijn/zorgcomplex, sportvelden en dergelijke gerealiseerd.

De nieuwe wijk biedt veel voorzieningen. Zo zijn er diverse scholen voor lager onderwijs, er zijn mogelijkheden voor kinderopvang, er is een medisch centrum waarin huisartsen, apotheek en fysiotherapie gevestigd zijn. Een winkelcentrum biedt de inwoners van de wijk voldoende mogelijkheden om alle dagelijkse inkopen te doen.

Voor wijk Parijsch is het waterbergend vermogen een belangrijk aspect. Er worden in het plangebied verschillende watergangen gegraven en ook een grote waterpartij; de Strang.

De wijk is opgedeeld in verschillende buurten. Sommige buurten zijn helemaal door water omgeven, het zijn eilanden. Deze verschillende buurten zijn door bruggen ontsloten. Er zijn bruggen voor auto verkeer maar ook bruggen voor fiets- en voetgangers verkeer. In dit rapport wordt één van deze fiets- en voetgangers bruggen ontworpen en gedimensioneerd.

Het tweede hoofdstuk gaat in op de ontwerpopgave. Er is een voorlopig stedenbouwkundig plan voor wijk Parijsch gemaakt door West 8. In dit plan wordt de stedenbouwkundige visie voor wijk Parijsch beschreven. De te ontwerpen brug moet passen binnen deze visie.

Hoofdstuk 3 bestaat uit een materiaalvergelijkend onderzoek. De brug kan van verschillende materialen worden gemaakt. In dit onderzoek worden aan de hand van hun eigenschappen 4 materialen beschreven. De materialen die beschreven worden zijn hout, kunststoffen, staal en beton. Uiteindelijk zal één van deze materialen gekozen worden om de brug mee te construeren.

In het vierde hoofdstuk wordt een definitief ontwerp voor de brug gemaakt. Dit wordt uitgewerkt in tekeningen. In het vijfde en laatste hoofdstuk wordt de brug gedimensioneerd.

Het rapport is als volgt opgebouwd:

1 Inleiding
2 Ontwerpopgave
3 Materiaalvergelijkend onderzoek
4 Definitief ontwerp
5 Dimensionering

Hoofdstuk 2

Ontwerpopgave

Voor wijk Parijsch is een stedenbouwkundig plan geschreven door bureau West 8. Dit stedenbouwkundig plan geeft de ontwerpvisie voor wijk Parijsch. De te ontwerpen brug moet binnen deze visie passen. Om duidelijk te maken waarom bepaalde keuzes worden gemaakt ten aanzien van de brug is het stedenbouwkundig plan opgenomen in dit constructieve onderzoek. Ook wordt de kaart van het ontwerp voor de wijk afgebeeld.

Na het stedenbouwkundig plan en de kaart wordt de te maken constructie, de brug, besproken. Waar ligt de brug? Hoe ziet het referentiebeeld uit het stedenbouwkundig plan eruit? Hoe breed is het water waarover de constructie gebouwd wordt? De afmetingen van de brug? Er wordt een beeld geschetst van de te maken constructie. Hierna volgen de technische eisen uit het Technisch Programma Van Eisen die gelden voor de bruggen in wijk Parijsch. Afhankelijk van de soort brug en van de toegepaste materialen gelden bepaalde eisen.

Om een goede keuze te kunnen maken over de vormgeving van de brug wordt een klein onderzoek gedaan naar verschillende soorten bruggen. Zo zijn er beweegbare bruggen in verschillende vormen en vaste bruggen in verschillende vormen. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk wordt de keus voor een bepaald brugtype voor de brug in wijk Parijsch gemaakt.

2.1 Visie

Er is een stedenbouwkundig plan voor wijk Parijsch gemaakt door West 8. Hieronder volgt de visie van West 8 op wijk.

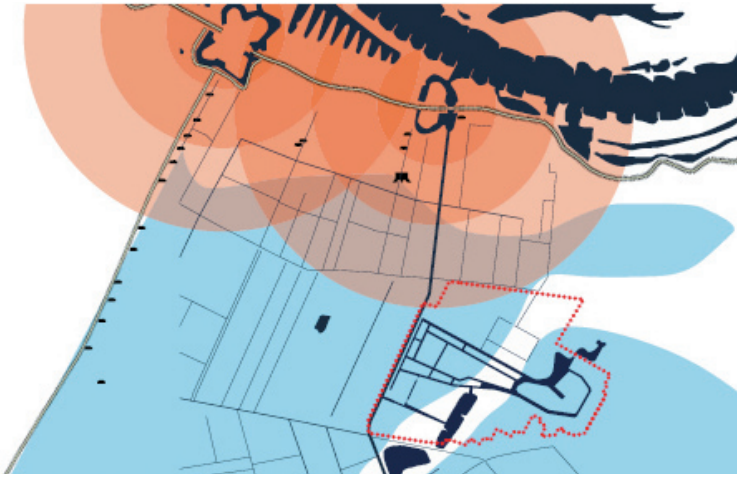
Aan de westzijde groeit Culemborg met ca. 1400 woningen waarvan ca. 1100 gelegen zijn in het deelgebied Parijsch Zuid. De huidige westrand van Culemborg wordt gevormd door geometrische blokken die anoniem in hun omgeving liggen. Met de nieuwe uitbreiding van Culemborg bestaat een kans om de stad af te maken en aan te laten sluiten op het omliggende landschap, de Betuwe. Dit landschap kenmerkt zich door de aanwezigheid van de rivier met de daarbij horende dijk, oeverwallen en komgronden.
Het polderland van de Betuwe is in de 19de eeuw ingezet bij de verdediging van het land. Het was onderdeel van de Nieuwe Hollandse Waterlinie waarvan de elementen nog duidelijk terug te vinden zijn.

De Nieuwe Hollandse Waterlinie.

Eind achttiende eeuw maakt Cornelis Krayenhoff, directeur de Hollandse Fortificatiën, de eerste schetsen voor de nieuwe Hollandse waterlinie. Napoleon Bonaparte toont belangstelling maar na zijn val beslootkoning Willem I in 1815 tot de uitvoering ervan. De nieuwe linie loopt van Muiden tot aan de Biesbos en omsluit in tegenstelling tot de tot dan toe bestaande waterlinieook Utrecht.

Een kilometers brede strook land kon met dit inundatiesysteem enkele tientallen centimeters onder water gezet worden om indringers buiten te houden. Het water was te ondiep om te bevaren en de afstand was te groot om met geschut te overbruggen. Ook werden greppels onzichtbaar en vormden daardoor hindernissen voor de vijand. Op plaatsen waar inundatie niet mogelijk was, of op plaatsen waar wegen de linie doorkruisten, bouwde men forten.

Tot 1886 wordt er gebouwd aan de forten waarbij torenfort Everdingen werd gebouwd van 1842- 1847 en Werk aan het Spoel in 1815. Tot op heden is fort Everdingen in gebruik door Explosieven Opruimingscommando Koninklijke Landmacht. Voor Werk aan het Spoel is een ontwerp gemaakt door Ronald Rietveld en Erick de Lyon. Hierin wordt de basisstructuur van het fort versterkt en het uitzicht vanaf het fort op het rivierenlandschap maximaal benut. Daarnaast worden er elementen toegevoegd zoals een amfitheater en een forthuis. De laatste keer dat de linie gebruikt is was in 1944 - 1945 door de Duitse bezetter. Daarna werd de linie achterhaald door de sterke opkomst van luchtmacht.



(Bron: Stedenbouwkundigplan West 8)

Schootsvelden en inundatiegebied.
Binnen de rode stippellijn ligt het plangebied, wijk Parijsch te Culemborg.

Culemborg in de Betuwe.

Culemborg is gelegen in het karakteristieke rivierenlandschap van de Betuwe. Nabij de rivieren liggen de hoger gelegen oeverwallen met een kleinschalig landschap van boerderijen en fruitboomgaarden. Verder landinwaarts bevinden zich open kleigronden met akkers en weilanden. Deze worden omzoomd door lanen en bossen van populier en es. Kenmerkend in het voorjaar is de weelderige groei van fluitekruid en koolzaad in bermen en slootkanten.

De Betuwe in Culemborg.

Culemborg was oorsponkelijk een handelsdorp, dat later stadsrechten verwierf, op de oeverwal van de Lek en de stroomrug van het riviertje de Meer. In de 14de eeuw werd een stadsmuur gebouwd om bendes en vijanden buiten de stad te houden. Ook bij het aanleggen van de straten werd rekening gehouden met mogelijke vijandigheden. Door vele knikken en verspringen werd het schootsveld belemmerd. Ondanks dat de kans op schietpartijen momenteel gering is, is dit stratenpatroon nog steeds kenmerkend voor de binnenstad.
Kenmerkend voor dorpen en steden in de Betuwe is de aanwezigheid van leilinden voor de huizen. Deze groene wanden werden oorspronkelijk geplant om de bebouwing te beschermen tegen weersinvloeden. In het nabij gelegen Buren zijn zeer veel leilindes te vinden. Maar ook het centrum van Culemborg handhaaft dit kenmerk van de Betuwe.

(Bron: Stedenbouwkundigplan West 8)

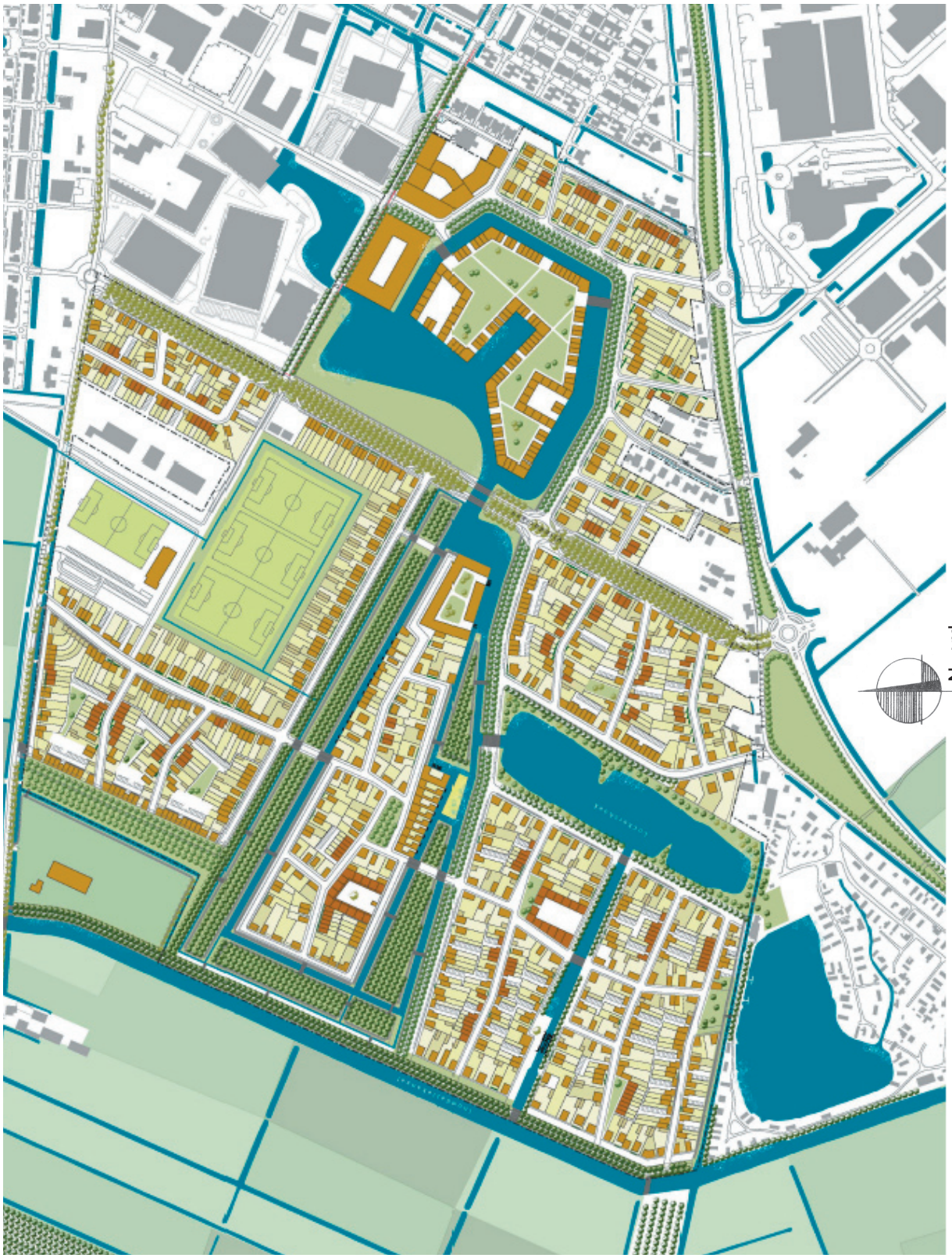
(Bron: Stedenbouwkundigplan West 8)

(Bron: Stedenbouwkundigplan West 8)

(Bron: Stedenbouwkundigplan West 8)

(Bron: Stedenbouwkundigplan West 8)

2.2 Ontwerp



Bron: Stedenbouwkundig plan West 8, legenda niet aanwezig

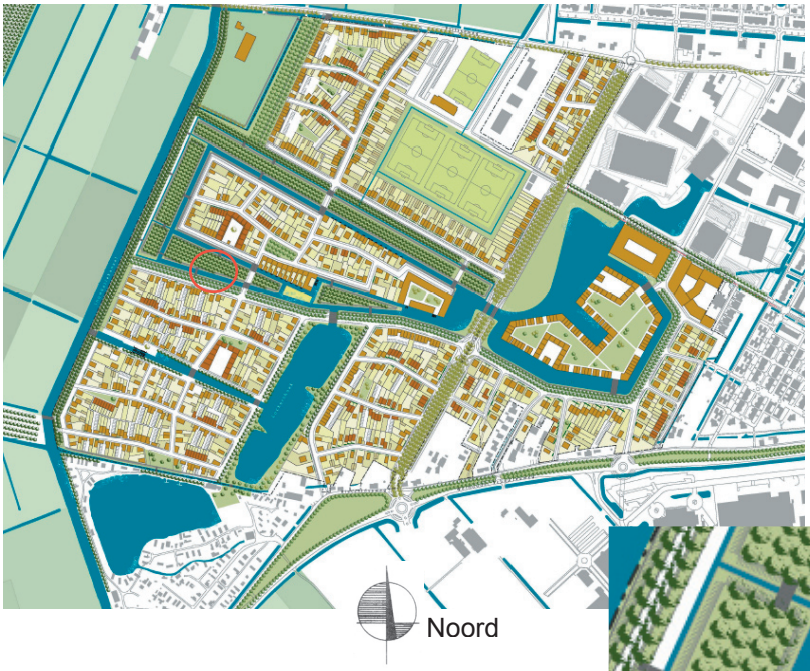
2.3 Constructie

In dit onderzoek wordt een van de fiets- voetgangers bruggen ontworpen en gedimensioneerd. Hieronder wordt weergegeven waar deze brug zich bevindt in het plan. De watergang waar de brug overheen ligt is ca. 10 m breed.

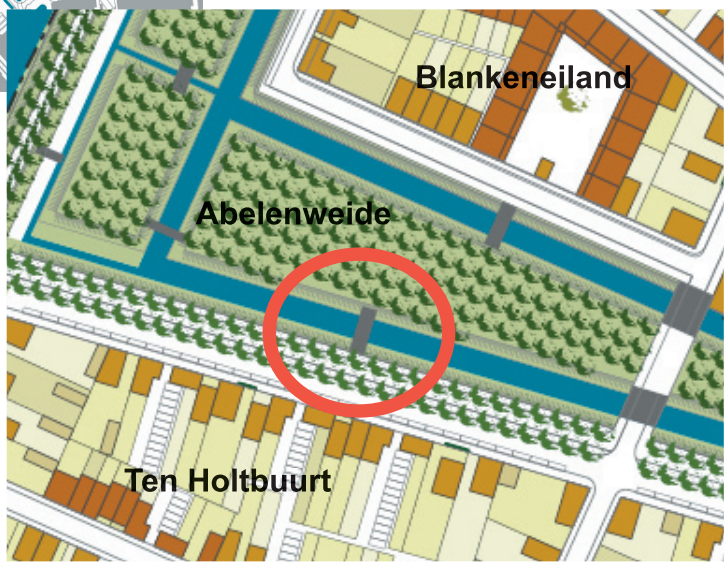
Lengte van de brug:10 m
Breedte van de brug: 5 m
Geen harde oevers.
Aan 2 zijden een zachte oever, oever 3 m breed.
Lengte van de brug incl. oevers: 16 m
Oppervlakte van de brug excl. oevers: 50 m2
Oppervlakte van de brug incl. oevers: 80 m2

(Bron: Stedenbouwkundigplan West 8)

Referentiebeeld uit het stedenbouwkundig plan voor wijk Parijsch gemaakt door West 8. De brug heeft een eenvoudig karakter.



De rode cirkel geeft aan waar de brug zich bevindt in het plan. De brug verbindt de Ten Holtbuurt met de abelenweide die tussen de Ten Holtbuurt en het Blankeneiland ligt.



2.4 Technische eisen

In het Technisch Programma Van Eisen worden een aantal technische eisen genoemd waaraan de brug moet voldoen. Hieronder deze technische eisen.

Algemeen
De mate waarin een watergang tijdens de uitvoering kan worden gestremd is sterk afhankelijk van de functie van de watergang. Dit wordt in overleg met de beheerder bepaald. Voor het aanleggen van een brug is altijd een bouwvergunning benodigd. Vanuit ecologisch belang dient bij de bepaling van materialen, waar mogelijk, te worden gekozen voor duurzame materialen.

Bepalingen
- Er moet gebruik worden gemaakt van de 'Leidraad duurzaam ontwerpen in de Grond-, Weg-, en Waterbouw' (CUR rapport 99-6).
- Berekening van de brug volgens de VSOB.
- De klasse zal per situatie en gebruik worden bepaald, echter betonnen bruggen minimaal klasse 30 en houten bruggen minimaal 5 kN/m2.

Ontwerpeisen
- Indien de brug in de ecologische hoofdstructuur is gelegen, dienen maatregelen te worden getroffen om deze hoofdstructuur in stand te houden.
- Aspecten ten behoeve van het onderhoudsarm construeren van bruggen.
- Doorvaarthoogte minimaal 1,00 m. ten opzichte van het hoogste waterpeil.
- Doorvaartbreedte minimaal 4,00 m. over het gehele doorvaartprofiel.
- De minimale doorvaartbreedte wordt overigens mede bepaalt door de bij een versmalling optredende stroomsnelheid in de watergang.
- Het brugdek van een voetbrug heeft minimaal 2,00 m. vrije ruimte en van een fietsbrug minimaal 3,00 m. vrije ruimte.
- Het plaatsen van peilers en / of landhoofden van bruggen in het water dient zo veel mogelijk te worden voorkomen i.v.m. onderhoud aan watergangen en het voorkomen van vuilophoping.

Technische eisen

Materiaalgebruik

Beton:
Berekenen volgens de voorschriften beton:
- VBT 1995 NEN 5950.
- VBU 1990 NEN 6722.
- VBC 1990 NEN 6720, met de volgende aanvullingen:
  - Minimaal milieuklasse 3
  - Hoogovencement toepassen.
- VBB 1990 NEN 6723, met de volgende aanvulling:
  - De nabehandeling van het oppervlak van het beton moet minimaal bestaan uit een behandeling met Curing Compound of gelijkwaardige behandeling. De nabehandeling moet geschieden volgens CUR aanbeveling 31.
  - Betonkwaliteit sterkteklasse minimaal B35. Horizontale betonoppervlakken moeten, om indringen van dooizout te voorkomen, minimaal worden gehydrofobeerd.

Hout:
- Als er voor tropisch hardhout wordt gekozen, mag alleen duurzaam geproduceerd hardhout worden gebruikt, dat bijvoorbeeld is voorzien van het FSC-keurmerk.
- Hardhout moet voldoen aan NEN 3180 klasse 1. Alternatieve materialen moeten ten minste voldoen aan de duurzaamheid als omschreven in de NEN 3180 klasse 1.
- Al het overige hout moet minimaal voldoen aan duurzaamheidklasse 2, NEN 3180. Het gebruik van gecreosoteerde en/ of gewolmaniseerde houtsoorten is verboden.

Staal:
- Wapeningsstaal FEB 500.
- Constructiestaal FEB 220.
- Met uitzondering van het wapeningsstaal dient al het staal, inclusief het bevestigingsmateriaal, thermisch verzinkt te worden.

Voegwerk:
Voegwerk moet voldoen aan de CUR aanbeveling nr. 61, 'Het voegen van metselwerk'.

Coating:

- Van de coating wordt een garantiecertificaat geëist volgens de VVVF (vereniging van verfen drukinktfabrikanten).
- Op hout: behandelen met een watergedragen, vochtregulerend, dekkend, halfglans verfsysteem. Kleur in overleg met ontwerper.
- Op verzinkt staal: Behandelen met een 3-laags verfsysteem:
  1 e en 2e laag: HS Epoxy ter dikte van 80 mµ droge laagdikte
  3e laag: Polyurethaan lakverf ter dikte van 50 mµ droge laagdikte.

Brugdek:

- Het dek voorzien van een antisliplaag. Gegarandeerde levensduur 3 jaar op slijtvastheid en hechting. Het antislipsysteem moet bestaan uit een wegtapijt of een twee componenten Epoxy- systeem waarin zich geen teerproducten bevinden.
- Bij een combinatie houten dek met stalen en/ of houten liggers dient men er op te letten dat zich tussen dek en ligger een strook asfaltpapier bevindt van voldoende breedte (ruim vallend over de ligger).

Landhoofd / tussensteunpunt:

Het landhoofd of tussensteunpunt uitvoeren in beton.

Voegovergang:

- Voegovergangen in betonnen brugdekken worden in de breedte van de brug vlak uitgevoerd.
- Voegovergangen mogen niet worden overbouwd.

2.5 Wat is een brug?

In de voorgaande paragrafen is de visie op het plan besproken, zijn de technische eisen die aan brug worden gesteld genoemd en is duidelijk geworden waar de brug moet komen. Er is echter nog niks gezegd over de vormgeving van de brug. Er is alleen een referentiebeeld gegeven. De brug heeft een eenvoudig karakter.

In deze paragaaf worden verschillende soorten bruggen besproken. Zo zijn er beweegbare bruggen en vaste bruggen. Beweegbare bruggen zijn er met verschillende technieken. En ook vaste bruggen zijn er in verschillende vormen.

Wat is een brug?

De definitie voor een brug is een verbinding tussen twee punten die van elkaar gescheiden zijn door een rivier, kanaal, vaart, ravijn, etc.

In de oudheid ontstonden bruggen door omgevallen bomen, door de wind gemaakt, etc. Onze verre voorouders maakte gebruikt van deze voorbeelden en maakte verbindingen daar waar ze nodig waren. Bruggen werden van stenen gemaakt, van omgevallen bomen, maar ook leerde men om bruggen te maken van gevlochten touw kabels.

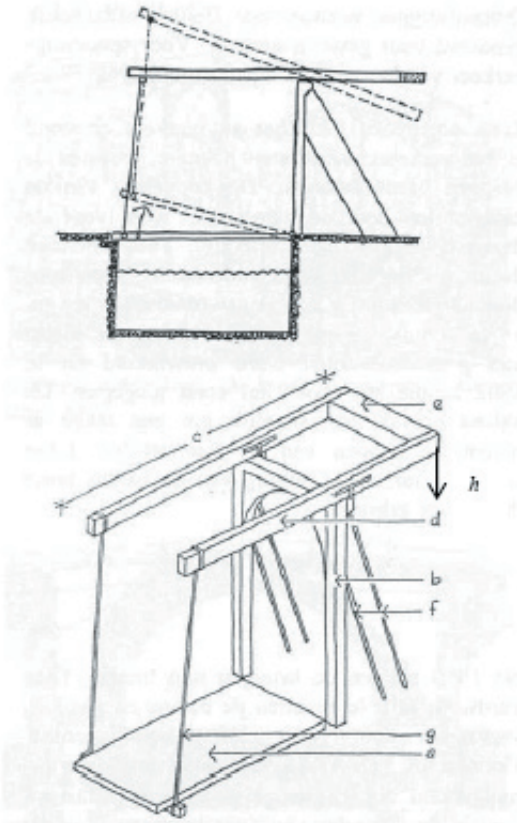
Voorbeeld van een oude stenen brug.

Nederland is een vlak en waterrijk gebied. Vroeger maakte men daar dan ook dankbaar gebruik van. Het water werd gebruikt om goederen, mensen en dieren van de ene naar de andere plek te vervoeren. Bij het maken van oeververbindingen moest er dan ook rekeningen mee gehouden worden dat schepen en dergelijke de verbindingen konden passeren. Naast het gebruik van veerponten en schipbruggen maakte men ook beweegbare bruggen. Deze bruggen konden omhoog of opzij worden gedraaid.

Beweegbare bruggen zijn er in vele soorten.

Zo bestaat een ophaal brug. Kastelen die wij kennen zijn veelal omringd door een gracht. Men kan in het kasteel komen via een “val brug” die over de gracht ligt. Om indringers buiten het kasteel te houden kon met de val brug ophalen waarbij de val het kasteel afsloot. De ophaalbrug is het broertje van deze valbrug.

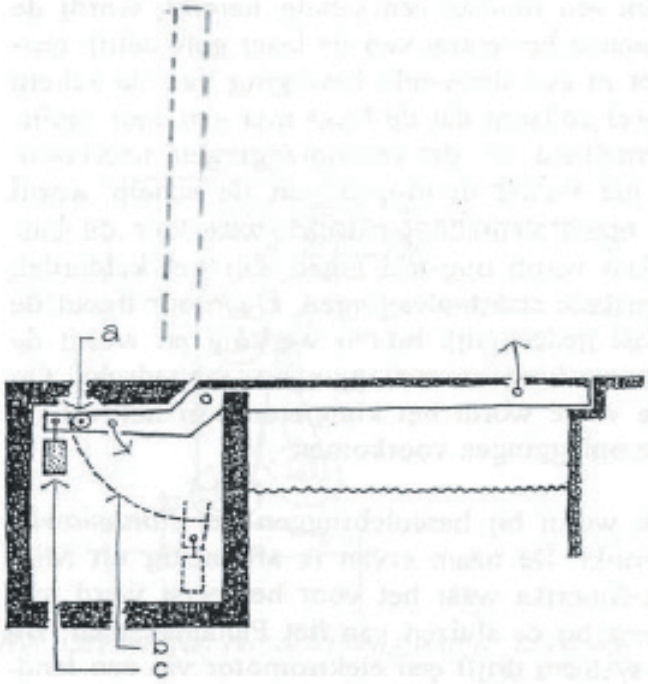
Een ophaalbug bestaat uit een val of brugklap waarover men kan lopen of rijden. Een balans met daaraan een contragewicht, een kist die gevuld werd met ballast (ballastkist). Een poort(hameipoort) die de balans draagt en waartussen het val is gelegen in opgetrokken stand. Schoren die de hameipoort steunen tegen omvallen. Hangstangen die het val vastmaken aan de balans. Een trekkabel waarmee de ballastkist naar beneden kan worden getrokken en daardoor het val omhoog draait.



Het principe van de ophaalbrug.
a. val. b. hameipoort. c. balans. d. balanspriem. e. ballastkist. f. langsschoren. g. hangstangen.

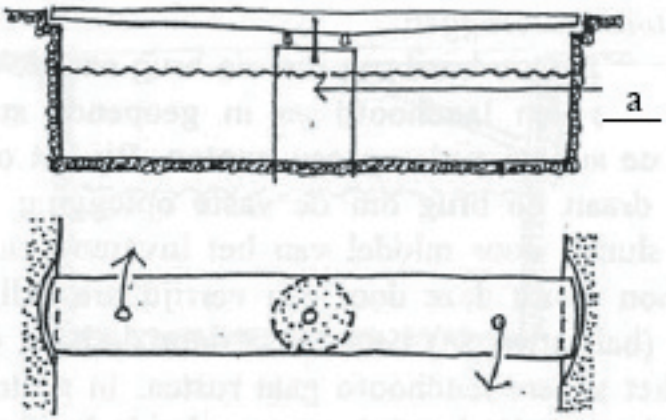
h. trekkabel

De bascule brug is eigenlijk een ophaalbrug zonder balans en hameipoort. De val is langer gemaakt en aan de andere zijde van het draaipunt is de ballastkist met ballast aangebracht. De staart met ballastkist draait in de basculekelder. De draaiing wordt gerealiseerd door toepassing van een rondsel dat vastzit aan de staart en langs een cirkelvormige tandbaan loopt. Het rondsel wordt aangedreven door een elektromotor en zal door het ronddraaien over de tandbaan willen lopen. Hierdoor wordt de val in geopende stand gebracht.

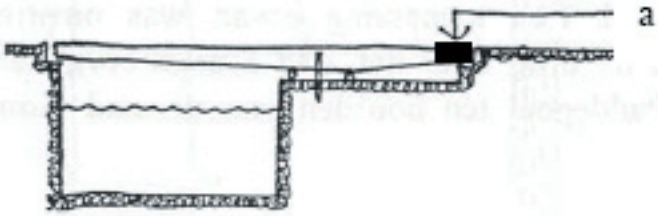


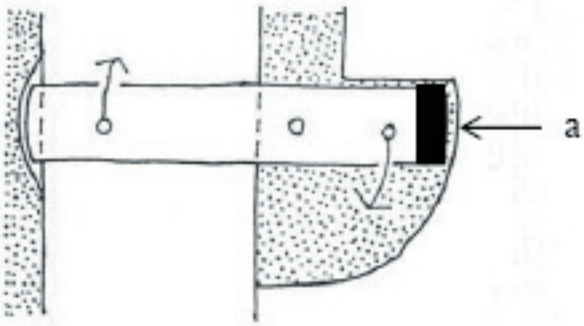
De beweging van een enkele basculebrug.
a.rondsel. b. tandbaan. c. ballastkist.

Een draaibrug draait om een verticale as. Een draaibrug kan twee gelijke armen hebben waardoor in geopende stand twee doorvaar openingen ontstaan voor de schepen. Indien maar één doorvaar opening nodig is bijvoorbeeld in een sluis kan de draaibrug met ongelijke armen worden toegepast. Omdat de totale verticale belasting (gewicht van de brug) goed boven de draaiingsas is gelegen, is in dit geval ballast nodig.



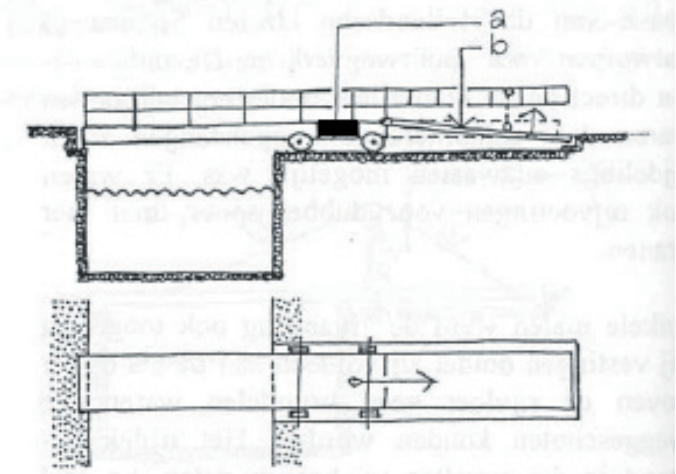
De gelijkarmige draaibrug.
a. draaipijler.





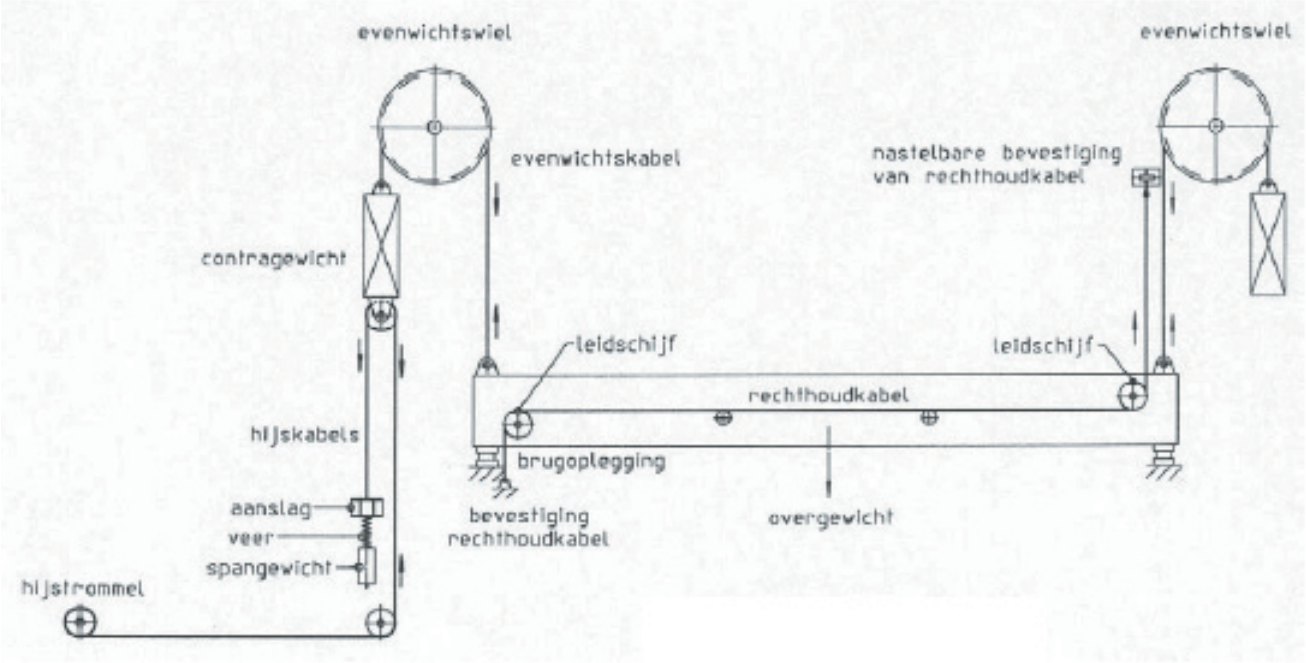
De ongelijkarmige draaibrug.
a. ballast.

Bij **een rolbrug** rust de rijvloer op twee assen met wielen die zich bewegen over een railbaan in de lengte richting van de brug. Aan de zijde van railbaan is meestal een scharnierend brugdeel (koebrug) aanwezig die in gesloten stand van de brug het gat ter plaatse van de railbaan opvult voor auto's enz.



Een rolbrug met een beweegbare aanbrug. a. ballast. b. koebrug.

Het principe van **de hefbrug**. De evenwichtskabels van de brug lopen over de evenwichtswielen die gedragen worden door de heftorens. De hefbrug wordt niet volledig uitgebalanceerd door middel van contragewichten. Een zeker overgewicht is nodig opdat in gesloten stand de brug toch nog krachten op de oplegging uitoefent.
De hijskabels zorgen ervoor dat de brug verticaal bewogen kan worden. Deze kabels zijn aan een zijde van de hefbrug aanwezig. Rechthoudkabels zijn nodig om te voorkomen dat de brug tijdens het hijsen scheef gaat hangen. Rechthoudkabels kunnen enkel of dubbel worden uitgevoerd.



Vaste bruggen.

Wanneer geen rekening gehouden hoeft te worden met scheepvaart verkeer of wanneer een beweegbare brug te veel hinder zou veroorzaken voor het verkeer kan worden gekozen voor een vaste brug.

Bij het vaststellen van de eisen waaraan de brug moet voldoen gelden de volgende punten:

1. waar mogen de ondersteuningen van de brug liggen?
2. met welke waterstanden van het te overspannen water moet worden gerekend?
3. hoe groot moet de doorvaarhoogte zijn?
4. met welk verkeer over de brug moet gerekend worden?

Ten aanzien van de steunpunten (overspanningen over een rivier)

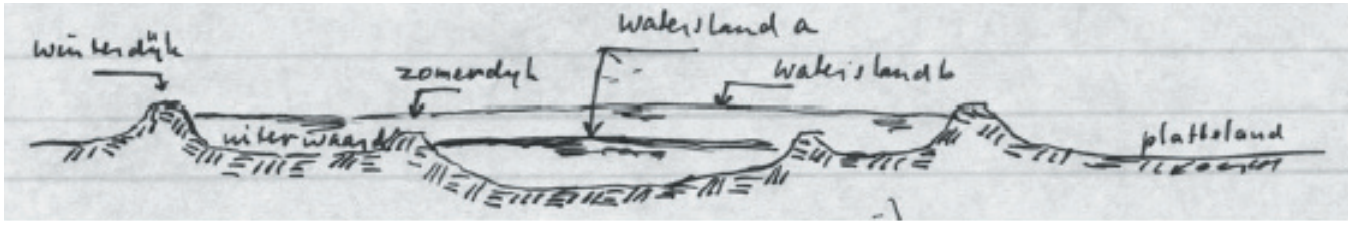
Bij rivieren wordt rekening gehouden met twee waterstanden. Waterstand a is meestal in de zomer en in de herfst aanwezig, het water bevindt zich dan tussen de “zomerdijken”. De zomerdijk voorkomt dat de uiterwaarden onderlopen. Liefst worden er geen pijlers geplaatst tussen de zomerdijken omdat deze hinder kunnen geven aan de scheepvaart. Waterstand b is de Hoogst Bevaarbare Waterstand en komt veelal in het voorjaar voor doordat sneeuw in de bergen dooit en veel regenwater uit de hemel komt. Scheepvaart wordt niet meer toegelaten indien de waterstand nog hoger is dan deze H.B.W.

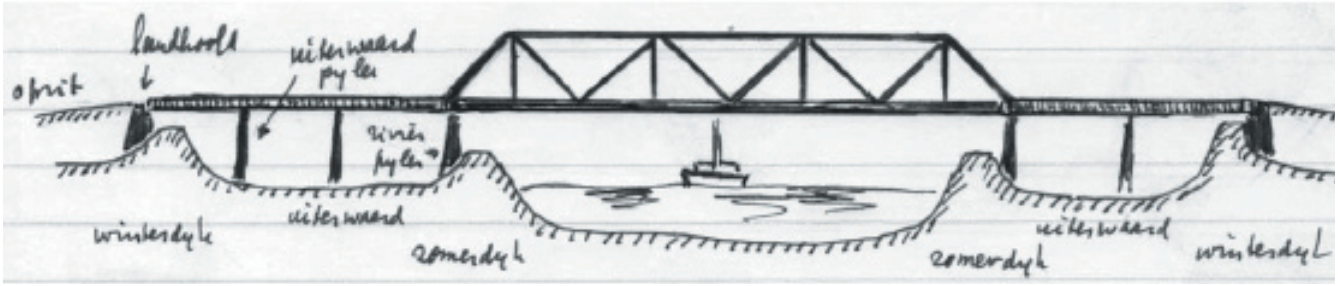
De landhoofden moeten landinwaarts van de winterdijken zijn gelegen. Indien de landhoofden aan de rivierzijde van de winterdijk zouden zijn gelegen ontstaat bij hoge waterafvoer een nare opstuwing van het water.
Enige pijlers in de uiterwaarden zijn toegestaan mits deze niet te “dik” zijn, dit eveneens in verband met mogelijke opstuwing. Bij de H.B.W. moeten schepen de brug kunnen passeren. Voor de hoogte van de schepen wordt in Nederland veelal de zgn. Rijnvaarthoogte” aangehouden, dit is 9,10 meter. De onderkant van de brug mag dus niet lager liggen dan 9,10 m + H.B.W.

De breedte van een brug wordt bepaald door het type verkeer en de intensiteit van het verkeer dat over de brug gaat. Voor een spoorbrug wordt de breedte bepaald door het aantal sporen die op de brug moeten worden geplaatst. Voor een verkeersbrug wordt de breedte bepaald door een de hoeveelheid aan auto’s, vrachtauto’s, fietsers, voetgangers die over de brug moeten kunnen gaan. Vooral op drukke verkeersknooppunten kan de brug zeer breed worden.

De oeververbinding tussen twee punten die van elkaar gescheiden zijn door een rivier bestaat uit een aantal delen.

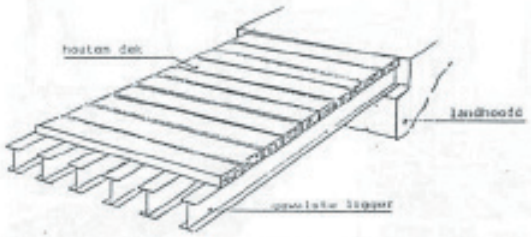
1. de brug over de rivier (zomerwaterstand), de hoofdbrug of hoofdoverspanning genoemd.
2. de brugdelen over de uiterwaarden, aanbruggen of toeleidende bruggen genoemd.
3. de opritten, die het hoogteverschil tussen het platteland en de bovenkant van het brugdek moeten overwinnen.





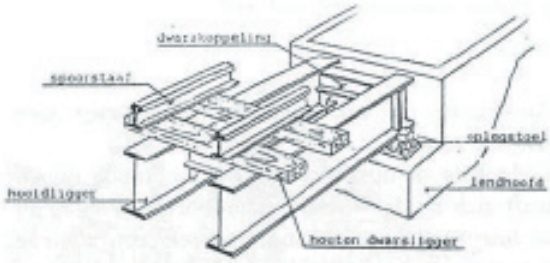
Brugtypen.

Een eenvoudige brug voor gewoon verkeer, bijvoorbeeld landbouwverkeer. De brug bestaat uit een aantal balken, bijvoorbeeld stalen gewalste liggers en een houten dek.



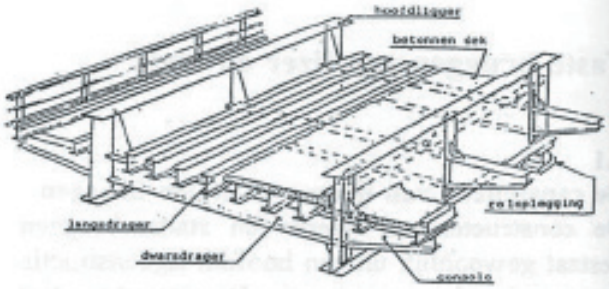
Eenvoudige brug voor gewoon verkeer: gewalste liggers met houten dek.

Een eenvoudige spoorbrug, de houten dwarsliggers met de spoorstaven rusten rechtstreeks op de hoofdliggers.



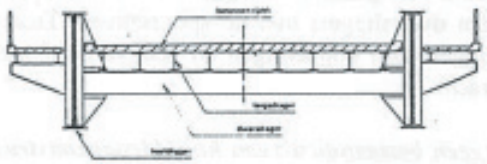
Eenvoudige spoorbrug: de houten dwarsliggers met de spoorstaven rusten rechtstreeks op de hoofdliggers.

Een brug voor gewoon verkeer bestaande uit: 2 hoofdliggers, dwarsdragers, langsdragers en een betonnen dek.



Brug voor gewoon verkeer: verzonken rijvloer, dwarsdragers en langsdragers met een betonnen dek; consoles met voet-/rijwielpaden.

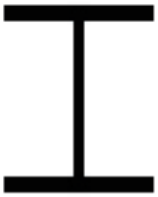
Vaak worden de fiets- en voetpaden aan de buitenzijden van de hoofdliggers geplaatst. Het voet- fietspad wordt daarbij gedragen door consoles.



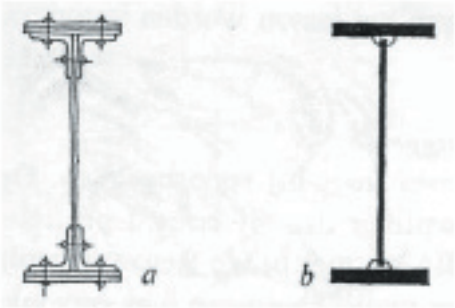
Brug voor gewoon verkeer met verzonken rijvloer.

Voor de hoofdbrug of hoofdoverspanning zijn vele vormen mogelijk.

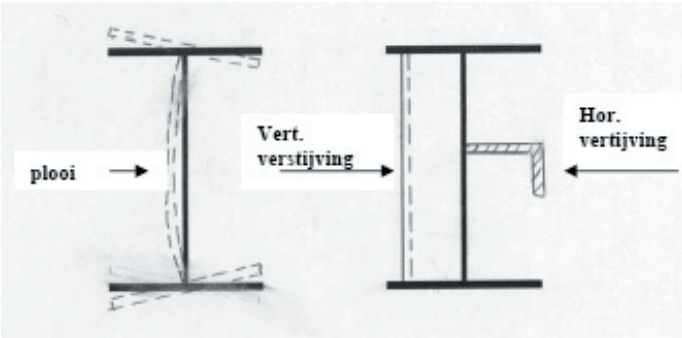
Wanneer de lengte van de overspanning niet te groot is, kunnen **gewalste liggers** toegepast worden. deze liggers komen in kant en klare vorm van een walswerk van de hoogovens waar het staal gemaakt wordt.



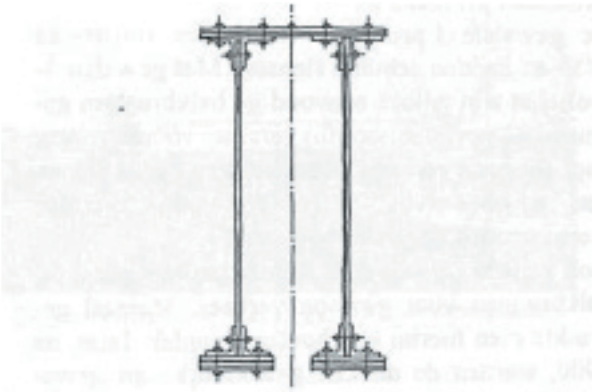
Indien de overspanningen groter zijn, zijn de gewalste liggers niet sterk genoeg en moeten **de plaatliggers worden samengesteld uit lijfplaten en flezen**. Vóór 1950 werden de liggers gemaakt met behulp van hoekstalen, die de flezen aan de lijfplaat vast maakten door middel van klinknagels (figuur a). Na 1950 werden gelaste liggers toegepast, waarbij de flezen worden vastgelast aan de lijfplaat (figuur b).



Wanneer de lijfplaten van de plaatliggers hoog zijn moeten deze platen worden verstijfd met verticale en horizontale verstijvingen. Indien deze verstijvingen niet zijn aangebracht, dan zou de liggers door het plooien in kunnen storten

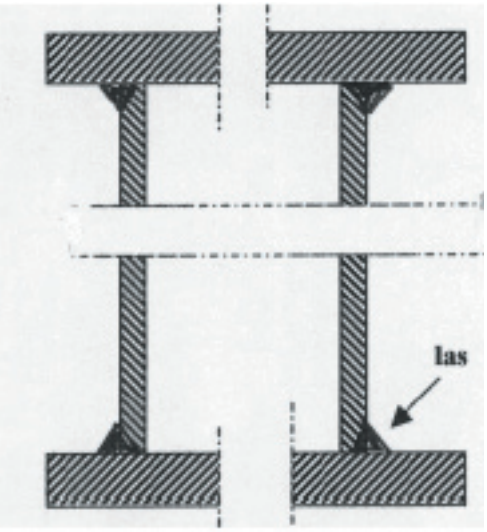


Hoedliggers bestaan uit twee lijfplaten, een brede bovenflens en twee onderflenzen. Deze open constructie was nodig om het aan elkaar klinken (aanbrengen klinknagels) van de onderdelen mogelijk te maken.

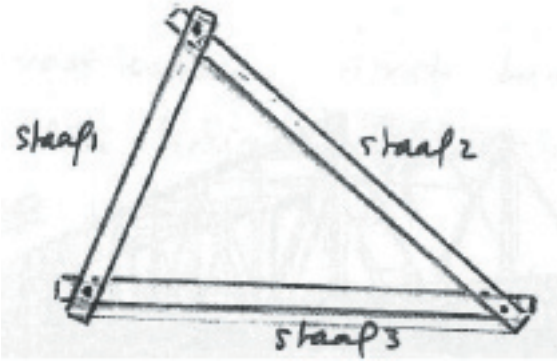


Uit plaat- en profielstaal d.m.v. klinken samengestelde hoedligger.

Bij **kokerliggers** zijn de bovenflens en de onderflens meestal even breed en worden deze met behulp van elektrisch aangebrachte lassen aan de lijfplaten bevestigd. Doorat deze lassen aan de buitenkant van de koker worden aangebracht kan deze gesloten zijn. Kokerliggers worden toegepast wanneer de flezen van de plaatligger te breed zouden worden. De brede flezen worden dan rechtgehouden door twee lijfplaten.

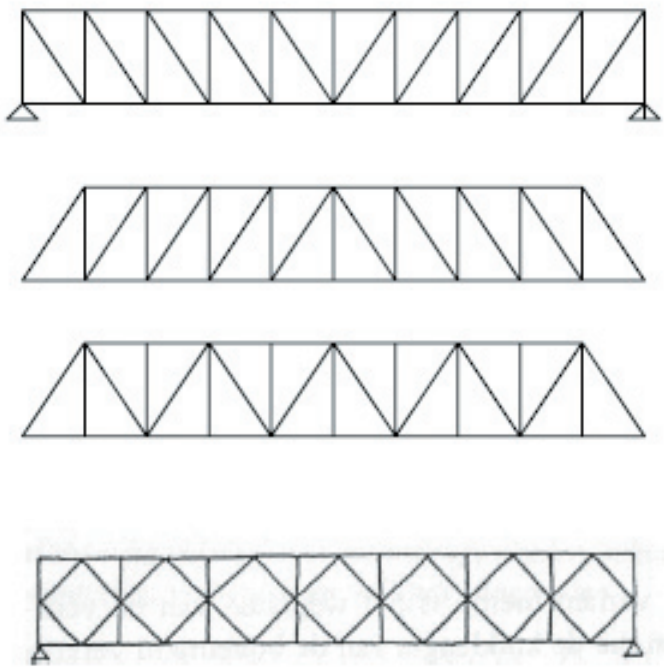


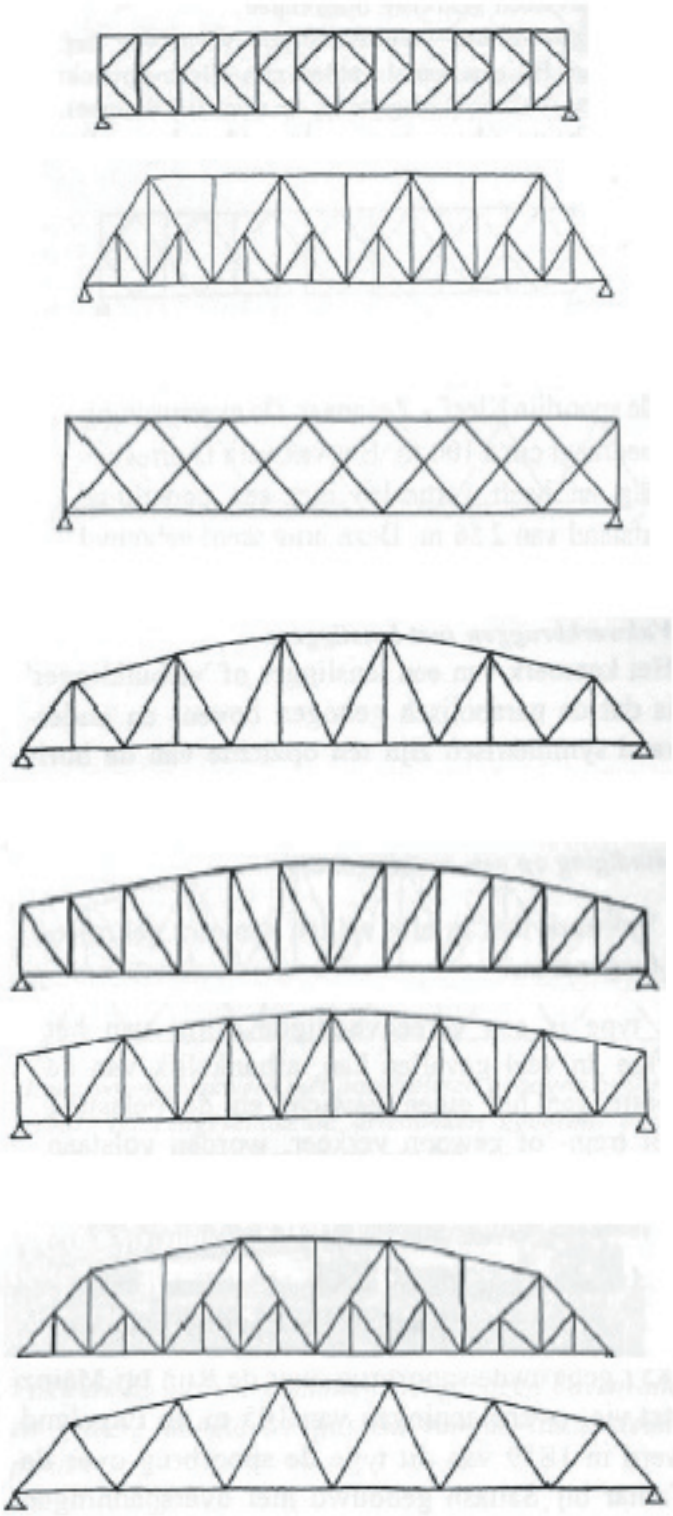
Vakwerk bruggen.
Bij een vakwerk brug bestaat de hoofdligger uit aaneen gesloten driehoeken, die vormvast zijn. Neem als voorbeeld drie staafjes, bijvoorbeeld van karton en bevestig die aan elkaar door middel van punaises. Je zult zien dat er maar een driehoeksvorm mogelijk is.



Door de hoofdligger op te bouwen uit vormvaste driehoeken is deze ook vormvast. Er zijn vele vormen van vakwerkliggers mogelijk.

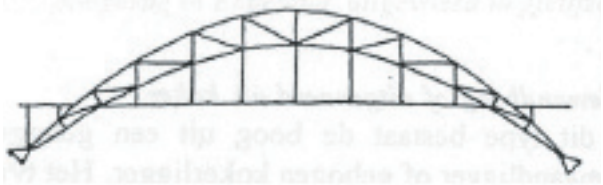
Hieronder verschillende voorbeeld van vakwerk bruggen, met een rechte bovenrand of een geknikte bovenrand.





Boogbruggen.
Bij zuivere boogbruggen worden de bogen op druk en buiging belast. Bij de opleggingen ter plaatse van de boogeinden ontstaan verticale en horizontale reacties. Boogbruggen kunnen ook gecombineerd worden met vakwerk.

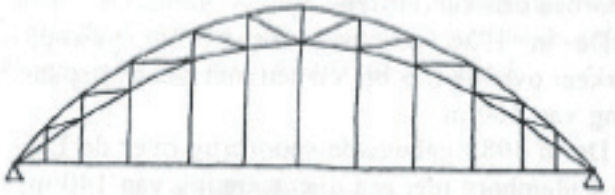
Hieronder enkele voorbeelden van boogbruggen.

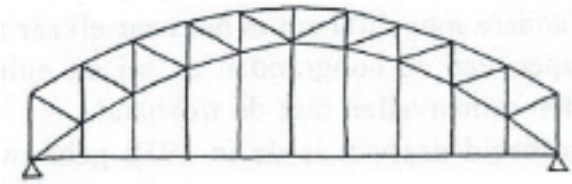


Bij zuivere boogbruggen ontstaan grote horizontale krachten op de oplegging die via pijlers naar de bodem moeten worden overgebracht. Indien de bodem deze grote horizontale krachten niet kan dragen moet een ander type boogligger worden gekozen. **Boog met trekband.**

Bij dit type worden verticale krachten op de opleggingen (pijlers) uitgeoefend en worden de horizontale krachten (trekkrachten) door een trekband opgenomen.

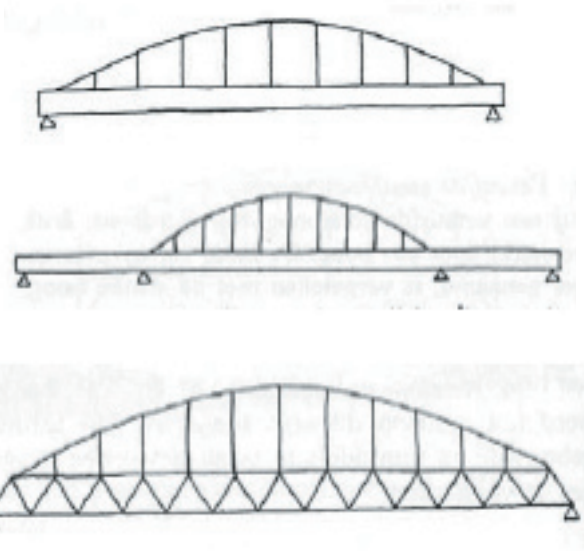
Hieronder enkele voorbeelden van boogbruggen met een trekband.





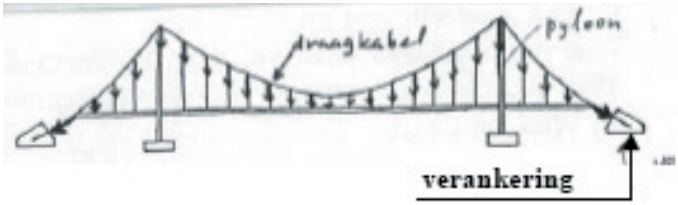
Verstijfde staafboog bruggen.
Bij een verstijfde staafboogbrug wordt een balk verstijfd door een boog. In vergelijking met de andere type boogbruggen is bij deze bruggen de boog een slanke constructie.

Hieronder enkele voorbeelden van verstijfde staafboog bruggen.



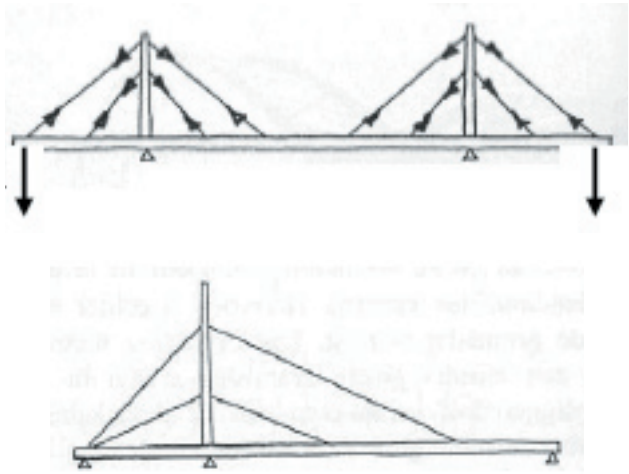
Hangbruggen.
Bij een hangbrug brengen hangkabels de belasting op de brug (en van de brug) over naar de draagkabels die tussen twee torens (pylonen) zijn opgehangen en in landhoofden zijn verankerd. In Nederland zijn geen hangbruggen gebouwd aangezien de kabelkrachten groot zijn en daardoor zware landhoofden (verankeringen) nodig maakt. Doordat de draagkracht van de bodem in Nederland niet groot is zijn deze landhoofden zeer kostbaar. Pas bij zeer grote overspanningen, groter dan 500 meter zijn deze bruggen aantrekkelijk. In het buitenland zijn vele hangbruggen gebouwd.

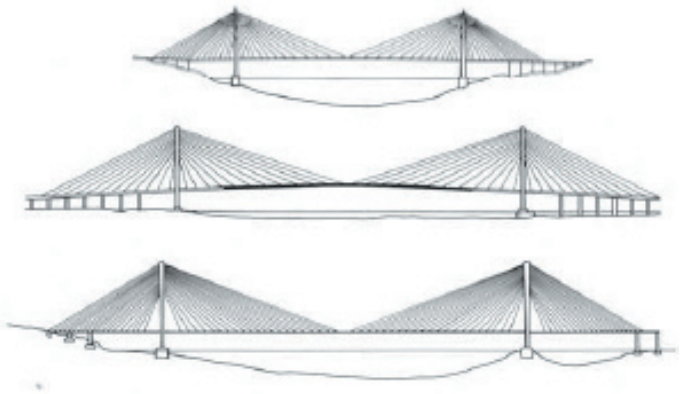
Hieronder een voorbeeld.



Tuibruggen.
Een tuibrug lijkt op een hangbrug maar in plaats van de tussen twee pylonen opgehangen draagkabel zijn er bij deze brug spankabels (tuien) toegepast. De horizontale componenten van de tuikrachten worden opgenomen door de brugliggers. Bij de opleggingen ter plaatse van de einden van de brugligger is de verticale component van de tuikracht zo groot dat een trekverankering nodig is.

Hieronder enkele voorbeelden.





(Gebruikte bron voor deze paragraaf, ook voor alle afbeeldingen: www.bruggenstichting.nl)

2.6 Keuze brug

In de voorgaande paragraaf zijn verschillende soorten bruggen besproken. Voor de brug in wijk Parijsch moet nog een brugtype gekozen worden.

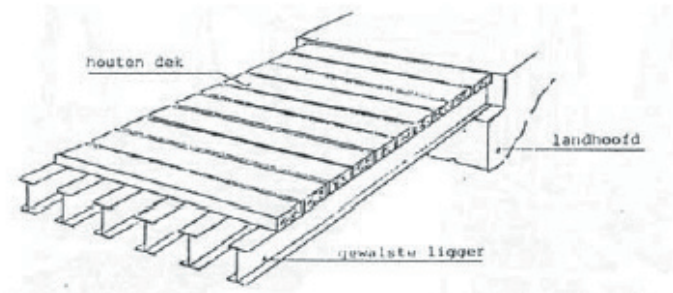
De eerste keus die gemaakt moet worden is of het een beweegbare brug of een vaste brug wordt. Voor de brug in wijk Parijsch is gesteld dat e een minimale doorvaarhoogte van 1 meter moet zijn. Het profiel hier onder is het watergangprofiel van de watergang waarover de brug komt te liggen. In het profiel is te zien dat zonder al te veel moeite de doorvaarhoogte gehaald kan worden. Door het toepassen van iets verhoogde landhoofden kan deze doorvaarhoogte al gehaald worden. Het is dus niet noodzakelijk om een beweegbare brug toe te passen.

Voor wijk Parijsch wordt voor een vaste brug gekozen.

In het stedenbouwkundig plan voor wijk Parijsch wordt een visie gegeven voor de wijk. In dit stedenbouwkundig plan wordt ook een referentiefoto van de brug gegeven. Op deze foto is een houten brug met een eenvoudig karakter te zien.

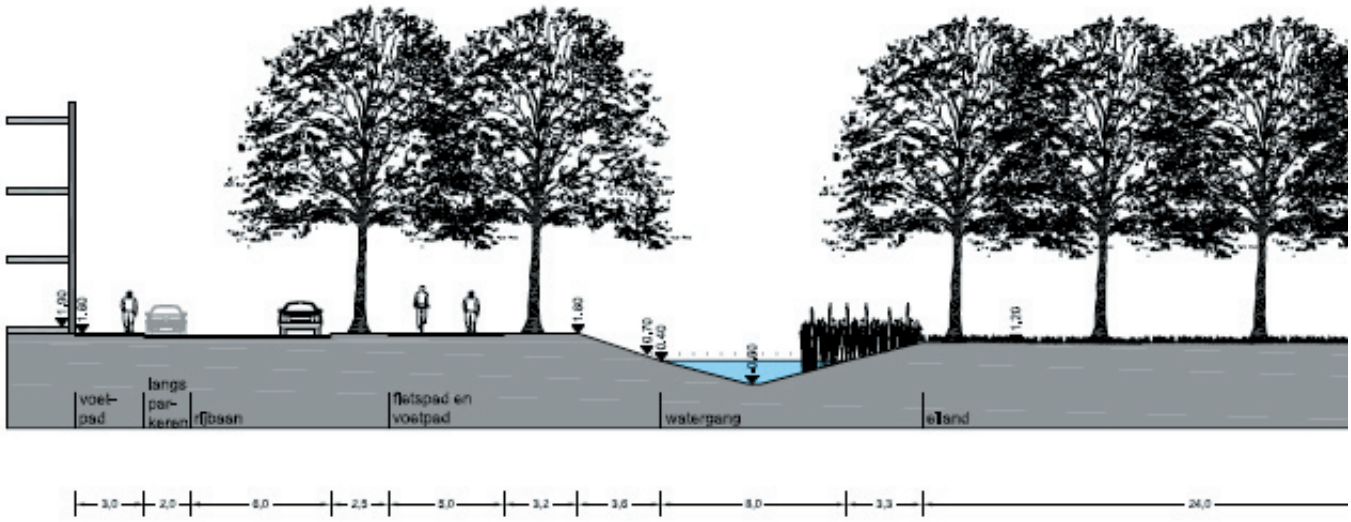
Het brugtype dat wordt gekozen voor de brug is “eenvoudige brug voor gewoon verkeer”. Er worden echter wel leuningen toegepast in verband met de veiligheid.

Voor wijk Parijsch wordt het brugtype “eenvoudige brug voor gewoon verkeer” toegepast.



Eenvoudige brug voor gewoon verkeer: gewalste liggers met houten dek.

(Bron: www.bruggenstichting.nl)



Profiel watergang (Bron: West 8)

Hoofdstuk 3

Materiaalvergelijkend onderzoek

Een brug kan uit verschillende materialen worden geconstrueerd. Om een goede keus te kunnen maken wat betreft het toe te passen materiaal wordt een klein onderzoek gedaan naar de verschillende materialen die gebruikt kunnen worden. De materialen hout, kunststoffen, staal en beton komen aan bod. Van alle materialen worden de materiaaleigenschappen besproken.

In de laatste paragraaf worden de eigenschappen op een rijtje gezet en met elkaar vergeleken in een matrix. Voor de dekdelen en de leuning van de brug is de esthetiek van het toe te passen materiaal erg belangrijk. Voor de liggers van de brug is sterkte en duurzaamheid erg belangrijk.

3.1 Hout

Hout is een opmerkelijk en veelzijdig materiaal, toepasbaar in vele soorten en maten. Hout is het oudste bouwmateriaal dat we kennen. Van nature is het mooi, karakteristiek en warm. Daarnaast is het sterk, duurzaam en gemakkelijk te bewerken. Ook biedt hout een grote ontwerpvrijheid. Een specifieke bijzonderheid is dat het een van de weinige bouwmaterialen is dat in de natuur groeit. Hout is een hernieuwbare en daarmee een oneindige grondstof. We kennen hout van steigers en bruggen, maar tegenwoordig wordt het ook veel gebruikt voor vlonders, terrassen, galerijen en pleinen.

Hout in de buitenruimte wordt bloedgesteld aan allerlei invloeden, zowel menselijke als natuurlijke invloeden. Zo worden bruggen en vlonders ongelijkmatig betreden met schoeisel dat uiteenloopt van een naaldhak tot een gymschoen. Als het gaat om grotere constructies komen daar fietsers en auto's bij. In alle gevallen moeten de constructies een middelzware tot zware mechanische belasting verduren. Daarnaast zijn de constructies overgeleverd aan hoge vochtbelastingen door regen, hagel, sneeuw en ijs. Maar ook aan verontreinig door zand, grond, mos, algen, schimmels, strooizout en zwerfafval. En de constructies moeten zich weren tegen klimaatsschommelingen en grote temperatuurswisselingen.

Om de levensduur van een bouwwerk te bevorderen is de constructie en de detaillering van groot belang. De basis hiervoor is het voorkomen of verminderen van een te hoge vochtbelasting en grondcontact. Feitelijk betekend dit dat er moet worden voorzien in een goede afwatering en ventilatie. Zeker bij minder duurzame houtsoorten wordt geadviseerd tussen dek en onderconstructie voldoende ruimte aan te houden Dit zorgt voor voldoende ventilatie en leidt tot een snellere droging van het hout.

Hout-op-hout, hout-op-staal en hout-op-beton verbindingen zijn minder gewenst vanwege capillaire vochtopzuiging. Stalen of kunststof afstandhouders zijn hier de oplossing voor een luchtige detaillering. Bijvoorbeeld bij het verbinden van dekdelen op draagbalken kan men de verbindingen minimaliseren door de draagbalken aan de bovenkant te versmallen, wat het contactvlak met de dekdelen verkleind. Andere maatregelen zijn het weglaten van sierlijk bedoelde inkepingen (die bovendien de constructie verzwakken) en het beperken van het toepassen van kops hout (met name horizontaal). Kops hout is gevoelig voor capillaire vochtopzuiging.

De juiste verbindingsmiddelen voor bruggen en vlonders zijn houtdraadbouten met inbuskop of (torx-)schroeven van roestvast of thermisch verzinkt staal. De koppen ervan worden bij voorkeur niet verzonken, omdat via de putjes die dan ontstaan inwatering kan optreden. Een alternatieve methode voor bijvoorbeeld het bevestigen van dekplanken is bevestiging van de planken door ze via de onderkant vast te zetten. Aan de bovenkant van de dekplanken ontstaan dan geen putjes waar inwatering kan plaatsvinden. Hiervoor bestaan middelen als de dekplankbevestiger, die de delen in de zijkant vasthoudt, hierdoor wordt een ruimte gecreëerd tussen de onderconstructie en de dekplanken (ventilatie). Ook biedt deze bevestigingsmethode meer weerstand tegen het mogelijk schotelen (het kromtrekken) van de dekplanken.

Voor houtconstructies komen een groot aantal houtsoorten in aanmerking, zij het dat deze aan strikte kwaliteitseisen moeten voldoen. Vaak worden tropische houtsoorten gebruikt door hun bijzonder gunstige eigenschappen, zowel qua duurzaamheid als mechanische kenmerken. Toch zijn er ook alternatieve houtsoorten beschikbaar, die een grotere spreiding geven en de druk op veelgebruikte soorten verlichten. Voorwaarden is dat ze alle uit verantwoord beheerde bossen moeten komen, aangetoond met een FSC-certificaat.

Hout is goed te combineren met andere materialen. Hierbij moet je denken aan bijvoorbeeld stalen schroeven om de verschillende delen met elkaar te verbinden. Maar ook kan er gebruik worden gemaakt van stalen verbindinghoeken of geheel stalen liggers. Staal zie je ook veel als leuning. Ook om de veiligheid van de houtconstructie te verhogen worden combinaties met andere materialen gemaakt. Bijvoorbeeld om de slip weerstand van dekplanken te bevorderen wordt er vaak een combinatie gemaakt met aluminiumstrips in de breedte richting. Ook is het mogelijk dekplanken te behandelen met een licht impregnerend middel om aanslag te verkomen. Aanslag op dekplanken maakt deze glad. Daarnaast kan er een transparante epoxy laag aangebracht worden op de om de slipweerstand te bevorderen.

Een vrij nieuwe houtsoort is het composiethout. Composiethout is een combinatie van 70% hout en 30% kunststof. Door deze combinatie heeft composiethout een aantal grote voordelen ten opzichte van het traditionele hout. Een groot voordeel van composiethout is de lange levensduur. Qua duurzaamheid en vormvastheid is composiet hout vergelijkbaar met hardhout. Het heeft een hardhoute uitstraling wat vaak hoog wordt gewaardeerd. Composiet hout heeft een aantal grote voordelen, het is vochtbestendig, rot en splintert niet en heeft een grote buigsterkte. Ook is het materiaal makkelijk te verwerken. Nadelen van composiethout zijn dat het niet mooi is af te werken aan de kopse kant omdat composiet hout uit holle delen bestaat. Ook zijn de verbindingen niet optimaal, deze gaan snel kapot.

Composiethout.

(Bron: www.architectenweb.nl)

Hout is een natuurlijk en goed toe te passen product voor allerlei constructies, het geeft een grote ontwerpvrijheid. De kracht van hout kan worden versterkt wanneer de juiste combinatie met andere materialen wordt gemaakt. De keuze van de juiste houtsoort is van groot belang voor de kwaliteit van een houten constructie.

Risico-klasse	Toepassing	Bevochtigings-graad	Houtvocht-gehalte	Voorbeelden toepassing
1	geen grondcontact, beschut en droog	permanent droog	maximaal 20%	binnenshuis, balklagen, gordingen
2	geen grondcontact, beschut met risico op vochtbelasting	toevallige blootstelling aan vocht	tijdelijk > 20%	hellende daken, warm plat dak, hout-skelet-bouw
3	geen grondcontact, onbeschut	regelmatige blootstelling aan vocht	regelmatig > 20%	geveltimmerwerk, koud plat dak
4	in contact met grond of zoet water	permanente blootstelling aan vocht uit de grond of aan zoet water	permanent > 20%	palen, speelwerk-tuigen, beschoei-ingen, damwanden
5	in contact met zout water	permanente blootstelling aan zout water	permanent > 20%	havenwerken, kustverdediging

Hout is in te delen in risicoklassen. Elke risicoklasse heeft zijn eigen toepassingsmogelijkheden.

(Bron: www.houtinfo.nl)

3.2 Kunststoffen

Duurzame basismaterialen zoals steen, brons en ijzer, maar ook meer vergankelijke zoals hout, leer, linnen en wol, speelden vroeger een belangrijke rol in de maatschappij. Om aan de toenemende vraag naar sommige van deze stoffen te voldoen en tegelijk hun gunstige eigenschappen te verbeteren, ontwikkelden de wetenschap en de industrie in de 19de en 20ste eeuw nieuwe producten: kunststoffen. Die kwamen niet meer voort uit de landbouw of veeteelt, maar uit steenkool en aardolie en zijn het resultaat van de spectaculaire vorderingen vande scheikunde.

Kunststoffen hebben tal van soms onnavolgbare eigenschappen. De bouw- en autonijverheid, voedingsindustrie en de medische wereld zijn bij de grootste gebruikers van de nieuwe materialen. Kunststoffen hebben in vele toepassingen op een overtuigende wijze de ‘natuurproducten’ vervangen, dikwijls sterk ten voordele van het milieu.

Er zijn veel verschillende kunststoffen op de markt zoals pvc, polycarbonaten, polyurethanen, epoxyharsen en siliconen. In dit onderzoek wordt voornamelijk in gegaan op de gerecyclede kunststoffen. Dit omdat bruggen, vlonders en dergelijke over het algemeen worden gemaakt van gerecyclede kunststoffen.

Gerecycleerde kunststoffen zijn bekend geworden met de toepassing in de waterbouw. Kunststoffen zijn duurzame en sterke producten die bij water het best tot hun recht komen. Op het scheidingsvlak van lucht en water rot kunststof absoluut niet en de onderhoudskosten zijn laag. Kunststoffen zijn ongevoelig voor weersinvloeden. Kunststof heeft nog meer voordelen. Het is stroef waardoor je niet uitglijdt, dit is een prettige eigenschap wanneer er bijvoorbeeld dekplanken van worden gemaakt. Kunststof is over het algemeen splinter vrij. Ook bevat het geen schadelijke stoffen die kunnen uitlogen in de bodem of het grondwater.

Ook al heeft kunststof veel voordelen er zijn ook een aantal grote nadelen. Een van de grootste nadelen aan kunststof is de esthetische waarden van het materiaal. Het grootste deel van de mensen ziet kuststof niet als mooi in de buiten ruimte. Kunststof wordt niet gezien als natuurlijk hoewel het vaak wel zo wordt vormgegeven. Een ander nadeel van kunststof is dat het vaak maar in een of twee kleuren wordt geleverd. Meestal kan het niet van een andere kleur worden voorzien omdat het ontwikkelingsproces niet toerijkend is en kunststof niet geverfd kan worden.

Tevens is de stevigheid niet optimaal. Om een goede stevigheid te krijgen moeten er gewerkt worden met een zeer dikke planken en balken. Wordt er met een zelfde dikte gewerkt als hout dan zullen de planken vervormen. Dit komt de esthetica ook niet ten goede.

De juiste verbindingsmiddelen voor bruggen en vlonders zijn draadbouten met inbuskop of (torx-)schroeven van roestvast of thermisch verzinkt staal. De koppen ervan mogen in de delen worden verzonken, voor een mooiere afwerking. Dit in tegenstelling tot hout. Vaak wordt een kuststof constructie ook nog verstevigt met stalen strips of hoeken.

Kunststof is een zeer goed product als het gaat om levensduur en onderhoudsvriendelijkheid en rot niet waardoor een goede bevestiging mogelijk is. Het scoort echter minder op esthetica en vormvastheid. Kuststof wordt nog niet gezien als mooi bouwmateriaal en zeker niet als het gaat om gerecycled kunststof.

3.3 Staal

Voor de meeste mensen is staal een bekend bouwmateriaal. Grote bruggen worden veelal van staal gebouwd. Staal heeft altijd grote architecturale schoonheid voortgebracht, zo zijn hangbruggen in de hele wereld grote toeristische trekpleisters, en vele stalen constructies in Europa worden gezien als pareltjes van het architecturale vernuft.

Een hoge productiviteit in de staalproductie en in de staalbouw heeft van staal een goedkoop bouwmateriaal gemaakt. Staalbouw is een duurzame vorm van bouwen die aan de levensduur van de meeste bouwwerken voldoet. Door technologische ontwikkelingen hebben bouwwerken een kortere levensduur dan vroeger.

Staal kan gemakkelijk beschermd worden tegen corrosie, wat de levensduur van het bouwwerk ten goede komt. Ook is staal makkelijk brandwerend te maken. De brandveiligheid is in werkelijkheid veel beter dan dat de theoretische modellen laten zien. De stalen balken en liggers zijn machinaal gemaakt zodat de nauwkeurigheid van de afmetingen gewaarborgd is. Dit verminderd de kans dat fouten door slechte afwerking achteraf moeten worden hersteld. Staal is een homogeen materiaal en wordt onderworpen aan kwaliteitscontroleproceres tijdens de fabricage en het walsen. Je kunt er op vertrouwen dat staal een constante en betrouwbare kwaliteit heeft.

Staal heeft met betrekking tot bouw een aantal voordelen. Door de uitstekende verhouding tussen sterke en gewicht kunnen de kosten van fundering worden beperkt. Funderingen hoeven minder groot te zijn. Door zijn sterkte is staal ook uitermate geschikt voor grote overspanningen. De stalen onderdelen zijn geprefabriceerd wat betekend dat tijdens de bouw minder rekening hoeft gehouden te worden met het weer, dit betekend minder vertraging in de bouw en meer zekerheid over de opleverdatum.

Een ander groot voordeel is de grote flexibiliteit bij het aanbrengen van wijzigingen tijdens de bouw. Zo kunnen de constructie-elementen gemakkelijk individueel versterkt worden, om bijvoorbeeld een verhoogde belasting aan te kunnen. Ook kunnen constructie-elementen gemakkelijk worden toegevoegd of gewijzigd om aan nieuwe eisen te voldoen. Verbindingen tussen stalen elementen, vooral de verbindingen die met bouten zijn uitgevoerd kunnen makkelijk worden losgemaakt en in elke gewenste vorm weer worden vastgemaakt. Ook kunnen er nieuwe verbindingen worden gemaakt doormiddel van lassen of door bouten.

Staal is van nature een schoon en gebruiksvriendelijk materiaal. Daarom hoeft er ook geen speciale apparatuur te worden gebruikt om overlast en verontreiniging tegen te gaan. Doordat staalbouw meestal uitgaat van geprefabriceerde elementen is er een minimum aan problemen in de raakvlakken met naburige bouwdelen, wat de levensduur en het onderhoud ten goede komt. Zowel de verbindingen met bouten als de gelaste verbindingen zijn over het algemeen zichtbaar en dus eenvoudig te controleren op kwaliteit en veiligheid. Staal kan op elk moment een onderhoudbeurt krijgen zodat het uiterlijk en de kleuren steeds aan veranderende omstandigheden kunnen worden aangepast. Dit kan doormiddel van schilderen of door het bevestigen van bekledingsmaterialen. Staal is een bouwmateriaal dat 100% gerecycled kan worden, het gebruik van staal blijkt vanuit milieuoogpunt dan ook verantwoord.

Staal is een uitermate geschikt bouwmateriaal. Het is sterk, duurzaam en goed te onderhouden. Bovendien is het een goedkoop bouwmateriaal. Staal biedt een efficiënte en economische oplossing voor veel ontwerpeisen, het spreekt daarom veel ontwerpers aan op het gebied van design en kostenbeheersing. Het is echter wel de vraag of staal die uitstraling biedt die nodig is voor het beoogde eindbeeld. Staal heeft een industriële uitstraling, dit moet passen in het ontwerp.

3.4 Beton

Beton is samengesteld uit de grondstoffen cement,zand en een toeslagmateriaal (b.v. grind, steenslag, bims, enz), die in bepaalde verhoudingen onder toevoeging van water innig met elkaar worden vermengd, welk mengsel daarna tot een steenachtige massa verhardt. Het cement is het bindmiddel, dat met het zand en het water de mortel vormt, die de holle ruimten tussen de toeslag opvult en deze aan elkander hecht. Beton blijkt uitstekend drukspanningen te kunnen opnemen, doch nagenoeg geen trekspanningen. Brengt men in een betonconstructie, op de plaatsen, waar bij belasting trekspanningen optreden, een wapening aan van b.v. rondstaal, zodanig dat beide materialen stevig verbonden zijn en gemeenschappelijk weerstand bieden aan de op de constructiewerkende krachten, dan spreekt men van gewapend beton.

Het beton en het gewapend beton hebben naast de andere bouwmaterialen een belangrijke plaats ingenomen, zelfs voor sommige onderdelen zijn ze “het aangewezen materiaal” geworden. We zien het gewapend beton in de burgerlijkebouwkunde b.v. toegepast voor funderingen, kelders, vloeren, kolommen, trappen, zelfs voor wanden en daken; in de waterbouwkunde b.v. voor sluizen, bruggen en wegen. Welke zijn nu de oorzaken, dat dit materiaal zo’n grote toepassing heeft gevonden?

Reeds de Romeinen pasten bij hun grote werken beton toe als constructiemateriaal of als vulling. Een bekend voorbeeld is het 90 km lange overwelfde waterkanaal van de Eifel naar Keulen, dat 70 j n. Chr. van stampbeton gemaakt is. Hoewel deze leiding vele honderden jaren in gebruik is geweest, is het beton van de gedeelten, die thans nog bestaan, van uitstekende vastheid en waterdichtheid. De samenstelling van het beton in die dagen bestond uit steenslag en Roman-cement. Dit laatste werd verkregen door branding van uit kalksteengroeven gegraven mergel. Met puzzolaanaarde, afkomstig van vulkanische uitbarstingen, werd dit cement hydraulisch gemaakt, waardoor ook onder water verharding mogelijk was. De vervaardiging van beton is na de val van het Romeinse Rijk verloren gegaan.

Pas na de uitvinding van portlandcement door Joseph Aspdin in 1824 is het beton weer in toepassing gekomen. In 1861 werd door de tuinman Joseph Monier te Parijs bij toeval ontdekt, dat bloembakken, die van beton waren vervaardigd, veel sterker bleken te zijn, indien in het beton netwerken van ijzerdraad werden aangebracht, terwijl de wandjes dan veel dunner gemaakt konden worden. Hoewel in 1850 reeds door Lambot een roeibootje van beton gemaakt was, versterkt door een netwerk van ijzer, beschouwt men Monier als de uitvinder van het gewapend beton, zodat men dit materiaal nog wel naar hem noemt “Monierwerk”.In 1867 werd voor zijn uitvinding patent verleend. Korte tijd hierna verwierf hij patenten voor de vervaardiging van gewapend-betonvloeren, buizen, reservoirs, bruggen en trappen. De wapening bracht hij uit ervaring aan, zowel aan trek- als aan de drukzijde, zodat hem vermoedelijk de functie van het ijzer in gewapend-betonconstructies niet bekend was. Daar de afmetingen geschat werden, kwamen in de aanvang veel mislukkingen met het nieuwe materiaal voor, waardoor men er dan ook niet veel vertrouwen in had. Het patent van Monier werd in 1884 door de firma Freytag en Heidschuch voor Zuid-Duitsland aangekocht, terwijl in 1885 Ing. Waysz de patenten voor Duitsland en Oostenrijk overnam. Door Waysz en prof.Bauschinger te München werden uitvoerige proeven met gewapend beton genomen, waardoor een juist inzicht in het nieuwe materiaal werd verkregen. De functie van de wapening werd vastgesteld nl. dat bij belasting op buiging het ijzer hoofdzakelijk de trekspanningen opneemt en het beton de drukspanningen. Daarbij kwam men tot het inzicht, dat de samenwerking tussen het beton en het ijzer, twee zo verschillende materialen, ontstaat door de volgende drie eigenschappen:

a. Beton en ijzer hechten goed aan elkaar.
b. De uitzettingscoëfficiënten van beide materialen zijn nagenoeg aan elkaar gelijk, zodat bij temperatuursveranderingen het ijzer niet loskrimpt van het beton.
c. Het ijzer roest niet in het beton, indien de grondstoffen van goede kwaliteit zijn, en het beton dicht en volgens alle eisen vervaardigd wordt.

De Duitser Koenen lukte het in 1886 een berekeningsmethode aan te geven voor verschillende constructies, waardoor het vertrouwen in de toepassing van gewapend beton sterk toenam. Onderwijl werden in Frankrijk door Hennebique belangrijke gewapend-betonwerken uitgevoerd. Aan hem danken we de toepassing van beugels in balken en het opbuigen van staven (1892).

(Bron: www.bruggenstichting.nl)

Beton is een verzamelnaam. Ruim opgevat kunnen alle mengsels van korrelachtige materialen die met cement zijn gebonden tot een steenachtig materiaal, beton kunnen worden genoemd. Het is onmogelijk om voor al deze mengsels eigenschappen te beschrijven. Een zinvolle en bruikbare afbakening is een indeling naar volumieke massa. Veel betoneigenschappen zijn direct of indirect gekoppeld aan de volumieke massa. De betonmorm NEN-EN 206-1onderscheidt op basis van (kunstmatige, ovendroge) volumieke massa de volgende betonsoorten:

- lichtbeton	800 – 2000 kg/m3
- normaal beton	2000 – 2600 kg/m3
- zwaar beton	> 2600 kg/m3

De variatie in volumieke massa ontstaat door (gedeeltelijke) vervanging van het gebruikelijke zand en grind door licht of juist zwaar toeslagmateriaal.

Andere verdelingen zijn mogelijk op basis van uitvoeringsmethode, zoals spuitbeton, prefab beton, in het werk gestort beton. Ook bijzondere eigenschappen maken een indeling mogelijk, zoals hogesterktebeton, vloeistofdichtbeton, vuurvast beton en schoon beton. Elke betonsoort heeft zijn eigen specifieke eigenschappen.

Esthetische eigenschappen.
Beton is een bouwmateriaal met architectonische kwaliteiten. In veel toepassingen gaat het uitsluitend om de constructieve kwaliteit uitgedrukt in sterkte, stabiliteit en duurzaamheid. Dit zijn enkele sterke eigenschappen van beton. Maar beton is ook het materiaal van de vormvrijheid. De aanvankelijk vormloze, vloeibare massa, kan in elke vorm worden gegoten. Dat is de essentie van de architectonische kwaliteit van beton: koud vloeibaar, gietbaar tot een monoliete vorm. Zowel de ruimtelijke vorm als de textuur van het oppervlak zijn eindeloos te variëren. Indien er vooraf eisen worden gesteld aan esthetische kwaliteiten, spreken we over ‘schoon beton’.

Relevante esthetische eigenschappen zijn: kleur, textuur en structuur, aftekening van bekistingsmaterialen en onvolkomenheden in het oppervlak. Er zijn verschillende maatregelen te treffen om de hierboven genoemde eigenschappen te bewerken. Bijvoorbeeld door het toevoegen van pigmenten, vulstoffen of op kleur geselecteerde toeslagmaterialen kan de kleur van het normaal grijze beton worden bewerkt.

Vervormingseigenschappen.
Betonconstructies kunnen niet uitsluitend worden ontworpen op druk- en treksterkte. Vervormingen spelen ook een rol, vooral doorbuiging. Beheersing van de vervorming in noodzakelijk voor het beperken van scheurvorming. De voornaamste materiaaleigenschappen die bepalend zijn voor vervorming zijn: de elasticiteitsmodulus, kruip, relaxatie (afname van spanning in een materiaal bij gelijkblijvende vervorming) en krimp. Dit zijn geen op zichzelf staande eigenschappen. Inzicht in de onderlinge relaties draagt bij aan een optimaal ontwerp.

Mechanische eigenschappen.
De belangrijkste mechanische eigenschappen van beton zijn druksterkte en treksterkte. De druksterkte is een belangrijkste kwaliteitsparameter van beton. Veel kwaliteitsaspecten zijn gerelateerd aan de druksterkte. Beton heeft een hoge druksterkte en een relatief lage treksterkte. De treksterkte is maar ongeveer 10% van de druksterkte. Dat maakt het tot een broos materiaal.
In veel constructies is behoefte aan een hogere treksterkte dan beton uit zichzelf kan bieden. Dan is versterking nodig met behulp van vezels, wapening of voorspanning. Hier spreken we van vezelversterkt beton, gewapend beton of van voorgespannen beton.

(bron: www.cementenbeton.nl)

Bouwmethode.
Voor het bouwen van bruggen van beton zijn er verschillende methoden. In situ, prefab en een combinatie dat in situ en prefab, ook wel mix genoemd.

In situ.
In situ bouwen betekent: op locatie vervaardigen. In situ gebouwde bruggen worden op de bouwplaats geconstrueerd. Meestal geldt dit voor kleinere, eenmalige constructies waarbij het gebruik van een tijdelijke mal lonend is.
Ter plekke gebouwde bruggen hebben vaak een bijzondere of unieke vorm in functionele of esthetische zin. Soms betreft het ook grote eenheden, bijvoorbeeld een spoorviaduct, die na productie moeilijk vervoerd kunnen worden. Een nadeel van in situ productieprocessen is dat deze vaak een belasting voor de bestaande verkeersstromen vormen.

Prefab.
Geprefabriceerde brugelementen worden gebruikt voor zeer grote bruggen zoals de Zeelandbrug, maar ook voor kleine bruggen. Complete bruggen kunnen prefab worden gemaakt.
Ruime overspanningen, enorme kant-en-klare betonnen delen, een hoge repetiefactor in de uitvoering en minimale productie op locatie, het zijn de vaste ingrediënten van deze bouwmethode. De voordelen, beter controleerbare kwaliteit van de prefab segmenten door een seriematige productie, procesmatige efficiency, kortere bouwtijd, kostenreductie.

Natuurlijk zijn er ook bruggen die deels prefab, deels in situ zijn geconstrueerd. Vele zelfs, want en/en komt vaker voor dan of/of. Niet zelden bestaat de bovenbouw uit kant-en-klare onderdelen, terwijl bijvoorbeeld de pijlers op locatie gestort moeten worden. Wat betreft bouwmethode spreken we dan van een tussenvorm – een mix.

(Bron: www.allesoverbruggen.nl)

3.5 Vergelijking en keuze

Er zitten grote verschillen tussen de besproken bouwmaterialen. Hieronder de eigenschappen van deze bouwmaterialen op een rijtje.

Hout:
- van nature mooi, karakteristiek en warm
- sterk
- duurzaam
- gemakkelijk te bewerken
- grote ontwerpvrijheid
- hernieuwbare en daarmee oneindige grondstof
- goed te combineren met andere materialen.

Composiethout:
- lange levensduur
- vochtbestendig
- rot en splintert niet
- grote buigsterkte
- makkelijk te verwerken.

Kunststoffen:
- duurzame en sterke producten
- op het scheidingsvlak tussen lucht en water rot het absoluut niet
- ongevoelig voor weersinvloeden
- het is stroef
- splinter vrijdag
- het bevat geen schadelijke stoffen die kunnen uitlogen in de bodem of het grondwater
- een nadeel is de esthetische waarde van het materiaal, kunststof wordt vaak niet als mooi gezien
- vaak maar in 1 of 2 kleuren leverbaar
- stevigheid is niet optimaal
- bevestigingsmaterialen mogen worden verzonken in het materiaal.

Staal:
- goedkoop bouwmateriaal
- duurzame vorm van bouwen
- gemakkelijk beschermd tegen corrosie
- brandwerend te maken
- afmetingen zijn nauwkeurig
- uitstekende verhouding tussen sterkte en gewicht
- grote overspanningen mogelijk
- geprefabriceerd zodat tijdens de bouw minder rekening hoeft gehouden te worden met het weer
- grote flexibiliteit bij het aanbrengen en wijzigen tijdens de bouw
- schoon en gebruiksvriendelijk materiaal
- eenvoudig te controleren op kwaliteit en veiligheid
- uiterlijk en kleuren kunnen aan veranderende omstandigheden worden aangepast
- 100% recyclebaar.

Beton:
- grote sterkte
- grote stabiliteit
- grote duurzaamheid
- vormvrijheid
- ruimtelijke vorm zoals kleur, textuur, structuur en aftekeningen zijn eindeloos te variëren.

Voor het maken van de brug in wijk Parijsch moet een keus worden gemaakt uit de bovenstaande bouwmaterialen. Of er kan gekozen worden voor een combinatie van bouwmaterialen. De keuze van bouwmaterialen hang onder andere af van de overspanning die gerealiseerd moet worden, de levensduur van het bouwwerk en van de esthetische eisen die worden gesteld aan het bouwwerk.

Om een goede keus te kunnen maken is er een tabel gemaakt waarin de bouwmaterialen op een aantal punten worden beoordeeld. (zie tabel hieronder)

Voor de bovenbouw, de dekdelen en de leuning, is esthetiek het belangrijkste criterium. Voor de onderbouw, de liggers, zijn onder andere sterkte en duurzaamheid belangrijke criteria.

Kosten is een criterium dat niet is mee genomen in de tabel, dit omdat de verschillende bouwmaterialen in verschillende vormen verschillende prijzen hebben. Hout bijvoorbeeld is er in veel soorten met verschillende prijzen. Het opnemen van kosten in deze tabel kan hierdoor een heel verkeerd en vertekend beeld opleveren.

Voor de brug in wijk Parijsch wordt een combinatie gemaakt tussen hout en staal. De liggers zullen in staal worden uitgevoerd, de rest in hout.

De liggers worden in staal uitgevoerd omdat de overspanning groot is. Omdat staal een uitstekende verhouding tussen sterkte en gewicht heeft kan een grote overspanning gerealiseerd worden zonder dat de liggers enorm zwaar worden. Staal is bij uitstek het materiaal om grote overspanning te maken.

De rest van de brug wordt in hout uitgevoerd vanwege de esthetische waarden van hout. Hout is het bouwmateriaal dat het beste past in het stedenbouwkundig plan.

	Esthetiek	Duurzaamheid	Vormvrijheid	Weer bestendig	Sterkte
Hout	++	+	+	-	+
Composiethout	-	+	-	+	-
Kunststof	-	+	-	+	-
Staal	+	++	+	++	++
Beton	+	++	++	++	+

+ = positieve waardering, - = negatieve waardering

Hoofdstuk 4

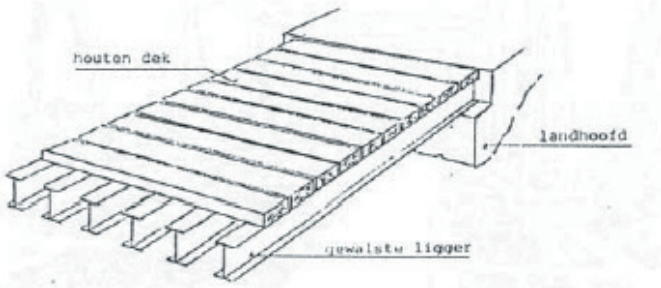
Definitief ontwerp brug

In dit hoofdstuk wordt aan de hand van tekeningen (schetsen) duidelijk gemaakt hoe het definitieve ontwerp van de brug wordt. De tekeningen dienen later nog te worden uitgewerkt in technische tekeningen.

Voor de constructie van de brug, de liggers met daarop dekdelen, worden twee alternatieven gegeven. Het eerste alternatief is een traditionele uitwerking. Het tweede alternatief is een nieuwe manier van construeren. Voor beide alternatieven wordt een detailuitwerking gegeven. Beide detailuitwerkingen zijn er op gericht om ventilatie van het hout mogelijk te maken, wat de levensduur van het hout ten goede komt.

4.1 Ontwerp

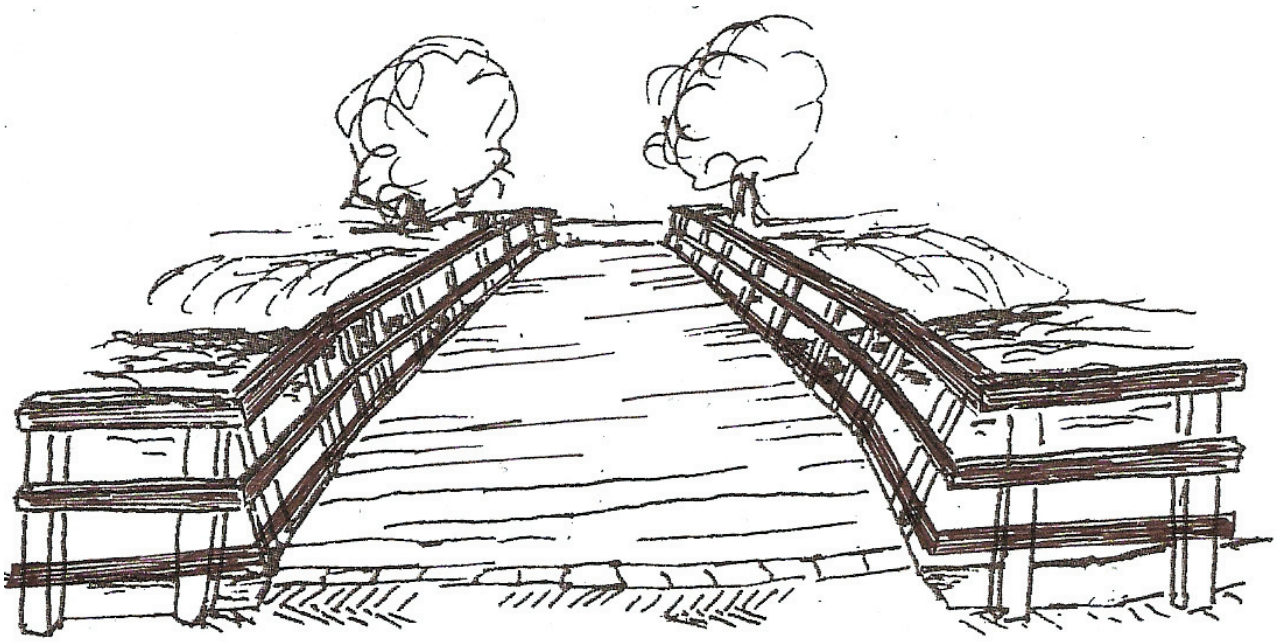
Hieronder wordt weergegeven hoe de brug die zal worden toe gepast in wijk Parijsch wordt vorngegeven.



Eenvoudige brug voor gewoon verkeer: gewalste liggers met houten dek.

In hoofdstuk 2 is gekozen voor een vaste brug. de onderbouwing voor deze keuze is te vinden in paragraaf 2.6. Op de afbeelding hiernaast is te zien hoe de bais van de brug wordt vormgegeven.

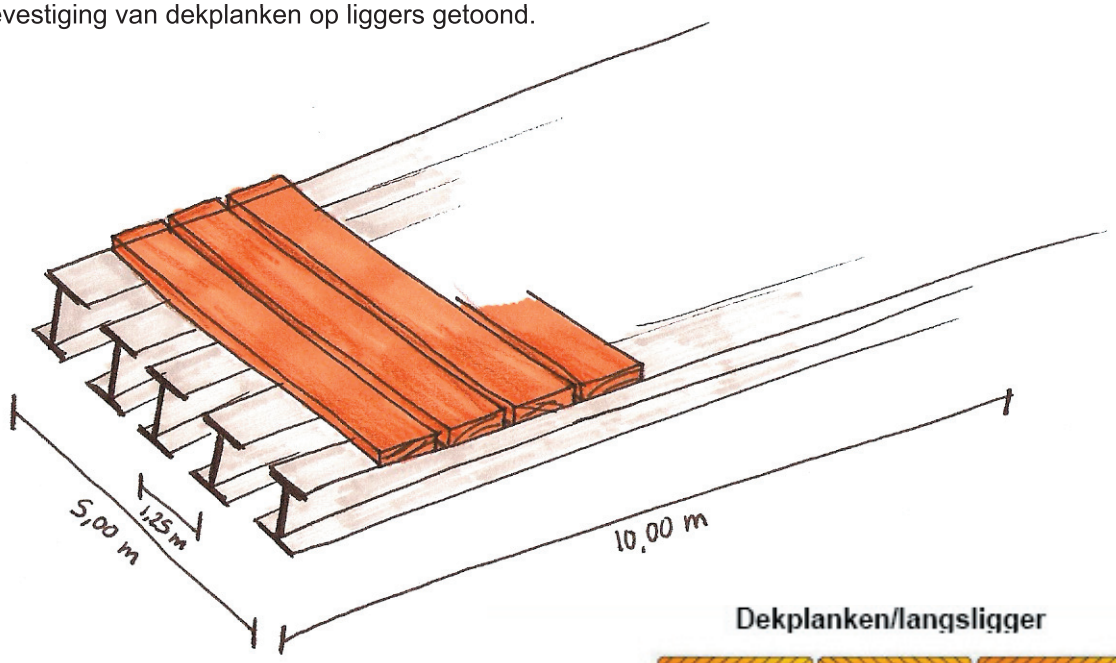
(Bron: www.bruggenstichting.nl)



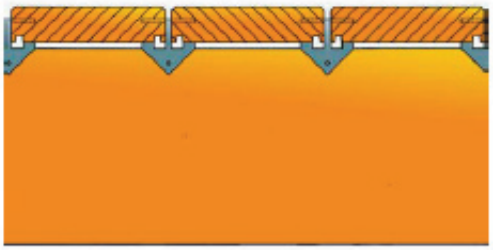
De afbeelding hierboven geeft een impressie van de gehele brug. De brug heeft een eenvoudig karakter en zal worden uitgevoerd in staal en hout. De toe te passen houtsoort is Azobe.

4.2 Alternatief 1 traditionele uitwerking

Hieronder wordt de traditionele uitwerking voor de bevestiging van dekplanken op liggers getoond.



Dekplanken/langsligger



Om de ventilatie van de planken te bevoorderen kunnen, zoals hiernaast afgebeeld, stalen schoentjes onder de dekplanken geplaatst worden. Goede ventilatie van de dekplanken komt de levensduur van het hout ten goede.

Blootstelling aan vocht: oplegging dekplanken m.b.v. speciale stalen schoentjes; onderkant planken blijft vrij van langsliggers; voeg tussen planken ter voorkoming van vochtophoping; regelmatig onderhoud nodig (schoon houden).

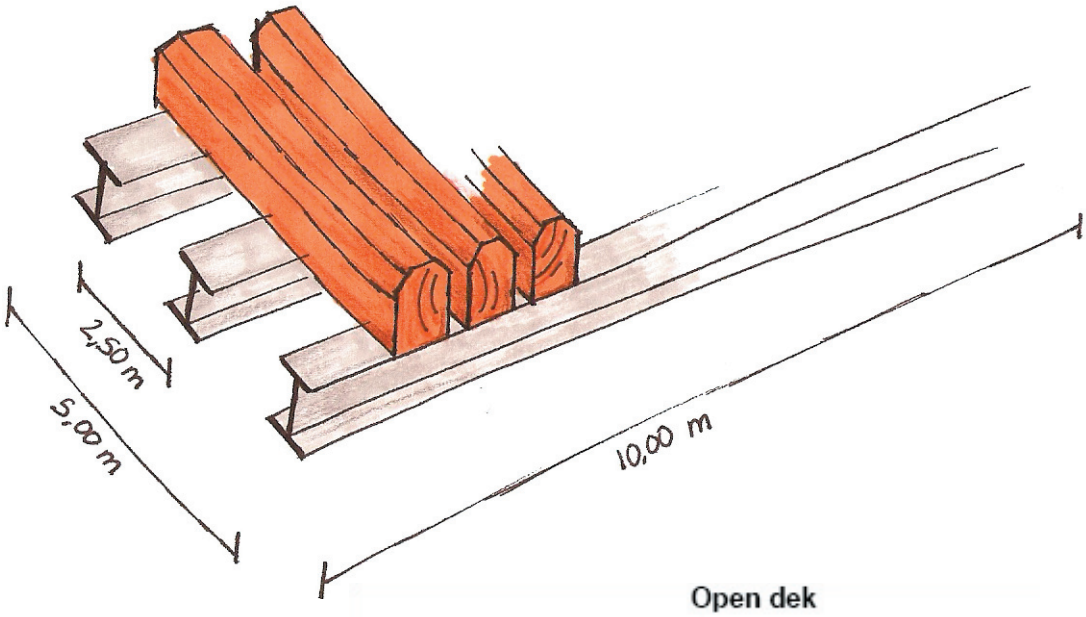
Risicoklasse: ondanks de "luchtige" en ventilerende bevestigingswijze geven de zuiver horizontale vlakken een hogere kans op langdurige vochtbelasting dan afgeschuinde en/of afgedekte profielen, zodat de risicoklasse 3 à 4a is.

Gewenste levensduur **25 jaar** → duurzaamheidsklasse **2**
Gewenste levensduur **35 jaar** → duurzaamheidsklasse **1**

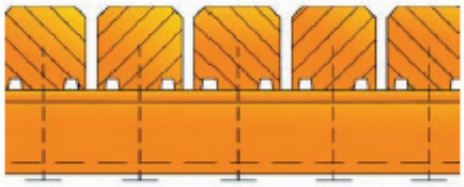
(Bron: rapport Nieuwe houtsoorten voor de waterbouw, constructiedetails en duurzaamheid, J.K.A. Banga)

4.3 Alternatief 2 nieuwe uitwerking

Hieronder wordt een nieuwe manier van het gebruik van de de bevestiging van dekplanken getoond. Door het toepassen van “dikkere” dekplanken kan met minder liggers worden volstaan.



Open dek



Omdat de dikkere dekplanken zijn afgeschuind blijft er minder water op staan wat verschillende voordelen heeft. Ook bij deze uitwerking is goede ventilatie belangrijk i.v.m. de levensur van het hout.

Blootstelling aan vocht: smalle, hoge dek”planken” met vellingkanten en waterhollen; geen aparte ‘antislip” groeven, zodat geen water en vuil op bovenzijde blijft; vanaf onderzijde bevestigd aan afwaterend geprofileerde hulpregel; open voegen tussen de planken t.b.v. de afwatering en ventilatie; regelmatig onderhoud nodig (schoon houden).

Risicoklasse: ondanks de relatief kleine “plank”breedte geven de zuiver horizontale vlakken een hogere kans op langdurige vochtbelasting dan afgeschuinde en/of afgedekte profielen, zodat de risicoklasse 3 à 4a is.

Gewenste levensduur **25 jaar** → duurzaamheidsklasse **2**
Gewenste levensduur **35 jaar** → duurzaamheidsklasse **1**

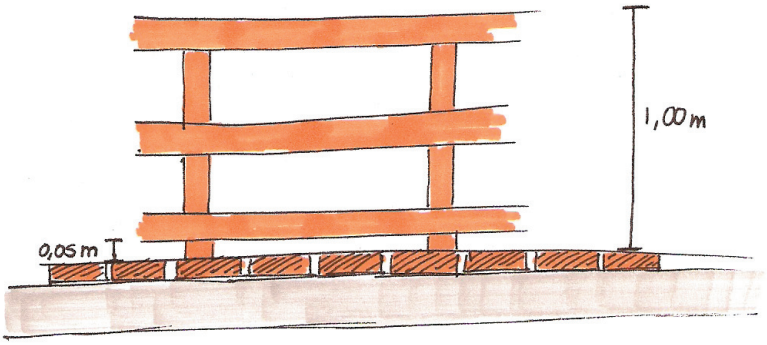
(Bron: rapport Nieuwe houtsoorten voor de waterbouw, constructiedetails en duurzaamheid, J.K.A. Banga)

4.4 Keuze

Er moet uiteindelijk een keuze gemaakt worden tussen alternatief 1 en 2 voor de uitwerking van de brug. Alternatief 1 is een meer traditionele uiwerking en alternatief 2 is een nieuwe manier van uitwerken.
De keuze kan op verschillende manieren gemaakt worden. Er kan worden gekeken naar de kosten, de alternatieven verschillen in de hoeveelheid staal en hout die wordt gebruikt. De keus kan ook worden gebaseerd op esthetiek. Door de verschillende manier van uitwerken krijgt de brug een andere uiterlijk. De levensduur van het hout van de dekdelen is ook verschillende door de verschillende manieren van uitwerken. Door de dekdelen dikker te maken en met een schuine kant zoals in alternatief 2, heeft het hout een langere levensduur.

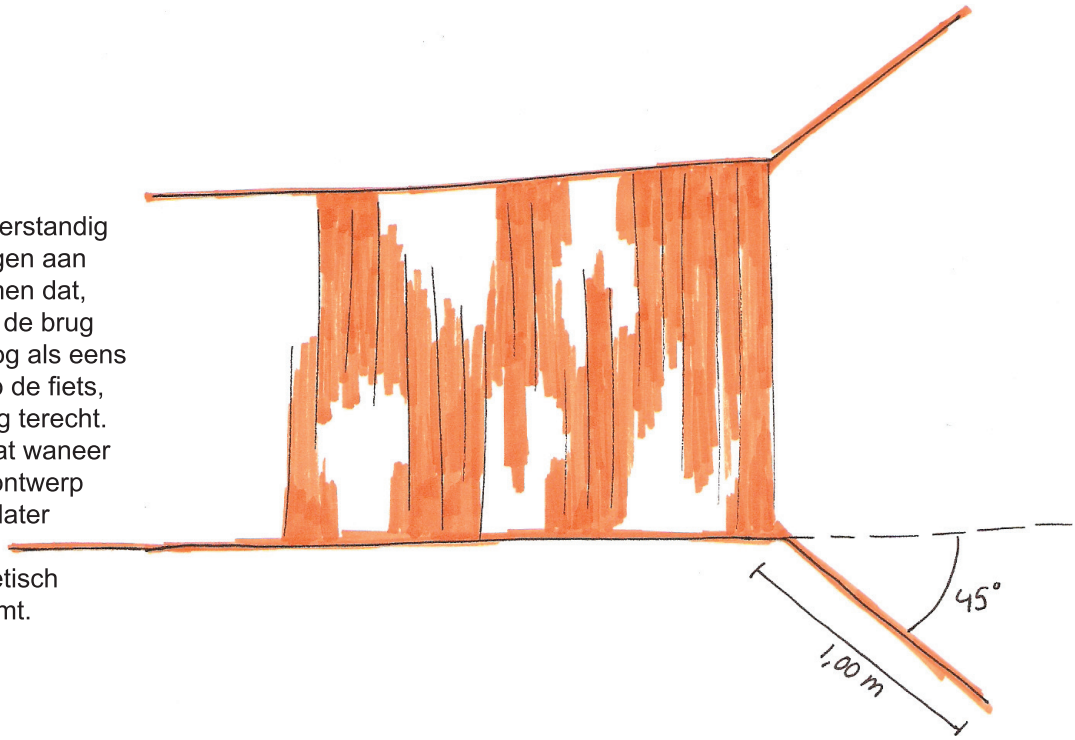
In het volgende hoofdstuk worden beide alternatieven berekend.

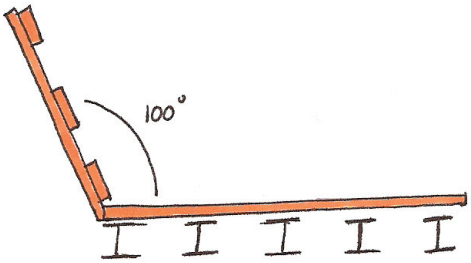
4.5 Details brug t.b.v. de veiligheid



Voor de hoogte van de leuning geldt de minimale hoogte van 1,00 m. De hoogte tussen de onderste plank en de dekplanken mag niet meer dan 0,05 m zijn. Dit om te voorkomen dat mensen gemakkelijk van de brug “af kunnen schieten”.

I.v.m. de veiligheid is het verstandig om “vleugels” aan te brengen aan de brug. Vleugels voorkomen dat, met name kinderen, naast de brug vallen. Kinderen nemen nog als eens de bocht te krap, vooral op de fiets, en komen zo naast de brug terecht. In veel gevallen zien we dat waneer vleugels niet direct in het ontwerp worden mee genomen en later worden toegevoegd dit de duurzaamheid en de esthetisch kwaliteit niet ten goede komt.





De brugleining helt in zijn geheel iets achterover. I.v.m. de veiligheid moet de overklimbaarheid van de leuning zo klein mogelijk worden gehouden. Er moeten keuzes gemaakt worden ten aanzien van esthetica en veiligheid. Deze twee zaken gaan vaak moeilijk samen.

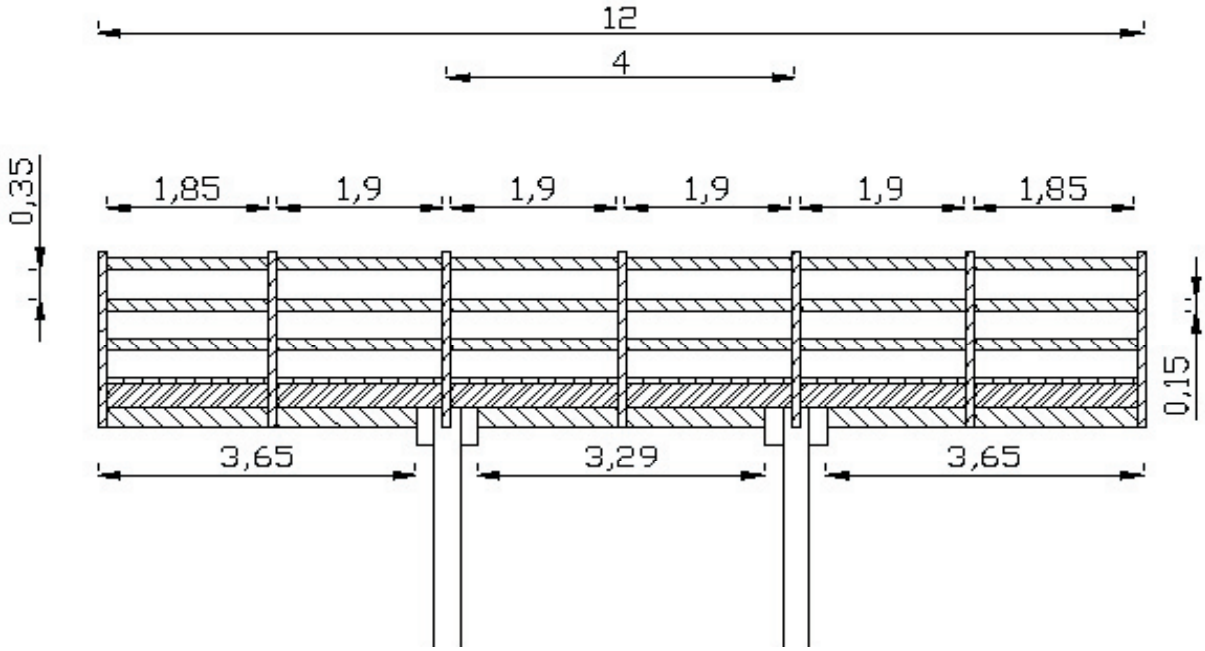
Hoofdstuk 5

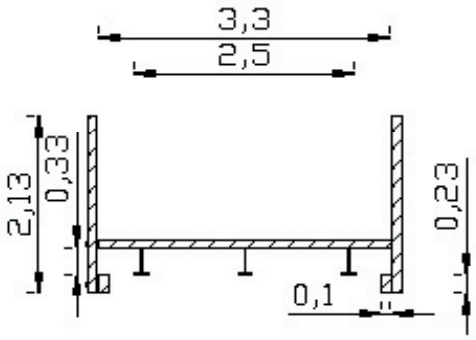
Dimensionering

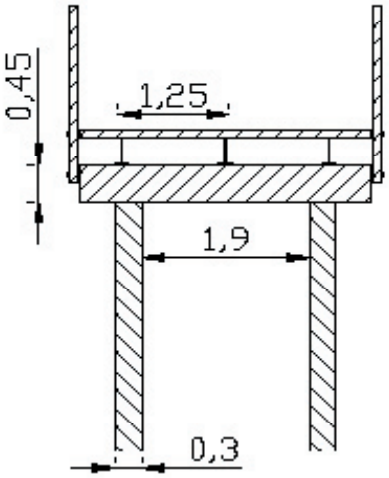
In het volgende hoofstuk worden aan de hand van een rekenmodel de twee alternatieven voor het maken van de brug uit het voorgaande hoofdstuk doorgerekend. Allereerst wordt het rekenmodel weergegeven, daarna volgen, in paragraaf 2, de berekeningen van alternatief 1 en 2.

5.1 Rekenmodel

Voor het dimensioneren van de te bouwen brug in wijk Parijsch wordt gebruik gemaakt van een eerder gemaakte berekening van een andere brug. Deze berekening wordt gebruikt als rekenmodel. De afbeeldingen hieronder geeft weer voor welke brug, met welke maten, de ondersta-ande berekening is gemaakt.







De brug zal van hardhout en van staal samengesteld worden. Er is een overspanning berekend van 4 meter tussen de palen. Er bestaat dus een doorvaar openening van maximaal 4 meter.

Berekening dekdelen

gegevens
Houtsoort: Azobe
Klasse: D60
Elasticiteit: 13600 N/mm2
Sterkte (f): 35.0 N/mm2

Veranderlijke belasting: 5000 N/m2
Bijzondere belasting: 7 kN
Veiligheidsklasse: 3
Doorbuigeis: u < 1/300 l

Dekdeel
liggers hart op hart: 1.25 m
breedte: 120 mm
dikte 50 mm

volumieke massa Azobe 1060 kg/m3 (bij 12% vocht)
volumieke gewicht Azobe 1060 * 10 = 10600 N/m3

Permanente belasting

1 * 0.12 * 0.05 * 10600 = 63.6 N
Qg,reken = 76.32 N/m1 (veiligheidsfactor 1,2)
γg = 1.2
Qg,reken = 1.2 * 63.6 = 76.32 N/m1

Variabele belasting

0.12 * 5000 = 600 N
Qvar,reken = 1.5 * 600 = 900 N/m1 (veiligheidsklasse 3)

Belastingcombinatie 1: eigen gewicht + variabele belasting

Qtot,d = 76.32 + 900 = 976.32 N/m1
RA = RB = 0.5 * (1.25 * 976.32) = 610.2 N
Mmax = 0.5 * 0.625 * 610.2 = 190.7 Nm

Belastingcombinatie 2: eigen gewicht + bijzondere belasting

eigen gewicht: RA = RB = 0.5 (1.25 * 76.32) = 47.7 N
Mmax = 0.5 * 0.625 * 47.7 = 14.91 Nm
Bijz. belasting: RA = RB = 0.5 * 7000 = 3500 N
Mmax = 0.625 * 3500 = 2187.5 Nm

Mtot = 14.91 + 2187.5 = 2202,41

W = 1/6 bh2 = 1/6 * 125 * h2 = 62926
20.8 h2 = 62926 = h2 = 3025.3
= h = √3025.3 = 55.00 mm

Bruikbaarheidsgrenstoestand

variabele belasting 600 N
belastingscoefficient y = 1.0
q var,reken = 1.0 * 600 = 600 N/m1 = 0.6 N/mm

Umax = 1/400 * 1250 = 3.125 mm
E = 13600 N/mm2

Iben = 5/384 * (0.6*1250^4) / (13600 * 3.125) = 448787.91
4.49 * 10^5 mm4

I = 1/12 bh3 = 1/12 * 120 * h3 = 4.49 * 10^5
10h3 = 4.49 * 10^5
h = ^3(√4.49 * 10^5) = 76.56 mm

Conclusie:
De dekplanken worden 76.56 mm dik. Deze dikte is redelijk om te nemen omdat de overspanning 1.25 m is.

Berekening langsliggers

Gewicht aan dekdelen op 1m langsligger:
1 * 1.25 * 0.076 * 7000 = 669.9 N
qg,reken = 1.2 * 669.9 = 803.88 N/m1

gewicht aan variabele belasting dat op 1m langsligger rust:
1 * 1.25 * 5000 = 6250 N
qg,reken = 1.5 * 6250 = 9375 N/m1

Schatting eigen gewicht langsligger = 150 N/m1
qg,reken = 1.2 * 150 = 180 N/m1

Belastingcombinatie 1: eigen gewicht + variabele belasting
Mmax = 0.125 * (180 + 803.88 + 9375) * 4.0^2 = 20717.76 Nm

Belastingcombinatie 2: eigen gewicht + bijzondere belasting

t.g.v eigen gewicht: Mmax = 0.125 * (180 + 803.88) * 4.0^2 = 1967.76 Nm
t.g.v puntlast: Mmax = 0.25 * 7000 * 4.0 = 7000 Nm

Mtot = 8967.76 Nm

Belastingcombinatie 1 is maatgevend.

Stalen liggers Wben = 20717760 / 235 = 88160.68

De stalen balk in i-profiel zal dan zijn:
IPE 160 waarvoor geldt Wz = 109 * 10^3 mm3
Breedte: 82 mm
Hoogte: 160 mm

Bruikbaarheidsgrenstoestand

variabele belasting: Qvar,reken = 1 * 6250 = 6250 N/m1
6.25 N/mm

l = 4000 mm
E = 210000 N/mm2
Umax = 1/300 * 4000 = 13.33 mm

Iben = 5/384 * (6.25 *4000^4) / (210000 * 13.33) = 74 * 10^6 mm4
744 * 10^4 mm4

De maatgevende maat is:
IPE 300
hoogte 300 mm
breedte 15 mm

Iz = 8356 * 10^4 mm4
Wz = 857 * 10^3 mm3

Berekening dwarsliggers

gewicht dekdelen = qg reken = 1.2 * 669.9 = 803.88 N/m1
gewicht langsligger = qll rken = 1.2 * 422 = 506.4 N/m1
Variabele belasting = qvar, reken = 1.5 * 6250 = 9375 N/m1

qtot = 803.88 + 506.4 + 9375 = 10685.28 N/m1

Totale belasting die elk van de middelste liggers moet dragen is 9.375 * 10685.28 = 100174.5 N
Krachten worden verdeeld over 2 dwarsdragers daarom 100174.5 / 2 = 50087.25 N

Op de dwarsdrager werkt 1 puntlast van 50087.25 N en aan de randen 2 puntlasten van ongeveer 25043.6 N. De afstand tussen de puntlasten is 1.25.

Geschat eigen gewicht van de dwarsdrager: 250 N/m
qg reken = 1.2 * 250 = 300 N
Totale eigen gewicht: 2.50 * 300 N = 750 N

Totale belasting op de dwarsdrager is;
750 + 1 * 50087.25 + 2 * 0.5 * 50087.25 = 100924.5
Oplegreacties RA = RB = 0.5 * 100924.5 = 50462.25

Dwarskracht in dwarsdrager direct naast de paal
50462.25 - 25043.6 = 25418.65 N

Links van de 2e langsligger 25418.65 - 1.25 * 300 = 7625220 N
Direct rechts hiervan 7625220 - 50087.25 = 7575132.75 N

Mmax = 0.5 * (25418.65 + 7625220) * 1.25 + 0.5 * 7575132.75 * 0.25 = 5728540.75 N/m1

Variabele belasting op 1m langsligger:
qvar reken = 1.0 * 6250 = 66250 N/m

Op de hele ligger werkt een kracht van 9.375 * 6250 = 58593.7 N
De variabele belasting veroorzaakt via de langsligger puntlasten van 58593.75 / 2 = 29296.88 N
Op elke dwarsdrager werkt 1 puntlast van 29296.888 en aan de 2 uiteinden een puntlast van 14648.44 N. Als de variabele belasting direct op de dwarsdrager aangrijpt geeftdit een gelijkmatig verdeelde belasting van (1 * 29296.88 + 2 * 14648.44) / 2.50 = 23437.5 N/m

De totale belasting is dan 23437.5 N/m = 23.43 N/mm
Umax = 1/300 * 6250 = 20.83
Iben = 5/384 * (23.43 * 6250^4) / (13600 * 2083) = 1643 * 10^6 mm4

Een balk van 205 * 450 mm zal aan de palen bevestigd worden om de liggers op te laten rusten. Per paal zullen er aan twee zijdes dwarsdragers bevestigd worden.

Iz = 1556.7

Berekening palen

Aben = 50462.25 / 26.3 = 1918.71 mm2
a = √1918.71 = 43.80 mm

In verband met knikgevaar zal de uitkomst hierboven met een factor 10 gereduceerd worden. Dit zorgt ervoor dat we palen nemen van 43.80 mm * 10 = 438 mm.
Voor het visuele aspect zal de paal 300 mm * 300 mm worden.

Amin = Fe / Fe,90,d
Amin = 50462.25 / 7.9 = 66387.62 mm2

De diepte van de zaagsnede zal zijn: 6387.62 / 200 = 31.93
De dwarsdragers zullen 35 mm in de palen komen. De palen worden daarom 35 mm ingezaagd.

5.2 Berekening alternatief

In de deze paragraaf volgen de berekeningen van alternatief 1 en alternatief 2, zie tekeningen in de voorgaande paragraaf. In de berekeningen worden de dekdelen (Azobe) en de liggers (staal) doorgerekend. Voor de dekdelen wordt berekend welke dikte de dekdelen moeten hebben. Voor de liggers wordt berekend in welk IPE profiel deze moeten worden uitgevoerd.

Alternatief 1

Dekdelen:

l nieuw = 1,25 m = idem als l oud
belasting = idem als in oude situatie
materiaal = idem als in oude situatie

=> nieuwe dekdelen hebben dezelfde afmetingen als in de oude situatie

Liggers:

h.o.h. 1,25 m = idem als in oude situatie
l oud = 4,00 m
l nieuw = 10,00 m
belastingcombinatie 1 blijft maatgevend (grotere lengte)

Uiterste grenstoestand:

M = 1/8 * q * l^2

l nieuw / l oud = 10 / 4 = 2,5 => M nieuw = 2,5^2 M oud
= 6,25 M oud

W ben = M nieuw / F s => W ben nieuw = 6,25 W ben oud

W ben nieuw = 6,25 * 88160,68 mm3 = 551004,25 mm3 = 551 * 10^3 mm3

=> profiel IPE 300, Wy = 557 * 10^3 mm3 of HEA 240, Wy = 675 * 10^3 mm3

Bruikbaarheidsgrenstoestand:

l oud = 2,5 l oud
U nieuw = 2,5 U oud (eis)

I ben = 5/384 * (q * l^4) / (E * U)

I ben nieuw = 15,625 I ben oud

I ben oud = 744 * 10^4 mm4 => I ben nieuw = 15,625 * 744 * 10^4 = 11625 * 10^4

=> profiel IPE 330, Wy = 11770 * 10^4 mm4 of HEA 280, Wy = 13673 * 10^4 mm4

=> Het toe te passen profiel wordt IPE 330

Dwarsdragers:

Niet nodig omdat er een overspanning van landhoofd naar landhoofd is.

Aanbeveling:

Gezien de grote overspanning, lengte van de liggers, is een stabiliteitsverband gewenst. Bijvoorbeeld IPE 120. Zie bijlage 1.

Alternatief 2

Dekdelen:

sterkte (uiterste grenstoestand):

meestal maatgevend: puntlast F = 7 kN

l nieuw = 2 * l oud

M = 1/4 * F * l (excl. eigen gewicht, eigen gewicht is verwaarloosbaar klein)

M = nieuw ≈ 2 * M oud

M = 1/4 * F * l = 4375 Nm

W ben = 2 * W oud

W ben = 1/6 * b * h^2
=> W = 1/6 * b^3 => b = 3√ 6 W = 91, 06
b = h

=> afmetingen van de dekdelen worden minimaal 91, 06 x 91,06 mm

vervorming:

puntlast niet maatgevend

q = 5000 N/m2 * breedte plank

b nieuw = 100 mm
=> b nieuw = b oud / 1,2
b oud = 120 mm

q nieuw = q oud / 1,2 (excl. eigen gewicht)

u = 5/384 * (q * l^4 / E * I)

a) q nieuw = q oud / 1,2 => l nieuw = l oud / 1,2
b) l nieuw = 2 * oud => l^4 nieuw = 2^4 * l oud
l nieuw = 16 l oud dus:

l nieuw = 16 / 1,2 * l oud = 16 / 1,2 * 4,49 * 10^5 mm4
= 59, 87 * 10^5 mm4 = 598,7 * 10^4 mm4

I = 1/12 * b * h^3
=> I nieuw = 1/12 * b^4
b = h b = 4√ 12 * I nieuw = 9,2 * 10 = 92 mm

=> afmetingen van de dekdelen worden minimaal 92 x 92 mm => gekozen wordt voor dekdelen met een afmeting van 95 x 95 mm

Liggers:

belastingsveld ligger is van 1,25 m naar 2,50 m gegaan

belasting q nieuw = 2 * q oud (excl. eigen gewicht)

uiterste grenstoestand:

M nieuw = 2 * M oud (1/8 * q * l^2)

W ben nieuw = 2 * W ben oud
= 2 * 551 * 10^3 mm3
= 1102 * 10^3 mm3

=> profiel IPE 400, Wy = 1160 * 10^3 mm3

bruikbaarheidsgrenstoestand:

U = 5/384 * (q * l^4 / E * I)

q nieuw = 2 * q oud

=> I ben = 2 * I oud
= 2 * 11625 * 10^4
= 23250 * 10^4 mm4

=> profiel IPE 450, Wy = 33740 * 10^4 mm4

=> het toe te passen profiel wordt IPE 450

Dwarsdragers:

Niet nodig omdat er een overspanning van landhoofd naar landhoofd is.

Aanbeveling:

Gezien de grote overspanning, lengte van de liggers, is een stabiliteitsverband gewenst. Bijvoorbeeld IPE 120. Zie bijlage 1.

Landhoofd:

Voor een mogelijke oplossing voor het landhoofd zie bijlage 2.

Literatuurlijst

Geraadpleegde boeken en rapporten:

B. van Leusden (2004) *Kleine waterbouwkundige constructies.* Noordhoff

R.F.M. Jaartsveld (1994) *Handboek veiligheid van oppervlaktewater.* Montfoord: BQ Educatieve uitgeverij

J.K.A. Banga (10 mei 2004) *Nieuwe houtsoorten voor de waterbouw, constructiedetails en duurzaamheid.*

West 8 Urban design & Landscape Architecture (5 november 2008) *Parijsch Zuid, Voorlopig Ontwerp Stedenbouw.*

N. Stokman (januari 2009) *Vormgeving van watergangen in stedelijk gebied.*

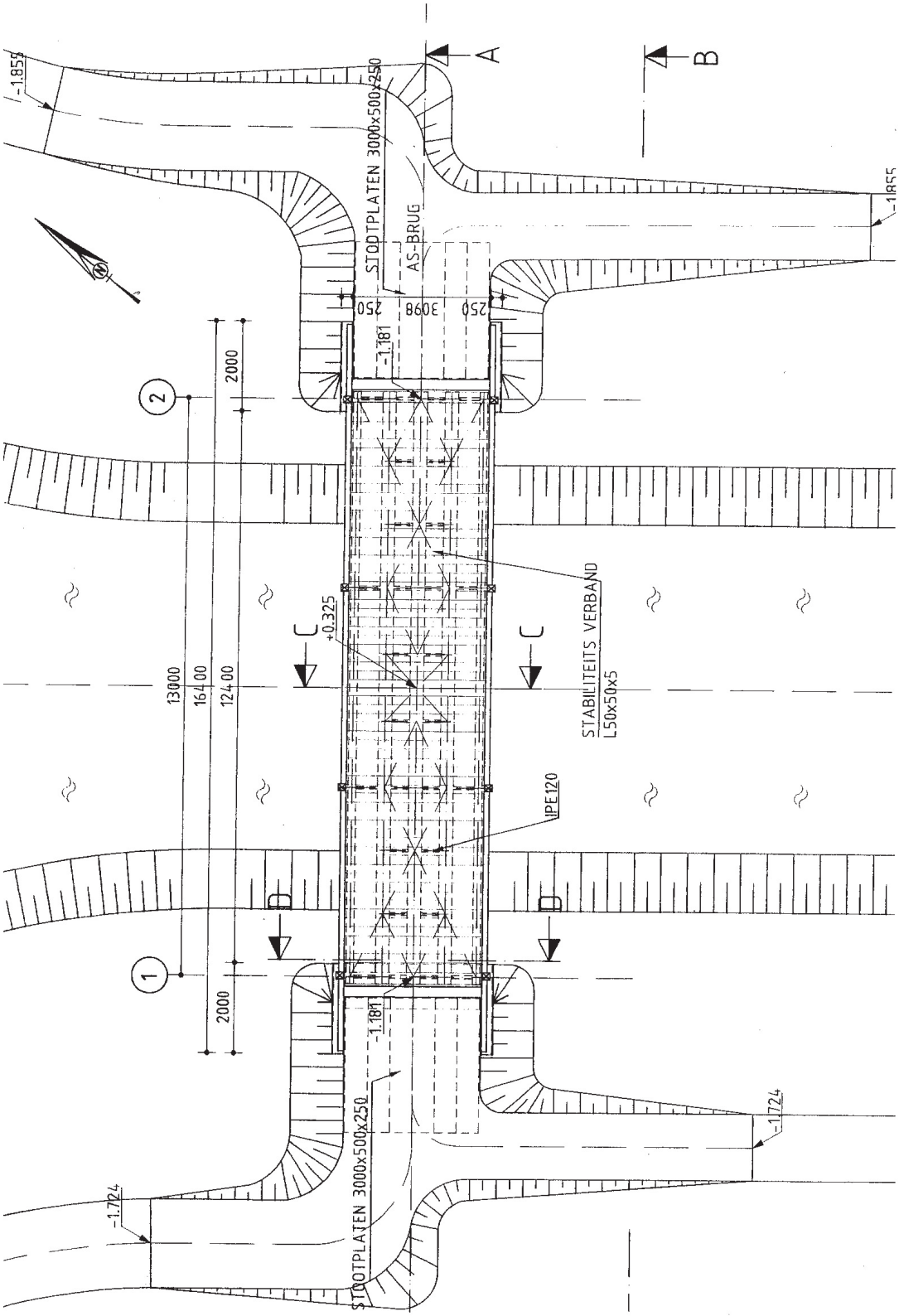
M. Middelveld, N. Stokman (november 2007) *Technisch advies inrichting Blauwestad.*

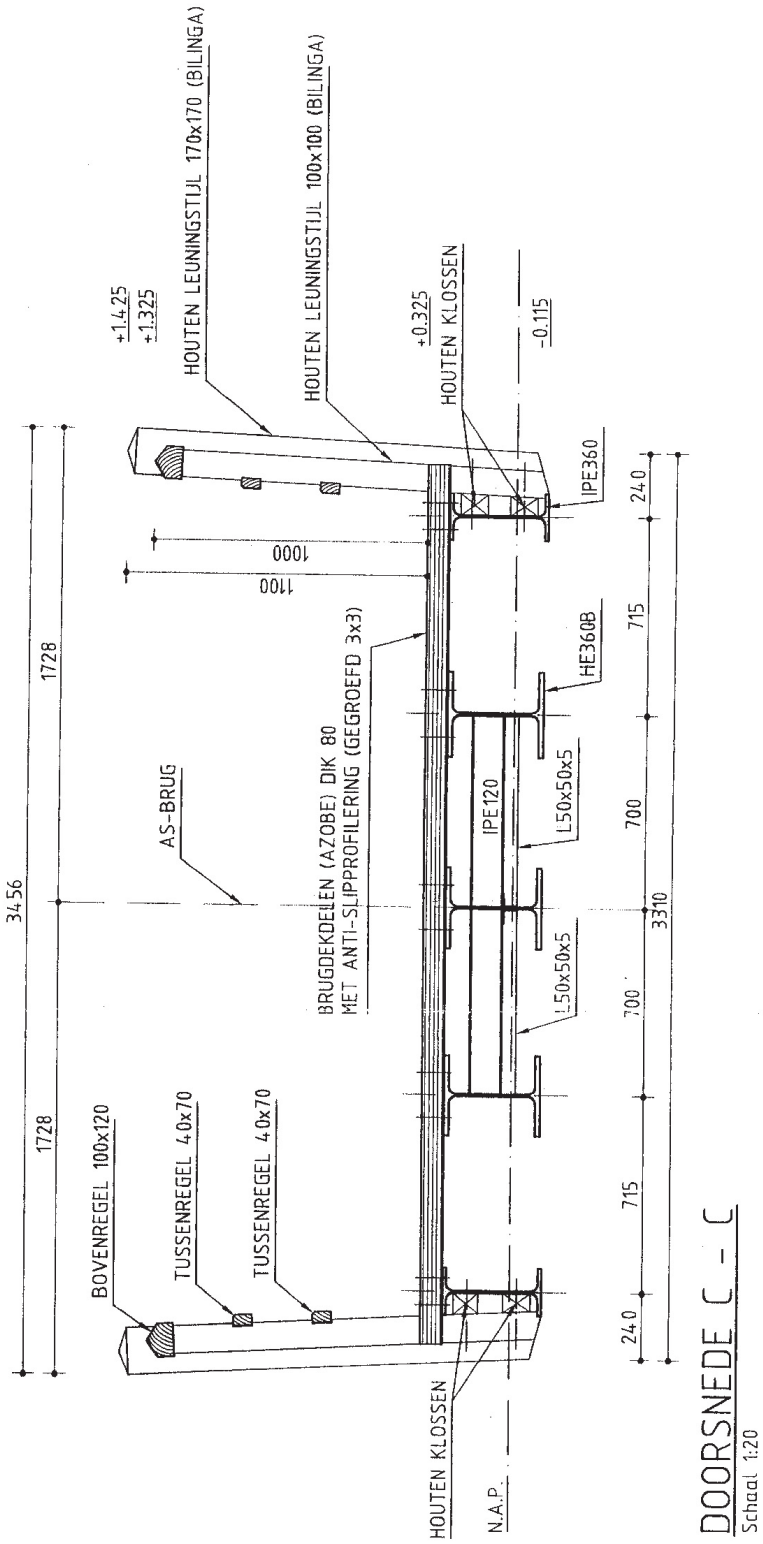
Geraadpleegde internet sites:

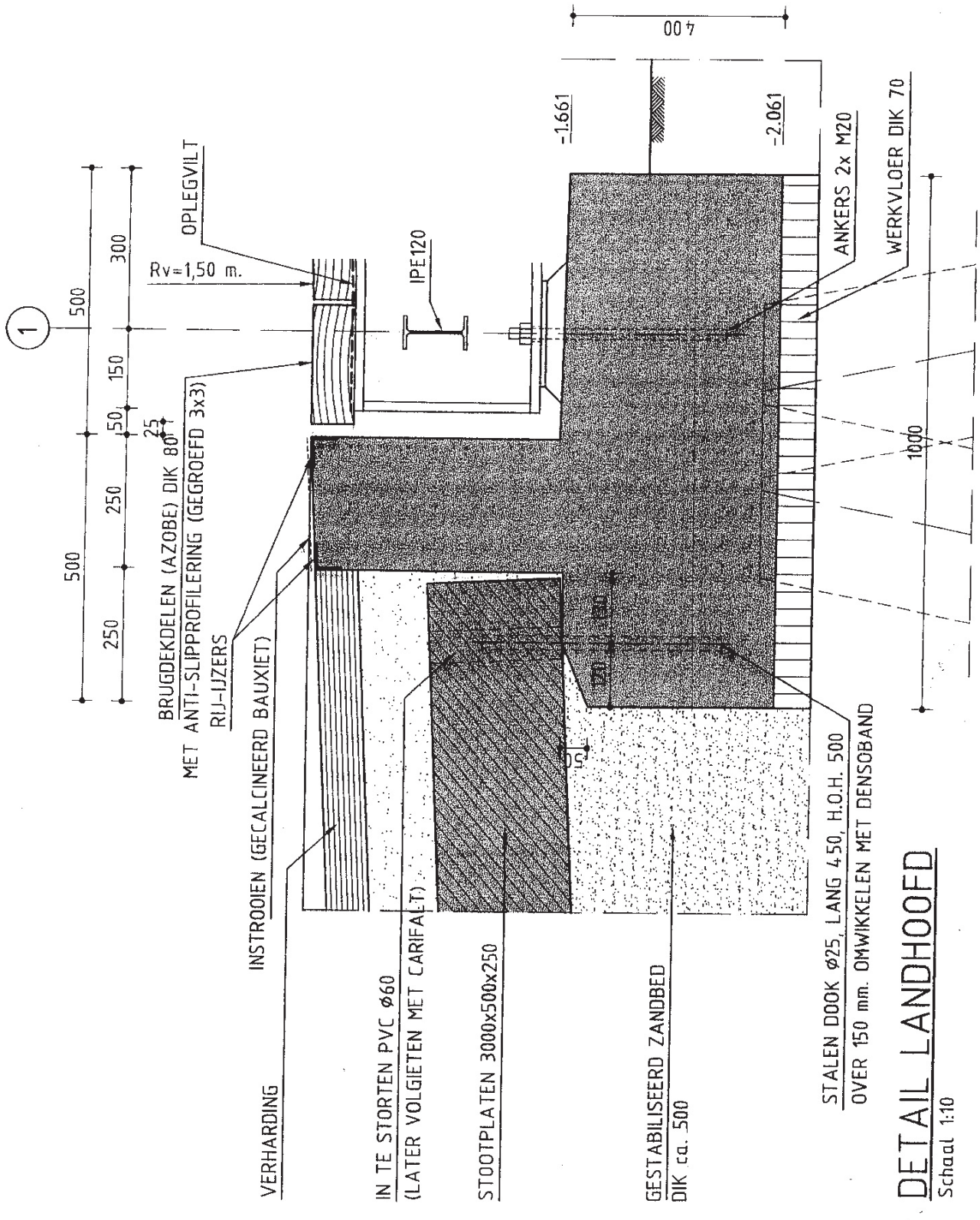
www.bruggenstichting.nl
www.culemborg.nl
www.architectenweb.nl
www.houtinfo.nl
www.allesoverbruggen.nl
www.cementenbeton.nl
www.bouwenmetstaal.nl
www.kunststofcomposiet.nl
www.streetlife.com
www.vinkkunststoffen.nl
www.tech-wood.com
www.fscnl.org

Bijlagen

Bijlage 1 stabiliteitsverband





DOORSNEDE C - C
Schaal 1:20

Bijlage 2 landhoofd